

*НАСТАВНИК-УЧЕНИК*

*Вестник Сыктывкарского университета.*

*Серия 1: Математика. Механика. Информатика.*

*Выпуск 4 (33). 2019*

**УДК 378.147**

**О МАТЕМАТИЧЕСКОЙ МОДЕЛИ ОЦЕНКИ  
ДОСТУПНОСТИ ИНФОРМАЦИИ В  
АВТОМАТИЗИРОВАННОЙ СИСТЕМЕ УПРАВЛЕНИЯ  
ТЕХНОЛОГИЧЕСКИМИ ПРОЦЕССАМИ. ПОСТАНОВКА  
ЗАДАЧИ. МЕТОДЫ РЕШЕНИЯ<sup>1</sup>**

***В. А. Воеводин, Э. А. Арзуманян, Д. С. Ганенков,  
А. А. Чумаков***

На основе анализа деятельности по организации аудита информационной безопасности осуществляется постановка научной задачи по оценке доступности информации в автоматизированной системе управления технологическими процессами, имеющей практическую значимость. Приводятся основные положения методического подхода к решению задачи. Для её решения была выдвинута рабочая гипотеза о целесообразности оценивания доступности информации с помощью числа управляемых исполнитель-

---

<sup>1</sup>Материалы публикации подготовлены с использованием гранта Благотворительного фонда Владимира Потанина.

ных объектов. Сообщается об ограниченности методики и обозначены направления дальнейших исследований.

*Ключевые слова:* доступность, информация, автоматизированная система управления, технологические процессы, исполнительный объект, компьютерная модель.

Для принятия решения по применению сил и средств информационной безопасности (ИБ), в том числе и предназначенных для аудита информационной безопасности (АИБ) лицу, принимающему решение (ЛПР), требуется обладать информацией о степени соответствия текущего уровня защиты информации (ЗИ) принятым для отрасли критериям аудита. Эта информация отражается в аудиторском заключении (АЗ) [1, 2].

Для вывода достоверного аудиторского заключения (АЗ), требуются добыть и объективно оценить значительное множество свидетельств аудита (СА), которые представляют собой записи, формализованное изложение фактов и другую информацию. Оценивание СА осуществляется посредством сравнения их с соответствующими критериями аудита [3].

Для отраслей народного хозяйства, связанных с применением в производственных процессах объектов, отнесенных к объектам критической информационной инфраструктуры, нормы права выстраиваются на основе специального федерального закона [1] и соответствующих подзаконных актов (Нормативное поле). Анализ Нормативного поля позволяет утверждать, что приоритетным направлением ЗИ является обеспечение доступности информации по отношению к целостности и конфиденциальности. В этой связи основные усилия сил и средств ИБ

должны быть сосредоточены на обеспечении доступности информации (ДИ) [4], а конфиденциальность и целостность обеспечиваются по принципу достаточности и при постановке задачи исследования выносятся в ограничения. Поэтому предметом научного исследования является оценка доступности информации в компьютерных сетях (КС) автоматизированных систем управления технологическими процессами (АСУ ТП), где четко выделен орган управления (ОУ) и исполнительные объекты (ИО), которые выполняют команды от ОУ и сообщают о результатах исполнения по цепи обратной связи. Такие сети в рамках статьи будем позиционировать как автоматизированная система управления технологическими процессами (АСУ ТП).

#### **Постановка задачи научного исследования**

##### **А) Определены исходные данные:**

$D_{mp}$  — требуемый уровень обеспечения ДИ в АСУ ТП;

$M_{cc}$  — модель (графическая, матричная или аналитическая) АСУ ТП,  $S_{CC} = \{a_i, \|\alpha_{ij}\|\}$ , где  $\|\alpha_{ij}\|$  — матрица связности элементов АСУ ТП. В том случае, когда  $\alpha_{ij} = 1$ , то связь между  $i$ -м и  $j$ -м элементами с требуемым качеством обеспечена. В противном же случае  $\alpha_{ij} = 0$ ;  $|\alpha_i|$  — идентификатор состояния  $i$ -го элемента АСУ ТП. Если  $\alpha_i = 1$ , то элемент находится в работоспособном состоянии, в противном случае  $\alpha_{ij} = 0$ ;

$W(t) = \{w_i(t)\}$  — структурная важность элементов АСУ ТП в текущий момент.

##### **Б) Требуется:**

Разработать методику решения задачи по оценке текущего уровня ДИ —  $D(t)$  и оценить степень его соответствия требованию —  $D_{mp}$ .

В качестве показателя ДИ в АСУ ТП выбрана вероятность того, что между ОУ и ИО будет существовать хотя бы одно направление обмена информацией с требуемым качеством, в котором показателем готовности КС к обмену технологической информации является число управляемых объектов.

**В) Задача исследования решается при следующих допущениях:**

1. Состояние ИО описывается множеством групповых признаков  $D = \{d_i\}$ ,  $d_i$  — идентификатор  $i$ -го элемента АСУ ТП.

2.  $\tau_A$  — период времени, который отводится на проведение аудита, определяется нормативным-правовым актом [5]. Срок проведения добровольного аудита ИБ — предмет договора. Считается разумным срок аудита ИБ не более одного месяца.

3. Исходным положением для организации АИБ является то, что аудиторы обладают полной исходной информацией об АСУ ТП, владеют базой знаний, позволяющей оценивать отдельные стороны АСУ ТП, для оценки которых разработаны и внедрены, апробированные на практике, модели АСУ ТП как объекта исследования (математические, статистические, логические).

4. Уровень обеспечения конфиденциальности информации не хуже требуемого.

5. Уровень обеспечения целостности информации не хуже требуемого.

**Г) Алгоритм решения задачи:**

1. Анализ существующих методов оценивания ДИ в АСУ ТП [6; 7].
2. Анализ существующих методов оценивания структурной важности

элементов [6; 7]. 3. Поиск решения поставленной задачи [6; 7]. 4. Разработка рекомендаций по применению методики для вывода АЗ.

Поставленная задача характеризуется большой размерностью и нелинейным характером целевой функции, поэтому основными методами её решения являются либо прямой перебор альтернативных вариантов, либо ограничение области поиска решения [4].

Для обоснования выбора показателя, характеризующего доступность информации в АСУ ТП, представим его в виде многополюсного иерархического графа, вершиной которого является узел, сопоставленный с ОУ («Вершина ЛПР»), конечные вершины сопоставлены с ИО («Вершина УО»). Для управления (например, технологическими объектами) требуется двухсторонняя связь между «Вершиной ЛПР» и «Вершиной УО», посредством которой передаются управляющие воздействия и осуществляется обратная связь. Однако в некоторые моменты времени элементы АСУ ТП могут потерять работоспособность, и связь между ОУ и ИО, требуемого качества, может быть нарушена, т. е. последние теряют управляемость — становятся недоступными для доведения управляющих воздействий и выбывают из технологического процесса. Как итог, ОУ не может получить информацию о состоянии ИО и доводить управляющие воздействия.

Введем дополнительные ограничения:

1. Пусть известна вероятность безотказной работы каждого из ИО,  $p_i$ , где  $i = 1, 2, \dots, M$ , где  $M$  — число ИО (активных средств).
2. Вероятность того, что ОУ находится в работоспособном состоянии, равна 1.
3. Производственные возможности АСУ ТП прямо пропорциональ-

ны числу ИО.

С учетом дополнительных ограничений для решения задачи была выдвинута рабочая гипотеза, что в качестве показателя, характеризующего доступность информации в АСУ ТП, целесообразно выбрать или текущее число ИО для оценки ДИ в конкретный момент времени, или усредненное значение числа управляемых ИО по нескольким реализациям при статистическом моделировании или на определенном временном промежутке, например за время производственного цикла.

Таким образом, для оценки доступности необходимо иметь сведения о числе управляемых ИО (рис. 1). Если это число будет меньше некоторого порогового значения, то необходимо принять решение о восстановлении управляемости (рис. 2), т. е. решить соответствующую задачу синтеза.

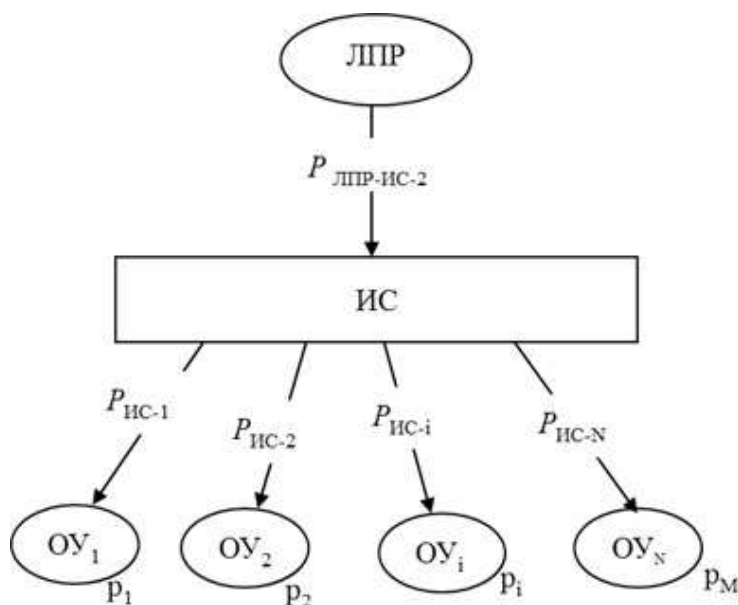


Рис. 1. Структурная избыточность

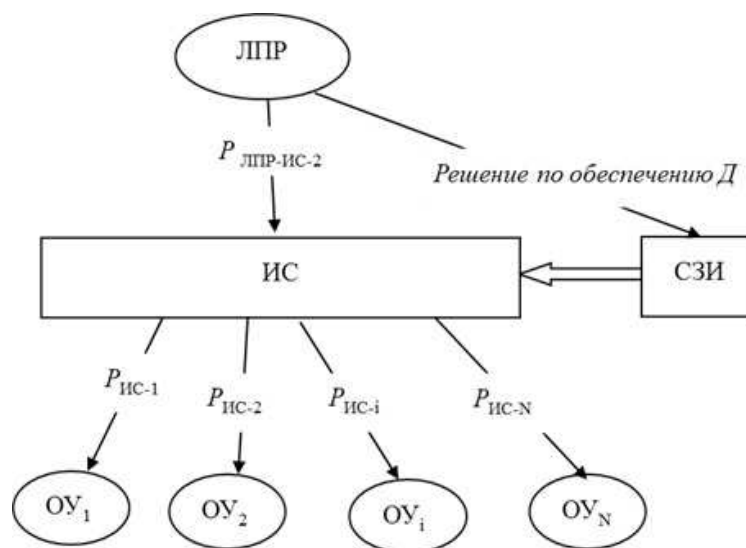


Рис. 2. Функциональная избыточность

Решение должно выбираться из множества альтернативных вариантов восстановления доступности и обязательно с учетом ограничений выделенного ресурса. Для обеспечения выбора необходимо оценивать на каждом шаге «вес», «значимость» и «вклад» каждого из элементов АСУ ТП. Эта задача имеет практическую значимость для ЛПР.

Из постановки задачи следует, что ее решение можно найти, применяя логико-вероятностные методы (ЛВМ) исследования надежности технических систем, которые используются в «теории надежности технических систем со структурной избыточностью» [7].

Логико-вероятностный метод (ЛВМ) включает две части:

1) логическую модель компьютерной сети АСУ ТП, где она отображается в виде структурных схем, мостиковых структур или в виде графа переходов. С помощью логической модели определяются структурные характеристики КС;

2) вероятностную модель компьютерной сети АСУ ТП, где она представляется в виде статистической модели, с помощью которой определяются статистические характеристики ДИ в КС.

Применение метода позволяет количественно оценить Доступность, а также определить роль конкретных элементов АСУ ТП в обеспечении ДИ.

При использовании ЛВМ оперируют структурными характеристиками элементов КС: «вес», «значимость» и «вклад» элемента при обеспечении ДИ:

«вес» позволяет оценить местоположение элемента в структуре КС;

«значимость» — местоположение элемента в структуре КС и зависимость его роли от вероятностных характеристик взаимодействующих элементов;

«вклад» — местоположение элемента в структуре КС, условие её функционирования и связь с вероятностью безотказной работы всех элементов КС, включая и сам оцениваемый элемент.

Для оценки роли того или иного элемента ИС в обеспечении ДИ необходимо оценить влияние приращения ДИ при извлечении из структуры соответствующего элемента или группы элементов.

Оценку ДИ предлагается осуществлять с применением функции работоспособности (ФРС) [6], с помощью которой представляется возможным описать условия работоспособности КС с помощью минимального набора работоспособных элементов АСУ ТП, который необходим для успешного функционирования, или с помощью минимального набора отказов элементов ИС, который не повлияет на её работоспособность (минимальное сечение отказов системы).



Далее рассмотрен метод расчета ФРС для вычисления вероятностных характеристик АСУ ТП, она же выполняет роль целевой функции.

Порядок применения логико-вероятностного метода для оценки ДИ:

1. Формулировка критерия отказа.
2. Построение логической ФРС состояния ИС с использованием сформулированного выше критерия отказа.
3. Преобразование ФРС с учетом цели исследования.
4. Преобразование логической формы ФРС в математическую.
5. Расчет вероятности безотказной работы АСУ ТП.

При решении задачи необходимо записать на языке алгебры логики условия работоспособности АСУ ТП, используя операции дизъюнкции, конъюнкции и отрицания [5].

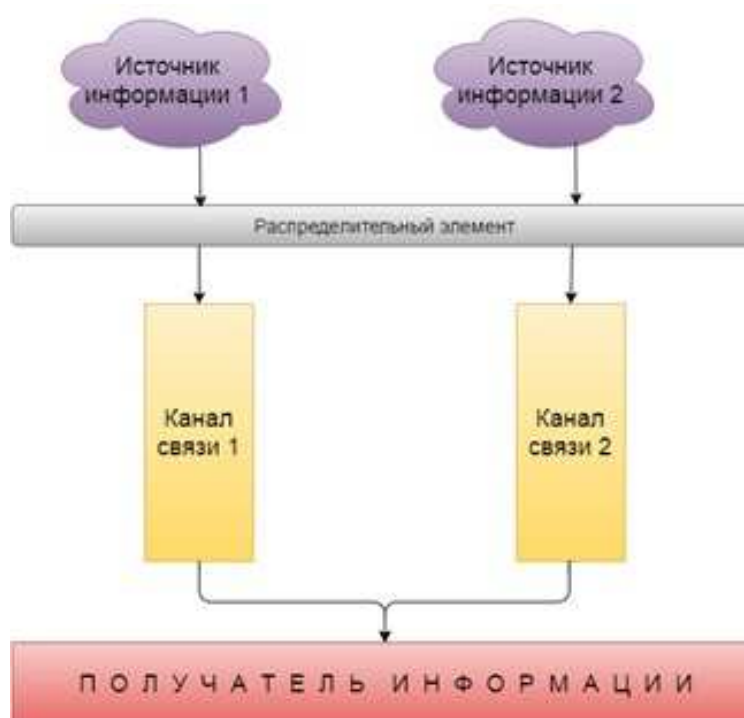


Рис. 3. Схема передачи информации пользователю

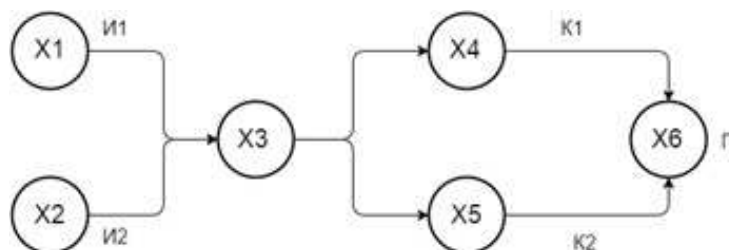


Рис. 4. Структурная мостиковая схема передачи информации пользователю

**Пример 1.** Определим вероятность безотказной работы  $P(t)$  КС, приведенной на рис. 3 и 4, при условии, что известны вероятности безотказной работы каналов  $p_1(t), p_2(t), p_3(t), p_4(t), p_5(t)$ .

**Решение:**

ДИ будет обеспечена при следующих условиях:

- исправны основной источник информации X1, распределительный элемент X3 и канал связи X4;
- исправны основной источник информации X1, распределительный элемент X3 и канал связи X5;
- исправны резервный источник информации X2, распределительный элемент X3 и канал связи X4;
- исправны резервный источник информации X2, распределительный элемент X3 и канал связи X5.

Запишем логическую ФРС:

$$y = (x_1 \wedge x_3 \wedge x_4) \vee (x_1 \wedge x_3 \wedge x_5) \vee (x_2 \wedge x_3 \wedge x_4) \vee (x_2 \wedge x_3 \wedge x_5).$$

Раскрыв скобки и используя закон идемпотентности  $a \vee a = a$  и закон поглощения  $a \wedge (a \vee b) = a$ , получим в окончательном виде:

$$y = x_1 \wedge x_2 \wedge x_3 \wedge (x_4 \vee x_5).$$

Заменяя в функции  $y$  логические операции математическими, получим:

$$y = x_1 \cdot x_2 \cdot x_3 \cdot (x_4 + x_5 - x_4 \cdot x_5).$$

Заменяя события  $x_1, x_2, x_3, x_4, x_5$  их вероятностями, определим количественное значение вероятности работоспособного состояния АСУ ТП:

$$y = p_{x_1}(t) \cdot p_{x_2}(t) \cdot p_{x_3}(t) \cdot \{p_{x_4}(t) + p_{x_5}(t) - p_{x_4}(t) \cdot p_{x_5}(t)\}.$$

Таким образом, можно найти вероятность связности получателя с источниками информации И1 и И2, которая будет являться вероятностью обеспечения доступности ИО.

По мере увеличения числа элементов ИС и усложнения её структуры становится труднее записать условия работоспособности с помощью функций алгебры логики. В таком случае можно использовать метод расчета с помощью несовместных гипотез [6].

Данный метод заключается в необходимости формулировки всех несовместных гипотез успешного функционирования АСУ ТП и расчета её доступности многократным поэтапным использованием формулы полной вероятности.

Таким образом, в результате проведенного научного исследования предложено методическое решение задачи по оценке доступности информации в АСУ ТП, имеющей практическую значимость.

Однако по материалам [4] следует, что аналитические методы исследования ДИ приемлемы для структур, содержащих порядка 100 элементов и 300 связей, а дальнейшее увеличение элементов модели ограничено допустимой вычислительной сложностью, при которой решение не

может быть найдено в приемлемые сроки с учетом производительности процессора. В [6] предложено решать такие задачи с помощью физической модели КС АСУ ТП.

Дальнейшие исследования направлены на разработку компьютерной модели [8] планируется построить виртуальный лабораторный стенд для исследования доступности КС АСУ ТП, а также на разработку рекомендаций по внедрению результатов исследований в практику организации АИБ

Результаты научного исследования докладывались на секции «Математическое моделирование в информационной безопасности» в рамках Национальной (всероссийской) научной конференции «Математическое моделирование и информационные технологии», проводимой в г. Сыктывкаре, СГУ им. Питирима Сорокина 7–9 ноября 2019 году.

Материалы публикации подготовлены с использованием гранта Благотворительного фонда Владимира Потанина.

## Список литературы

1. О безопасности критической информационной инфраструктуры Российской Федерации : федер. закон от 26 июля 2017 г. № 187-ФЗ: [принят Гос. думой 12 июля 2012 г.: одобрен Советом Федерации 19 июля 2017 г.] [Электронный ресурс]. URL: [http://www.consultant.ru/document/cons\\_doc\\_LAW\\_220885/](http://www.consultant.ru/document/cons_doc_LAW_220885/) (дата обращения: 07.11.2019).

50 *Воеводин В. А., Арзуманян Э. А., Ганенков Д. С., Чумаков А. А.*

2. **Макаренко С. И.** Аудит безопасности критической инфраструктуры специальными информационными воздействиями : монография. СПб.: Научное издание, 2018. 122 с.
3. ГОСТ Р ИСО 19011-2012 г. Руководящие указания по аудиту систем менеджмента. Введ. 2012-07-19 № 196-ст. М.: Стандартинформ, 2019. 75 с.
4. **Воеводин В. А., Кикоть И. Р.** Доступность информации и информационных сервисов сети связи. Оценка сложности моделирования // Сборник научных трудов: интеллектуальные системы в информационном противоборстве. В 2 т. под научн. ред. Н.И. Баяндина. М.: ФГБОУ ВО «РЭУ им. Г. В. Плеханова», 2018. С. 140–146.
5. О защите прав юридических лиц и индивидуальных предпринимателей при осуществлении государственного контроля (надзора) и муниципального контроля : федер. закон от 26 декабря 2008 г. № 294-ФЗ: [принят Гос. думой 19 декабря 2008 г.: одобрен Советом Федерации 22 июля 2008 г.] [Электронный ресурс]. URL: [http://www.consultant.ru/document/cons\\_doc\\_LAW\\_83079/](http://www.consultant.ru/document/cons_doc_LAW_83079/) (дата обращения: 07.11.2019).
6. **Авдуевский В. С., Кузнецов В. И., Кузнецов Н. Д. и др.** Надежность и эффективность в технике : справочник: В 10 т. Т. 5. Проектный анализ надежности. М.: Машиностроение, 1988. С. 58–124.

7. **Авдеевский В. С., Кузнецов В. И., Кузнецов Н. Д. и др.** Надежность и эффективность в технике : справочник: В 10 т. Т. 2. Математические методы в теории надежности и эффективности. М.: Машиностроение, 1987. 280 с.
8. ГОСТ Р 57412-2017. Компьютерные модели в процессах разработки, производства и эксплуатации изделий. Общие положения. Введ. 2017-03-10 № 110-ст. М.: Стандартинформ, 2018. 15 с.

### Summary

**Voevodin V. A., Arzumanyan E. A., Ganenkov D. S., Chumakov A. A.** About the mathematical model of assessing the availability of information in the automated process control system. Statement of the problem-solving methods

Based on the analysis of activities on organization of information security audit is the formulation of scientific tasks to assess the accessibility of information in automated control system of technological processes of practical relevance. The main provisions of the methodological approach to solving the problem are presented. To solve the problem, a working hypothesis was put forward about the feasibility of assessing the availability of information using the number of managed Executive objects. It is reported about the limitations of the technique, the directions of further research are indicated.

*Keywords: availability, information, automated control system, technological processes, Executive object, computer model.*

## References

1. «О безопасности критической информационной инфраструктуры Российской Федерации» от 26.07.2017 N 187-FZ: feder. zakon ot 26 iyulya 2017 g. № 187-FZ: [prinyat Gos. Dumoy 12 iyulya 2012 g.: odobren Sovetom Federatsii 19 iyulya 2017 g.] («On security of critical information infrastructure of the Russian Federation» dated 26.07.2017 N 187-FZ: Feder. law No. 187-FZ of 26 July 2017: [adopted by the state Duma on 12 July 2012: approved by the Federation Council on 19 July 2017]) [Electronic resource]. URL: [http://www.consultant.ru/document/cons\\_doc\\_LAW\\_220885/](http://www.consultant.ru/document/cons_doc_LAW_220885/) (date of the application: 07.11.2019).
2. **Makarenko S. I.** *Audit bezopasnosti kriticheskoy infrastruktury spetsial'nymi informatsionnymi vozdeystviyami* (Security Audit of critical infrastructure by special information impacts), Monograph, SPb.: Science-intensive technologies, 2018, 122 p.
3. GOST R ISO 19011-2012g. Rukovodyashchiye ukazaniya po auditu sistem menedzhmenta. Vved. 2012-07-19 № 196-st (GOST R ISO 19011-2012. Guidelines for audit of management systems), No. 2012-07-19 № 196-art, M.: STANDARTINFORM, 2019, 75 p.
4. **Voyevodin V. A., Kikot' I. R.** *Dostupnost' informatsii i informatsionnykh servisov seti svyazi. Otsenka slozhnosti modelirovaniya. Sbornik nauchnykh trudov* (Availability of information and information services of the communication network. Estimation of modeling complexity. Collection of scientific papers), pod nauchn. N. I. Bayandina: in 2 t, Moscow FGBOU VO «REU them. G. V. Plekhanova»,

2018, pp. 140–146.

5. «O zashchite prav yuridicheskikh lits i individual'nykh predprinimateley pri osushchestvlenii gosudarstvennogo kontrolya (nadzora) i munitsipal'nogo kontrolya» : feder. zakon ot 26 dekabrya 2008 g. № 294-FZ: [prinyat Gos. Dumoy 19 dekabrya 2008 g.: odobren Sovetom Federatsii 22 iyulya 2008 g.] («On the protection of the rights of legal entities and individual entrepreneurs in the exercise of state control (supervision) and municipal control» : Feder. law No. 294-FZ of 26 December 2008: [adopted by the state Duma on 19 December 2008: approved by the Federation Council on 22 July 2008]), [Electronic resource]. URL: [http://www.consultant.ru/document/cons\\_doc\\_LAW\\_83079/](http://www.consultant.ru/document/cons_doc_LAW_83079/) (date of the application: 07.11.2019).
6. **Avduyevskiy B. C., Kuznetsov V. I., Kuznetsov N. D., etc.** *Nadezhnost' i effektivnost' v tekhnike: Spravochnik* (Reliability and efficiency in technology: Handbook), in 10 vols, vol. 5, Project reliability analysis, Moscow: Mashinostroenie, 1988, pp. 58–124.
7. **Avduevsky B. C., Kuznetsov V. I., Kuznetsov N. D., etc.** *Nadezhnost' i effektivnost' v tekhnike: Spravochnik* (Reliability and efficiency in technology: Handbook), in 10 vols, vol. 2. Mathematical methods in the theory of reliability and efficiency. Moscow: Mashinostroenie, 1987, 280 p.
8. GOST R 57412-2017. Komp'yuternyye modeli v protsessakh razrabotki, proizvodstva i ekspluatatsii izdeliy. Obshchiye polozheniya. Vved. 2017-03-10 № 110-st (GOST R 57412-2017. Computer models in



the development, production and operation of products. Generalities. No. 2017-03-10 no. 110-art), М.: STANDARTINFORM, 2018, 15 p.

**Для цитирования:** Воеводин В. А., Арзуманян Э. А., Ганенков Д. С., Чумаков А. А. О математической модели оценки доступности информации в автоматизированной системе управления технологическими процессами. Постановка задачи. Методы решения // *Вестник Сыктывкарского университета. Сер. 1: Математика. Механика. Информатика. 2019. Вып. 4 (33). С. 38–54.*

**For citation:** Voevodin V. A., Arzumanyan E. A., Ganenkov D. S., Chumakov A. A. About the mathematical model of assessing the availability of information in the automated process control system. Statement of the problem-solving methods, *Bulletin of Syktvkar University. Series 1: Mathematics. Mechanics. Informatics*, 2019, 4 (33), pp. 38–54.