

26. *Kostin M.S., Shil'tsin A.V. Modelirovanie radiofotonnykh povtoriteley subnanosekundnykh signalov s drobnym mul'tipleksirovaniem [Modeling of radiophoton repeaters of subnanosecond signals with fractional multiplexing], Sb. tr. IV mezhdunarodnoy nauchno-prakticheskoy konf. «Aktual'nye problemy i perspektivy razvitiya radiotekhnicheskikh i infokommunikatsionnykh sistem («Radioinfokom-2019») [Proceedings of the IV International Scientific and practical Conference "Actual problems and prospects of development of radio engineering and infocommunication systems ("Radioinfocom-2019")]. Moscow: MIREA – Rossiyskiy tekhnologicheskii universitet, 2019, pp. 257-260.*

Статью рекомендовал к опубликованию д.т.н., профессор М.С. Костин.

**Бойков Константин Анатольевич** – ФГБОУ ВО «МИРЭА – Российский технологический университет», e-mail: nauchnyi@yandex.ru; Москва, Россия; кафедра радиоволновых процессов и технологий; к.т.н.

**Boikov Konstantin Anatol'evich** – Federal State Budget Educational Institution of Higher Education «MIREA – Russian Technological University»; e-mail: nauchnyi@yandex.ru; Moscow, Russia; the department of radio wave processes and technologies; cand. of eng. sc.

УДК 681.3

DOI 10.18522/2311-3103-2021-7-31-40

**С.А. Ткалич**

### **ГИБРИДНАЯ МЕТОДИКА ПРАКТИЧЕСКОЙ РЕАЛИЗАЦИИ СИСТЕМЫ ПРИНЯТИЯ РЕШЕНИЙ ПО ПРИОРИТЕТНОМУ РЕГУЛИРОВАНИЮ**

*Рассматривается задача построения системы принятия решений в рамках автоматизированных систем безаварийного управления технологическими процессами на основе моделей прогнозирования. Представлен анализ моделей и методов прогнозирования аварийных ситуаций. Сформулирована задача разработки методики практической реализации системы на основе интегрального критерия безаварийного управления, учитывающего запасы времени на приведение процесса в нормальное состояние (система прогнозирования аварийных ситуаций) и ресурсную составляющую (система плано-предупредительного обслуживания). Сделан вывод о целесообразности построения систем принятия решений и автоматизированных систем управления на основе моделей прогнозирования, как наиболее перспективного подхода к решению задачи безаварийного управления технологическими процессами. Принцип построения системы принятия решений основан на использовании интегрального критерия безаварийного управления. Представлена блок - схема алгоритма расчёта интегрального критерия безаварийного управления. Предложена гибридная методика практической реализации подобных систем на основе приоритетного регулирования, включающего в себя и штатный регулятор. Описана процедура формирования приоритетных регуляторов по данным прогноза. Приведена блок-схема алгоритма приоритетного регулятора, определяющего критический параметр на основе теории чувствительности. В случае положительного прогноза на аварию происходит выбор критического параметра по максимуму коэффициента чувствительности и на штатный регулятор из матрицы критических значений подается в качестве уставки минимальное или максимальное значение параметра в зависимости от знака скорости его изменения. Дана структура системы принятия решения на основе концепции безаварийного управления технологическими процессами. Станция безаварийного управления формирует данные для модуля принятия решения на основе композиционной модели прогнозирования аварийных ситуаций и интегрального критерия безаварийного управления. Приведена блок-схема алгоритма модуля принятия решения по приоритетному регулированию.*

*Прогнозирование; аварийная ситуация; технологический процесс; композиционная модель; интегральный критерий; модуль принятия решения; приоритетный регулятор.*

S.A. Tkalich

## HYBRID METHODIC FOR PRACTICAL IMPLEMENTATION OF THE SYSTEM OF DECISION-MAKING ON PRIORITY REGULATION

*The task of building a decision-making system within the framework of automated systems of accident-free control of technological processes based on forecasting models is considered. The analysis of models and methods of emergency forecasting is presented. The task of developing a methodology for practical implementation of the system based on the integral criterion of accident-free control, taking into account the time reserves to bring the process to a normal state (emergency forecasting system) and the resource component (preventive maintenance system) is formulated. The conclusion is made about the expediency of building decision-making systems and automated control systems based on forecasting models, as the most promising approach to solving the problem of accident-free control of technological processes. The principle of building a decision-making system is based on the use of the integral criterion of accident-free management. The block diagram of the algorithm for calculating the integral criterion of accident-free control is presented. Hybrid methodology for practical realization of such systems on the basis of priority regulation, which includes a standard regulator, is offered. The procedure of formation of priority regulators according to the forecast data is described. A block diagram of the algorithm of the priority regulator, which determines the critical parameter on the basis of sensitivity theory, is presented. In case of a positive forecast on an accident, the critical parameter is selected by the maximum of the sensitivity coefficient, and the minimum or maximum value of the parameter depending on the sign of its rate of change is fed to the standard regulator from the matrix of critical values as a set point. The structure of the decision-making system based on the concept of accident-free control of technological processes is given. The station of accident-free control forms the data for the decision-making module on the basis of the compositional model of emergency forecasting and the integral criterion of accident-free control. Algorithm block diagram of the decision making module for priority regulation is given.*

*Forecasting; emergency situation; technological process; composite model; integral criterion; decision making module; priority regulator.*

**Введение.** Анализ статистических методов оценки риска на опасных производственных объектах показывает, что применение в промышленности новых технологий, использование нетрадиционных технических решений не предполагает быстрого получения достаточного числа статистически достоверных данных по аварийности, а также безотказности эксплуатируемого оборудования [1, 2]. Расчеты вероятности аварийных ситуаций, как правило, необходимы лишь для сравнительного анализа различных вариантов, обоснования и оптимизации предлагаемых мер безопасности [3–5].

Применение экспертных систем принятия решений в безаварийном управлении связано с необходимостью использования, наряду с вероятностно-статистическими подходами, новых математических подходов к моделированию и обработке нечетких данных на основе экспертных оценок, нечетких множеств, логического подхода [6, 7]. Использование их наталкивается на трудности, связанные с отсутствием достаточной математической строгости и обоснованности ряда эвристических методов, с невозможностью учета различных семантических модальностей нечетких данных, с невозможностью унифицированного описания неопределенностей различной природы, со сложностью описания динамических процессов в условиях неопределенности в непрерывном времени.

Анализ моделей и методов прогнозирования аварийных ситуаций показывает, что несмотря на различные внешние проявления постепенных и внезапных отказов, в их основе лежат одни и те же процессы, которые в сочетании с внешними воздействиями приводят при длительном функционировании без ограничений на выходные характеристики к внезапному отказу [8, 9]. Модель, использующая функцию работоспособности применима лишь в случае, когда имеется возможность непосредственно определять параметры, от которых зависит критерий эф-

фективности системы [10, 11]. При использовании данного метода контроля необходима уверенность в целостности структуры контролируемой системы. Модель распознавания образов в любом случае требует этапа обучения. Система обслуживания по состоянию, несмотря на необходимость финансовых вложений для ее проектирования, разработки и внедрения, является технологическим решением, позволяющим не только снизить затраты на проведение обслуживания оборудования, но и исключить неопределенность в оценке состояния оборудования за счет постоянного контроля параметров объекта и выдачи решения о целесообразности проведения обслуживания [12–14].

**Постановка задачи.** Таким образом, анализ существующих подходов и их недостатков, требует разработки собственных математических моделей, методов и программных средств, позволяющих разработать интегральную концепцию безаварийного управления [15]. Очевиден вывод о целесообразности построения систем принятия решений и автоматизированных систем управления на основе моделей прогнозирования, как наиболее перспективного подхода к решению задачи безаварийного управления технологическими процессами. Такая система принятия решений должна иметь приоритет.

Необходимо разработать методику практической реализации системы принятия решений по приоритетному регулированию.

**Принцип построения системы принятия решений.** Принцип построения системы принятия решений (СПР) представлен на рис. 1.



Рис. 1. Принцип построения системы принятия решений:  
 СПАС – система прогнозирования аварийных ситуаций; ИК6/аУ – интегральный критерий безаварийного управления; СППО – система планово-предупредительного обслуживания; ЛПР – лицо, принимающее решение; АСУТП – автоматизированная система управления технологическим процессом

СПР построена на основе интегрального критерия безаварийного управления, учитывающего запасы времени на приведение процесса в нормальное состояние (система прогнозирования аварийных ситуаций) и ресурсную составляющую (система планово-предупредительного обслуживания) [16].

**Определение интегрального критерия безаварийного управления ИК6/аУ.** Состояние (критерий  $S$ ) управляемого технологического процесса может быть отнесено к одной из следующих ситуаций:

$$S = \begin{cases} S_1, & A = 0; \\ S_2, & A = 1, t_{\text{запаса}} \geq t_{\text{прив}}; \\ S_3, & A = 1, t_{\text{запаса}} < t_{\text{прив}} \end{cases} \quad (1)$$

где  $S_1$  – нормальная ситуация. Параметры процесса находятся в пределах номинальных значений, и система прогнозирования аварийной ситуации не указывает на её приближение: прогноз на аварию  $A=0$ ;

$S_2$  – предаварийная ситуация. Динамика параметра (параметров) процесса дает положительный прогноз на аварию  $A=1$ , но время  $t_{\text{запаса}}$ , оставшееся по прогнозу до аварии, превосходит время  $t_{\text{прив}}$ , необходимое системе для её предотвращения:  $t_{\text{запаса}} \geq t_{\text{прив}}$ , - т.е. запаса реального времени достаточно для перевода процесса из состояния  $S_2$  в состояние  $S_1$ ;

$S_3$  – авария. Термин «авария», точнее – «аварийная ситуация», здесь указывает не только на то, что авария произошла, т.е. процесс достиг предельного состояния, но и что при положительном прогнозе  $A=1$  процесс стал либо неуправляем, либо у системы управления недостаточно времени для предотвращения аварии:  $t_{\text{запаса}} < t_{\text{прив}}$ . В этой ситуации эксплуатация технологического объекта должна быть прекращена.

Блок-схема алгоритма расчёта интегрального критерия безаварийного управления представлена на рис. 2 [17].

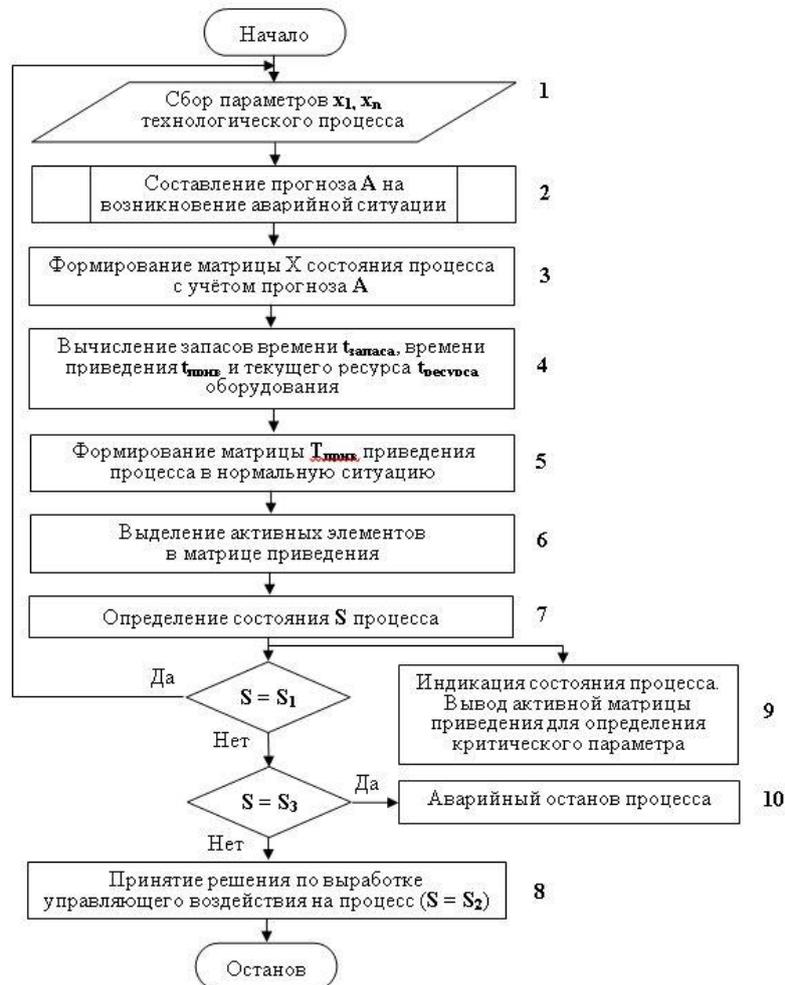


Рис. 2. Блок-схема алгоритма расчёта интегрального критерия безаварийного управления

**Принятие управляющего решения.** При возникновении ситуации  $S=S_1$  система безаварийного управления не предпринимает никаких действий и в циклическом режиме продолжается опрос параметров и расчёт значения  $S$ .

При  $S=S_3$  эксплуатация технологического объекта прекращается.

При  $S=S_2$  автоматически или с участием оператора принимается решение о способе приведения критического параметра процесса в норму.

**Формирование приоритетных регуляторов по данным прогноза.** При возникновении положительного прогноза на аварию (ситуация  $S_2$ ) система принятия решения имеет возможность в автоматическом режиме вернуть процесс в нормальное состояние путем формирования приоритетных регуляторов, изменяющих тактику управления по данным прогноза.

Блок-схема алгоритма приоритетного регулятора, определяющего критический параметр на основе теории чувствительности, представлена на рис. 3. Методика определения доминирующих параметров риска изложена в работах [18–20].

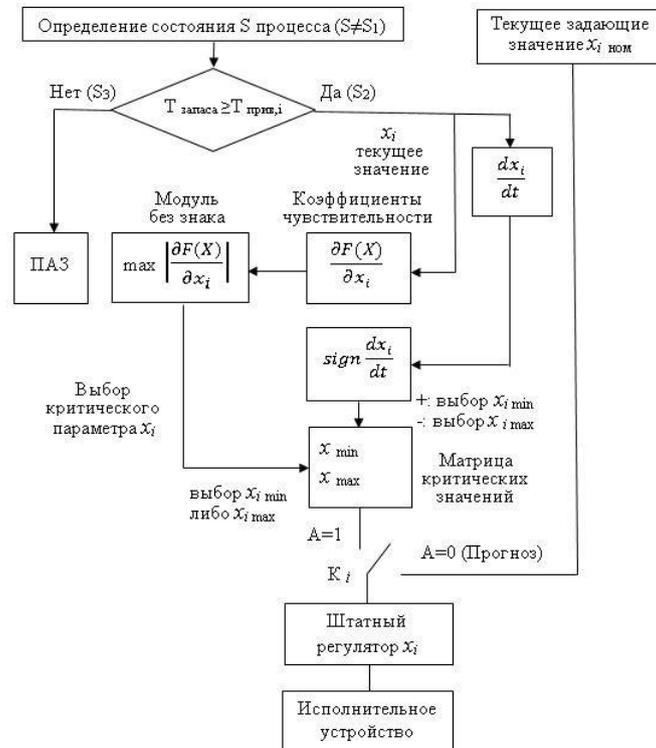


Рис. 3. Блок-схема алгоритма приоритетного регулятора

Если в процессе расчета ИКб/аУ (рис. 2) состояние процесса согласно выражению (1) идентифицируется как  $S_2$ , ключ  $K_i$  приоритетного регулятора переключается в положение  $A=1$ , происходит выбор критического параметра по максимуму коэффициента чувствительности и на штатный регулятор из матрицы критических значений подается в качестве уставки минимальное или максимальное значение параметра в зависимости от знака скорости изменения критического параметра. То есть включается либо «экстренное торможение», либо «форсирование».

Матрица критических значений контролируемых параметров формируется заранее. Это минимальное и максимальные допустимые значения каждого из параметров, определяемые регламентом данного технологического процесса.

Как только показатель Херста превысит значение 0,5, станция безаварийного управления Ст б/аУ начинает вычислять коэффициенты чувствительности для функции состояния  $\frac{\partial F(X)}{\partial x_i}$ . Отклонения параметров от номинальных значений происходят и в меньшую сторону, тогда получаются отрицательные значения коэффициентов. В этом случае значения коэффициентов чувствительности принимаются по модулю, а критический параметр определяется по максимальному коэффициенту чувствительности  $\max \left| \frac{\partial F(X)}{\partial x_i} \right|$ . Объясняется это тем, что коэффициент чувствительности представляет собой скорость изменения функции по определенному параметру, и для выявления доминирующего параметра важно только абсолютное значение скорости.

Знак скорости  $\text{sign} \frac{dx_i}{dt}$  определяет какое значение из матрицы критических значений выбрать  $x_{i\min}$  или  $x_{i\max}$ . Если сигнатура положительна, то есть параметр возрастает, то в качестве уставки необходимо принудительно задать  $x_{i\min}$  («экстренное торможение»). Если сигнатура отрицательна, то есть параметр снижается, то в качестве уставки необходимо принудительно задать  $x_{i\max}$  («форсирование»).

В случае определения критического параметра методом регрессионного анализа, процедура вычисления коэффициентов чувствительности в алгоритме приоритетного регулятора заменяется на процедуру вычисления коэффициентов эластичности, сравнение которых позволяет определить наиболее существенные параметры движения [11].

Если в результате работы приоритетного регулятора технологический процесс возвращается в состояние  $S_1$ , ключ  $K_i$  приоритетного регулятора переключается в положение  $A=0$  и АСУТП продолжает работу в штатном режиме.

Если же в процессе расчета ИКб/аУ состояние процесса идентифицируется как  $S_3$ , то включается система противоаварийной защиты ПАЗ.

**Структура системы принятия решения по приоритетному регулированию.** Структура системы принятия решения автоматизированной системы безаварийного управления (АС б/аУ ТП) имеет вид, представленный на рис. 4.

Станция безаварийного управления Ст б/аУ формирует данные для модуля принятия решения на основе композиционной модели прогнозирования аварийных ситуаций КМПАС и интегрального критерия безаварийного управления ИКб/аУ [16, 21].

Модуль принятия решения в критической ситуации передает управление либо лицу, принимающему решение (ЛПР), либо приоритетному регулятору (автоматический режим). Блок-схема алгоритма модуля принятия решения представлена на рис. 5.

Модуль принятия решения обрабатывает блоки 7-10 алгоритма расчета ИКб/аУ согласно рис. 2.

Новизна методики заключается в алгоритмах приоритетного регулятора и модуля принятия решения, отличающихся тем, что они построены на основе концепции безаварийного управления технологическими процессами, исключающей возможность нарушения или прекращения технологического процесса и использующей обобщенный критерий, интегрирующий в формате безаварийности математические и технические инструменты и учитывающий ресурсную составляющую. Методика определяет качественно новый подход к реализации структуры системы принятия решений на основе приоритетного регулирования.



Рис. 4. Структура системы принятия решения АС б/аУ ТП:  
 КМПАС – композиционная модель прогнозирования аварийных ситуаций;  
 Ст б/аУ – станция безаварийного управления; ИКб/аУ – интегральный критерий безаварийного управления; ЛПР – лицо, принимающее решение;  
 АСУТП – автоматизированная система управления технологическим процессом

При отсутствии прогноза на аварию  $A=0$  продолжается работа алгоритма расчёта интегрального критерия безаварийного управления в штатном режиме. При появлении сигнала прогноза на аварию  $A=1$  модуль принятия решения переключает систему на приоритетный регулятор при условии  $t_{запаса} \geq t_{прив,i}$ . Вычисление запаса времени  $t_{запаса}$  и времени приведения процесса в нормальное состояние  $t_{прив,i}$  происходит в блоках 4-6 алгоритма расчёта интегрального критерия безаварийного управления.

Определение критического параметра  $x_i$  происходит в блоке 9 алгоритма расчёта интегрального критерия безаварийного управления. Либо сам приоритетный регулятор определяет критический параметр на основе теории чувствительности или регрессионного анализа.



Рис. 5. Блок-схема алгоритма модуля принятия решения

Одновременно производится мониторинг состояния процесса, оценивается динамика критического параметра. В случае нормализации процесса, то есть при движении  $S$  к состоянию  $S_1$ , модуль принятия решения подтверждает работу приоритетного регулятора. В противном случае модуль принятия решения блокирует работу приоритетного регулятора и решение принимает оператор-технолог ЛПР.

**Заключение.** Предложена гибридная методика практической реализации системы принятия решений на основе приоритетного регулирования, включающего в себя и штатный регулятор. При возникновении положительного прогноза на аварию система принятия решений имеет возможность в автоматическом режиме вернуть процесс в нормальное состояние путем формирования приоритетных регуляторов, изменяющих тактику управления по данным прогноза. Новизна методики заключается в алгоритмах приоритетного регулятора и модуля принятия решения, отличающихся тем, что они построены на основе концепции безаварийного управления технологическими процессами, исключающей возможность нарушения или прекращения технологического процесса и использующей обобщенный критерий, интегрирующий в формате безаварийности математические и технические инструменты и учитывающий ресурсную составляющую. Методика определяет качественно новый подход к реализации структуры системы принятия решений на основе приоритетного регулирования.

#### БИБЛИОГРАФИЧЕСКИЙ СПИСОК

1. *Тюрин О.Г., Кальницкий В.С.* Принципы построения и практическая реализация высоконадежных АСУТП потенциально опасных производств // Автоматизация в промышленности. – 2007. – № 8. – С. 14.
2. *Тюрин О.Г., Кальницкий В.С., Жегров Е.Ф.* Управление потенциально опасными технологиями: монография. – М.: Инфа-инженерия, 2011. – 288 с.
3. *Глазунов Л.П., Грабовецкий В.П., Щербаков О.В.* Основы теории надежности автоматических систем управления. – Л.: Энергоатомиздат, 1984. – 208 с.
4. *Дианов В.Н.* Диагностика и надежность автоматических систем. – М.: МГИУ, 2004. – 160 с.
5. *Гражданкин А.И., Лисанов М.В., Печеркин А.С.* Использование вероятностных оценок при анализе безопасности опасных производственных объектов // Безопасность труда в промышленности. – 2001. – № 5. – С. 33-36.
6. *Воронин В.В.* Эвристические правила для диагностической экспертной системы // Автоматизация и современные технологии. – 2005. – № 10. – С. 3-10.
7. *Васильев Е.М., Прокофьева Д.М.* Нечеткое управление структурно неустойчивыми объектами // Вестник Воронежского государственного технического университета. – 2012. – Т. 8, № 10-1. – С. 8-12.
8. *Леденева Т.М.* Модели и методы принятия решений: учеб. пособие. – Воронеж: Воронеж. гос. техн. ун-т, 2004. – 189 с.
9. *Абрамов О.В.* Технология предупреждения отказов технических систем ответственного назначения // XII всероссийское совещание по проблемам управления ВСПУ-2014. Институт проблем управления им. В.А. Трапезникова РАН, 2014. – С. 7540-7545.
10. *Рыков А.С.* Модели и методы системного анализа: принятие решений и оптимизация: учеб. пособие для вузов. – М.: МИСИС, Издательский дом «Руда и металлы», 2005. – 352 с.
11. *Аноп М.Ф., Катусева Я.В.* Обеспечение безотказного функционирования уникальных технических систем на основе функционально-параметрического подхода // Надежность и качество: Тр. международного симпозиума. – 2016. – № 1. – С. 146-148.
12. *Юрков Н.К.* К проблеме обеспечения безопасности сложных систем // Надежность и качество-2011: Тр. международного симпозиума: в 2 т. Т. 1. – Пенза: Изд-во ПГУ, 2011. – С. 104-106.
13. *Абрамов О.В.* К проблеме предотвращения аварий технических объектов ответственного назначения // Надежность и качество сложных систем. – 2013. – № 1. – С. 11-16.

14. Дуболазов В.А. Оперативно-календарное планирование на промышленном предприятии. – СПб.: СПГУ, 2000. – 36 с.
15. Ткалич С.А. Безаварийное управление технологическими процессами: монография / под ред. д-ра техн. наук, проф. В.Л. Бурковского. – Воронеж: Изд-во «Научная книга», 2018. – 152 с.
16. Ткалич С.А. Интегральный критерий безаварийного управления технологическими процессами // Системы управления и информационные технологии. – 2009. – № 4-1 (38). – С. 188-191.
17. Ткалич С.А. Алгоритм расчета интегрального критерия безаварийного управления // Системы управления и информационные технологии. – 2011. – № 1.1 (43). – С. 176-179.
18. Ткалич С.А., Васильев Е.М. Идентификация состояния стохастических систем // Электротехнические комплексы и системы управления. – 2008. – № 1. – С. 44-46.
19. Ткалич С.А. Определение доминирующих параметров риска в системах прогнозирования аварийных ситуаций // Вестник Воронежского государственного технического университета. – 2010. – Т. 6, № 1. – С. 81-84.
20. Ткалич С.А. Анализ критических параметров аварийных ситуаций технологических процессов // Электротехнические комплексы и системы управления. – 2011. – № 2. – С. 69-71.
21. Tkalic S.A., Kravets O.Ja. Composite Prognostication Model of Emergencies at the Hazardous Industrial Enterprises // International Journal on Information Technologies and Security. – 2019. – No. 2 (vol. 11). – P. 29-34.

#### REFERENCES

1. Tyurin O.G., Kal'nitskiy V.S. Printsipy postroeniya i prakticheskaya realizatsiya vysokonadezhnykh ASUTP potentsial'no opasnykh proizvodstv [Principles of construction and practical implementation of high-reliability APCS of potentially hazardous productions], *Avtomatizatsiya v promyshlennosti* [Automation in Industry], 2007, No. 8, pp. 14.
2. Tyurin O.G., Kal'nitskiy V.S., Zhegrov E.F. Upravlenie potentsial'no opasnymi tekhnologiyami: monografiya [Managing potentially hazardous technologies: monograph]. Moscow: Infa-inzheneriya, 2011, 288 p.
3. Glazunov L.P., Grabovetskiy V.P., Shcherbakov O.V. Osnovy teorii nadezhnosti avtomaticheskikh sistem upravleniya [Fundamentals of the theory of reliability of automatic control systems]. Leningrad: Energoatomizdat, 1984, 208 p.
4. Dianov V.N. Diagnostika i nadezhnost' avtomaticheskikh sistem [Diagnostics and reliability of automatic systems]. Moscow: MGIU, 2004, 160 p.
5. Grazhdankin A.I., Lisanov M.V., Pecherkin A.S. Ispol'zovanie veroyatnostnykh otsenok pri analize bezopasnosti opasnykh proizvodstvennykh ob"ektov [The use of probabilistic assessments in the safety analysis of hazardous production facilities], *Bezopasnost' truda v promyshlennosti* [Occupational safety in industry], 2001, No. 5, pp. 33-36.
6. Voronin V.V. Evristicheskie pravila dlya diagnosticheskoy ekspertnoy sistemy [Heuristic rules for a diagnostic expert system], *Avtomatizatsiya i sovremennye tekhnologii* [Automation and modern technology], 2005, No. 10, pp. 3-10.
7. Vasil'ev E.M., Prokofeva D.M. Nechetkoe upravlenie strukturno neustoychivymi ob"ektami [Fuzzy control of structurally unstable objects], *Vestnik Voronezhskogo gosudarstvennogo tekhnicheskogo universiteta* [Bulletin of the Voronezh State Technical University], 2012, Vol. 8, No. 10-1, pp. 8-12.
8. Ledeneva T.M. Modeli i metody prinyatiya resheniy: ucheb. posobie [Decision-making models and methods: textbook]. Voronezh: Voronezh. gos. tekhn. un-t, 2004, 189 p.
9. Abramov O.V. Tekhnologiya preduprezhdeniya otkazov tekhnicheskikh sistem otvetstvennogo naznacheniya [Failure prevention technology for critical technical systems], *XII vserossiyskoe soveshchanie po problemam upravleniya VSPU-2014* [XII All-Russian Meeting on VSPU management problems-2014]. Institut problem upravleniya im. V.A. Trapeznikova RAN, 2014, pp. 7540-7545.
10. Rykov A.S. Modeli i metody sistemnogo analiza: prinyatie resheniy i optimizatsiya: ucheb. posobie dlya vuzov [Models and Methods of Systems Analysis]: Decision-Making and Optimization: textbook for universities]. Moscow: MISIS, Izdatel'skiy dom «Ruda i metally», 2005, pp. 352.

11. Anop M.F., Katueva Ya.V. Obespechenie bezotkaznogo funktsionirovaniya unikal'nykh tekhnicheskikh sistem na osnove funktsional'no-parametricheskogo podkhoda [Ensuring the failure-free operation of unique technical systems based on the functional-parametric approach], *Nadezhnost' i kachestvo: Tr. mezhdunarodnogo simpoziuma* [Reliability and quality-2011: Proceedings of the International Symposium], 2016, No. 1, pp. 146-148.
12. Yurkov N.K. K probleme obespecheniya bezopasnosti slozhnykh sistem [To the problem of ensuring the security of complex systems], *Nadezhnost' i kachestvo: Tr. mezhdunarodnogo simpoziuma* [Reliability and quality-2011: Proceedings of the International Symposium]: In 2 vol. Vol. 1. Penza: Izd-vo PGU, 2011, pp. 104-106.
13. Abramov O.V. K probleme predotvrashcheniya avariyn tekhnicheskikh ob"ektov otvetstvennogo naznacheniya [Toward the problem of preventing accidents at technical facilities for critical applications], *Nadezhnost' i kachestvo slozhnykh sistem* [Reliability and quality of complex systems], 2013, No. 1, pp. 11-16.
14. Dubolazov V.A. Operativno-kalendarnoe planirovanie na promyshlennom predpriyatii [Operational - calendar planning at an industrial enterprise]. Saint Petersburg: SPGU, 2000, 36 p.
15. Tkalic S.A. Bezavariynoe upravlenie tekhnologicheskimi protsessami: monografiya [Accident-free control of technological processes], ed. by dr. of eng. sc., professor V.L. Burkovskogo. Voronezh: Izd-vo «Nauchnaya kniga», 2018, 152 p.
16. Tkalic S.A. Integral'nyy kriteriy bezavariynogo upravleniya tekhnologicheskimi protsessami [Integral criterion of accident-free management of technological processes], *Sistemy upravleniya i informatsionnye tekhnologii* [Control systems and information technology], 2009, No. 4-1 (38), pp. 188-191.
17. Tkalic S.A. Algoritm rascheta integral'nogo kriteriya bezavariynogo upravleniya [Calculation algorithm of the integral criterion for accident-free operation], *Sistemy upravleniya i informatsionnye tekhnologii* [Management systems and information technologies], 2011, No. 1.1 (43), pp. 176-179.
18. Tkalic S.A., Vasil'ev E.M. Identifikatsiya sostoyaniya stokhasticheskikh sistem [State identification of stochastic systems], *Elektrotekhnicheskie komplekxy i sistemy upravleniya* [Electrotechnical complexes and control systems], 2008, No. 1, pp. 44-46.
19. Tkalic S.A. Opredelenie dominiruyushchikh parametrov riska v sistemakh prognozirovaniya avariynnykh situatsiy [Determination of the dominating risk parameters in systems of prediction of contingency situations], *Vestnik Voronezhskogo gosudarstvennogo tekhnicheskogo universiteta* [Bulletin of the Voronezh State Technical University], 2010, Vol. 6, No. 1, pp. 81-84.
20. Tkalic S.A. Analiz kriticheskikh parametrov avariynnykh situatsiy tekhnologicheskikh protsessov [Analysis of critical parameters of emergency situations of technological processes], *Elektrotekhnicheskie komplekxy i sistemy upravleniya* [Electrical complexes and control systems], 2011, No. 2, pp. 69-71.
21. Tkalic S.A., Kravets O.Ja. Composite Prognostication Model of Emergencies at the Hazardous Industrial Enterprises, *International Journal on Information Technologies and Security*, 2019, No. 2 (vol. 11), pp. 29-34.

Статью рекомендовал к опубликованию д.ф.-м.н., профессор Г.А. Угольницкий.

**Ткалич Сергей Андреевич** – Воронежский государственный технический университет; e-mail: sergeytkalich@mail.ru; г. Воронеж, Россия; к.т.н., доцент.

**Tkalic Sergey Andreevich** – Voronezh State Technical University; e-mail: sergeytkalich@mail.ru; Voronezh, Russia; cand. of eng. sc.; assistant professor.