

ФУНДАМЕНТАЛЬНЫЕ ОСНОВЫ ПРОБЛЕМ НАДЕЖНОСТИ И КАЧЕСТВА

FUNDAMENTALS OF RELIABILITY ISSUES AND QUALITY

УДК 517.98:519.2:621.039

DOI 10.21685/2307-4205-2019-1-1

В. А. Острейковский, С. А. Лысенкова, Е. Н. Шевченко

ФЕНОМЕН АСИММЕТРИИ ВНУТРЕННЕГО ВРЕМЕНИ С УЧЕТОМ НЕУСТОЙЧИВОСТИ И НЕОБРАТИМОСТИ ПРОЦЕССОВ В ТЕОРИИ ПРОГНОЗИРОВАНИЯ СОСТОЯНИЯ СЛОЖНЫХ ДИНАМИЧЕСКИХ СИСТЕМ

V. A. Ostreykovskiy, S. A. Lysenkova, E. N. Shevchenko

PHENOMENON OF ASYMMETRY OF INTERNAL TIME, TAKING INTO ACCOUNT THE INSTABILITY AND IRREVERSIBILITY OF PROCESSES IN THE THEORY OF FORECASTING THE STATE OF COMPLEX DYNAMICAL SYSTEMS

Аннотация. *Актуальность и цели.* Для повышения надежности и безопасности сложных критически важных систем при их длительной эксплуатации возникает необходимость использования современных подходов к оценке ресурса и срока службы с учетом эффекта асимметрии времени «прошлое – настоящее – будущее». *Материалы и методы.* Для реализации этой идеи проведен анализ расчета показателей долговечности по традиционным критериям длительной прочности и вероятностно-статистическим методам для систем, у которых искомый ресурс и срок службы составляет 30–50 и более лет, изготавливаемых малыми сериями, а иногда и вообще в единичных экземплярах. Показано, что использование современных методов функционального анализа может повысить точность прогноза состояния сложных макроскопических технических систем. *Результаты и выводы.* Сделаны выводы о возможности повышения характеристик надежности и безопасности СФСС при применении нового подхода, учитывающего фактор асимметрии времени в теории долговечности сложных технических систем. Например, основным теоретическим фундаментом является оценка внутреннего времени функционирования систем.

Abstract. *Background.* To increase the reliability and safety of complex critical systems during their long-term operation, it becomes necessary to use modern approaches to estimating the life and service life, taking into account the effect of time-past-present-future asymmetry. *Materials and methods.* To realize this idea, the analysis of calculation of longevity indicators by traditional criteria of long-term strength and probabilistic-statistical methods for systems in which the required life and service life is 30–50 years or more, produced in small series, and sometimes even in single copies. It is shown that the use of modern methods of functional analysis can improve the accuracy of the forecast of the state of complex macroscopic technical systems. *Results and conclusions.* Conclusions are made about the possibility of increasing the reliability and safety characteristics of the SSSF in applying a new approach that takes into account the time asymmetry factor in the theory of durability of complex technical systems. For example, the main theoretical foundation is the evaluation of the internal time of the functioning of systems.

Ключевые слова: асимметрия времени, неустойчивость, необратимость, ресурс, срок службы.

Keywords: time asymmetry, instability, irreversibility, resource, service life.

Введение

В статье [1] проанализирован оператор внутреннего времени T в зависимости от состояния неустойчивости системы. Естественно, что возникает необходимость аналогичного исследования оператора T от свойства необратимости в теории прогнозирования состояния структурно и функционально сложных систем (СФСС).

Именно, по мнению И. Р. Пригожина, «необратимость как деятельность, протекающая в пространстве-времени, приводит к изменению его структуры. На смену статистическому двуединству пространства и времени приходит более динамическое двуединство «временованного» пространства» [2].

«...Необратимость существует не только на уровне динамических систем, но и на уровне макроскопической физики (например, в турбулентности), биологии или социологии. Следовательно, мы имеем дело с иерархией внутренних времен... Многие наши проблемы, ярко описанные Минковским [3], обусловлены конфликтом между масштабами внутреннего времени в нас самих и масштабами внутреннего времени в окружающем нас мире» [2, с. 216–217]. Это же подчеркивается в работах Уайтхеда [4] и Хайдеггера [5].

Постановка задачи

В задачах прогнозирования состояния СФСС длительного использования чрезвычайно остро стоит вопрос оценки остаточного ресурса.

В настоящее время для микроскопических систем основным критерием этой оценки является второе начало термодинамики. При этом основное внимание до недавнего времени уделялось неустойчивым процессам, в то время как задачи учета необратимости оставались несколько в стороне. А так как в сложных макроэкономических системах свойства неустойчивости и необратимости, как правило, проявляются в комплексе, то решению такой задачи должно быть уделено первостепенное внимание. Именно этой задаче и посвящается предлагаемая статья.

Основная часть

При решении поставленной задачи возможны различные по содержанию подходы. Один из них состоит в анализе «второго» внутреннего времени и его связи с необратимыми процессами. Теоретически необратимость возникает из-за использования в классической и квантовой механике идеализаций, выходящих за пределы возможности измерений, производимых с конечной точностью. Наблюдаемая необратимость является характерной особенностью теорий, надлежащим образом учитывающих природу и ограниченность наблюдения. Так утверждает И. Р. Пригожин [2, с. 187], но это утверждение вызывает серьезные сомнения. Тем более, что тут же автор сам себе противоречит: «Но, может быть, существует более тонкая форма реальности, охватывающая законы, время и вечность, с попыткой выйти за рамки наблюдаемого».

«К числу наиболее интересных новых понятий можно отнести оператор микроскопической энтропии M и оператор времени T ». При этом вводится понятие «второго» внутреннего времени, совершенно отличного от времени, нумерующего в классической или квантовой механике траектории или волновые функции... Этот оператор времени удовлетворяет новому соотношению неопределенности с оператором Лиувилля L . Средние значения внутреннего времени $\langle T \rangle$ и $\langle T^2 \rangle$ можно определить с помощью билинейных форм

$$\begin{aligned} \langle T \rangle &= \text{tr} \rho^T T \rho, \\ \langle T^2 \rangle &= \text{tr} \rho^T T^2 \rho. \end{aligned} \quad (1)$$

«Обычное» время – динамический параметр – становится средним оператора нового времени. Это следует из соотношения неопределенности

$$-i|L, T| = -i(LT - TL) = I, \quad (2)$$

где I – единичный оператор.

Из выражения (2) можно получить следующее:

$$\frac{d}{dt} \langle T \rangle = \frac{d}{dt} \text{tr} \left[(e^{-iLt} \rho)^T T e^{-iLt} \rho \right] = \text{itr} \left[\rho^T e^{iLt} (LT - TL) e^{-iLt} \rho \right] = \text{tr} \rho^T \rho = \text{const}. \quad (3)$$

В частном случае выбором подходящей нормировки константу в правой части (3) можно сделать равной единице. Тогда

$$dt = d \langle T \rangle. \quad (4)$$

В простом случае среднее внутреннее время T совпадает с астрономическим временем, измеряемым параметром t . Однако такое совпадение не приводит ни к каким недоразумениям: время T имеет совершенно иной характер, поскольку возникает из неустойчивости движения динамической системы... В этом случае «возраст» не зависит от вида распределения в фазовом пространстве.

Наоборот, из нового понятия следует, что возраст системы зависит от самого распределения и, таким образом, не является более внешним параметром как в традиционной формулировке.

Такой новый подход глубоко изменяет наше традиционное представление о времени, которое возникает как своего рода среднее от «индивидуальных времен ансамбля» (рис. 1) [2, с. 182–183].

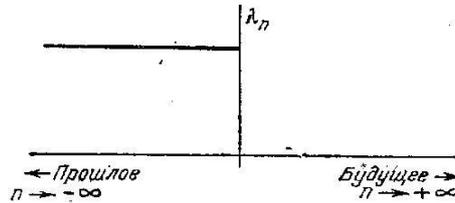


Рис. 1. Переход от прошлого ($n \rightarrow -\infty$) к будущему ($n \rightarrow +\infty$) в пределе $\tau_c \rightarrow 0$

В дополнение к изложенному выше нельзя исключить из рассмотрения и другой научный подход, в котором исследуется, что между прошлым и будущим может располагаться переходный слой «толщиной» порядка τ_c [1, 2, 6, 9]. Поэтому рассмотрим использование преобразования Λ , которое связано с введением «нелокальности» во времени. Наличие времени τ_c показывает возможность использования преобразования Λ для ввода нелокальности и в фазовое пространство. Для доказательства этого утверждения обратимся к примеру преобразования пекаря. «Пусть функция распределения ρ в начальный момент времени имеет вид

$$\rho_0 = 1 + \chi_n. \quad (5)$$

«Такая функция распределения обращалась бы в нуль в тех частях фазового пространства, где $\chi_n = -1$, и была бы отлична от нуля там, где $\chi_n = +1$ ».

Рассмотрим теперь «физическое» распределение $\tilde{\rho}$

$$\tilde{\rho} = \Lambda \rho_0 = 1 + \lambda_n \chi_n \approx 1 + \frac{1}{1 + e^{t/\tau_c}} \chi_n. \quad (6)$$

Так как $0 \leq \lambda_n \leq 1$, то функция $\tilde{\rho}$ отличается от нуля во всем фазовом пространстве. Аналогично, если бы начальное распределение было δ -функцией, сосредоточенной в окрестности некоторой точки ω_0 фазового пространства, то распределение $\Lambda \delta$ было бы делокализованным ансамблем, изображенным на рис. 1.

Нетрудно проверить, что в частном случае, изображенном на рис.1, $\Lambda \delta$ соответствовало бы сжимающему слою, проходящему через точку ω_0 . Переход к вероятностному процессу вводит делокализацию и в пространстве и во времени, ...т.е. появляется идея «овременивания» пространства, поскольку делокализация в пространстве будет измеряться характерным временем τ_c [2, с. 207].

Известно, что под действием динамической группы U_t δ -функция остается локализованной во времени, а действие полугруппы W_t приводит к появлению вероятностей перехода и разрушает ло-

кализацию траектории. Также нетрудно показать, что понятие траектории теряет смысл за время порядка t/τ_c .

Представляет большой интерес рассмотреть с точки зрения нового подхода анализ внутреннего времени T , введенного в самом начале для описания микроскопического смысла необратимости. С этой целью напомним формулировку второго начала термодинамики: энтропия S монотонно возрастает до тех пор, пока не достигнет своего максимального значения в состоянии термодинамического равновесия:

$$\frac{dS}{dt} \geq 0. \tag{7}$$

Эта формулировка Клаузиуса обобщается на системы, обменивающиеся энергией и веществом с внешним миром. В нашем случае для того, чтобы перейти на макроскопический уровень, необходимо пренебречь флуктуациями внутреннего времени и, следовательно, можно рассматривать энтропию S как функцию среднего времени $\langle T \rangle$. Для изолированных систем макроскопический вариант второго начала термодинамики утверждает, что

$$\frac{dS}{dt} = \frac{\partial S}{\partial \langle T \rangle} \frac{\partial \langle T \rangle}{\partial t} \geq 0. \tag{8}$$

Из формулы (8) видно, что производная от энтропии по t разлагается на произведение двух положительных величин: первый сомножитель показывает, что энтропия есть возрастающая функция внутреннего времени, а второй сомножитель – внутреннее время, в среднем течет в том же направлении, как и динамическое время.

Как известно [2], при традиционном подходе классической механики в микроскопической формулировке второго начала термодинамики существует различие между начальными условиями и законами эволюции. Начальные условия соответствуют заданию некоторого «состояния» (в частности, в классической механике – точки в фазовом пространстве), в то время как уравнение определяется законом. Ясно, что между состояниями и законами существует взаимосвязь, поскольку состояния возникают в результате предшествующей динамической эволюции.

В этом плане чрезвычайный интерес представляет сравнение результатов оценки ресурса объектов, полученных, например, с использованием данных об эрозионно-коррозионном износе металла стенки и по моделям с учетом асимметрии внутреннего времени [8].

Взаимосвязям состояний и законов можно придать более явный характер, если воспользоваться следующими понятиями, приведенными в [2, с. 203]:

$$\rho_0 = \sum_{n=-\infty}^{\infty} C_n \varphi_n + 1 \tag{9}$$

и

$$\tilde{\rho}_0 = \sum_{n=-\infty}^{\infty} C_n \lambda_n \varphi_n + 1, \tag{10}$$

где ρ (или $\tilde{\rho}$) – функции распределения по собственным функциям оператора внутреннего времени T .

В (9) будущее и прошлое входят симметрично.

Так как

$$\rho_1 = U\rho_0 = \sum_{n=-\infty}^{\infty} C_n \varphi_{n+1} + 1 \tag{11}$$

и

$$\tilde{\rho}_1 = \sum_{n=-\infty}^{\infty} C_n \lambda_{n+1} \varphi_{n+1} + 1, \tag{12}$$

то ясно, что «унитарное преобразование осуществляет перенос симметрии: числовые коэффициенты при φ_n изменяются, но фундаментальная временная симметрия сохраняется, т.е. можно сказать, что

унитарные, сохраняющие меру законы распространяют (в прошлое и в будущее) состояния, симметричные во времени.

Ситуация резко изменяется, если обратиться к соотношению (12) для образа распределения $\tilde{\rho} = \Lambda\rho$. Поскольку λ_n при $n \rightarrow +\infty$ убывают, вклады разбиений, принадлежащих будущему, «затухают».

Прошлое и будущее входят *несимметрично*: состояния обладают своего рода временной «поляризацией». Такие состояния могут возникнуть только в результате эволюции, которая сама обладает временной поляризацией и сохранит эту поляризацию в будущем.

Итак, принятие второго начала термодинамики в качестве динамического принципа приводит к далеко идущим следствиям о пространстве, времени и динамике.

Следствие 1. Внутреннее время существует только для неустойчивых динамических систем. Это было показано в работах [1, 2]. Если в соответствии с [1, 2] среднее внутреннее время $\langle T \rangle$ согласуется с динамическим временем t , например, в таких ситуациях, как преобразование пекаря, то смешивать T и t нельзя, ибо понятия внешнего и внутреннего времени совершенно различны, хотя их можно измерять по наручным часам.

Следствие 2. При анализе прогнозирования состояния сложной динамической системы является наиболее удовлетворительным рассмотрение их внутреннего описания необратимости путем отображения эволюции во времени с использованием полугруппы и перехода к вероятностным процессам, которые позволяют ввести делокализацию и в пространстве, и во времени (так называемому «овремениванию» пространства).

Следствие 3. Так как в основе общей теории относительности лежит понятие четырехмерного интервала ds^2 и координаты в пространстве-времени, используемые для описания ds^2 , считаются произвольными, то в частном случае космологической модели с пространственными гиперповерхностями отрицательной кривизны можно ввести внутреннее время, тесно связанное с обычным космическим временем. Хотя в общем случае такое утверждение неверно.

Следствие 4. Поведение отдельных траекторий систем весьма чувствительно к начальным условиям. Но если воспользоваться преобразованием Λ и перейти к нелокальному описанию, то основное внимание будет сосредоточено не на поведении точек, а на поведении «малых» областей. В отличие от описания на языке траекторий нелокальное описание устойчиво. В этом случае все области фазового пространства расщепляются на области меньших размеров, которые в пределе покрывают все фазовое пространство.

Следствие 5. Состояния и законы находятся в тесной взаимосвязи. Существуют самосохраняющиеся формы начальных условий. Начальное условие приходится на момент времени, выбираемый произвольно. Он не обладает никакими специфическими свойствами, которые выделяли бы его среди прочих моментов времени. Из существования законов, ориентированных во времени, таких как возрастание энтропии по направлению к будущему, следует существование и такого рода состояний систем, ориентированных во времени. Следовательно, симметричное состояние должно возникать из другого симметричного состояния и со временем переходить в какое-то симметричное состояние. Аналогично, состояние с нарушенной симметрией должно возникать из однотипного состояния и со временем переходить в какое-то состояние того же типа [9–11].

Инвариантность характера состояний приводит к тесной взаимосвязи состояний и законов, т.е. взаимосвязи прошлого, настоящего и будущего. Настоящее связано с состояниями, будущее – с законами (уравнениями), по которым преобразуются состояния.

Таким образом, если настоящее имеет ориентацию во времени, то и будущее будет обладать нарушенной временной симметрией.

Следствие 6. Так как в природе выполняется второе начало термодинамики, которое применимо только к системам в значительной степени неустойчивым, то неустойчивость и необратимость тесно связаны между собой: необратимое, ориентированное время может появиться только потому, что *будущее не содержится в настоящем*.

В этом плане известные постулаты феномена времени А. А. Маркова, Н. М. Седякина и К. Шеннона [7, 12] применимы только для класса устойчивых систем.

В последние двенадцать лет на кафедре информатики и вычислительной техники Сургутского государственного университета совместно с сотрудниками кафедры АСУ Обнинского ИАТЭ выполнен ряд исследований в области оценки показателей долговечности элементов и подсистем оборудования ядер-

ных энергетических установок и магистральных и нефтепромысловых трубопроводов нефти и газа. Основные результаты этих исследований изложены в монографиях и статьях, приведенных в списке литературы [8].

Заключение

Приведенная в статье краткая характеристика основных направлений и трудно решаемых задач в проблеме «прошедшее – настоящее – будущее» применительно к обоснованию остаточных ресурсов при оценке долговечности макроскопических технических систем позволяет сделать следующие выводы:

1. В первую очередь, необходимы дальнейшие исследования в следующих направлениях:
 - 1) разработка математических методов анализа и количественной оценки асимметрии внутреннего времени в теории прогнозирования состояния макроскопических сложных динамических систем на разных уровнях описания их жизненного цикла;
 - 2) разработка вычислительных методов для построения математических моделей анализа асимметрии времени;
 - 3) разработка информационных технологий, реализующих данные модели;
 - 4) разработка проекта фундаментального исследования в области развития и применения методов количественной оценки учета асимметрии внутреннего времени в прогнозировании и достижении сроков проектной и запроектной эксплуатации высоко опасных и критически важных сложных динамических систем.
2. К перспективным и труднорешаемым проблемам в настоящее время следует отнести:
 - разработку математических моделей анализа и количественной оценки асимметрии времени в теории прогнозирования состояния сложных макроскопических динамических систем;
 - разработку и исследование проблемы прогнозирования и количественной оценки остаточного ресурса на всех уровнях «прошлое – настоящее – будущее» сложных технических критически важных систем;
 - разработку вычислительных методов расчета количественной оценки асимметрии времени сложных макроскопических динамических систем.

3. На наш взгляд, данные направления исследований в итоге должны стать основой для разработки «Программы развития фундаментальных методов учета асимметрии внутреннего времени на всех этапах жизненного цикла сложных технических комплексов».

В заключение авторы считают необходимым отметить, что трудно не согласиться с замечанием Ю. Л. Климонтовича к книге И. Р. Пригожина «От существующего к возникающему: время и сложность в физических науках»: «Значение и роль необратимых физических процессов для биологических систем были поняты значительно раньше, чем сформировалась современная статистическая и термодинамическая теория необратимых процессов. основополагающими здесь являются работы В. И. Вернадского, и заложенные в них положения науки о биосфере уже содержали представления современной теории самоорганизации» [12–15].

Библиографический список

1. *Острейковский, В. А.* Феномен асимметрии внутреннего времени при прогнозировании состояния сложных динамических систем / В. А. Острейковский, Т. Ю. Денисова, Е. Н. Шевченко // Вестник кибернетики. – 2017. – № 4. – С. 183–190.
2. *Пригожин, И.* От существующего к возникающему: время и сложность в физических науках : пер. с англ. / И. Пригожин ; под ред. и с послесл. Ю. Л. Климонтовича. – Изд. 2-е, доп. – Москва : Едиториал УРСС, 2002. – 288 с.
3. *Minkovski, E.* Le Temp Vecu / E. Minkovski. – Neuchatel : De la Chaux et Niestle, 1968.
4. *Уайтхед, А. Н.* Избранные работы по философии / А. Н. Уайтхед. – Москва : Прогресс, 1990. – 720 с.
5. *Хайдеггер, М.* Бытие и время / М. Хайдеггер ; пер. с нем. В. В. Бибихина. – Санкт-Петербург : Наука, 2006. – 452 с.
6. *Ляпунов, А. М.* Собрание сочинений / А. М. Ляпунов. – Москва ; Ленинград, 1956. – Т. 2. – 263 с.
7. *Острейковский, В. А.* Постулаты парадокса времени в теории прогнозирования техногенного риска сложных систем / В. А. Острейковский // Перспективные направления развития отечественных информационных технологий : материалы II Межрегион. науч.-практ. конф. (Севастополь, 13–17 сентября 2016 г.) / науч. ред. Б. В. Соколов. – Севастополь : СевГУ, 2016. – С. 105–106.

8. Антонов, А. В. Ресурс и срок службы оборудования энергоблоков атомных станций (на примере энергоблоков Смоленской АЭС) / А. В. Антонов, В. А. Острейковский. – Москва : Инновационное машиностроение, 2017. – 536 с.
9. Артамонов, Д. В. Методика проведения экспериментально-теоретических динамических исследований в процессе проектирования приборных устройств / Д. В. Артамонов, А. Н. Литвинов, Н. К. Юрков // Надежность и качество сложных систем. – 2017. – № 4 (20). – С. 28–34. – DOI 10.21 685/2307-2017-4-4.
10. Хади, О. Ш. Конструкторско-технологические аспекты проектирования микросборок, работающих при динамическом нагружении / О. Ш. Хади, А. Н. Литвинов, Н. К. Юрков // Надежность и качество сложных систем. – 2016. – № 3 (15). – С. 41–48.
11. Голушко, Д. А. Методика исследования динамических характеристик технических систем на основе рас- согласования фаз внешнего вибрационного воздействия / Д. А. Голушко, А. В. Затылкин, Н. К. Юрков // Надежность и качество сложных систем. – 2014. – № 4 (8). – С. 98–103.
12. Денисова, Т. Ю. Онтология феномена времени в теории прогнозирования техногенного риска сложных динамических систем: монография / Т. Ю. Денисова, В. А. Острейковский. – Surgut : Печатный мир, 2017. – 253 с.
13. Острейковский, В. А. Феномен асимметрии времени в теории неустойчивых и необратимых процессов сложных динамических систем : монография / В. А. Острейковский. – Surgut : Печатный мир, 2017. – 268 с.
14. Вернадский, В. И. Размышления натуралиста / В. И. Вернадский. – Москва : Живое слово, 1977. – Кн. 2. – 192 с.
15. Юрков, Н. К. Модели и алгоритмы управления интегрированными производственными комплексами : монография / Н. К. Юрков. – Пенза : Инф.-изд. центр ПГУ, 2003. – 198 с.

References

1. Ostreykovskiy V. A., Denisova T. Yu., Shevchenko E. N. *Vestnik kibernetiki* [Bulletin of Cybernetics]. 2017, no. 4, pp. 183–190. [In Russian]
2. Prigozhin I. *Ot sushchestvuyushchego k voznikayushchemu: vremya i slozhnost' v fizicheskikh naukakh: per. s angl.* [From existing to emerging: time and complexity in the physical Sciences : translation from english]. 2nd ed. suppl. Moscow: Editorial URSS, 2002, 288 p. [In Russian]
3. Minkovski E. *Le Temp Vecu* [The Temp Lived]. Neuchatel: De la Chaux et Niestle, 1968.
4. Uaytkhed A. N. *Izbrannye raboty po filosofii* [Selected works on philosophy]. Moscow: Progress, 1990, 720 p. [In Russian]
5. Khaydegger M. *Bytie i vremya* [Being and time]. Transl. from German by V. V. Bibikhin. Saint-Petersburg: Nauka, 2006, 452 p. [In Russian]
6. Lyapunov A. M. *Sobranie sochineniy* [Collected works]. Moscow; Leningrad, 1956, vol. 2, 263 p. [In Russian]
7. Ostreykovskiy V. A. *Perspektivnye napravleniya razvitiya otechestvennykh informatsionnykh tekhnologiy: materialy II Mezhhregion. nauch.-prakt. konf. (Sevastopol', 13–17 sentyabrya 2016 g.)* [Promising directions of development of domestic information technologies : materials II inter-region. science.-prakt. conf. (Sevastopol, 13–17 September 2016)]. Sevastopol: SevGU, 2016, pp. 105–106. [In Russian]
8. Antonov A. V., Ostreykovskiy V. A. *Resurs i srok sluzhby oborudovaniya energoblokov atomnykh stantsiy (na primere energoblokov Smolenskoj AES)* [Resource and service life of nuclear power plant units equipment (on the example of Smolensk NPP units)]. Moscow: Innovatsionnoe mashinostroenie, 2017, 536 p. [In Russian]
9. Artamonov D. V., Litvinov A. N., Yurkov N. K. *Nadezhnost' i kachestvo slozhnykh sistem* [Reliability and quality of complex systems]. 2017, no. 4 (20), pp. 28–34. DOI 10.21 685/2307-2017-4-4. [In Russian]
10. Khadi O. Sh., Litvinov A. N., Yurkov N. K. *Nadezhnost' i kachestvo slozhnykh sistem* [Reliability and quality of complex systems]. 2016, no. 3 (15), pp. 41–48. [In Russian]
11. Golushko D. A., Zatytkin A. V., Yurkov N. K. *Nadezhnost' i kachestvo slozhnykh sistem* [Reliability and quality of complex systems]. 2014, no. 4 (8), pp. 98–103. [In Russian]
12. Denisova T. Yu., Ostreykovskiy V. A. *Ontologiya fenomena vremeni v teorii prognozirovaniya tekhnogennogo riska slozhnykh dinamicheskikh sistem: monografiya* [Ontology of the time phenomenon in the theory of prediction of technogenic risk of complex dynamic systems: monograph]. Surgut: Pechatnyy mir, 2017, 253 p. [In Russian]
13. Ostreykovskiy V. A. *Fenomen asimmetrii vremeni v teorii neustoychivykh i neobratimyykh protsessov slozhnykh dinamicheskikh sistem: monografiya* [The phenomenon of time asymmetry in the theory of unstable and irreversible processes of complex dynamical systems : monograph]. Surgut: Pechatnyy mir, 2017, 268 p. [In Russian]
14. Vernadskiy V. I. *Razmyshleniya naturalista* [Reflections of a naturalist]. Moscow: Zhivoe slovo, 1977, bk. 2, 192 p. [In Russian]
15. Yurkov N. K. *Modeli i algoritmy upravleniya integrirovannymi proizvodstvennymi kompleksami: monografiya* [Models and algorithms for the management of integrated industrial complexes : monograph]. Penza: Inf.-izd. tsentr PGU, 2003, 198 p. [In Russian]

Острейковский Владислав Алексеевич

доктор технических наук, профессор,
кафедра информатики и вычислительной техники,
Сургутский государственный университет
(628412, Россия, г. Сургут, ул. Ленина, 1)
E-mail: ova@ivi.surgu.ru

Лысенкова Светлана Александровна

кандидат физико-математических наук, доцент,
кафедра информатики и вычислительной техники,
Сургутский государственный университет
(628412, Россия, г. Сургут, ул. Ленина, 1)
E-mail: lsa1108@mail.ru

Шевченко Елена Николаевна

кандидат физико-математических наук, доцент,
кафедра информатики и вычислительной техники,
Сургутский государственный университет
(628412, Россия, г. Сургут, ул. Ленина, 1)
E-mail: elenan_27@mail.ru

Ostreykovsky Vladislav Alekseevich

doctor of technical sciences, professor,
sub-department of informatics and computer science,
Surgut State University
(628412, 1 Lenin street, Surgut, Russia)

Lysenkova Svetlana Aleksandrovna

candidate of physical and mathematical sciences,
associate professor,
sub-department of informatics and computer science,
Surgut State University
(628412, 1 Lenin street, Surgut, Russia)

Shevchenko Elena Nikolaevna

candidate of physical and mathematical sciences,
associate professor,
sub-department of informatics and computer science,
Surgut State University
(628412, 1 Lenin street, Surgut, Russia)

УДК 517.98:519.2:621.039

Острейковский, В. А.

Феномен асимметрии внутреннего времени с учетом неустойчивости и необратимости процессов в теории прогнозирования состояния сложных динамических систем / В. А. Острейковский, С. А. Лысенкова, Е. Н. Шевченко // Надежность и качество сложных систем. – 2019. – № 1 (25). – С. 3–10. – DOI 10.21685/2307-4205-2019-1-1.