

## К построению стратегий закупок, ремонтов и списаний контрольно-измерительной техники

Р.З. Хайруллин<sup>1а</sup>, С.И. Зубков<sup>2б</sup>, Т.А. Луцкова<sup>2с</sup>

<sup>1</sup>Национальный исследовательский Московский государственный строительный университет, Ярославское шоссе 26, Москва, Россия

<sup>2</sup>Главный научный метрологический центр Министерства обороны РФ, ул. Комарова 13, Мытищи, Россия

<sup>а</sup>zrk@nm.ru, <sup>б</sup>swyat2007@yandex.ru, <sup>с</sup>fluke\_56@mail.ru

<sup>а</sup><https://orcid.org/0000-0002-1214-5069>, <sup>б</sup><https://orcid.org/0000-0002-7654-160x>,

<sup>с</sup><https://orcid.org/0000-0002-4503-1316>

Статья поступила 20.07.2018, принята 23.10.2018

*Непрерывное повышение требований к точности, достоверности, быстродействию и уровню автоматизации контрольно-измерительных приборов, средств измерений и механизмов, применяемых в машиностроении, топливно-энергетическом комплексе, в сфере вооружения, строительстве и жилищно-коммунальном хозяйстве, а также большое многообразие видов и типов устройств и механизмов приводит к необходимости решения задач оценки уровня технического совершенства и технического состояния парка указанного оборудования, управления показателями эффективности парка, планирования и управления развитием парка и т. д. Представлена математическая модель, предназначенная для среднесрочного и долгосрочного планирования и целевого управления показателями эффективности (современности и исправности) парка контрольно-измерительной техники (КИТ). Входными данными модели являются распределение образцов КИТ по уровням технического совершенства и технического состояния, вероятности переходов образцов КИТ из одного состояния в другое. В качестве управления выбирается доля современных образцов КИТ, закупленных вместо устаревших неисправных образцов, а также доля отремонтированных образцов КИТ из числа неисправных современных и устаревших образцов. В основе модели лежат алгоритмы, опирающиеся на свойства стационарных решений динамических систем, описывающих процесс развития парка КИТ с учетом переходов технического состояния, закупок, ремонтов и списаний. Получены конечные формулы для вычисления управляющих параметров в зависимости от требуемых значений целевых показателей эффективности. Математическая модель предназначена для решения практических задач управления уровнем современности и исправности парка КИТ. Модель позволяет формировать стратегии проведения ремонтов и закупок, обеспечивающие выполнение целевых значений показателей эффективности. Отличительной особенностью модели является наглядность и простота применения. Представлены результаты расчетов.*

**Ключевые слова:** математическая модель; парк контрольно-измерительной техники; динамическая система; стационарное решение; показатели эффективности.

## Improving the efficiency of measuring equipment

R.Z. Khairullin<sup>1а</sup>, S.I. Zubkov<sup>2б</sup>, T.A. Lutskova<sup>2с</sup>

<sup>1</sup>Moscow State University of Civil Engineering; 26, Yaroslavskoye Shosse, Moscow, Russia

<sup>2</sup>Main Scientific Metrology Center of the Ministry of Defense of Russian Federation; 13, Komarova St., Mytishi, Russia

<sup>а</sup>zrk@nm.ru, <sup>б</sup>swyat2007@yandex.ru, <sup>с</sup>fluke\_56@mail.ru

<sup>а</sup><https://orcid.org/0000-0002-1214-5069>, <sup>б</sup><https://orcid.org/0000-0002-7654-160x>,

<sup>с</sup><https://orcid.org/0000-0002-4503-1316>

Received 20.07.2018, accepted 23.10.2018

*The continuous increase of requirements to accuracy, reliability, computer speed and level of automation of testing and measuring equipment using in mechanical engineering, at enterprises of the fuel and energy complex in the area of construction and housing communal sector as well as a large variety of types of devices and mechanisms, leads to the solution of problems of estimation of level of technical excellence and technical condition of the Park of Control and Measuring Equipment (CME), the management performance of the Park of CME, planning, renewal of the Park, etc. The mathematical model intended for medium-term and long-term planning and target management of indicators of efficiency (modernity and serviceability) of Park of CME is presented. The input data of the model are the distribution of samples of CME on the levels of technical perfection and technical condition, the probability of transition samples of CME from one state to another one. The share of modern samples of CME purchased instead of outdated faulty samples, as well as the share of repaired samples of CME from the number of faulty modern and outdated samples, are selected as control parameters. The mathematical model is founded on algorithms based on the properties of stationary solutions of dynamic systems, describing the process of development of the Park of CME taking into account the transitions of technical condition, purchases, repairs and write-offs.*

The final formulas for calculating the control parameters depending on the required values of the performance targets are obtained. The mathematical model is intended for the solution of practical problems of management of level of modernity and serviceability of Park of CME. The model allows to form strategies of carrying out repairs and purchases ensuring performance of target values of indicators of efficiency. A distinctive feature of the model is the visibility and ease of use. The results of calculations are presented.

**Key words:** mathematical model; Park of Control and Measuring Equipment; dynamic system; stationary solution; performance indicators.

### Введение

На современном этапе развития, когда обязательно обеспечение качества на производстве и существует тенденция к интенсификации на автоматизированных участках, контроль и измерения становятся неотъемлемой частью технологического процесса.

Использование измерительных устройств и контрольно-измерительной техники (КИТ) является важнейшим фактором научного и технического прогресса практически во всех отраслях народного хозяйства, в том числе в промышленности, лесной отрасли, строительстве, топливно-энергетическом комплексе. В связи с этим возникают актуальные задачи управления парком КИТ (закупка новых образцов техники, ремонт неисправных приборов, списание устаревших образцов), а также задачи управления показателями эффективности и эффективной эксплуатации парка КИТ и т. д.

Продолжительность жизненного цикла используемых образцов КИТ зачастую оказывается ниже продолжительности жизненного цикла оборудования и станков, в том числе станков с числовым программным управлением. Поэтому на предприятиях происходят процессы «непрерывного» переоснащения производственных линий новой современной КИТ, обновления парка КИТ.

Разработка и развитие методов программно-целевого планирования в части управления показателями эффективности (современности и исправности) парка КИТ представляется актуальной практической задачей в машиностроении [1–3], сфере вооружения [4], метрологии [5–9], строительстве и жилищно-коммунальном хозяйстве [10–11]. Для решения указанной задачи используется широкий спектр методов управления динамическими системами, оптимизационных и стохастических методов [12–23].

В данной работе представлена модель, предназначенная для построения стратегий закупок и ремонтов при среднесрочном и долгосрочном планировании развития парка КИТ.

Современные требования по повышению эффективности принимаемых решений в процессе управления развитием парка КИТ обусловили необходимость разработки специальных методик, которые позволили бы формировать простые и легко реализуемые на практике стратегии закупок и ремонтов КИТ, обладающие достаточным уровнем объективности и достоверности.

**Постановка задачи построения стационарных решений.** Примем, что по техническому состоянию образцы КИТ подразделяются на современные исправные; современные неисправные; устаревшие исправные; устаревшие неисправные. Пусть на момент начала

планирования парк КИТ включает  $N$  образцов ИТ, в том числе:

$x_1$  — современных исправных;

$x_2$  — современных неисправных;

$x_3$  — устаревших исправных;

$x_4$  — устаревших неисправных образцов КИТ.

Предположим, что в результате статистической обработки данных за достаточно продолжительный промежуток времени получены следующие «статистические вероятности переходов состояния»:

$p_{12}, p_{13}$  — вероятность перехода из состояния «современный исправный» в состояния «современный неисправный», «устаревший исправный»;

$p_{24}$  — вероятность перехода из состояния «современный неисправный» в состояние «устаревший неисправный»;

$p_{34}$  — вероятность перехода из состояния «устаревший исправный» в состояние «устаревший неисправный».

Опишем переходы состояний, которые в настоящей работе рассматриваются как управления:

$k_{41}$  — доля закупок современных исправных образцов вместо устаревших неисправных образцов;

$k_{43}$  — доля ремонтов устаревших неисправных образцов;

$k_{21}$  — доля ремонтов современных неисправных образцов.

Граф переходов состояния представлен на рис. 1.

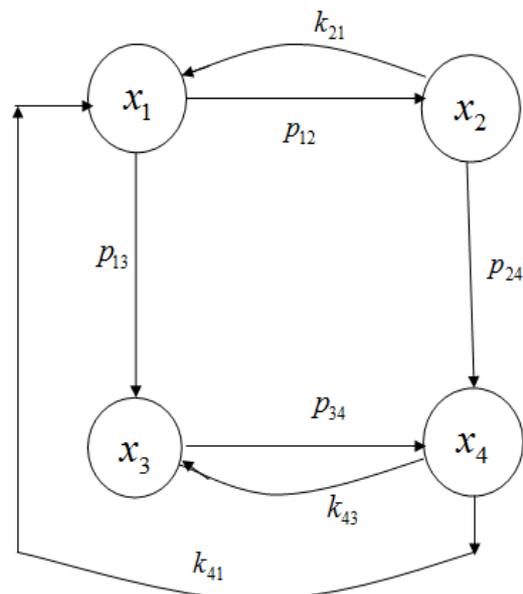


Рис. 1. Граф переходов состояния

Система дифференциальных уравнений, описывающих «динамику средних показателей» [17] развития парка КИТ, имеют вид:

$$\begin{cases} \frac{dx_1}{dt} = -p_{12}x_1 - p_{13}x_1 + k_{21}x_2 + k_{41}x_4 \\ \frac{dx_2}{dt} = -p_{24}x_2 + p_{12}x_1 - k_{21}x_2 \\ \frac{dx_3}{dt} = -p_{34}x_3 + p_{13}x_1 + k_{43}x_4 \\ \frac{dx_4}{dt} = p_{24}x_2 + p_{34}x_3 - k_{41}x_4 - k_{43}x_4 \end{cases} \quad (1)$$

Эта система имеет стационарное решение, которое может быть найдено, если приравнять стоящие в левой части производные к нулю. Стационарное решение удовлетворяет следующей системе линейных однородных алгебраических уравнений относительно неизвестных  $x_1, x_2, x_3, x_4$ :

$$\begin{cases} -p_{12}x_1 - p_{13}x_1 + k_{21}x_2 + k_{41}x_4 = 0 \\ -p_{24}x_2 + p_{12}x_1 - k_{21}x_2 = 0 \\ -p_{34}x_3 + p_{13}x_1 + k_{43}x_4 = 0 \\ p_{24}x_2 + p_{34}x_3 - k_{41}x_4 - k_{43}x_4 = 0 \end{cases} \quad (2)$$

Ранг системы линейных однородных алгебраических уравнений равен трем. Если в качестве свободной переменной выбрать  $x_2$ , то общее решение системы может быть представлено в виде:

$$\begin{aligned} x_1 &= \frac{p_{24} + k_{21}}{p_{12}} \cdot x_2, \\ x_3 &= \frac{p_{13}k_{41}(p_{24} + k_{21}) + k_{43}(p_{12}p_{24} + p_{13}p_{24} + p_{13}k_{21})}{p_{34}k_{41}p_{12}} \cdot x_2, \\ x_4 &= \frac{p_{12}p_{24} + p_{13}p_{24} + p_{13}k_{21}}{k_{41}p_{12}} \cdot x_2 \end{aligned} \quad (3)$$

### Построение стратегий развития парка КИТ

*Стратегия 1.* Рассмотрим сначала случай  $k_{43} = 0$ , который соответствует стратегии, когда некоторая доля современных неисправных образцов КИТ подлежит ремонту; устаревшие неисправные образцы КИТ ремонту не подлежат, вместо них могут быть закуплены современные исправные образцы. Тогда из (3) следует:

$$\begin{aligned} x_1 &= \frac{p_{24} + k_{21}}{p_{12}} \cdot x_2, \quad x_3 = \frac{p_{13}k_{41}(p_{24} + k_{21})}{p_{34}k_{41}p_{12}} \cdot x_2, \\ x_4 &= \frac{p_{12}p_{24} + p_{13}p_{24} + p_{13}k_{21}}{k_{41}p_{12}} \cdot x_2. \end{aligned} \quad (4)$$

Ограничение на общее количество КИТ, а также ограничения на показатели современности и исправности запишем в форме системы равенств:

$$\begin{cases} x_1 + x_2 + x_3 + x_4 = N \\ x_1 + x_2 = N \cdot P_c \\ x_1 + x_3 = N \cdot P_u \end{cases} \quad (5)$$

где  $N$  — общее количество образцов КИТ;  $P_c$  — показатель современности парка КИТ;  $P_u$  — показатель исправности парка КИТ.

Если в левую часть (5) подставить выражение (4), то левые части соотношений (5) будут зависеть от неизвестных  $k_{41}, k_{21}, x_2$ . Решая эту систему нелинейных алгебраических уравнений методом Ньютона, получим значения долей закупаемых  $k_{41}$  и ремонтируемых  $k_{21}$  образцов КИТ, обеспечивающих требуемый уровень современности и исправности парка КИТ.

Отметим, что порядок системы (5) может быть понижен до второго, если из первого соотношения (5) с учетом (4) выразить переменную  $x_2$ :

$$x_2 = N / Z, \quad (6)$$

$$\begin{aligned} \text{где } Z &= \frac{p_{24} + k_{21}}{p_{12}} + 1 + \frac{p_{13}k_{41}p_{24} + p_{13}k_{41}k_{21}}{p_{34}k_{41}p_{12}} + \\ &+ \frac{p_{12}p_{24} + p_{13}p_{24} + p_{13}k_{21}}{k_{41}p_{12}}, \end{aligned}$$

и подставить этот результат во второе и третье соотношение (5).

*Стратегия 2.* Рассмотрим теперь частный случай  $k_{21} = 0$ , который соответствует стратегии, для которой современные неисправные образцы КИТ ремонту не подлежат; некоторая часть устаревших неисправных образцов КИТ подлежат ремонту; вместо некоторой другой части устаревших неисправных образцов производится закупка современных исправных образцов:

$$\begin{aligned} x_1 &= \frac{p_{24}}{p_{12}} \cdot x_2, \\ x_3 &= \frac{p_{13}k_{41}p_{24} + k_{43}p_{12}p_{24} + k_{43}p_{13}p_{24}}{p_{34}k_{41}p_{12}} \cdot x_2, \quad (7) \\ x_4 &= \frac{p_{12}p_{24} + p_{13}p_{24}}{k_{41}p_{12}} \cdot x_2. \end{aligned}$$

Ограничение на общее количество КИТ, а также ограничения на показатели современности и исправности имеют вид (5).

Левые части (5) при условии (4) зависят от неизвестных  $k_{41}, k_{43}, x_2$ . Решая эту систему методом Ньютона, получим значения долей закупаемых и ремонтируемых образцов КИТ, обеспечивающих требуемый уровень современности и исправности парка КИТ.

Отметим, что порядок системы (5) может быть понижен до второго, если из первого уравнения (5) с учетом (4) выразить переменную  $x_2$ :

$$x_2 = N / Z, \quad (8)$$

$$\text{где } Z = \frac{P_{24}}{P_{12}} + 1 + \frac{P_{13}k_{41}P_{24} + k_{43}P_{12}P_{24} + k_{43}P_{13}P_{24}}{P_{34}k_{41}P_{12}} + \frac{P_{12}P_{24} + P_{13}P_{24}}{k_{41}P_{12}},$$

и подставить во второе и третье соотношения (5).

Отметим, что получаемые значения должны удовлетворять естественным ограничениям:  $0 \leq k_{41} \leq 1$ ,

$$0 \leq k_{21} \leq 1, \quad 0 \leq k_{43} \leq 1, \quad 0 \leq k_{41} + k_{43} \leq 1, \quad (x_i \geq 0, \quad i=1,2,3,4)$$

. Если в результате решения системы нелинейных уравнений указанные ограничения не выполняются, то это говорит о том, что ресурса управления недостаточно для одновременного выполнения требований по современности и исправности. В этом случае для получения результата, пригодного для практического использования, необходимо привлечение дополнительных ресурсов. Например, совместное выполнение ремонтов как современных неисправных, так и устаревших неисправных образцов КИТ. Одна из таких возможных стратегий описана ниже.

Отметим также, что в некоторых случаях одновременное выполнение ограничений по современности и исправности в форме двух независимых равенств оказывается невозможным. Тогда рекомендуется ослабить одно из ограничений и учитывать его в форме неравенства.

*Стратегия 3.* Рассмотрим частный случай  $x_2 = 0$ , который соответствует стратегии, когда все современные неисправные образцы подлежат ремонту на том же интервале планирования, на котором они стали неисправными, а также подлежит ремонту часть устаревших неисправных образцов КИТ. Кроме того, вместо части устаревших неисправных образцов производится закупка современных исправных образцов.

Стационарное решение удовлетворяет следующей системе линейных однородных алгебраических уравнений:

$$\begin{cases} -p_{13}x_1 + k_{41}x_4 = 0 \\ -p_{34}x_3 + p_{13}x_1 + k_{43}x_4 = 0 \\ p_{34}x_3 - k_{41}x_4 - k_{43}x_4 = 0 \end{cases} \quad (9)$$

Ранг системы равен двум. Если в качестве свободной переменной выбрать  $x_4$ , то общее решение системы может быть представлено в виде:

$$x_1 = \frac{k_{41}}{P_{13}} \cdot x_4, \quad x_3 = \frac{k_{41} + k_{43}}{P_{34}} \cdot x_4. \quad (10)$$

Ограничение на общее количество КИТ, а также ограничения на показатели современности и исправности имеют вид (5).

Левые части уравнений зависят от неизвестных  $k_{41}$ ,  $k_{43}$ . Из первого ограничения (5) получим:

$$x_4 = \frac{N}{\frac{k_{41}}{P_{13}} + \frac{k_{41} + k_{43}}{P_{34}} + 1}. \quad (11)$$

Если подставить это выражение во второе и третье уравнение (5), то получим систему линейных алгебраических уравнений второго порядка относительно  $k_{41}$ ,  $k_{43}$ . Явное решение указанной системы имеет вид:

$$k_{41} = \frac{P_c P_{13}}{1 - P_u}, \quad k_{43} = \frac{P_u P_{34} - P_c (P_{34} + P_{13})}{1 - P_u}. \quad (12)$$

Полученные зависимости позволяют вычислить значения управляющих параметров в зависимости от требуемых значений показателей эффективности. Результаты расчетов  $k_{41}$  и  $k_{43}$  представлены на рис. 2 а, б соответственно. Видно, что с увеличением требуемых значений показателей эффективности доли закупаемых и ремонтируемых образцов КИТ увеличиваются.

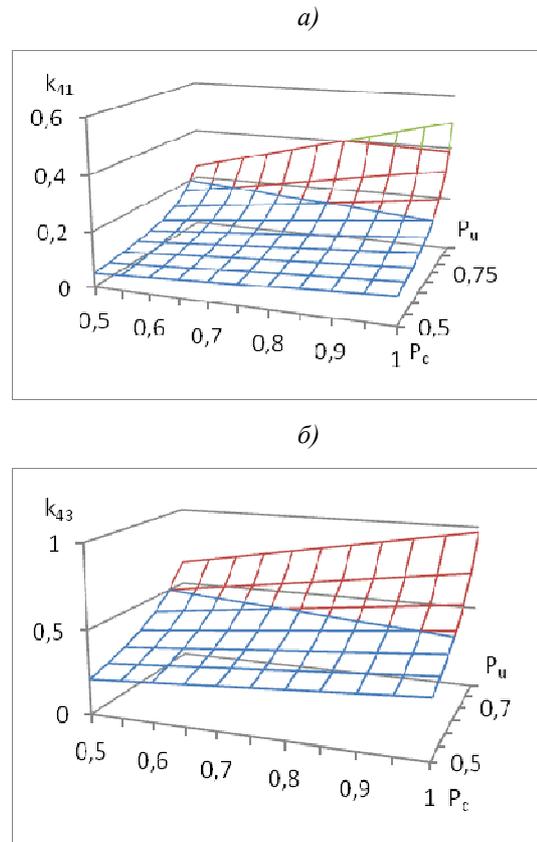


Рис. 2. Зависимость управляющих параметров от показателей исправности и современности

### Заключение

Основные результаты работы состоят в следующем:

1. Разработана динамическая модель, предназначенная для среднесрочного и долгосрочного целевого планирования показателей эффективности парка КИТ.
2. Изучены свойства стационарных решений разработанной динамической модели. Показано, что управляющие параметры и показатели эффективности удовлетворяют системе нелинейных алгебраических уравнений.
3. Решена задача программно-целевого управления показателями эффективности парка КИТ в форме синтеза. Получены явные формулы, позволяющие вычис-

лять значения управляющих параметров от требуемых  
4. Полученные результаты могут найти применение при планировании переоснащения станков с числовым программным управлением новой современной измерительной техникой, а также других технических средств и оборудования, используемого в машиностроении, лесной отрасли, топливно-энергетическом комплексе.

#### *Литература*

1. Акбердин Р.З. Экономические проблемы технического переоснащения машиностроительного производства. М.: Моск. ин-т управления, 1990. 47 с.
2. Корниенко А.А. Выбор варианта развития парка технологического оборудования // Кузнечно-штамповочное производство. 2005. № 9. С.46-49.
3. Кузнецова С.Н. Анализ факторов создания и функционирования промышленных парков // Многоуровневое общественное воспроизводство: вопросы теории и практики: сб. ст. Иваново, 2012. С. 232-242.
4. Буренок В.М., Погребняк Р.Н., Скотников А.П. Методология обоснования перспектив развития средств вооруженной борьбы общего назначения. М.: Машиностроение, 2010. 368 с.
5. Дьяков А.Н., Решетников Д.В., Бояршинов С.Н. Моделирование системы поддержания работоспособного состояния сложных технических систем. Вооружение и экономика. 2016. № 3 (36). С. 35-43.
6. Берка К. Измерения: понятие, теория, проблемы. М.: Прогресс, 2007. 320 с.
7. Сычев Е.В., Храменков В.Н., Шкитин А.Д. Основы военной метрологии. М.: Воен. изд-во, 1993. 400 с.
8. Бачурин Д.П., Яшин А.В. Аттестация программного обеспечения информационно-измерительных систем, входящих в состав испытательного оборудования // Вестн. метролога. 2013. № 4. С. 8-12.
9. Орлов В.А., Бывших Д.М., Ярыгин Ю.Н. Автоматизация процессов планирования развития техники радиоэлектронной борьбы // Вооружение и экономика. 2015. № 4 (33). С. 75-83.
10. Прищепа А.Н., Шулунов А.Н. Современное состояние и проблемы развития отечественного приборостроения // Вестн. метролога. 2012. № 1. С. 4-7.
11. Кувик Т.Е., Сафонов А.А., Цыбулькикова К.А. Оценка трудоемкости оказания научно-технических услуг в области метрологии на примере экспертизы документации, проводимой с целью выдачи заключений о возможности применения средств измерений для комплектации вооружения и военной техники // Сб. тр. ГНМЦ Минобороны России. 2016. № 49. С. 69-80.
12. Корнев А.С., Шайко Е.И., Луцкова Т.А. Основные положения комплексной методики оценки стоимостных показателей создания перспективных образцов средств метрологического обеспечения вооружения, военной и специальной техники // Сб. тр. ГНМЦ Минобороны России. 2015. № 39. С. 205-213.
13. Khayrullin R.Z. On Preparing Offers for Targeted Development Programs in Housing and Communal Services // XXVI-th RSP Seminar "Theoretical Foundation of Civil Engineering", MATEC Web Conf. of 117, 00076 (2017) DOI: 10.1051/mateconf/201711700076.

значений показателей современности и исправности.

14. Маричев П.А., Корнев А.С., Хайруллин Р.З. Программно-целое планирование и управление развитием парка контрольно – измерительной техники // Вестн. МГСУ. 2018. Т. 13, Вып. 1 (112). С. 71-79.
15. Костоготов А. А., Лазаренко С. В. Метод решения обратных измерительных задач с применением аппарата негладкого анализа // Информационно-измерительные и управляющие системы. 2009. Т. 7, № 10. С. 38–45.
16. Костоготов А.А., Лазаренко С.В. Негладкий анализ в задачах обработки измерительной информации // Измерительная техника. 2009. № 2. С. 6–11.
17. Broomhead D.S., Lowe D. Multivariable functional interpolation and adaptive networks // Complex Systems. 1988. № 2.
18. Cichocki A., Unbehauen R. Neural Networks for Optimization and Signal Processing. Wiley, 1993. 548 p.
19. Mas-Collel A., Whinston M.D., Green J.R. Microeconomic theory. N. Y.: Oxford Univ. Press, 1995. 981 p.
20. Вентцель Е.С., Овчаров В.А. Теория случайных процессов и ее инженерные приложения. М.: Наука, 1991. 383 с.
21. Рутковская Д., Пилиньский М., Рутковский Л. Нейронные сети, генетические алгоритмы и нечеткие системы. М.: Горячая линия: Телеком, 2006. 452 с.
22. Myerson R.B. Games theory: analysis of conflict. London: Harvard University Press, 1991.
23. Fudenberg D., Tirole J. Game theory. Cambridge: MIT Press, 1995.
24. Bryson A., Ho Y. Applied Optimal Control. Blaisdell Publishing. Waltham. MA. 1969.
25. Nisan N., Roughgarden T. Tardos E., Vazirani V. Algorithmic game theory. N.-Y.: Cambridge University Press, 2009.
26. Broomhead D.S., Lowe D. Multivariable functional interpolation and adaptive networks // Complex Systems. 1988. № 2. P. 34-37.

#### *References*

1. Akberdin R.Z. Economic problems of technical reequipment of machine-building production. M.: Mosk. in-t upravleniya, 1990. 47 p.
2. Kornienko A.A. Choice of a variant of development of the park of technological equipment // Kuznechno-shtampovochnoe proizvodstvo. 2005. № 9. P. 46-49.
3. Kuznecova S.N. The analysis of factors of creation and functioning of industrial parks // Mnogourovnevoe obshchestvennoe vosproizvodstvo: voprosy teorii i praktiki: sb. st. Ivanovo, 2012. P. 232-242.
4. Burenok V.M., Pogrebnyak R.N., Skotnikov A.P. Methodology of substantiation of prospects of development of means of armed general purpose struggle. M.: Mashinostroenie, 2010. 368 p.
5. D'yakov A.N., Reshetnikov D.V., Boyarshinov S.N. Modeling system for the maintenance of availability state of complex technical systems//Armament and Economics. 2016. № 3 (36). P. 35-43.
6. Berka K. Measurement: concept, theory and problems. M.: Progress, 2007. 320 p.
7. Sychev E.B., Hramenkov V.N., Shkitin A.D. Fundamentals of military metrology. M.: Voен. izd-vo, 1993. 400 p.
8. Bachurin D.P., Yashin A.V. Certification of the software of information-measuring systems comprising test equipment // Vestn. metrologa. 2013. № 4. P. 8-12.
9. Orlov V.A., Byvshih D.M., Yarygin YU.N. Automation of processes of planning of development of electronic warfare equipment // Armament and Economics. 2015. № 4 (33). P. 75-83.

10. Prishchepa A.N., Shulunov A.N. Current status and problems of development of domestic instrument engineering // Vestn. metrologa. 2012. № 1. P. 4-7.
11. Kuvik T.E., Safonov A.A., Cybul'nikova K.A. Evaluation of the complexity of providing scientific and technical services in the field of metrology, for example, examination of documentation carried out for the purpose of issuing opinions on the possible use of measuring instruments for acquisition of weapons and military equipment // Sb. tr. GNMC Minoborony Rossii. 2016. № 49. P. 69-80.
12. Kornev A.S., Shajko E.I., Luckova T.A. Main points of complex estimation method of costs indicators for creation of perspective samples of metrological techniques // Sb. tr. GNMC Minoborony Rossii. 2015. № 39. P. 205-213.
13. Khayrullin R.Z. On Preparing Offers for Targeted Development Programs in Housing and Communal Services // HKHVI-th RSP Seminar "Theoretical Foundation of Civil Engineering", MATEC Web Conf. of 117, 00076 (2017) DOI: 10.1051/mateconf/201711700076.
14. Marichev P.A., Kornev A.S., Hajrullin R.Z. Multivariable functional interpolation and adaptive networks // Vestn. MGSU. 2018. T. 13, Вып. 1 (112). P. 71-79.
15. Kostoglotov A. A., Lazarenko S. V. Method for solving the inverse measuring tasks with application of nonsmooth analysis // Journal Information-measuring and Control Systems. 2009. T. 7, № 10. P. 38-45.
16. Kostoglotov A.A., Lazarenko S.V. Nonsmooth analysis in problems of processing measurement data // Measurement Techniques. 2009. № 2. P. 6-11.
17. Broomhead D.S., Lowe D. Multivariable functional interpolation and adaptive networks // Complex Systems. 1988. № 2.
18. Cichocki A., Unbehauen R. Neural Networks for Optimization and Signal Processing. Wiley, 1993. 548 p.
19. Mas-Colell A., Whinston M.D., Green J.R. Microeconomic theory. N. Y.: Oxford Univ. Press, 1995. 981 p.
20. Ventcel' E.S., Ovcharov V.A. Theory of random processes and its engineering applications. M.: Nauka, 1991. 383 p.
21. Rutkovskaya D., Pilin'skij M., Rutkovskij L. Neural networks, genetic algorithms and fuzzy system. M.: Goryachaya liniya: Telekom, 2006. 452 p.
22. Myerson R.B. Games theory: analysis of conflict. London: Harvard University Press, 1991.
23. Fudenberg D., Tirole J. Game theory. Cambridge: MIT Press, 1995.
24. Bryson A., Ho Y. Applied Optimal Control. Blaisdell Publishing. Waltham. MA. 1969.
25. Nisan N., Roughgarden T. Tardos E., Vazirani V. Algorithmic game theory. N.-Y.: Cambridge University Press, 2009.
26. Broomhead D.S., Lowe D. Multivariable functional interpolation and adaptive networks // Complex Systems. 1988. № 2. P. 34-37.

УДК 66.33.31; 44.31.01

DOI: 10.18324/2077-5415-2018-4-90-97

## Анализ энергоэффективности стеновых элементов деревянных домов заводского изготовления

Ар.А. Федяев<sup>1a</sup>, А.Н. Чубинский<sup>1b</sup>, А.А. Федяев<sup>2c</sup>, Н.Ю. Федяева<sup>3d</sup>

<sup>1</sup> Санкт-Петербургский государственный лесотехнический университет им. С.М. Кирова, Институтский пер. 5, Санкт-Петербург, Россия

<sup>2</sup> Братский государственный университет, ул. Макаренко 40, Братск, Россия

<sup>3</sup> Колледж отраслевых технологий «Краснодеревец», ул. Ушинского 16, Санкт-Петербург, Россия

<sup>a</sup> art\_fedyaev@mail.ru, <sup>b</sup> a.n.chubinsky@gmail.com, <sup>c</sup> vendsl@mail.ru, <sup>d</sup> nat\_fedyaeva@mail.ru

<sup>a</sup> <https://orcid.org/0000-0001-8036-7432>,

<sup>c</sup> <https://orcid.org/0000-0001-6233-3757>

Статья поступила 3.11.2018, принята 15.11.2018

*В статье проведен анализ трансмиссионных тепловых потерь через стены деревянных домов заводского изготовления различной толщины. Исследование проведено для стен толщиной 150, 175, 200 и 220 мм. Как показывают результаты расчетов трансмиссионных потерь тепловой энергии при температуре наружного воздуха не ниже 0 °С, что характерно для южных регионов страны, все фактические потери тепловой энергии через исследованные стены деревянных домов заводского изготовления не превышают максимально допустимые, предусмотренные СП. Это свидетельствует о низких потерях тепловой энергии через стены. Однако максимально допустимые потери тепловой энергии при толщине стен 150 и 220 мм превышают фактические соответственно в 2 и 5,74 раза. Это свидетельствует о необоснованном увеличении расчетных максимально допустимых толщин ограждающих конструкций и перерасходе сырьевых ресурсов для возведения деревянных домов заводского изготовления в климатических условиях региона эксплуатации с температурой наружного воздуха не ниже 0 °С. Проведенный анализ термограмм и результаты расчетов трансмиссионных потерь тепловой энергии определяют необходимость обоснованного подхода при выборе толщины стен не только с точки зрения тепловой защиты зданий, но и с учетом климатических особенностей региона эксплуатации.*

**Ключевые слова:** тепловизионное обследование; тепловые потери энергии; деревянные дома заводского изготовления; цельный брус.