

## Модель управления работами эксплуатирующей организации по содержанию инженерных систем комплекса недвижимости

*Старший преподаватель Т.Н. Солдатенко\*,  
ФГБОУ ВПО Санкт-Петербургский государственный политехнический университет*

**Ключевые слова:** физический износ объекта инженерной системы; бинарная переменная; индивидуальное прогнозирование; задача булева программирования

Комплекс недвижимости в данной статье рассматривается как земельный участок с находящимися на нем зданиями, сооружениями и соответствующей инженерной инфраструктурой. Важной составной частью инженерной инфраструктуры являются инженерные системы, обеспечивающие производство коммунальных услуг для пользователей комплекса недвижимости [1].

На уровень результативности производства коммунальных услуг в наибольшей степени влияют два основных фактора: техническое состояние инженерных систем и применяемые методы управления их содержанием [2, 3]. Инженерные системы в настоящее время характеризуются высоким уровнем износа, что является результатом управления ими в 70–90-е гг. прошлого века. Обобщенные данные по степени износа инженерных систем приведены на диаграмме, рис. 1 [2, 3, 4].



**Рисунок 1. Характеристика технического состояния инженерных систем коммунального хозяйства**

Под содержанием инженерных систем в статье понимается комплекс работ (мероприятий), направленных на поддержание объектов инженерных систем (ОИС) в состоянии готовности к применению в сроки, определенные нормативными документами [5, 6, 7]. В настоящее время применяются методы содержания, в большей мере характерные для полного бюджетного обеспечения деятельности коммунальных предприятий. Однако такой подход не соответствует современному состоянию нашей экономики. В последние годы усовершенствована нормативная база коммунальной отрасли, на основе которой возможен переход к прогрессивным методам содержания систем [8, 9, 10]. Особенностью этих методов является учет фактического состояния ОИС и ограниченных возможностей их содержания.

Развитию новых подходов к содержанию объектов инженерных систем уделяется в настоящее время достаточно большое внимание [11–19]. Задачи по их содержанию выполняют Солдатенко Т.Н. Модель управления работами эксплуатирующей организации по содержанию инженерных систем комплекса недвижимости

эксплуатационные подразделения коммунальных предприятий. Эксплуатационное подразделение (ЭП) коммунального предприятия – его структурное, функционально обособленное подразделение, имеющее функциональную и структурную организацию и отвечающее за содержание соответствующего типа инженерных систем. Управление содержанием инженерных систем рассматривается как выбор наиболее результативного варианта производственной программы ЭП и его последующая реализация. Тенденции к децентрализации деятельности эксплуатирующих организаций коммунальной отрасли [3, 8] приводят к сокращению информационной базы принятых решений при организации содержания ОИС. Выходом из сложившейся ситуации является использование результатов индивидуального прогнозирования изменения работоспособности каждого из объектов инженерных систем [19–24]. Однако анализ известных работ в этой области показал, что такое решение для обоснования показателей производственных программ ЭП еще недостаточно исследовано.

В статье рассматривается новый подход к моделированию управления деятельностью эксплуатирующей организации по содержанию инженерных систем комплекса недвижимости. При описании этой деятельности предложено использовать результаты аналитического и вероятностного индивидуального прогнозирования изменения технического состояния каждого ОИС в составе показателя ресурсоемкости производственной программы ЭП, а допустимые значения по затратам времени и средств на осуществление содержания ввести в ограничения задачи поиска рационального варианта содержания. Новизна исследования при данной постановке задачи состоит в учете в составе целевой функции, имеющей экономический смысл, не только показателей финансовых потоков, но и показателей процесса изменения работоспособности объекта инженерной системы, которые влияют на указанные потоки.

### **Математическая модель производственной программы содержания инженерной системы**

Формализованная постановка задачи моделирования производственной программы содержания инженерной системы имеет следующий вид.

#### **Дано**

Инженерная система, включающая  $N$  объектов. Техническое состояние каждого из объектов характеризуется параметром  $\mathcal{F}_i(t)$  ( $i = 1(1)N$ ), значения которого можно прогнозировать по результатам его контроля в предшествующие моменты времени.

Значения  $S_k$  выделяемых финансовых средств и продолжительности времени  $G_k$  ( $k = 1(1)K$ ) для  $K$  этапов содержания инженерной системы, разделенных интервалами  $t_k$  управления ( $k = 1(1)K$ );

Множество  $A_j$  ( $j = 1(1)M$ ) видов управления работами по содержанию объектов инженерной системы.

Значения  $\tau_{ij}^{(pc)}$  ( $i = 1(1)N, j = 1(1)M$ ) длительности и  $v_{ij}^{(pc)}$  стоимости плановых работ  $j$ -го вида для  $i$ -го объекта инженерной системы (ОИС);  $\tau_i^{(AP)}$  и  $v_i^{(AP)}$  продолжительности и стоимости аварийных работ при потере работоспособности  $i$ -го ОИС.

Множество  $X = \{x_{ijk}\}$  вариантов программы содержания ОИС, где  $x_{ijk}$  – бинарный индикатор использования для  $i$ -го ОИС  $j$ -го вида работы на  $k$ -м этапе производственной программы эксплуатационного подразделения ( $i = 1(1)N, j = 1(1)M, k = 1(1)K$ ).

Результативность производственной программы  $\mathbf{x} \in X$  ЭП характеризуется показателем  $W(\mathbf{x})$  экономического критерия (ресурсоемкость содержания).

#### **Необходимо**

Получить рациональный вариант  $\mathbf{x}^*$  ( $\mathbf{x}^* \in X$ ) программы работ по содержанию  $N$  взаимосвязанных ОИС, удовлетворяющий условию:

$$\mathbf{x}^* : \mathbf{x}^* = \left\{ \arg \max_{\mathbf{x} \in X} W(\mathbf{x}) \mid \left\{ S_k^{(u)}(\mathbf{x}^*) \leq S_k; G_k^{(u)}(\mathbf{x}^*) \leq G_k \right\} \right\}, \quad (1)$$

где  $G_k^{(u)}(\mathbf{x})$  и  $S_k^{(u)}(\mathbf{x})$  – суммарные затраты финансовых средств и времени соответственно, на  $k$ -м этапе производственной программы  $\mathbf{x}^*$  эксплуатационного подразделения.

Построим модель работоспособности ОИС на интервале управления. Пусть известны  $n$  ретроспективных значений параметра  $f_i(t)$   $i$ -го объекта ( $i = 1(1)N$ ), полученные в предшествующий период. Значения  $y_i(t_j)$  ( $j = 1(1)n$ ) контролируемого параметра будем рассматривать как точки временного ряда. Тренд, характеризующий тенденцию физического износа параметра  $f_i(t)$  ( $i = 1(1)N$ ) во времени, будем описывать математической моделью линейного полинома  $y_i^{(np)}(t)$  вида [23]:

$$y_i^{(np)}(t) = d_{i0} + d_{i1} \cdot t + \varepsilon_i, \quad i = 1(1)N, \quad (2)$$

где  $d_{i0}$ ,  $d_{i1}$  – коэффициенты полинома;  $\varepsilon_i$  – случайная ошибка моделирования зависимости (2), имеющая нормальное распределение.

Введем допущение [23, 24], что случайная величина значения параметра  $f_i(t_j)$  для  $j$ -й точки временного ряда (в сечении времени  $t_j$ ) имеет нормальный закон распределения с математическим ожиданием  $M[y_i(t_j)]$  и дисперсией  $D[y_i(t_j)]$  ( $i = 1(1)N$ ,  $j = 1(1)n$ ). Установим, что математическое ожидание нормального закона распределения  $M[y_i(t_j)]$  для каждого  $j$ -го сечения соответствует значению тренда прогнозной модели (2.1) износа ОИС по параметру  $y_i(t)$  ( $i = 1(1)N$ ). Поэтому можно записать:

$$M[y_i(t)] = y_i^{(np)}(t). \quad (3)$$

Оценка неизвестных параметров  $d_{i0}$ ,  $d_{i1}$  модели осуществляется с помощью метода наименьших квадратов [25].

Оценка величины дисперсии  $D[y_i^{(np)}(t)]$  прогнозного значения  $y_i^{(np)}(t)$  при сделанных допущениях вычисляется с помощью соотношения [26]:

$$D[y_i^{(np)}(n^{(np)})] = \left( \frac{n+1}{n} + \frac{3 \cdot (n+2 \cdot n^{(np)} - 1)^2}{n \cdot (n^2 - 1)} \right) \cdot \frac{\sum_{j=1}^n (y_i(t_j) - y_i^{(np)}(t_j))^2}{n-2}, \quad (4)$$

где  $n^{(np)}$  – значение интервала прогноза.

Пусть для  $i$ -го ОИС эксплуатационной документацией установлены границы поля допуска (ГПД), которые определяют область работоспособности объекта по параметру  $y_i(t)$  ( $i = 1(1)N$ ). Введем в рассмотрение вероятность недостижения границы работоспособности  $P_i(t)$  параметра  $y_i(t)$  ( $i = 1(1)N$ ) за интервал времени  $(0, t)$ . Событием достижения границы работоспособности для ОИС по параметру  $y_i(t)$  ( $i = 1(1)N$ ) будем считать выход данного параметра за установленные для объекта границы поля допуска [9, 24]. Возможны три основных случая:

- область работоспособности ОИС двухсторонняя и имеются верхняя  $y_i^{(g)}$  и нижняя  $y_i^{(h)}$  границы поля допуска;
- область работоспособности ОИС односторонняя с нижней границей поля допуска;
- область работоспособности ОИС односторонняя с верхней границей поля допуска.

Рассмотрим расчетные соотношения для показателя  $P_i(t)$  при разных способах задания ГПД [11, 25].

Случай 1. Для ОИС установлен двухсторонний допуск на параметр. Объект находится на интервале времени  $[0, t]$  с вероятностью недостижения границы работоспособности  $P_i(t)$ , определяемой по формуле

$$P_i(t) = BEP\{y_i^{(n)} \leq y_i(t) \leq y_i^{(e)}\} = \int_{y_i^{(n)}}^{y_i^{(e)}} f(z, t) dz. \quad (5)$$

Случай 2. Для ОИС установлен односторонний допуск с нижней границей поля допуска. Тогда выражение для  $P_i(t)$  определяется соотношением

$$P_i(t) = BEP\{y_i^{(n)} \leq y_i(t)\} = 1 - \int_{-\infty}^{y_i^{(n)}} f(z, t) dz. \quad (6)$$

Случай 3. Для ОИС установлен односторонний допуск с верхней границей поля допуска. В этом случае выражение для вероятности недостижения границы работоспособности имеет вид

$$P_i(t) = BEP\{y_i(t) \leq y_i^{(e)}\} = 1 - \int_{y_i^{(e)}}^{\infty} f_i(z, t) dz. \quad (7)$$

В формулах (5), (6) и (7)  $f_i(z, t)$  имеет следующий вид [23, 25]:

$$f_i(z, t) = \frac{1}{\sqrt{2 \cdot \pi \cdot D[y_i^{(np)}(t)]}} \cdot \exp\left(-\frac{(z - y_i^{(np)}(t))^2}{2 \cdot D[y_i^{(np)}(t)]}\right). \quad (8)$$

В соотношении (8) параметры нормального закона распределения определяются по формулам (3) и (4).

Установим, что для каждого из  $N$  объектов инженерной системы используется одинаковое число  $M$  видов  $A_j$  работ по их содержанию ( $j = 1(1)M$ ). Эти виды работ отличаются друг от друга объемами управляющих воздействий (работ), которые должны оказываться на ОИС. Будем рассматривать виды управления, представленные в табл. 1.

**Таблица 1. Виды управления содержанием объектов инженерной системы**

№п/п	Вид управления работами	Содержательное описание вида управления работами
1	Вид 1	Продолжить выполнение текущих действий по содержанию объекта без изменения показателей его работоспособности. При этом значения коэффициентов тренда физического износа $d_0$ и $d_1$ остаются прежними.
2	Вид 2	Проводится частичный ремонт объекта. Изменение модели работоспособности ОИС состоит в следующем: снижается значение $d_0$ , значение $d_1$ остается прежним.
3	Вид 3	Проводится замена отдельных элементов ОИС. Изменение модели работоспособности ОИС состоит в следующем: сохраняется прежнее значение $d_0$ , значение $d_1$ снижается.
4	Вид 4	Проводится замена объекта на аналогичный новый объект. Изменение модели работоспособности ОИС состоит в следующем: снижаются значения $d_0$ и $d_1$ .

Введем для  $i$ -го ОИС математическое описание варианта  $u_{ijk}$  управления работами по его содержанию ( $i = 1(1)N$ ,  $j = 1(1)M$ ,  $k = 1(1)K$ ). Модель  $u_{ijk}$  варианта управления работами эксплуатационного подразделения по содержанию  $i$ -го объекта представляет собой вектор:

$$u_{ijk} = \langle p_{ij}(t_k), e_i, v_{ij}^{(pc)}, v_i^{(AP)}, \tau_{ij}^{(pc)}, \tau_i^{(AP)}, t_k \rangle, \quad (9)$$

$$i = 1(1)N, j = 1(1)M, k = 1(1)K,$$

где  $e_i$  – удельная стоимость времени предоставления коммунальной услуги;  $\tau_i^{(AP)}$  – среднее время выполнения аварийных работ;  $\tau_{ij}^{(pc)}$  – средние затраты времени на выполнение плановой работы  $j$ -го вида,  $v_{ij}^{(pc)}$  – средняя удельная стоимость выполнения плановой работы  $j$ -го вида;  $v_i^{(AP)}$  – средняя удельная стоимость выполнения аварийных работ ( $i = 1(1)N$ ,  $j = 1(1)M$ ).

Для критерия ресурсоемкости (экономической эффективности) производственной программы ЭП наиболее полное его описание позволяет получить такой показатель, как среднее сальдо  $w_{ijk}$  на интервале содержания  $t_k$  [11, 27]. С учетом смыслового содержания этого показателя и ранее сделанных допущений выражение для  $w_{ijk}$  при варианте управления  $u_{ijk}$  имеет следующий вид [2, 24]:

$$w_{ijk} = e_i \cdot \int_0^{t_k} p_{ij}(z) dz - v_i^{(AP)} \cdot \tau_i^{(AP)} \cdot \frac{1 - p_{ij}(t_k)}{p_{ij}(t_k)} - v_{ij}^{(pc)} \cdot \tau_{ij}^{(pc)}, \quad (10)$$

$$i = 1(1)N, j = 1(1)M, k = 1(1)K.$$

Выражение в форме интеграла соотношения (10) определяет среднее значение времени нахождения ОИС в работоспособном состоянии на интервале управления [2, 17]. Второй член выражения (10) численно равен длительности неплановых затрат времени на устранение возможных отказов объекта, третий компонент количественно определяет затраты времени на плановые работы по содержанию объекта инженерной системы. В целом, первый компонент в правой части выражения (10) определяет величину финансового притока за интервал управления, обусловленного работоспособностью объекта и, соответственно, исполнением коммунальной услуги. Второй и третий компоненты выражения (10) количественно определяют финансовые оттоки за интервал управления, обусловленные затратами на плановые и неплановые мероприятия по содержанию объекта, соответственно. Таким образом, аналитическое соотношение для показателя результативности эксплуатационного подразделения по содержанию объекта инженерной системы учитывает текущий уровень работоспособности объекта, а также затраты ресурсов на проведение работ персоналом ЭП.

Инженерная система с функциональной точки зрения представляет собой совокупность  $N$  объектов, организованных для исполнения коммунальной функции. Будем рассматривать двухуровневую модель «инженерная система – объект». Аналитическое соотношение для расчета значения  $W_{jk}$  ( $j = 1(1)M$ ,  $k = 1(1)K$ ) среднего сальдо инженерной системы имеет следующий вид:

$$W_{jk} = \sum_{i=1}^N w_{ijk}, \quad j = 1(1)M, k = 1(1)K, \quad (11)$$

где значения  $j$  соответствуют виду выбранного управления для каждого объекта,  $t_k$  – выбранному интервалу управления  $i$ -м объектом инженерной системы ( $i = 1(1)N$ ,  $j = 1(1)M$ ,  $k = 1(1)K$ ).

Рассмотрим теперь модель производственной программы ЭП по содержанию инженерной системы. Данная модель представляет собой математические соотношения, связывающие варианты управления  $u_{ijk}$ , описываемые выражением (9), и показатели  $W_{jk}$  из выражения (11). Определим сначала способ формирования исходных данных для задачи. Для значения

вероятности недостижения границы работоспособности при каждом из  $K$  рассматриваемых интервалов управления, совместно с затратами на изменение уровня износа объектов при каждом виде управления работами, для каждого из  $N$  объектов инженерной системы будем использовать матричную форму записи (табл. 2).

**Таблица 2. Матрица показателей работоспособности объектов инженерной системы**

Номер объекта	Номер вида работы	Значения вероятности недостижения границы работоспособности на интервале содержания			
		$t_1$	$t_2$	...	$t_K$
1	1	$p_{11}^{(pr)}(t_1)$	$p_{11}^{(pr)}(t_2)$	...	$p_{11}^{(pr)}(t_K)$
	2	$p_{12}^{(pr)}(t_1)$	$p_{12}^{(pr)}(t_2)$	...	$p_{12}^{(pr)}(t_K)$
	...	...	...	...	...
	$M$	$p_{1M}^{(pr)}(t_1)$	$p_{1M}^{(pr)}(t_2)$	...	$p_{1M}^{(pr)}(t_K)$
2	1	$p_{21}^{(pr)}(t_1)$	$p_{21}^{(pr)}(t_2)$	...	$p_{21}^{(pr)}(t_K)$
	2	$p_{22}^{(pr)}(t_1)$	$p_{22}^{(pr)}(t_2)$	...	$p_{22}^{(pr)}(t_K)$
	...	...	...	...	...
	$M$	$p_{2N}^{(pr)}(t_1)$	$p_{2N}^{(pr)}(t_2)$	...	$p_{2N}^{(pr)}(t_K)$
...	...	...	...	...	...
$N$	1	$p_{N1}^{(pr)}(t_1)$	$p_{N1}^{(pr)}(t_2)$	...	$p_{N1}^{(pr)}(t_K)$
	2	$p_{N2}^{(pr)}(t_1)$	$p_{N2}^{(pr)}(t_2)$	...	$p_{N2}^{(pr)}(t_K)$
	...	...	...	...	...
	$M$	$p_{NM}^{(pr)}(t_1)$	$p_{NM}^{(pr)}(t_2)$	...	$p_{NM}^{(pr)}(t_K)$

В матрице табл. 2 вероятности  $p_{ij}^{(pr)}(t_k)$  для производственной программы соответствуют вероятности недостижения границы работоспособности для  $i$ -го объекта инженерной системы при использовании  $j$ -го варианта управления и на  $k$ -м интервале управления ( $i = 1(1)N$ ,  $j = 1(1)M$ ,  $k = 1(1)K$ ). Для показателей параметров управления будем использовать векторную форму записи. Эти данные будем представлять в виде векторов в табл. 3.

**Таблица 3. Вектор-столбцы параметров управления работами для объектов**

Номер объекта	Удельная стоимость единицы времени работы объекта	Средняя длительность аварийного ремонта объекта	Средняя стоимость аварийного ремонта объекта	Средняя длительность планового обслуживания объекта	Средняя стоимость планового обслуживания объекта
1	$e_1$	$\tau_1^{(AP)}$	$v_1^{(AP)}$	$\tau_1^{(pc)}$	$v_1^{(pc)}$
2	$e_2$	$\tau_2^{(AP)}$	$v_2^{(AP)}$	$\tau_2^{(pc)}$	$v_2^{(pc)}$
...	...	...	...	...	...
$N$	$e_N$	$\tau_N^{(AP)}$	$v_N^{(AP)}$	$\tau_N^{(pc)}$	$v_N^{(pc)}$

Введем также два вектора-строки, характеризующие предельные значения финансовых ресурсов и длительностей, которые установлены для проведения работ по содержанию инженерной системы. Эти векторы представим в форме табл. 4.

Таблица 4. Значения ресурсов, выделенных для содержания инженерной системы

	Номер этапа содержания			
	1	2	...	$K$
Объем средств для этапа содержания	$G_1$	$G_2$	...	$G_K$
Длительность этапа	$S_1$	$S_2$	...	$S_K$

Сформируем теперь матрицу индикаторов вариантов управления  $X$  размерностью  $[N \cdot M \times K]$ . Каждый элемент матрицы  $X$  соответствует рассматриваемому управлению  $u_{ijk}$  ( $i = 1(1)N, j = 1(1)M, k = 1(1)K$ ). Элементы матрицы  $X$  представляют собой бинарные переменные. Переменная  $x_{ijk} = 1$ , если для  $i$ -го объекта инженерной системы выбран  $j$ -й вариант управления и  $k$ -й интервал управления; элемент матрицы  $X$   $x_{ijk} = 0$  во всех остальных случаях. Матрица  $X$  состоит из  $N$  блоков, содержащих индикаторы выбора варианта управления для каждого из объектов инженерной системы. Размерность такого блока  $[M \times K]$ . Для каждого объекта инженерной системы установим требование, чтобы число единичных элементов  $x_{ijk}$  при фиксированном значении  $i$  ( $i = 1(1)N$ ) было точно равно одному. Это требование означает, что для каждого объекта инженерной системы должен быть выбран только один какой-либо вариант  $u_{ijk}$  управления ( $i = 1(1)N, j = 1(1)M, k = 1(1)K$ ). Для этого будем использовать соотношение

$$\sum_{j=1}^M \sum_{k=1}^K x_{ijk} = 1, \quad i = 1(1)N. \quad (12)$$

Значение вероятности недостижения границы работоспособности  $p_i^{(u)}$  для  $i$ -го объекта инженерной системы при варианте  $u_{ijk}$  производственной программы эксплуатационного подразделения формируется с помощью следующей формулы:

$$p_i^{(u)} = \sum_{j=1}^M \sum_{k=1}^K x_{ijk} \cdot p_{ij}^{(pr)}(t_k), \quad i = 1(1)N. \quad (13)$$

Очевидно, что значение  $p_i^{(u)}$  является единственным для  $i$ -го объекта инженерной системы при варианте  $u_{ijk}$  управления, поскольку в блоке матрицы  $X$ , содержащем индикаторы выбора варианта управления для  $i$ -го объекта инженерной системы, имеется только один единичный элемент  $x_{ijk}$  ( $i = 1(1)N, j = 1(1)M, k = 1(1)K$ ). Величина  $V_k^{(AP)}$  затрат финансовых средств на проведение аварийных ремонтов, приходящихся на  $k$ -й этап производственной программы при варианте  $u_{ijk}$  управления, определяется с помощью соотношения

$$V_k^{(AP)} = \sum_{i=1}^N \sum_{j=1}^M x_{ijk} \cdot v_i^{(AP)} \cdot \tau_i^{(AP)}, \quad k = 1(1)K. \quad (14)$$

Объем затрат  $V_i^{(pc)}$  на плановые мероприятия на  $k$ -м этапе производственной программы при варианте  $u_{ijk}$  управления рассчитывается по формуле

$$V_k^{(pc)} = \sum_{i=1}^N \sum_{j=1}^M x_{ijk} \cdot v_i^{(pc)} \cdot \tau_i^{(pc)}, \quad k = 1(1)K. \quad (15)$$

Расчетное соотношение для формирования затрат времени на проведение аварийных ремонтов при осуществлении варианта  $u_{ijk}$  управления производственной программы эксплуатационного подразделения по каждому из  $K$  ее этапов имеет вид

$$T_k^{(AP)} = \sum_{i=1}^N \sum_{j=1}^M x_{ijk} \cdot \tau_i^{(AP)}, \quad k = 1(1)K. \quad (16)$$

Величина затрат времени на проведение плановых работ при осуществлении варианта  $u_{ijk}$  управления производственной программой эксплуатационного подразделения по каждому из  $K$  ее этапов определяется по формуле

$$T_k^{(pc)} = \sum_{i=1}^N \sum_{j=1}^M x_{ijk} \cdot \tau_i^{(pc)}, \quad k = 1(1)K. \quad (17)$$

Соотношения (12)–(17) полностью формируют исходные расчетные соотношения для формирования показателей производственной программы эксплуатационного подразделения по содержанию инженерной системы в соответствии с вариантом  $u_{ijk}$  управления ( $i = 1(1)N$ ,  $j = 1(1)M$ ,  $k = 1(1)K$ ). При этом в состав этих соотношений входят неизвестные переменные  $x_{ijk}$ , которые определяют использование соответствующего варианта управления. С учетом сформированных соотношений выражение для показателя результативности управления работами эксплуатационного подразделения по содержанию  $i$ -го ОИС имеет следующий вид:

$$W_i^{(u)} = e_i \cdot \int_0^{t^{(u)}} p_i^{(u)}(z) dz - v_i^{(AP)} \cdot \tau_i^{(AP)} \cdot \frac{1 - p_i^{(u)}(t^{(u)})}{p_i^{(u)}(t^{(u)})} - V_i^{(pc)} \cdot T_i^{(pc)}, \quad i = 1(1)N. \quad (18)$$

Критерием задачи по определению рациональной производственной программы содержания инженерной системы выступает условие максимизации экономического эффекта при реализации соответствующего варианта ее осуществления. Запишем условие приведенного критерия для целевой функции задачи, в роли которой выступает выражение  $E$  для среднего сальдо (18):

$$E = \sum_{i=1}^N W_i^{(u)} \rightarrow \max_{x \in \Delta_\beta}, \quad (19)$$

где  $\Delta_\beta$  – область допустимых значений для задачи.

Рассмотрим теперь, как учесть ограничения по ресурсам финансов и времени для этапов производственной программы. Финансовые ограничения по каждому этапу имеют вид неравенства:

$$V_k^{(pc)} \leq S_k, \quad k = 1(1)K. \quad (20)$$

Ограничения по затратам времени на каждом этапе производственной программы учитываются с помощью неравенства

$$T_k^{(pc)} \leq G_k, \quad k = 1(1)K. \quad (21)$$

Учтем также требование к тому, чтобы число единичных элементов  $x_{ijk}$  при фиксированном значении  $i$  ( $i = 1(1)N$ ) было точно равно 1. Это ограничение имеет следующий вид:

$$\sum_{j=1}^M \sum_{k=1}^K x_{ijk} = 1, \quad i = 1(1)N. \quad (22)$$

Кроме этого, необходимо ввести также ограничение по виду применяемых неизвестных задачи – бинарных переменных  $x_{ijk}$ . Указанное ограничение в модели оптимизации имеет вид:

$$x_{ijk} \in \{0, 1\}, \quad i = 1(1)N, \quad j = 1(1)M, \quad k = 1(1)K. \quad (23)$$

Таким образом, модель рациональной производственной программы эксплуатационного подразделения по содержанию инженерных систем комплекса недвижимости сформирована. Используем алгоритмический метод решения этой задачи с учетом вида линейности целевой функции и ограничений, а также вида неизвестных переменных. Поскольку переменные задачи  $x_{ijk}$  относятся к классу бинарных переменных, то будем для решения использовать булевый метод ветвей и границ [28]. Рассмотрим расчетный пример.

## Расчетный пример

### Дано

Рассматривается инженерная система, в состав которой входят четыре объекта ( $N = 4$ ), каждые два из которых дублируют друг друга при производстве коммунальной услуги. Реальным примером такой системы является насосный узел инженерно-технического пункта, который содержит по два насоса горячего водоснабжения (Grandforce) разной мощности (фото на рис. 2 и рис. 3).



Рисунок 2. Насосы горячего водоснабжения Grandforce первого типа



Рисунок 3. Насосы горячего водоснабжения Grandforce второго типа

У каждого объекта наблюдается и прогнозируется изменение одного параметра технического состояния. Применительно к объектам, приведенным на фото (рис. 2 и рис. 3), такими параметрами могут служить виброскорость, виброперемещение или температура подшипника [21, 22].

Исходные данные по процессам изменения контролируемых параметров объектов в зависимости от используемых вариантов управления работами эксплуатационного подразделения приведены в табл. 5. Элементы табл. 5 представляют собой результаты расчетов по формуле (2).

Таблица 5. Матрица прогнозных значений параметров объектов

Номер объекта	Номер варианта управления	Величина интервала управления				
		1	2	3	4	5
		Прогнозное значение параметра для варианта управления				
1	Значение границы поля допуска для объекта	290,00	290,00	290,00	290,00	290,00
	1	279,80	283,31	286,83	290,34	293,86
	2	279,58	283,03	286,48	289,93	293,38
	3	277,60	281,11	284,63	288,14	291,66
	4	277,36	280,84	284,32	287,80	291,28
2	Значение границы поля допуска для объекта	21,00	21,00	21,00	21,00	21,00
	1	20,14	20,56	20,99	21,42	21,85
	2	19,74	20,11	20,48	20,85	21,22
	3	19,92	20,35	20,78	21,21	21,64
	4	19,50	19,87	20,24	20,61	20,98
3	Значение границы поля допуска для объекта	250,00	250,00	250,00	250,00	250,00
	1	257,07	252,90	248,72	244,55	240,38
	2	259,67	255,87	252,07	248,27	244,47
	3	260,80	256,63	252,46	248,29	244,11
	4	263,40	259,60	255,80	252,00	248,20

Солдатенко Т.Н. Модель управления работами эксплуатирующей организации по содержанию инженерных систем комплекса недвижимости

Номер объекта	Номер варианта управления	Величина интервала управления				
		1	2	3	4	5
		Прогнозное значение параметра для варианта управления				
4	Значение границы поля допуска для объекта	272,00	272,00	272,00	272,00	272,00
	1	266,13	268,79	271,45	274,10	276,76
	2	264,60	267,26	269,91	272,57	275,23
	3	263,48	265,38	267,28	269,18	271,08
	4	259,30	261,20	263,10	265,00	266,90

Будем рассматривать варианты управления, которые приведены в табл. 1. Объединенные исходные данные по показателям вариантов управления содержанием инженерной системы приведены в табл. 6. Элементы табл. 6 соответствуют элементам табл. 3.

**Таблица 6. Исходные данные по управлению содержанием инженерной системы**

Номер объекта	Номер варианта управления	Показатель притока от работы объектов	Показатели аварийного ремонта объектов		Показатели плановых управляющих воздействий на объекты	
			Мат. ожидание времени аварийного ремонта	Мат. ожидание стоимости аварийного ремонта	Мат. ожидание времени плановых воздействий на объект	Мат. ожидание стоимости плановых управляющих воздействий на объект
1	1	2	20	500,00	15	50
	2	2	20	500,00	15	150
	3	2	20	500,00	15	200
	4	2	20	500,00	15	350
2	1	2	20	500,00	15	50
	2	2	20	500,00	15	150
	3	2	20	500,00	15	200
	4	2	20	500,00	15	350
3	1	2	20	800,00	15	70
	2	2	20	500,00	15	170
	3	2	20	800,00	15	270
	4	2	20	800,00	15	370
4	1	2	20	800,00	15	70
	2	2	20	800,00	15	170
	3	2	20	800,00	15	270
	4	2	20	800,00	15	370

Исходные данные по ограничениям на управление работами эксплуатационного подразделения приведены в табл. 7. Данные табл. 7 соответствуют данным табл. 4.

**Таблица 7. Исходные данные по ограничениям на управление работами**

Величина интервала управления				
1	2	3	4	5
Допустимая длительность этапа содержания				
40	40	40	40	40
Допустимая величина финансовых затрат на этапе содержания				
700	700	700	700	700

### Необходимо

Сформировать рациональную по критерию максимальной экономической эффективности производственную программу эксплуатационного подразделения по содержанию инженерной системы.

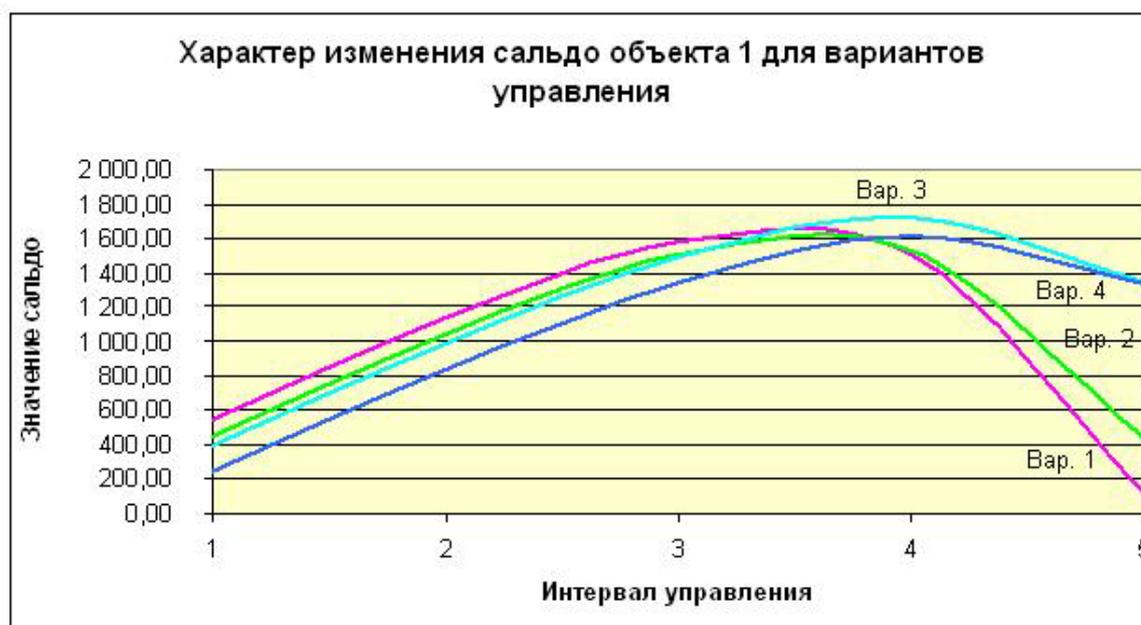
**Решение задачи**

Сначала на основе моделируемых трендов параметров объектов инженерной системы получим значения вероятности недостижения границы работоспособности для этих ОИС с помощью формул (6) и (7). Результаты расчетов приведены в табл. 8. Элементы табл. 8 соответствуют элементам табл. 2. Они представляют собой результаты расчетов по формулам (6) и (7).

**Таблица 8. Матрица значений вероятности недостижения границы работоспособности для вариантов управления**

Номер объекта	Номер варианта управления	Величина интервала управления				
		1	2	3	4	5
		Значение вероятности недостижения границы работоспособности объекта для варианта управления				
1	1	0,9998	0,9823	0,8144	0,4654	0,1883
	2	0,9999	0,9859	0,8399	0,5076	0,2195
	3	1,0000	0,9974	0,9351	0,6812	0,3520
	4	1,0000	0,9980	0,9454	0,7115	0,3846
2	1	0,8211	0,6614	0,5031	0,3739	0,2784
	2	0,9102	0,8022	0,6717	0,5459	0,4392
	3	0,8750	0,7325	0,5746	0,4359	0,3282
	4	0,9449	0,8596	0,7421	0,6179	0,5055
3	1	0,9388	0,7148	0,4114	0,1949	0,0849
	2	0,9827	0,8749	0,6416	0,3922	0,2148
	3	0,9909	0,9030	0,6669	0,3933	0,2004
	4	0,9983	0,9700	0,8457	0,6239	0,3986
4	1	0,9562	0,7989	0,5514	0,3291	0,1827
	2	0,9844	0,8921	0,6871	0,4522	0,2697
	3	0,9934	0,9579	0,8649	0,7231	0,5692
	4	0,9999	0,9976	0,9813	0,9294	0,8338

Теперь, используя соотношение (18), получим значения среднего сальдо для каждого из рассматриваемых вариантов управления работами эксплуатационного подразделения. Характер изменения указанного показателя для каждого ОИС и вида управления для работ по его содержанию приведен на графиках (рис. 4–7).



**Рисунок 4. Характер изменения сальдо ОИС 1 на интервалах управления**

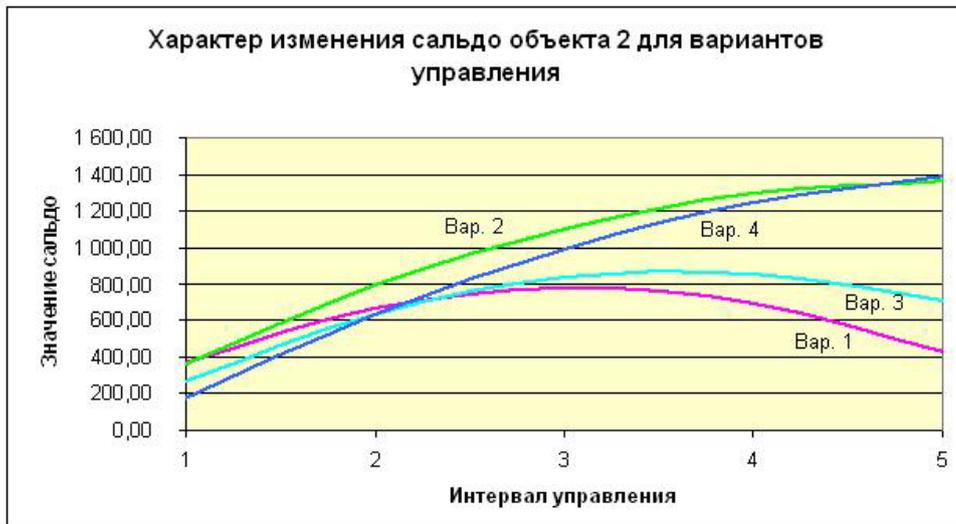


Рисунок 5. Характер изменения сальдо ОИС 2 на интервалах управления

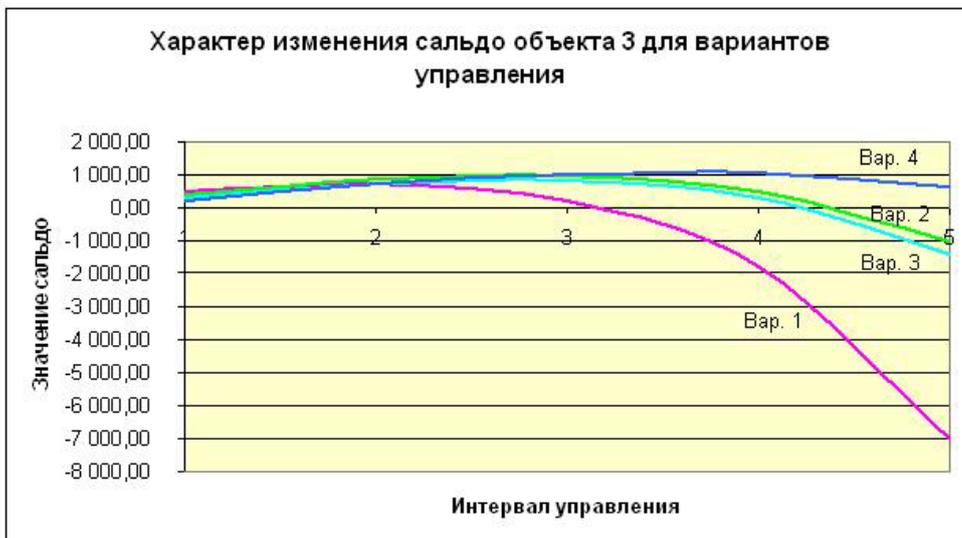


Рисунок 6. Характер изменения сальдо ОИС 3 на интервалах управления

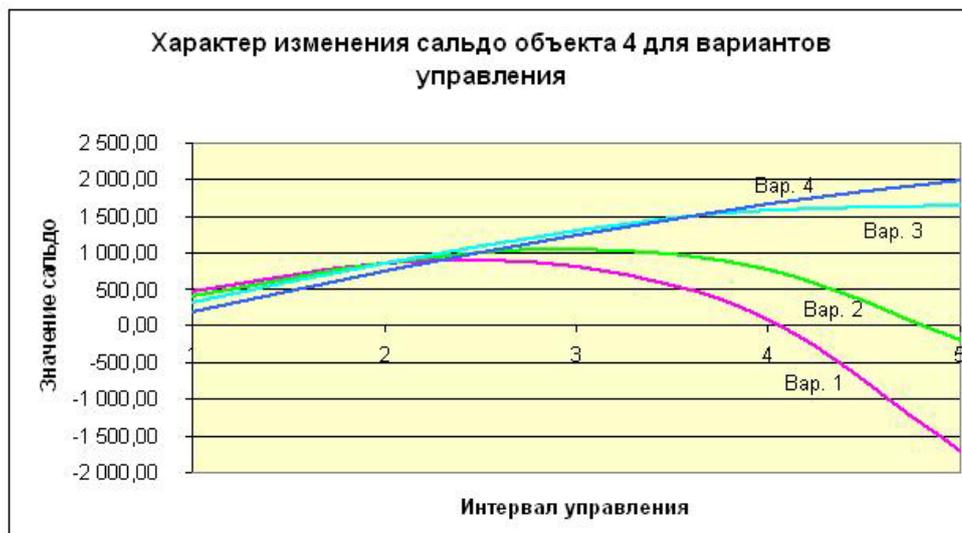


Рисунок 7. Характер изменения сальдо ОИС 4 на интервалах управления

Целевая функция для задачи формируется в соответствии с выражением (19). Ограничения по задаче рассчитываются с помощью соотношений (20), (21), (22) и (23).

Для алгоритмического метода решения задачи булева программирования воспользуемся надстройкой «Поиск решения» пакета MS Excel. При этом достигается значение среднего сальдо, вычисляемое по формуле (18), равное 6 136,20. Это значение соответствует рациональной производственной программе эксплуатационного подразделения, которая характеризуется матрицей индикаторов вариантов, приведенной в табл. 9.

**Таблица 9. Матрица индикаторов управления работами по содержанию инженерной системы**

Номер объекта	Номер варианта управления	Величина интервала управления				
		1	2	3	4	5
		Значение индикатора управления для варианта управления				
1	1	0	0	0	0	0
	2	0	0	0	0	0
	3	0	0	0	1	0
	4	0	0	0	0	0
2	1	0	0	0	0	0
	2	0	0	0	0	1
	3	0	0	0	0	0
	4	0	0	0	0	0
3	1	0	0	0	0	0
	2	0	0	0	0	0
	3	0	0	0	0	0
	4	0	0	0	1	0
4	1	0	0	0	0	0
	2	0	0	0	0	0
	3	0	0	0	0	0
	4	0	0	0	0	1

Результат решения задачи определения рациональной производственной программы, представленный элементами табл. 9, конкретизируется следующим образом: для объекта 1 инженерной системы рекомендуется использовать 3-й вид управления и осуществлять соответствующие действия с интервалом, равным 4; для объекта 2 – 2-й вид управления и интервал управления, равный 5; для объекта 3 – 4-й вид управления и интервал, равный 4; для объекта 4 – 4-й вид управления и интервал, равный 5.

### Выводы

На основе представленного материала можно сделать следующие выводы. Рассмотренный в статье подход к моделированию производственной программы по содержанию инженерной системы комплекса недвижимости позволяет найти рациональный по экономическому критерию вариант деятельности эксплуатационного подразделения. Новизной разработанной модели является использование в составе показателя ресурсоемкости результатов индивидуального прогнозирования тренда значений параметра каждого объекта. Это прогнозирование осуществляется по ограниченной ретроспективной информации о физическом износе объекта на интервалах управления. Полученное аналитическое выражение для среднего сальдо учитывает как фактическое техническое состояние объектов инженерной системы, так и возможности эксплуатационного подразделения по управлению работами обеспечения исполнения коммунальных услуг для комплекса недвижимости.

Это позволяет более точно и полно учесть существующие ограничения по затратам средств и времени на поддержание работоспособности инженерной системы, своевременно корректировать интервалы и объемы работ по ее содержанию.

## Заключение

Анализ известных работ, посвященных построению правил содержания объектов инженерных систем, показал, что в рассматриваемых ранее методах и моделях не в полной мере учитывается постепенное изменение физического износа ОИС, а также его влияние на показатели экономической эффективности деятельности эксплуатационного подразделения. Это может привести к несоответствию затрат ресурсов коммунального предприятия фактическому состоянию инженерных систем, а также к невыполнению требований нормативных документов относительно качества коммунальных услуг. Выходом из создавшегося положения является совершенствование оценки физического износа объектов и получение зависимостей для показателей результативности производственных программ эксплуатационного подразделения в направлении объединения прогнозируемых значений физического износа объектов и показателей, характеризующих возможности по управлению содержанием инженерной системы.

С помощью предлагаемого подхода обеспечивается возможность формирования рациональной производственной программы на строгой научной основе с использованием методов булева программирования. Данный подход может найти практическое применение на коммунальных предприятиях различных форм собственности, при планировании и обосновании мероприятий по поддержанию работоспособного состояния инженерных систем комплексов недвижимости.

## Литература

1. Услуги жилищно-коммунальные. Термины и определения. ГОСТ 51929-2002. М.: Стандартинформ, 2003. 57 с.
2. Кондратьева М. Н. Организация и управление жилищно-коммунальным хозяйством: учеб. пособие для студентов высших учебных заведений. Ульяновск: УлГТУ, 2009. 160 с.
3. Кобилев А.Г., Кирнев А.Д., Рудой В.В. Муниципальное управление и социальное планирование в муниципальном хозяйстве. Ростов н/Д.: Феникс, 2007. 608 с.
4. Российский статистический ежегодник. [Электронный ресурс]. Режим доступа: [www.cir.ru/docs/ips/collections/gks\\_ejeg\\_full.jsp](http://www.cir.ru/docs/ips/collections/gks_ejeg_full.jsp)
5. Дмитриев В.Д. и др. Эксплуатация систем водоснабжения, канализации и газоснабжения: Справочник. Л.: Стройиздат, 1988. 382 с.
6. Жилищно-коммунальные услуги. Общие технические условия [Текст] ГОСТ Р 51617-2000.
7. Положение об организации, проведении реконструкции, ремонта и технического обслуживания жилых зданий, объектов коммунального хозяйства и социально-культурного назначения (ВСН 58-88(р)). Приказ Госкомархитектуры Госстроя СССР №312 от 23.11.1988 г.
8. Концепция федеральной целевой программы «Комплексная программа модернизации и реформирования жилищно-коммунального хозяйства на 2010 – 2020 годы». Распоряжение Правительства Российской Федерации от 2 февраля 2010 г. №102-р. [Электронный ресурс]. Режим доступа: [www.consultant.ru/document/cons\\_doc\\_LAW\\_97439](http://www.consultant.ru/document/cons_doc_LAW_97439).
9. Методические рекомендации по определению технического состояния систем коммунальной инфраструктуры. Рекомендательное письмо Министерства регионального развития Российской Федерации от 26 апреля 2012 г. №9905-АП/14.
10. Здания и сооружения. Правила обследования и мониторинга технического состояния. ГОСТ Р 53778-2010. Стандартинформ, 2010. 112 с.
11. Солдатенко Т.Н. Программа обслуживания комплекса жизнеобеспечения здания, оптимальная по нескольким критериям // Научно-технические ведомости СПбГПУ. 2011. №2(120). С. 81-86.
12. Рогонский В.А. Эксплуатационная надежность зданий и сооружений. СПб.: Стройиздат СПб, 2004. 272 с.
13. Поршнев В.Н., Привен Е.М., Битиев А.В. Принципы обеспечения надежности функционирования системы водоснабжения // Водоснабжение и санитарная техника. 2007. №7. Ч. 1. С. 40.
14. Величкин В.З., Солдатенко Т.Н. Модель интеллектуальной поддержки принятия решений по управлению состоянием строительных конструкций зданий // Инженерно-строительный журнал. 2012. №3. С. 74-82.

doi: 10.5862/MCE.37.13

## Model of work management in the operating organization for the maintenance of building systems

**T.N. Soldatenko,**

*Saint-Petersburg State Polytechnical University, Saint-Petersburg, Russia;*

*+7(812)297-59-49; e-mail: soldatenko-tn@bk.ru*

### Key words

physical wear of engineering system; binary variable; individual forecasting; problem of boolean programming

### Abstract

Known methods of work management for the maintenance of engineering systems of buildings and structures do not fully take into account results of forecasting of physical wear of systems and the operating organizations possibilities. Such methods do not allow forming the production program considering an actual state of building systems and restriction on resources of various types.

Relevance of the offered approach consists in jointly using the individual forecasting results of physical wear of building system and financial streams indicator in model of economic performance of management productivity of this system, and also the following optimization of the production program of the operating organization in the form of a binary mathematical programming problem.

The purpose of the work is to increase the efficiency of decision-making at justification of types of work management for the maintenance of building systems. The goal is reached by using the device of analytical and probabilistic forecasting of trend of building system condition and formation of an expression for average balance in function not only from indicators of a financial stream, but also from level of physical wear of object. It is offered to consider the received ratio as criterion function of binary programming problem in which required variables are indicators of a choice of the appropriate work of the engineering system maintenance.

The described approach was checked by settlement approbation as applied to formation of the production program of the operating organization, optimum by criterion of a maximum of economic productivity and restrictions on finances and time, and showed the working capacity. On the basis of these results the conclusions are drawn on the area and conditions of application of the developed algorithms and models.

### References

1. *Uslugi zhilishchno-kommunalnyye. Terminy i opredeleniya* [Housing and communal service. Terms and definitions]. GOST 51929-2002. Moscow: Standartinform, 2003. 57 p. (rus)
2. Kondratyeva M.N. *Organizatsiya i upravleniye zhilishchno-kommunalnym khozyaystvom: ucheb.posobiye dlya studentov vysshikh uchebnykh zavedeniy* [Organization and management of housing and communal services: tutorial for students]. Ulyanovsk: UIGTU, 2009. 160 p. (rus)
3. Kobilev A.G., Kirneev A.D., Rudoy V.V. *Munitsipalnoe upravlenie i sotsialnoe planirovanie v munitsipalnom khozyaystve* [Municipal office and social planning in municipal services]. Rostov-on-Don: Feniks, 2007. 608 p. (rus)
4. *Rossiyskiy statisticheskiy ezhegodnik* [Russian statistic annual]. [Online]. URL: [www.cir.ru/docs/ips/collections/gks\\_ejeg\\_full.jsp](http://www.cir.ru/docs/ips/collections/gks_ejeg_full.jsp) (rus)
5. Dmitriyev V.D. *Ekspluatatsiya system vodosnabzheniya, kanalizatsii i gazosnabzheniya: Spravochnik* [Water systems, sewerage systems, gas supply systems operation: manual]. Leningrad: Stroyizdat, 1988. 382 p. (rus)
6. *Zhilishchno-kommunalnye uslugi. Obshchiye tekhnicheskkiye usloviya* [Housing and communal service. General specifications]. GOST R 51617-2000. (rus)
7. *Polozheniye ob organizatsii, provedenii rekonstruktsii, remonta i tekhnicheskogo obsluzhivaniya zhilyh zdaniy, obektov kommunalnogo khozyaystva I sotsialno-kulturnogo naznacheniya (VSN 58-88(r). Prikaz Goskomarkhitektury Gosstroya SSSR № 312 ot 23.11.1988 g* [The statute of organization, reconstruction, repair and maintenance of the residential buildings, communal service's facilities and of sociocultural purpose. The order of State architecture committee of Gosstroy USSR No.312 of 23.11.1988]. (rus)
8. *Kontseptsiya federalnoy tselevoy programmy "Kompleksnaya programma modernizatsii I reformirovaniya zhilishchno-kommunalnogo khozyaystva na 2010 – 2020 gody*. Rasporyazheniye Pravitelstva Rossiyskoy Soldatenko T.N. Model of work management in the operating organization for the maintenance of building systems

- Federatsii ot 2 fevralya 2010 g. No 102-r [Federal special-purpose program "Comprehensive programme of modernization and reformation of housing and communal services in 2010 – 2020 years". Russian Government Order of 2 February 2010 No.102-r]. (rus).
9. Metodicheskiye rekomendatsii po opredeleniyu tekhnicheskogo sostoyaniya system kommunalnoy infrastruktury. Rekomendatelnoe pismo Ministerstva regionalnogo razvitiya Rossiyskoy Federatsii ot 26 aprelya 2012 g. № 9905-AP/14 [Recommended practice on estimation municipal infrastructure's technical state. Letter of introduction of The regional development ministry of Russian Federation of 26 April 2012. No.9905-AP/14 ]. (rus)
  10. *Zdaniya i sooruzheniya. Pravila obsledovaniya i monitoringa tekhnicheskogo sostoyaniya* [Buildings and structures. Regulations of technical state monitoring and inspection]. GOST R 53778-2010. (rus)
  11. Soldatenko T.N. *Nauchno-tekhnicheskkiye vedomosti SPbGPU*. 2011. No.2(120). Pp. 81–86. (rus)
  12. Rogonskiy V.A., Kostrits A.I., Sheryakov V.F. [et al] *Ekspluatatsionnaya nadezhnost zdaniy i sooruzheniy* [Maintainability of buildings and structures]. Saint-Petersburg: Stroyizdat SPb, 2004. 272 p. (rus)
  13. Porshnev V.N., Priven E.M., Bitiev A.V. *Vodosnabzhenie i sanitarnaya tekhnika*. 2007. No.7. Part 1. p. 40. (rus)
  14. Velichkin V.Z., Soldatenko T.N. *Magazine of Civil Engineering*. 2012. No.3(29). Pp. 74–82. (rus)
  15. Soldatenko T.N. *Magazine of Civil Engineering*. 2011. No.5(23). Pp. 60–66. (rus)
  16. Merenkov A., Sennova E., S. Sumarov. Optimization of development of heat and water supply system. *Sov. Techn. Rev. Energy*. 1994. Vol. 6.1. Part 4. Pp.1–31.
  17. Kim Y.W., Kim S.C. Cost analysis of information technology-assisted quality inspection using activity-based costing. *Construction Management & Economics*. 2011. Vol. 29. No.2. Pp. 163–172.
  18. Englund S., Sorensen J., Sorensen B. Evaluation of Repair and Maintenance Strategies for Concrete Coastal Bridges on a Probabilistic Basis. *ACJ Materials Journal*. 1999. Vol. 96. No.2. Pp. 160–166.
  19. Liu K.F.R. A Possibilistic Petri Net Model for Diagnosing Cracks in RC Structures. *Computer-Aided Civil and Infrastructure Engineering*. 2003. Vol. 18. Pp. 426–439.
  20. Alekseev M.I., Ermolin Yu.A. *Vodosnabzhenie i sanitarnaya tekhnika*. 2009. No.5. p. 26. (rus)
  21. Sharov V.V. *Promyshlennaya energetika*. 2009. No.4. Pp. 13–19. (rus)
  22. Machnev V.A. *Niva Povolzhya*. 2012. No.1. Pp. 83–87. (rus)
  23. Soldatenko T.N. *Magazine of Civil Engineering*. 2012. No.6(32). Pp. 64–72. (rus)
  24. Mironov A.N. Teoreticheskie osnovy i metody mnogomodelnogo prognozirovaniya dolgovechnosti slozhnykh voenno-tekhnicheskikh system kosmicheskogo naznacheniya [Theory and methods of forecast of military technical space systems' durability]. Saint-Petersburg: MO RF, 2000. 430 p. (rus).
  25. Venttsel E.S. *Teoriya veroyatnostey* [Probability theory]. Moscow: Vysshaya shkola, 2006. 575 p. (rus)
  26. Mironov A.N. *Intellektualnoe upravlenie riskom pri ekspluatatsii slozhnykh tekhnologicheskikh system. Monografiya* [Intelligent risk control in complex engineering systems service. Monograph]. Saint-Petersburg: VKA im. A.F. Mozhayskogo, 2008. 523 p. (rus)
  27. Mironov I.S. *Ekonomika stroitelstva: Uchebnyk dlya vuzov* [Construction economics: college textbook]. Moscow: Yurayt-Izdat, 2002. 591 p. (rus)
  28. Uzdemir A.P. *Dinamicheskie tselochislennyye zadachi optimizatsii v ekonomike* [Dynamic integral optimization problem in economics]. Moscow: Fizmatlit, 1995. 236 p. (rus)

**Full text of this article in Russian: pp. 89–103**

8. *Kontsepsiya federalnoy tselevoy programmy "Kompleksnaya programma modernizatsii i reformirovaniya zhilishchno-kommunalnogo khozyaystva na 2010 – 2020 gody*. Rasporyazheniye Pravitelstva Rossiyskoy Federatsii ot 2 fevralya 2010 g. No 102-r [Federal special-purpose program "Comprehensive programme of modernization and reformation of housing and communal services in 2010 – 2020 years". Russian Government Order of 2 February 2010 No.102-r]. (rus).
9. Metodicheskiye rekomendatsii po opredeleniyu tekhnicheskogo sostoyaniya system kommunalnoy infrastruktury. Rekomendatelnoe pismo Ministerstva regionalnogo razvitiya Rossiyskoy Federatsii ot 26 aprelya 2012 g. № 9905-AP/14 [Recommended practice on estimation municipal infrastructure's technical state. Letter of introduction of The regional development ministry of Russian Federation of 26 April 2012. No.9905-AP/14 ]. (rus)
10. *Zdaniya i sooruzheniya. Pravila obsledovaniya i monitoringa tekhnicheskogo sostoyaniya* [Buildings and structures. Regulations of technical state monitoring and inspection]. GOST R 53778-2010. (rus)
11. Soldatenko T.N. *Nauchno-tekhnicheskiye vedomosti SPbGPU*. 2011. No.2(120). Pp. 81–86. (rus)
12. Rogonskiy V.A., Kostits A.I., Sheryakov V.F. [et al] *Ekspluatatsionnaya nadezhnost zdaniy i sooruzheniy* [Maintainability of buildings and structures]. Saint-Petersburg: Stroyizdat SPb, 2004. 272 p. (rus)
13. Porshnev V.N., Priven E.M., Bitiev A.V. *Vodosnabzhenie i sanitarnaya tekhnika*. 2007. No.7. Part 1. p. 40. (rus)
14. Velichkin V.Z., Soldatenko T.N. *Magazine of Civil Engineering*. 2012. No.3(29). Pp. 74–82. (rus)
15. Soldatenko T.N. *Magazine of Civil Engineering*. 2011. No.5(23). Pp. 60–66. (rus)
16. Merenkov A., Sennova E., S. Sumarokov. Optimization of development of heat and water supply system. *Sov. Techn. Rev. Energy*. 1994. Vol. 6.1. Part 4. Pp.1–31.
17. Kim Y.W., Kim S.C. Cost analysis of information technology-assisted quality inspection using activity-based costing. *Construction Management & Economics*. 2011. Vol. 29. No.2. Pp. 163–172.
18. Engelund S., Sorensen J., Sorensen B. Evaluation of Repair and Maintenance Strategies for Concrete Coastal Bridges on a Probabilistic Basis. *ACJ Materials Journal*. 1999. Vol. 96. No.2. Pp. 160–166.
19. Liu K.F.R. A Possibilistic Petri Net Model for Diagnosing Cracks in RC Structures. *Computer-Aided Civil and Infrastructure Engineering*. 2003. Vol. 18. Pp. 426–439.
20. Alekseev M.I., Ermolin Yu.A. *Vodosnabzhenie i sanitarnaya tekhnika*. 2009. No.5. p. 26. (rus)
21. Sharov V.V. *Promyshlennaya energetika*. 2009. No.4. Pp. 13–19. (rus)
22. Machnev V.A. *Niva Povolzhya*. 2012. No.1. Pp. 83–87. (rus)
23. Soldatenko T.N. *Magazine of Civil Engineering*. 2012. No.6(32). Pp. 64–72. (rus)
24. Mironov A.N. Teoreticheskie osnovy i metody mnogomodelnogo prognozirovaniya dolgovechnosti slozhnykh voenno-tekhnicheskikh system kosmicheskogo naznacheniya [Theory and methods of forecast of military technical space systems' durability]. Saint-Petersburg: MO RF, 2000. 430 p. (rus).
25. Venttsel E.S. *Teoriya veroyatnostey* [Probability theory]. Moscow: Vysshaya shkola, 2006. 575 p. (rus)
26. Mironov A.N. *Intellektualnoe upravlenie riskom pri ekspluatatsii slozhnykh tekhnologicheskikh system. Monografiya* [Intelligent risk control in complex engineering systems service. Monograph]. Saint-Petersburg: VKA im. A.F. Mozhayskogo, 2008. 523 p. (rus)
27. Mironov I.S. *Ekonomika stroitelstva: Uchebnik dlya vuzov* [Construction economics: college textbook]. Moscow: Yurayt-Izdat, 2002. 591 p. (rus)
28. Uzdemir A.P. *Dinamicheskie tselochislennyye zadachi optimizatsii v ekonomike* [Dynamic integral optimization problem in economics]. Moscow: Fizmatlit, 1995. 236 p. (rus)

**Full text of this article in Russian: pp. 89–103**