

МОДЕЛИРОВАНИЕ СИСТЕМЫ ОБСЛУЖИВАНИЯ И РЕМОНТА ИНФОРМАЦИОННО-КОММУНИКАЦИОННОГО ОБОРУДОВАНИЯ

© 2022 Ю. М. Краковский✉, Ю. Н. Шишкин

*Иркутский государственный университет путей сообщения
ул. Чернышевского, 15, 664074 Иркутск, Российская Федерация*

Аннотация. Статья посвящена моделированию системы обслуживания и ремонта информационно-коммуникационного оборудования, а также созданию оценок показателей эффективности на основе выборочных значений, полученных методом имитационного моделирования. Исследование является развитием работ, в которых для оценки эффективности обслуживания и ремонта сложного оборудования предложено использовать страховую фонд, состояние которого описывается процессом риска специального вида. Новизной работы является специальное алгоритмическое обеспечение по обработке информации, содержащее вероятностные модели и алгоритмы получения результатов имитационного моделирования с использованием событийного подхода и календаря событий специального вида по трем основным факторам: а) значениям коэффициентов, позволяющих определять объемы финансовых ресурсов, необходимых для выполнения ремонтных работ по их видам; б) периодичностям платежей в страховую фонд по видам работ и их значений. В качестве показателей эффективности предложены и апробированы точечные и интервальные оценки ресурсно-затратного и финансового рисков, а также численные показатели надежности «Отказ в обслуживании» в виде средней наработки и гамма-процентного ресурса. В работе исследован реальный практически важный случай, связанный с обслуживанием и ремонтом информационно-коммуникационного оборудования. Для этого исследования подготовлены четыре варианта в которых в первом варианте значения исследуемых факторов удовлетворяют предложенным моделям, а в других вариантах нет. Для каждого варианта, используя созданное программно-алгоритмическое обеспечение, найдены оценки показателей эффективности. Результаты моделирования подтвердили правильность предложенных моделей, т.к. для первого варианта точечные оценки рисков имеют наименьшие значения, а значения численных показателей надежности наибольшие.

Ключевые слова: ресурсно-затратный и финансовый риски, информационно-коммуникационное оборудование, процесс риска, численные показатели надежности «Отказ в обслуживании».

ВВЕДЕНИЕ

Современное оборудование различного назначения является многокомпонентным, содержащим помимо механических электронных, электротехнические и компьютер-

ные компоненты. Подобное сложное оборудование называют еще мехатронным [1, 2]. Сложность и многокомпонентность подобного оборудования при его производстве и эксплуатации требует развития и совершенствования методов надежности, диагностики и мониторинга [3–8].

Эффективность эксплуатации оборудования во многом определяется его системой тех-

✉ Краковский Юрий Мечеславович
e-mail: 79149267772@yandex.ru



Контент доступен под лицензией Creative Commons Attribution 4.0 License.

The content is available under Creative Commons Attribution 4.0 License.

нического обслуживания и ремонта, поэтому в этом направлении ведутся различные исследования, включая развитие и применение различных математических методов [9–11].

Данная статья является развитием работ [12–14], которые подготовлены при участии одного из авторов. В этих работах при организации обслуживания и ремонта сложного оборудования предлагается использовать страховой фонд, выполняющего две функции:

1) накопление платежей с различной периодичностью для выполнения различного вида ремонтных работ, когда для каждого вида работ устанавливается периодичность пополнения страхового фонда (сутки) и их стоимость (млн руб.);

2) по мере необходимости производится оплата ремонтных работ, когда для каждого вида работ определяется периодичность использования страхового фонда (сутки) и их стоимость (млн руб.).

Так как оборудование эксплуатируется в условиях неопределенности и ограниченных финансовых ресурсах, то для математического описания состояния страхового фонда предлагается использовать процесс риска специального вида. Этот процесс является случайным, нестационарным, дискретным, с непрерывным временем. Термин «процесс риска» взят из литературы по математической теории рисков [15], в которой этот процесс используется при описании состояния резерва страховой компании, зависящего от начального капитала, доходной части (суммарные взносы клиентов) и от потерь (суммарные выплаты клиентам).

В работах по математической теории рисков процесс риска исследуется аналитически, что требует определенных ограничений. В данной работе и работах [12–14] процесс риска исследуется с использованием имитационного моделирования, что позволило ввести и оценить показатели эффективности в виде рисков и показателей надежности, оценивающих «Отказ в обслуживании». Это, в свою очередь, позволяет создать и применять программно-математическое обеспечение, по оценке эффективности обслуживания и ре-

монта различного по назначению оборудования на основе страхового фонда.

В данной работе рассмотрен реальный практически важный случай, когда требуется промоделировать систему обслуживания и ремонта информационно-коммуникационного оборудования, осуществляемого сотрудниками управления информатизации высшего учебного заведения. В исследуемой задаче информационно-коммуникационное оборудование это:

а) компьютерная техника различного назначения (компьютеры у административно-управленческого персонала, серверы и сайты, компьютеры преподавателей, менеджеров кафедр и деканатов, учебные компьютеры и т. д.);

б) оргтехника различного назначения, включая оборудование учебного назначения;

в) различные средства информационно-коммуникационных сетей и систем.

Выделено три вида обслуживания и ремонта этого оборудования:

1) работы, связанные с текущим обслуживанием (текущие работы);

2) работы, связанные с улучшение функциональных возможностей и эксплуатационных характеристик техники (модернизационные работы);

3) работы, связанные с различными аварийными и другими нештатными ситуациями (аварийные работы).

Целью работы является моделирование системы обслуживания и ремонта информационно-коммуникационного оборудования, а также создание и вычисление оценок показателей эффективности на основе выборочных значений, полученных методом имитационного моделирования.

Новизной работы является специальное алгоритмическое обеспечение по обработке информации, содержащее вероятностные модели и алгоритмы получения результатов имитационного моделирования с использованием событийного подхода и календаря событий специального вида по трем основным факторам: а) значениям коэффициентов, позволяющих определять объемы финансовых ресурсов, необходимых для выполнения

ремонтных работ по их видам; б) периодичности платежей и их значений в страховой фонд по видам работ.

1. МАТЕМАТИЧЕСКОЕ ОПИСАНИЕ ПОКАЗАТЕЛЕЙ ЭФФЕКТИВНОСТИ

Следуя работе [13] и учитывая три вида ремонтных работ, определим процесс риска для описания состояния страхового фонда следующим образом

$$R(t) = X_0 + Y1(t) + Y2(t) + Y3(t) - YA(t) - YT(t) - YM(t), \quad (1)$$

где X_0 — начальные средства страхового фонда; $Yj(t)$ — суммарные накопления платежей по видам работ к моменту времени t , ($j=1, 2, 3$); $YA(t)$ — суммарные затраты для выполнения аварийных работ; $YT(t)$ — суммарные затраты для выполнения текущих работ; $YM(t)$ — суммарные затраты для выполнения модернизационных работ.

Для процесса риска (1) при моделировании определяется время τ (в страховой математике время разорения), когда первый раз выполняется условие $R(t) < 0$,

$$\tau = \min_t \{t : R(t) < 0\}. \quad (2)$$

Величина (2) является случайной, но с особенностью, т. к. для одних реализаций нестационарного процесса риска (1) величина (2) существует, а для других нет. В нашем случае время разорения (2) характеризует эффективность организации ремонтных работ с точки зрения формирования и использования платежей по их видам при наличии страхового фонда.

Случайное событие ($\tau < T_\tau$) рассматривается как ресурсно-затратный риск, который оценивается его показателем r_τ , как вероятность этого события (однофакторная модель оценки риска)

$$r_\tau = P(\tau < T_\tau), \quad (3)$$

где T_τ — заданное время (сутки). Например, $T_\tau = 90, 180, 360$ суток.

При использовании имитационного моделирования и созданного для этого специального алгоритмического обеспечения по обработке реализаций процесса (1), содержащего вероятностные модели и алгоритмы, созда-

ются выборочные значения (2) объема n с использованием событийного подхода и календаря событий специального вида. Полученная выборка затем обрабатывается по предложенным алгоритмам. Время моделирования реализаций процесса (1) больше, чем максимальное значение T_τ . Полученная выборка имеет вид

$$T = (\tau_1, \dots, \tau_i, \dots, \tau_n). \quad (4)$$

На практике широко используется двухфакторная модель оценки риска, когда помимо вероятности негативного события (3) учитываются финансовые последствия от этого события (ущерб, потери). В связи с этим, в работе введено понятие финансового риска вида

$$R_\phi = r_\tau \cdot C_R, \text{ млн руб.}, \quad (5)$$

где C_R — значение потерь от невыполнения ремонтных работ, млн руб.; r_τ — величина (3), характеризующая ресурсно-затратный риск. Величина (5) является детерминированной и неизвестной. При имитационном моделировании она заменяется точечной оценкой

$$\tilde{R}_\phi = \tilde{R}_\tau \cdot C_R \quad (6)$$

и интервальной оценкой

$$R_1 = \tau_1 \cdot C_R, \quad R_2 = \tau_2 \cdot C_R. \quad (7)$$

В формулах (6) и (7)

$$\tilde{R}_\tau = k_\tau / n_0, \quad (8)$$

где k_τ — число реализаций процесса (1), для которых при условии ($\tau < T_\tau$) существует величина (2), n_0 — число созданных реализаций процесса (1) методом имитационного моделирования;

$$\tau_1 = k_\tau / [k_\tau + (n_0 - k_\tau + 1) \cdot F_1(v_1, v_2)], \quad (9)$$

где $F_1(v_1, v_2)$ — критическое значение для F -распределения при v_1 и v_2 степенях свободы и заданной доверительной вероятности;

$$v_1 = 2 \cdot (n_0 - k_\tau + 1), \quad v_2 = 2 \cdot k_\tau;$$

$$\tau_2 = (k_\tau + 1) \cdot F_2(v_3, v_4) / [n_0 - k_\tau + (k_\tau + 1) \cdot F_2(v_3, v_4)], \quad (10)$$

где $F_2(v_3, v_4)$ — критическое значение для F -распределения при v_3 и v_4 степенях свободы и заданной доверительной вероятности; $v_3 = 2 \cdot (k_\tau + 1)$, $v_4 = 2 \cdot (n_0 - k_\tau)$. Значение (8)

является точечной оценкой величины (3), а (τ_1, τ_2) ее интервальной оценкой.

Преимуществом финансового риска является то, что он оценивает средний размер потерь, связанный с невозможностью выполнения ремонтных работ оборудования по причине отсутствия финансовых средств. При этом необходимо уметь определять потери от невыполнения этих работ. Как правило величина потерь оценивается экспертами и рассматривается как дискретная случайная величина с двумя значениями: C_R с вероятностью r_r (3); 0 с вероятностью $(1-r_r)$. В этом случае величина (5) является математическим ожиданием величины потерь, которую оценивают эксперты. Величины (6) и (7) являются точечными и интервальными оценками этого неизвестного математического ожидания по результатам имитационного моделирования.

В работе используются дополнительные показатели, что позволяет более комплексно оценить эффективность обслуживания и ремонта исследуемого оборудования. В этом случае величины (2) в выборке (4) рассматриваются как моменты времени, когда происходит «Отказ в обслуживании» оборудования. Обслуживание связано с ремонтными работами, а отказ происходит по причине отсутствия их финансового обеспечения. Это позволяет рассматривать элементы выборки (4) «наработками» процесса ремонта и обслуживания оборудования. При этом надо различать «Отказ оборудования» и «Отказ в обслуживании оборудования», но сами интервалы времени до отказа можно называть «наработками». Такой подход позволяет ввести дополнительные показатели эффективности в виде численных моделей показателей надежности [13].

В этой работе в качестве показателей надежности выбраны:

- 1) численная средняя наработка

$$\bar{t}_r = \int_0^b P_r(\tau) d\tau = \frac{b}{J} (0,5 + \sum_{j=1}^J k_j), \text{ сут.}; \quad (11)$$

- 2) численный гамма-процентный ресурс, получаемый из решения уравнения

$$P_r(\tau) = \gamma; \quad t_r(\gamma) = t_{j-1} + \frac{(\gamma - k_{j-1}) \cdot b}{k_j - k_{j-1}} \cdot \frac{1}{J}, \text{ сут.} \quad (12)$$

Здесь $P_r(\tau)$ — численная вероятность безотказной работы; b — максимальное выборочное значение; J — число интервалов в сгруппированной выборке; t_j — узлы; k_j — обратные величины для накопленных относительных частот (m_j) , $k_j = 1 - m_j$; $k_{j-1} \geq \gamma > k_j$, $j = 1, J$, $k_0 = 1$, $k_J = 0$; γ — вероятность, для которой определяется гамма-процентный ресурс.

2. ОПРЕДЕЛЕНИЕ ИСХОДНЫХ ДАННЫХ

Как уже отмечалось выше, для выбранного оборудования рассматривается три вида ремонтных работ: 1) текущие, 2) модернизационные, 3) аварийные. В условиях неопределенности интервалы времени между этими работами и затраты на их выполнение являются случайными величинами. Вид функций распределения выбирается экспертным путем с учетом литературных рекомендаций [10–12]. Также экспертным путем, используя статистические данные по высшему учебному заведению, установлено, что:

а) средние интервалы времени в сутках между ремонтными работами одного вида равны

$$mi_1 = 18 \text{ сут.}; \quad mi_2 = 58 \text{ сут.}; \quad mi_3 = 32 \text{ сут.}; \quad (13)$$

б) средние значения затрат на выполнение перечисленных ремонтных работ в млн руб. равны

$$\begin{aligned} mz_1 &= 0,5 \text{ млн. руб.}; \\ mz_2 &= 3,4 \text{ млн. руб.}; \\ mz_3 &= 1,8 \text{ млн. руб.} \end{aligned} \quad (14)$$

В табл. 1 приведено описание функций распределения для интервалов времен между видами работ и затратами на эти работы с учетом (13) и (14). Учитывая, что эти функции двухпараметрические, экспертным путем выбраны коэффициенты вариаций (k_v) .

Потребность в финансах по каждому виду работ равна

$$P_j = Tg \cdot mz_j / mi_j, \quad j = 1, 2, 3, \quad (15)$$

где Tg — число суток в году (принято 360 сут.).

С учетом (15) и данных таблицы 1, величины этих расходов равны:

Законы распределения и их числовые характеристики
 [Table 1. Distribution laws and their numerical characteristics]

| Работы | Интервалы времени, сут. | | Затраты, млн руб. | |
|----------------------|-------------------------|--------------|-------------------------|--------------|
| Текущие (1) | Бирнбаума — Саундерса | | Логнормальное | |
| | $mi = 18,0$ | $k_v = 0,20$ | $mz = 0,5$ | $k_v = 0,20$ |
| Модернизационные (2) | Гамма | | Нормальное | |
| | $mi = 58,0$ | $k_v = 0,25$ | $mz = 3,5$ | $k_v = 0,15$ |
| Аварийные (3) | Вейбулла | | Парето с нулевой точкой | |
| | $mi = 32,0$ | $k_v = 0,30$ | $mz = 1,8$ | $k_v = 1,50$ |

$$P_1 = 10,00 \text{ млн. руб.}, P_2 = 21,72 \text{ млн. руб.}, \quad Y_j = h_j \cdot X^{(j)} / Tg = c_j \cdot h_j \cdot X / Tg, \quad (20)$$

$$P_3 = 20,25 \text{ млн. руб.} \quad (16) \quad \text{где } j = 1, 2, 3.$$

В сумме эти расходы равны годовому объему платежей, поэтому $X = 51,97$ млн. руб. В качестве начальных средств страхового фонда примем 10 % от этой величины, тогда $X_0 = 5,20$ млн. руб. Экспертным путем в качестве величины потерь от невыполнения ремонтных работ выберем $C_R = 50$ млн. руб. В данном исследовании число смоделированных реализаций (n_0) равно 20000.

Переменными исходными данными в исследовании являются:

1) c_1, c_2, c_3 — коэффициенты, позволяющие определить объемы финансовых ресурсов, которые необходимы для выполнения ремонтных работ по их видам: $X^{(j)} = c_j \cdot X$, $c_1 + c_2 + c_3 = 1$.

Предлагается эти коэффициенты определять так

$$c_j = P_j / X, \quad j = 1, 2, 3; \quad X = \sum_{j=1}^3 P_j. \quad (17)$$

Если подставить в формулу (17) значения (16), то получим такие значения коэффициентов для рассматриваемой задачи

$$c_1 = 0,192; \quad c_2 = 0,418; \quad c_3 = 0,390; \quad (18)$$

2) h_1, h_2, h_3 — периодичность платежей по видам работ, сут. Предлагается связать периодичность платежей (h_j) с математическими ожиданиями интервалов времени между видами работ (mi_j , табл. 1)

$$q_j = h_j / mi_j, \quad j = 1, 2, 3; \quad (19)$$

3) стоимость одного платежа (млн руб.) в страховой фонд для j -го вида ремонтных работ равна

3. РЕЗУЛЬТАТЫ И ИХ ОБСУЖДЕНИЕ

Для определения корректности моделей (17), (19) и (20) в данной работе выбраны и исследуются четыре варианта переменных исходных данных:

AI, когда значения коэффициентов соответствуют модели (17) и равны (18), а периодичность платежей $h_1 = 20$ сут., $h_2 = 60$ сут., $h_3 = 30$ сут. Эти периодичности близки к значениям по модели (19). Для этого варианта с учетом (20) стоимость одного платежа (млн руб.) в страховой фонд — $Y_1 = 0,556$ млн руб.; $Y_2 = 3,620$ млн руб.; $Y_3 = 1,687$ млн руб.;

BI, когда относительно варианта *AI* изменены значения коэффициентов, они выбраны одинаковыми — $c_1 = 0,333$; $c_2 = 0,333$; $c_3 = 0,334$. Для этого варианта с учетом (20) — $Y_1 = 0,961$ млн руб.; $Y_2 = 2,884$ млн руб.; $Y_3 = 1,446$ млн руб.;

CI, когда относительно варианта *AI* изменена периодичность платежей и она не соответствует модели (19); $h_1 = 10$ сут., $h_2 = 30$ сут., $h_3 = 45$ сут. Для этого варианта с учетом (20) — $Y_1 = 0,278$ млн руб.; $Y_2 = 1,810$ млн руб.; $Y_3 = 2,531$ млн руб.;

DI, когда относительно варианта *BI* изменена периодичность платежей, она выбрана как в варианте *CI*. Для этого варианта с учетом (20) — $Y_1 = 0,481$ млн руб.; $Y_2 = 1,442$ млн руб.; $Y_3 = 2,170$ млн руб.

Таким образом, в варианте *AI* переменные исходные данные удовлетворяют моделям (17), (19) и (20), а в других вариантах нет.

Результаты расчетов точечных и интервальных оценок
ресурсно-затратных и финансовых рисков

[Table 2. Results of calculations of point and interval estimates of resource-cost and financial risks]

| V | T_r , сут. | k_r | \tilde{R}_r | τ_1 | τ_2 | \tilde{R}_ϕ , млн руб. | R_1 | R_2 |
|-----|--------------|-------|---------------|----------|----------|-----------------------------|--------|--------|
| AI | 90 | 902 | 0,045 | 0,043 | 0,048 | 2,255 | 2,136 | 2,379 |
| | 180 | 2375 | 0,119 | 0,115 | 0,123 | 5,938 | 5,750 | 6,129 |
| | 360 | 4466 | 0,223 | 0,218 | 0,228 | 11,165 | 10,923 | 11,410 |
| BI | 90 | 989 | 0,049 | 0,047 | 0,052 | 2,473 | 2,348 | 2,602 |
| | 180 | 2521 | 0,126 | 0,122 | 0,130 | 6,303 | 6,110 | 6,499 |
| | 360 | 4733 | 0,237 | 0,232 | 0,242 | 11,833 | 11,586 | 12,082 |
| CI | 90 | 1054 | 0,053 | 0,050 | 0,055 | 2,635 | 2,506 | 2,769 |
| | 180 | 2475 | 0,124 | 0,120 | 0,128 | 6,188 | 5,997 | 6,382 |
| | 360 | 4767 | 0,238 | 0,233 | 0,243 | 11,918 | 11,670 | 12,168 |
| DI | 90 | 1049 | 0,052 | 0,050 | 0,055 | 2,622 | 2,494 | 2,756 |
| | 180 | 2472 | 0,124 | 0,120 | 0,127 | 6,180 | 5,989 | 6,375 |
| | 360 | 4724 | 0,236 | 0,231 | 0,241 | 11,810 | 11,563 | 12,060 |

В табл. 2 приведены результаты точечных и интервальных оценок ресурсно-затратных и финансовых рисков для четырех вариантов (V).

Из результатов, приведенных в табл. 2, видно, что вариант AI имеет наименьшие точечные оценки рисков по сравнению с другими вариантами, тем самым подтверждая правильность моделей при выборе значений коэффициентов (17), периодичности платежей (19) и стоимости платежей по видам ремонтных работ (20). Тем не менее, при некоторых значениях величины T_r наблюдаются пересечения доверительных интервалов рисков. Это означает, что эти случаи статистически не различимы. Чтобы усилить вывод о правильности моделей (17), (19) и (20) были определены для выбранных вариантов показатели эффективности (11) и (12). Результаты расчетов приведены в табл. 3.

Из результатов, приведенных в табл. 3, видно, что вариант AI имеет наибольшие значения численных показателей надежности «Отказ в обслуживании» в виде средней наработки и гамма-процентного ресурса ($\gamma = 0,9$). Тем самым подтверждается правильность моделей при выборе значений коэффициентов (17), периодичности платежей (19) и стоимости платежей по видам ремонтных работ (20).

Таблица 3

Значения численных показателей надежности
«Отказ в обслуживании»

[Table 3. Values of numerical indicators of reliability «service unavailability»]

| V | T_r , сут. | k_r | Показатель | Значение, сут. |
|-----|--------------|-------|---------------|----------------|
| AI | 90 | 902 | \bar{t}_r | 55,446 |
| | | | $t_r(\gamma)$ | 23,085 |
| | 180 | 2375 | \bar{t}_r | 106,628 |
| | | | $t_r(\gamma)$ | 32,522 |
| | 360 | 4466 | \bar{t}_r | 187,904 |
| | | | $t_r(\gamma)$ | 43,796 |
| BI | 90 | 989 | \bar{t}_r | 54,825 |
| | | | $t_r(\gamma)$ | 22,286 |
| | 180 | 2521 | \bar{t}_r | 105,743 |
| | | | $t_r(\gamma)$ | 30,944 |
| | 360 | 4733 | \bar{t}_r | 184,063 |
| | | | $t_r(\gamma)$ | 40,539 |
| CI | 90 | 1054 | \bar{t}_r | 54,125 |
| | | | $t_r(\gamma)$ | 22,068 |
| | 180 | 2475 | \bar{t}_r | 104,070 |
| | | | $t_r(\gamma)$ | 28,973 |
| | 360 | 4767 | \bar{t}_r | 183,663 |
| | | | $t_r(\gamma)$ | 38,099 |

| | | | | |
|----|-----|------|---------------|---------|
| DI | 90 | 1049 | \bar{t}_r | 54,082 |
| | | | $t_r(\gamma)$ | 22,052 |
| | 180 | 2472 | \bar{t}_r | 103,951 |
| | | | $t_r(\gamma)$ | 28,698 |
| | 360 | 4724 | \bar{t}_r | 183,165 |
| | | | $t_r(\gamma)$ | 37,904 |

ЗАКЛЮЧЕНИЕ

В данной работе рассмотрен реальный практически важный случай, когда требуется промоделировать систему обслуживания и ремонта информационно-коммуникационного оборудования, осуществляемого сотрудниками управления информатизации высшего учебного заведения.

Выделено три вида обслуживания и ремонта этого оборудования:

- 1) работы, связанные с текущим обслуживанием (текущие работы);
- 2) работы, связанные с улучшение функциональных возможностей и эксплуатационных характеристик техники (модернизационные работы);
- 3) работы, связанные с различными аварийными и другими нештатными ситуациями (аварийные работы).

Для данной задачи совместно с сотрудниками этого управления подготовлены постоянные исходные данные. Для исследования влияния переменных исходных данных в виде коэффициентов, позволяющих определить объемы финансовых ресурсов, которые необходимы для выполнения ремонтных работ по их видам, периодичности платежей и их значений по видам работ, подготовлено четыре варианта. При этом в варианте AI переменные исходные данные удовлетворяют предложенным моделям (17), (19) и (20), а в других вариантах нет. Для каждого варианта, используя созданное программно-алгоритмическое обеспечение, найдены оценки показателей эффективности в виде точечных и интервальных значений ресурсно-затратного и финансового рисков, а также численных показателей надежности «Отказ в обслуживании». Результаты моделирования приведены в табл. 2 и 3.

Моделирующая программа использует созданное специальное алгоритмическое обеспечение по обработке информации, содержащее вероятностные модели и алгоритмы получения результатов имитационного моделирования с использованием событийного подхода и календаря событий специального вида по трем основным факторам: а) значениям коэффициентов (17), позволяющим определять объемы финансовых ресурсов, необходимых для выполнения ремонтных работ по их видам; б) периодичностям платежей в страховой фонд по видам работ (19) и их значений (20).

Из результатов, приведенных в этих таблицах, видно, что вариант AI имеет наименьшие точечные оценки рисков и наибольшие значения численных показателей надежности в виде средней наработки и гамма-процентного ресурса по сравнению с другими вариантами. Тем самым подтвердилась правильность полученных в работе моделей для выбора значений коэффициентов (17), периодичности платежей (19) и стоимости платежей по видам ремонтных работ (20).

КОНФЛИКТ ИНТЕРЕСОВ

Авторы декларируют отсутствие явных и потенциальных конфликтов интересов, связанных с публикацией настоящей статьи.

СПИСОК ЛИТЕРАТУРЫ

1. Хайманн, Б. Мехатроника: Компоненты, методы, примеры / Б. Хайманн. – Новосибирск : Изд-во СО РАН, 2010. – 602 с.
2. Сырямкин, В. И. Информационные устройства и системы в робототехнике и мехатронике / В. И. Сырямкин. – Томск : ТГУ, 2016. – 524 с.
3. Зеленцов, Б. П. Исследование моделей расчета надежности при разных способах задания периодичности проверок / Б. П. Зеленцов, А. С. Трофимов // Надежность и качество сложных систем. – 2019. – № 1 (25). – С. 35–44.
4. Герасимов, О. Н. Способ организации производственного контроля и диагности-

ки РЭС с заданным уровнем остаточного ресурса / О. Н. Герасимов, А. В. Затылкин, Н. К. Юрков // Надежность и качество сложных систем. – 2016.– № 1(13). – С. 94–98.

5. Крестин, Е. А. Диагностика машин и оборудования / Е. А. Крестин, И. Е. Крестин. – СПб. : Лань, 2016. – 376 с.

6. Ковалевский, В. М. Диагностика и надежность транспортных технических систем / В. М. Ковалевский, Б. В. Туробов, И. Б. Артемьев // Контроль. Диагностика. – 2015. – № 7. – С. 33–36.

7. Равин, А. А. Техническая диагностика судового энергетического оборудования / А. А. Равин. – СПб. : Лань, 2019. – 240 с.

8. Костюков Ал. В., Бойченко С. Н. Технологии «Больших данных» в системах мониторинга состояния оборудования в реальном времени / “Big Data” Technologies in Real-Time Health Monitoring Systems // The 15th international conference on condition monitoring and machinery failure prevention technologies CM2018/MFPT2018 materials of a conference (10–12 September 2018, Nottingham, UK) [209].

9. Лыфарь, В. А. Разработка метода оптимизации проведения ремонтно-восстановительных работ с учетом показателей риска / В. А. Лыфарь, С. А. Сафонова, В. Г. Иванов // Технологический аудит и резервы производства. – 2015.– №2(22). – С. 11–17.

10. Секретарев, Ю. А. Оценка ремонтно-восстановительных работ на основе мониторинга случайного процесса эксплуатации основного оборудования станции / Ю. А. Секретарев, А. Д. Мехтиев // ЭЛЕКТРО. Элек-

тротехника, электроэнергетика, электротехническая промышленность. – 2015. – № 5. – С. 49–52.

11. Баловнев, В. И. Анализ продолжительности ремонтно-восстановительных работ в системе модернизации дорожно-строительной техники / В. И. Баловнев, Н. Д. Селиверстов // Ремонт. Восстановление. Модернизация. – 2016.– № 7. – С. 44–48.

12. Краковский, Ю. М. Оценка ресурсно-затратного риска при организации ремонтных работ сложного роботизированного оборудования / Ю. М. Краковский, Н. А. Хоанг // Вестник ВГУ. Серия: системный анализ и информационные технологии. – 2019. – № 4. – С. 29–35. DOI: doi.org/10.17308/sait.2019.4/2678.

13. Краковский, Ю. М. Оценка показателей «Отказ в обслуживании» при организации ремонтных работ многокомпонентного оборудования / Ю. М. Краковский, Н. А. Хоанг // Вестник ВГУ. Серия: Системный анализ и информационные технологии. – 2020. – № 1. – С. 110–118. DOI: https://doi.org/10.17308/sait.2020.1/2597.

14. Краковский, Ю. М. Моделирование ремонтных работ оборудования на основе случайного процесса риска / Ю. М. Краковский, Н. А. Хоанг // Прикладная информатика. – 2020. – Т. 15. – № 6. – С. 5–15. DOI: 10.37791/2687-0649-2020-15-6-5-15.

15. Королев, В. Ю. Математические основы теории рисков / В. Ю. Королев, В. Е. Бенинг, С.Я. Шоргин – М. : ФИЗМАТЛИТ, 2011. – 620 с.

Краковский Юрий Мечеславович — д-р техн. наук, проф., профессор кафедры «Информационные системы и защита информации» Иркутского государственного университета путей сообщения.

E-mail: 79149267772@yandex.ru

ORCID iD: <https://orcid.org/0000-0003-4876-0618>

Шишкин Юрий Николаевич — канд. техн. наук, начальник управления информатизации Иркутского государственного университета путей сообщения.

E-mail: rayrln@yandex.ru

ORCID iD: <https://orcid.org/0000-0002-0080-6173>

MODELING THE SYSTEM OF MAINTENANCE AND REPAIR OF INFORMATION AND COMMUNICATION EQUIPMENT

© 2022 Y. M. Krakovsky✉, Y. N. Shishkin

*Irkutsk State Transport University
15, Chernyshevskogo Street, 664074 Irkutsk, Russian Federation*

Annotation. The article is devoted to modeling the system of maintenance and repair of information and communication equipment, as well as creating evaluations of performance indicators based on selective values obtained by simulation modeling approach. This study is a development of work in which it is proposed to use an insurance fund to assess the effectiveness of maintenance and repair of complex equipment, the condition of which is described by a special type of risk process. The innovation of this work is a special algorithmic support for information processing, containing probabilistic models and algorithms for obtaining the results of simulation modeling using an event approach and a calendar of events of a special type according to three main factors: a) values of coefficients that make it possible to determine the amount of financial resources required for repair work by their types; b) frequency of payments to the insurance fund by types of work and their values. Point and interval estimates of resource-cost and financial risks, as well as numerical reliability indicators «service unavailability» in the form of average operating time and gamma-percentage resource are proposed and tested as efficiency indicators. The work investigates a real practically important case related to the maintenance and repair of information and communication equipment. For this study, four options were prepared in which in the first version the values of the studied factors satisfy the proposed models, and in other versions they do not. For each option program-algorithmic software was created and used, estimates of performance indicators were found. The modeling results confirmed the correctness of the proposed models, since for the first option, point risk assessments have the smallest values, and the values of numerical reliability indicators are the largest.

Keywords: resource-cost and financial risk, information and communication equipment, risk process, numerical reliability indicators «service unavailability».

CONFLICT OF INTEREST

The authors declare the absence of obvious and potential conflicts of interest related to the publication of this article.

REFERENCES

1. Haymann B. (2010) Mechatronics: Components, methods, examples. Novosibirsk : Publishing House of SB RAS. 602 p.
2. Syryamkin V. I. (2016) Information devices and systems in robotics and mechatronics. Tomsk : TSU. 524 p.

3. Zelentsov B. P. and Trofimov A. S. (2019) Investigation of reliability calculation models for different methods of setting the frequency of inspections. *Reliability and quality of complex systems*. No.1(25). P. 35–44.

4. Gerasimov O. N., Zatylnkin A. V. and Yurkov N. K. (2016) Method of organizing production control and diagnostics of RES with a given level of residual resource. *Reliability and quality of complex systems*. No 1(13). P. 94–98.

5. Christening E. A. and Christening I. E. (2016) Diagnostics of machines and equipment. Saint Petersburg : Lan. 376 p.

6. Kovalevsky V. M., Toropov B. V. and Artemyev I. B. (2015) Diagnosis and reliability of transport technical systems. *Control. Diagnostics*. No 7. P. 33–36.

✉ Krakovsky Yuri M.
e-mail: 79149267772@yandex.ru

7. Ravin A. A. (2019) Technical diagnostics of ship power equipment. *St. Petersburg: Lan.* 240 p.
8. Kostyukov A. V. and Boichenko S. N. (2018) “Big Data” Technologies in Real-Time Health Monitoring Systems. *The 15th international conference on condition monitoring and machinery failure prevention technologies CM2018/MFPT2018 materials of a conference.*
9. Lyfar V. A., Safonova S. A. and Ivanov V. G. (2015) Development of a method for optimizing repair and restoration work taking into account risk indicators. *Technological audit and reserves of production.* No 2(22). P. 11–17.
10. Sekretarev Y. A. and Mekhtiev A. D. (2015) Assessment of repair and restoration works based on monitoring of the random process of operation of the main equipment of the station. *ELECTRO. Electrical engineering, electric power industry, electrical industry.* No 5. P. 49–52.
11. Balovnev V. I. and Seliverstov N. D. (2016) Analysis of the duration of repair and restoration work in the modernization system of road construction equipment. *Repair. Recovery. Modernization.* No 7. P. 44–48.
12. Krakovsky Y. M. and Hoang N. A. (2019) Assessment of the resource-cost risk when organizing repair works of complex robotic equipment. *Proceedings of Voronezh State University. Series: Systems Analysis and Information Technologies.* No 4. P. 29–35. DOI: doi.org/10.17308/sait.2019.4/2678.
13. Krakovsky Y. M. and Hoang N. A. (2020) Assessment of the indicators of “service unavailability” when organizing repair works of complex equipment. *Proceedings of Voronezh State University. Series: Systems Analysis and Information Technologies.* No 1. P. 110–118. DOI: https://doi.org/10.17308/sait.2020.1/2597.
14. Krakovsky Y. M. and Hoang N. A. (2020) Modeling of equipment repair work based on the random risk process. *Journal of Applied Informatics.* Vol. 15. No 6. P. 5–15. DOI: 10.37791/2687-0649-2020-15-6-5-15.
15. Korolev V. Y., Bening V. E. and Shorgin S. Ya. (2011) *Mathematical foundations of risk theory.* Moscow: FIZMATLIT. 620 p.

Krakovsky Yuri M. — DSc in Technical Sciences, Professor, Professor of Department of Information Systems and Information Security, Irkutsk State Transport University.

E-mail: 79149267772@yandex.ru

ORCID iD: <https://orcid.org/0000-0003-4876-0618>

Shishkin Yuri N. — PhD, Head of Informatization Department, Irkutsk State Transport University.

E-mail: rayrln@yandex.ru

ORCID iD: <https://orcid.org/0000-0002-0080-6173>