

18. Курейчик В.М. Биоинспирированный поиск с использованием сценарного подхода // Известия ЮФУ. Технические науки. – 2010. – № 7 (108). – С. 7-13.
19. Курейчик В.М., Кажаров А.А. Использование роевого интеллекта в решении NP-трудных задач // Известия ЮФУ. Технические науки. – 2011. – № 7 (120). – С. 30-36.

Статью рекомендовал к опубликованию д.т.н., профессор Н.И. Витиска.

Курейчик Виктор Михайлович – Технологический институт федерального государственного автономного образовательного учреждения высшего профессионального образования «Южный федеральный университет» в г. Таганроге; e-mail: kur@tsure.ru; 347928, г. Таганрог, пер. Некрасовский, 44, ГСП 17А; тел.: 88634393260; зам. руководителя по научной и инновационной деятельности; профессор.

Kureichik Victor Michylovich – Taganrog Institute of Technology – Federal State-Owned Autonomy Educational Establishment of Higher Vocational Education “Southern Federal University”; e-mail: kur@tsure.ru; GSP 17A, 44, Nekrasovskiy, Taganrog, 347928, Russia; phone: +78634393260; the deputy the head on scientific work and Innovations; professor.

УДК 658.58: 681.5: 001.89:5/6

В.А. Камаев, В.Ю. Мельник, А.В. Кизим

**ПРИМЕНЕНИЕ НЕМЕТРИЧЕСКИХ МЕТОДОВ
МНОГОКРИТЕРИАЛЬНОГО ПЛАНИРОВАНИЯ ДЛЯ ПОДДЕРЖКИ
ПРИНЯТИЯ РЕШЕНИЙ В ЗАДАЧАХ ТЕХНИЧЕСКОГО ОБСЛУЖИВАНИЯ
И РЕМОНТА**

Целью данной работы является повышение эффективности управления ремонтами и техническим обслуживанием (ТОиР), сокращение экономических и человеческих трудозатрат за счет автоматизации построения планов ремонта оборудования по его состоянию. Для достижения поставленной цели были сформулированы следующие задачи: исследование предметной области ремонта и технического обслуживания оборудования, изучение существующих аналогов систем, анализ процесса ремонта оборудования на предприятии, разработка математического аппарата для упорядоченного отбора альтернатив при построении планов ремонта оборудования. Решения поставленных задач рассмотрены в текущей статье. Основное внимание уделено применению неметрических методов многокритериального планирования для поддержки принятия решений в задачах ТОиР.

Техническое обслуживание и ремонт; отдел главного механика; методы принятия решений; поддержка принятия решений; планирование.

V.A. Kamaev, V.Y. Melnik, A.V. Kizim

**APPLICATION OF NONMETRIC METHODS OF MULTICRITERIAL
PLANNING FOR SUPPORT OF DECISION-MAKING IN MAINTENANCE
SERVICE AND REPAIR PROBLEMS**

The aim of this work is to improve management of repairs and maintenance (MRO), the reduction of economic and human labor by automating the construction plans, maintenance of equipment on his condition. To achieve this goal were established the following objectives: a study of the subject area of repair and maintenance of equipment, the study of the existing analogue systems, analysis of repair of equipment in the enterprise, the development of mathematical tools for the orderly selection of alternatives in the construction plans and equipment repair. Decision of tasks considered in the current article. Focuses on the use of non-metric multi-criteria planning methods for decision support in maintenance and repair tasks.

Repair and maintenance service; the chief mechanic's department; decision making methods; decision support; planning.

Введение. Поддержание непрерывной эксплуатации оборудования с помощью технического обслуживания и ремонтов – уязвимое место многих производственных предприятий. Многие промышленные предприятия нашей страны имеют коэффициент эффективности использования оборудования (КЭИО), значение которого существенно ниже, чем в считающихся развитыми странами. Например, по независимым оценкам, КЭИО российских металлургических предприятий составляет 55–60 %, тогда как в развитых странах этот показатель достигает 80–85 %. Планы ремонтов оборудования на предприятиях формируются, исходя из средне-статистических показателей, которые не всегда необъективно описывают существующую ситуацию. При этом планы ремонтов не соблюдаются, и во время выполнения планово-профилактических работ не ставится цель предупреждения будущих поломок, а только устраняются уже происшедшие.

Анализ предметной области. Системы поддержки ТОиР имеются, но они преимущественно являются системами программного сопровождения процессов технического обслуживания и ремонта, в них реализовано планирование на основе регламентных работ, из методов поддержки принятия решений используются метрические, поэтому имеющиеся аналоги не подходят для задачи качественной оценки постановки оборудования на предупредительное обслуживание. Все это позволяет сделать вывод, что разработка методов поддержки рационального планирования ремонтов и технического обслуживания оборудования является актуальной и необходимой задачей.

В процессе работы были рассмотрены процессы ТОиР, проходящие в структурных подразделениях, отвечающих за планирование и обслуживание оборудования различных предприятий, в частности в отделах главного механика (ОГМех) Волгоградского тракторного завода (ОАО "ТК"ВгТЗ"), завода «Баррикады» (ОАО "ПО"Баррикады") и Волгоградский нефтеперерабатывающий завод (ООО "ЛУКОЙЛ-Волгограднефтепереработка"). На основе анализа составлена обобщенная структура отдела главного механика, обозначены общие задачи и функции, формализованы процессы, выполняемые структурным подразделением [1]. Кроме ОГМеха, текущими ремонтами уполномочены заниматься также механики, прикрепленные за определенными подразделениями, или специализированные сервисные организации. Планирование ТОиР на исследованных предприятиях осуществляется для осуществления регламентного обслуживания оборудования. Наиболее формализована постановка оборудования на обслуживание в ОАО "ПО" Баррикады", которая ведется с помощью использования отраслевой системы технического обслуживания и ремонта технологического и подъемно-транспортного оборудования, созданной в 80-ых годах 20 века по заказу министерства оборонной промышленности СССР. При этом определяются сроки регламентного обслуживания (техническое обслуживание, текущий и капитальный ремонт) каждого отдельного наименования оборудования, исходя из его технических характеристик и общей наработки. Используемая методика, однако, имеет ряд недостатков, основные из которых – отсутствие учета режимов эксплуатации конкретного экземпляра оборудования и, зачастую, излишний непродуктивный расход ресурсов.

Для устранения выявленных недостатков предлагается применение многокритериального планирования, которое наряду с экспертным формированием целевых постановок высококвалифицированными специалистами, способно к объективному и формализованному решению задач, т.е. установлению очередности постановки однородных групп оборудования на обслуживание по заранее принятым критериям [2]. Особое внимание уделяется применению неметрических методов [3], таких как безусловный критерий Парето и условный лексикографический критерий, ведь именно неметрическое отношение между альтернативами являются отношениями порядка. Сравнимые альтернативы соотносятся друг с другом отношением предпочтения и именно это отношение порождает однозначность задачи выбора.

В общем виде задача принятия решений на различных этапах при автоматизации процесса ТОиР сформулирована в [4]. Построение планов на обслуживание ведется на основе предварительного установления частичного порядка самих показателей качества однородных объектов. Таким образом, условием применения того или иного метода является степень информированности пользователя о расстановке критериев по приоритетам. Условием применения лексикографического критерия является наличие частичной или полной информации о приоритетах, в противном случае расчет производится по методу Парето.

Метод Парето. Алгоритм планирования обслуживания по методу Парето представлен на рис. 1. При данном методе выполняется следующая последовательность действий: выбор оборудования, построение матрицы ассоциативности для каждого из критериев показателей ремонтпригодности, построение результирующей ассоциативной матрицы для пары критериев (табл. 1), последующее ухудшение альтернатив результирующей ассоциативной матрицы. Ухудшение производится до тех пор, пока начальная результирующая матрица и текущая не будут совпадать.

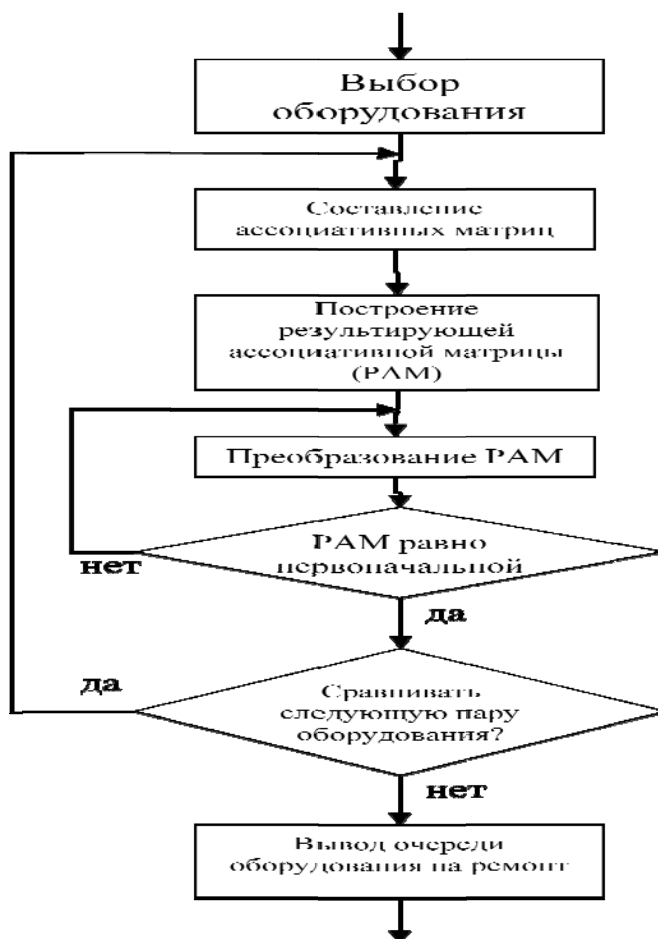


Рис. 1. Алгоритм метода Парето

Таблица 2

Ассоциативная матрица фактор-множеств $\Omega|k_i$

Альтернативы \ i - окрестности	$O_1(w_1/k_1)$	$O_2(w_2/k_1)$	.....	$O_N(w_N/k_1)$
W_1	0	B_{12}	.....	B_{1N}
W_2	B_{21}	0	.....	B_{2n}
.....
W_N	B_{N1}	B_{N2}	.....	0

Элемент B_{ij} ассоциативной матрицы определяется как:

$$B_{ij} = \begin{cases} 0, & w_j > w_i, w_{ij} \in L(\Omega|k_i), \quad i \neq j = \{1, N\}, \quad l = \{1, M\}, \\ 0, & i = j, \\ 1, & w_j < w_i, w_{ij} \in L(\Omega|k_i), \quad i \neq j = \{1, N\}, \quad l = \{1, M\}. \end{cases}$$

где k_i – критерий, показатель качества узла оборудования; ω_j – альтернатива, оборудование; O_i – окрестности.

В случае, когда альтернативы несравнимы, элемент B_{ij} принимает значение «1». В результате пересечения фактор-множеств по каждому из показателей качества может быть получена результирующая ассоциативная матрица (РАМ) более высокого порядка для совокупности показателей качества, представленная на табл. 2.

Таблица 2

Результирующая ассоциативная матрица (РАМ)

Альтернативы \ i – окрестности	$O_1(w_1/k_1)$	$O_2(w_2/k_1)$	.....	$O_N(w_N/k_1)$
W_1	0	G_{12}	.....	G_{1N}
W_2	G_{21}	0	.....	G_{2n}
.....
W_N	G_{N1}	G_{N2}	.....	0

Элемент G_{ij} результирующей ассоциативной матрицы определяется как:

$$G_{ij} = \begin{cases} 1, & B_{i,j}^1 \cap B_{i,j}^2 \cap \dots \cap B_{i,j}^N = 1, \\ 0, & B_{i,j}^1 \cap B_{i,j}^2 \cap \dots \cap B_{i,j}^M = 0. \end{cases}$$

Так как «0» окрестности (G_{ij}) однозначно определяют π -оптимальные варианты, то после их удаления, для дальнейшего структурирования Ω можно переходить к поиску второго слоя. В нашем случае применяется метод ухудшения альтернатив, как наилучший для применения на ПК. Каждый последующий π -слой будет содержать более наилучший вариант из оставшегося множества, не включающего альтернативы предыдущих слоев. Задача решена, когда результирующая ассоциативная матрица на π -слое будет идентична начальной РАМ, в результате чего строится линейный порядок, на основе которого может быть составлена очередь на ремонт оборудования.

Рассмотрим применение метода Парето на примере. Возьмем шесть видов оборудования и спланируем его обслуживание на основе пары критериев k_1 и k_2 (табл. 3). Составим по каждому из критериев ассоциативную матрицу (AM_1 и AM_2), представленных в табл. 4 и 5.

Таблица 3

Значение критериев для каждого вида оборудования

Альтернативы / Характеристики	k_1	k_2	k_3
ω_1	20	30	10
ω_2	10	15	15
ω_3	30	20	5
ω_4	5	10	5
ω_5	40	35	15
ω_6	35	40	20

Таблица 4

Ассоциативная матрица (AM₁)

Варианты / i-окрестности	O1($\omega_1|k_1$)	O2($\omega_2|k_1$)	O3($\omega_3|k_1$)	O4($\omega_4|k_1$)	O5($\omega_5|k_1$)	O6($\omega_6|k_1$)
ω_1	0	1	0	1	0	0
ω_2	0	0	0	1	0	0
ω_3	1	1	0	1	0	0
ω_4	0	0	0	0	0	0
ω_5	1	1	1	1	0	1
ω_6	1	1	1	1	0	0

На основе полученных ассоциативных матриц AM1 и AM2, путем пересечения фактор-множеств по каждому из показателей качества, получаем результирующую ассоциативную матрицу (РАМ) (табл. 6), и применяем к ней метод последовательного ухудшения альтернатив.

Таблица 5

Ассоциативная матрица (AM₂)

Варианты / i-окрестности	O ₁ ($\omega_1|k_2$)	O ₂ ($\omega_2|k_2$)	O ₃ ($\omega_3|k_2$)	O ₄ ($\omega_4|k_2$)	O ₅ ($\omega_5|k_2$)	O ₆ ($\omega_6|k_2$)
ω_1	0	1	1	1	0	0
ω_2	0	0	0	1	0	0
ω_3	0	1	0	1	0	0
ω_4	0	0	0	0	0	0
ω_5	1	1	1	1	0	0
ω_6	1	1	1	1	1	0

Таблица 6

Результирующая ассоциативная матрица (РАМ) на π_1 -слое

Варианты / i-окрестности	$O_1(\omega_1|k)$	$O_2(\omega_2|k)$	$O_3(\omega_3|k)$	$O_4(\omega_4|k)$	$O_5(\omega_5|k)$	$O_6(\omega_6|k)$
ω_1	0	1	0	1	$0 \rightarrow 1$	$0 \rightarrow 1$
ω_2	0	0	0	1	$0 \rightarrow 1$	$0 \rightarrow 1$
ω_3	0	1	0	1	$0 \rightarrow 1$	$0 \rightarrow 1$
ω_4	0	0	0	0	$0 \rightarrow 1$	$0 \rightarrow 1$
ω_5	$1 \rightarrow 0$	$1 \rightarrow 0$	$1 \rightarrow 0$	$1 \rightarrow 0$	0	0
ω_6	$1 \rightarrow 0$	$1 \rightarrow 0$	$1 \rightarrow 0$	$1 \rightarrow 0$	0	0

Таблица 7

Результирующая ассоциативная матрица (РАМ) на π_2 -слое

Варианты / i-окрестности	$O_1(\omega_1|k)$	$O_2(\omega_2|k)$	$O_3(\omega_3|k)$	$O_4(\omega_4|k)$	$O_5(\omega_5|k)$	$O_6(\omega_6|k)$
ω_1	0	$1 \rightarrow 0$	0	$1 \rightarrow 0$	$1 \rightarrow 0$	$1 \rightarrow 0$
ω_2	$0 \rightarrow 1$	0	$0 \rightarrow 1$	1	1	1
ω_3	0	$1 \rightarrow 0$	0	$1 \rightarrow 0$	$1 \rightarrow 0$	$1 \rightarrow 0$
ω_4	$0 \rightarrow 1$	0	$0 \rightarrow 1$	0	1	1
ω_5	$0 \rightarrow 1$	0	$0 \rightarrow 1$	0	0	0
ω_6	$0 \rightarrow 1$	0	$0 \rightarrow 1$	0	0	0

По полученной РАМ видно, что на π_1 -слое значение окрестностей O_5 и O_6 равняется «0». Определяем их как наихудшие варианты и заносим в «очередь» под соответствующим им видом оборудования, т.е. ω_5 и ω_6 . Далее производим ухудшение соответствующих окрестностей до тех пор, пока РАМ не будет равна изначальной.

В результате всех преобразований была получена следующая «очередь», на основе которой можно формировать планы по текущему обслуживанию оборудования: $\langle \omega_5, \omega_6 \rangle \rightarrow \langle \omega_1, \omega_5 \rangle \rightarrow \omega_2 \rightarrow \omega_4$.

Лексикографический критерий. Далее рассмотрим алгоритм лексикографического критерия (рис. 2), который в свою очередь реализуется на основе установления линейных порядков объектов, для использования которого ЛПР должен предварительно установить приоритеты показателей качества: $\langle k_1, k_2, \dots \rangle$.

Пусть экспертами заданы в качестве информативных два показателя качества $\{k_1, k_2\}$ (табл. 9), причем ЛПР задал приоритет ПК: $\langle k_2, k_1 \rangle$, что означает, что k_2 важнее, чем k_1 . При этом первыми во внимание будут приниматься варианты w_{ij}

минимальные по отношению ко второму критерию k_2 , а затем к первому k_1 . На основе этого так же строится линейный порядок: $\omega_9 \rightarrow \omega_8 \rightarrow \omega_7 \rightarrow \omega_1 \rightarrow \omega_3 \rightarrow \omega_6 \rightarrow \langle \omega_2, \omega_5 \rangle \rightarrow \omega_4$

Таблица 8

Результирующая ассоциативная матрица (РАМ) на π_5 -слое

Варианты / i-окрестности	$O_1(\omega_1|k)$	$O_2(\omega_2|k)$	$O_3(\omega_3|k)$	$O_4(\omega_4|k)$	$O_5(\omega_5|k)$	$O_6(\omega_6|k)$
ω_1	0	1	0	1	0	0
ω_2	0	0	0	1	0	0
ω_3	0	1	0	1	0	0
ω_4	0	0	0	0	0	0
ω_5	1	1	1	1	0	0
ω_6	1	1	1	1	0	0

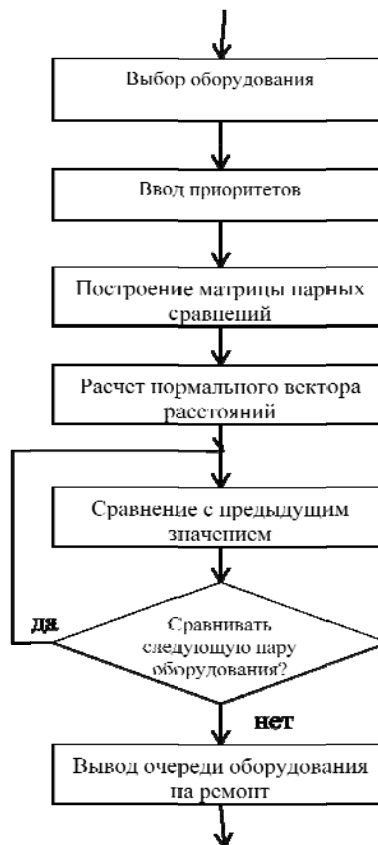


Рис. 2. Алгоритм лексикографического критерия

Таблица 9

Значение критериев для каждого вида оборудования

Альтернативы / Характеристики	k_1	k_2	k_3
ω_1	20	30	10
ω_2	10	15	15
ω_3	30	20	5
ω_4	5	10	5
ω_5	10	15	10
ω_6	10	20	0
ω_7	40	30	5
ω_8	40	35	15
ω_9	35	40	20

Заключение. Описанные алгоритмы планирования обслуживания по методу Парето и с использованием лексикографического критерия могут быть использованы для поддержки планирования технического обслуживания и ремонта различного оборудования различных предприятий.

БИБЛИОГРАФИЧЕСКИЙ СПИСОК

1. *Кизим А.В., Линева Н.А.* Исследование и разработка методики автоматизации ремонтных работ предприятия // Изв. ВолгГТУ. Серия «Актуальные проблемы управления, вычислительной техники и информатики в технических системах»: Межвуз. сб. науч. ст. – Волгоград: ВолгГТУ, 2008. – Вып. 4, № 2. – С. 43-45.
2. *Кизим А.В., Чиков Е.В., Мельник В.Ю.* Задачи прогнозирования и планирования для программно-информационной поддержки технического обслуживания и ремонта оборудования // Открытое образование. – 2011. – № 2 (85). Ч. 2. – С. 224-227.
3. *Кандырин Ю.В.* Методы и модели многокритериального выбора вариантов в САПР. Учебное пособие для Вузов. – М.: Изд-во МЭИ, 2004. – 172 с.
4. *Кизим А.В.* Постановка и решение задач автоматизации работ по ремонту и техническому обслуживанию оборудования // Доклады Томского государственного университета систем управления и радиоэлектроники (Доклады ТУСУРа). – 2009. – № 2 (декабрь). – С. 131-135.

Статью рекомендовал к опубликованию д.т.н., профессор Б.К. Лебедев.

Камаев Валерий Анатольевич – Волгоградский государственный технический университет; e-mail: kamaev@cad.vstu.ru; 400131, г. Волгоград, пр. Ленина 28; тел.: 88442248100; кафедра систем автоматизированного проектирования и поискового конструирования; заведующий кафедрой; д.т.н.; профессор.

Мельник Владислав Юрьевич – e-mail: vl_melnik@mail.ru; тел.: +79178415771; кафедра систем автоматизированного проектирования и поискового конструирования; аспирант.

Кизим Алексей Владимирович – e-mail: kizim@mail.ru; тел.: +79199800256; кафедра систем автоматизированного проектирования и поискового конструирования; к.т.н.; доцент.

Kamaev Valery Anatolievich – Volgograd State Technical University; e-mail: kamaev@cad.vstu.ru; 28, Lenina av., Volgograd, 400131, Russia; phone: +78442248100; the CAD department; chief of department; dr. of eng. sc.; professor.

Melnik Vladislav Yurievich – e-mail: vl_melnik@mail.ru; e-mail: +79178415771; the CAD department; postgraduate student.

Kizim Alexey Vladimirovich – e-mail: kizim@mail.ru; phone: +79199800256; the CAD department; cand. of eng. sc.; associate professor.

УДК 519.816

С.М. Ковалев, А.В. Муравский

ОПЕРАТИВНОЕ ДЕТЕКТИРОВАНИЕ ТЕМПОРАЛЬНЫХ ПАТТЕРНОВ В СЕКВЕНЦИАЛЬНЫХ ДАННЫХ*

Разрабатывается новый гибридный подход к распознаванию темпоральных паттернов в секвенциальных данных, основанный на использовании адаптивных стохастических моделей. Формулируются условия, связывающие значения функции истинности Марковской модели с вероятностями появления в потоках данных целевых паттернов. Рассматривается адаптивная Марковская модель временного процесса и метод ее обучения для предсказания эволюционирующих во времени паттернов. Разрабатывается метод обучения игровых моделей. Дается обобщение предлагаемого подхода на случай нечетких темпоральных паттернов. Описывается область возможных приложений методов упреждающего распознавания и результаты экспериментов.

Игровая Марковская модель; темпорально-разностное обучение; темпоральный паттерн.

S.M. Kovalev, A.V. Muravskiy

OPERATIVE TEMPORAL PATTERNS RECOGNITION IN SEQUENTIAL DATA

A new hybrid approach is developed in this article. The approach is based on adaptive stochastic models and is used for temporal patterns recognition in sequential data. The conditions connecting values of function of the validity of Markov model with probabilities of occurrence in data flows of target patterns are formulated. Adaptive Markov model of temporal process is considered along with training method. The model is used for temporal evolutionary patterns prediction. The method of training of game models is developed. Generalisation of the offered approach on a case indistinct temporal patterns is given. The area of possible appendices of methods of anticipatory recognition and results of experiments is described.

Game Markov model; temporal-difference training; temporal pattern.

Введение. Детектирование темпоральных паттернов в секвенциальных данных является разновидностью задач распознавания образов и в практическом плане обычно направлено на определение соответствующих или несоответствующих (аномальных) паттернов из заданного целевого класса нормальных временных процессов. Детектирование типовых нормальных паттернов и аномалий широко используется в разнообразных областях, таких как мониторинг и диагностика динамических объектов, управлении скоротечными динамическими процессами, идентификации трафиков в распределенных компьютерных сетях, выявлении аномалий и вторжений в системах обеспечения безопасности и др. С целью решения подобного

* Работа выполнена при поддержке РФФИ проекты №№ 11-07-00075, 10-01-00058-а, 11-07-13118-офи-м-2011-РЖД.