

- повышения частоты и снижение потерь SiC быстровосстанавливающихся обратных диодов;

- применения прямого водяного охлаждения для исключения соединения основание - охладитель.

Таким образом, высокий уровень развития силовой полупроводниковой техники наряду с улучшением характеристик преобразователей частоты и повышения надежности их работы, повышает надежность работы локомотива в целом за счет возможности применения асинхронных двигателей вместо двигателей постоянного тока.

Библиографический список

1 Либерман Ф. Я. Электроника на железнодорожном транспорте: учебное пособие для вузов ж.-д. трансп. / Ф. Я. Либерман. М.: Транспорт. 1987. 288 с.

2 Электронный электротехнический журнал – «Я электрик». Выпуск 6. 2007 г. 73 с.

3 Руководство от производителя SEMICRON по мощным полупроводниковым приборам. 270 с.

УДК 629.488.28:681.518.5

В. Н. Костюков, А.В. Костюков,
Д. В. Казарин (НПЦ «Динамика»)

МЕТОДИКА НОРМИРОВАНИЯ ДИАГНОСТИЧЕСКИХ ПРИЗНАКОВ ЭЛЕКТРИЧЕСКИХ ЦЕПЕЙ ЭЛЕКТРОПОЕЗДОВ

Для отнесения любого объекта к одному из видов технических состояний необходимо знать границы различия этих состояний, при этом в качестве инструмента различия целесообразно использовать отклонения диагностических признаков от эталонов [1].

В зависимости от величины отклонения вектора диагностических признаков, определяемого отклонениями входящих в него компонент, традиционно различают следующие основные виды состояний [2]: норма,

требует принятия мер, недопустимо. Имея в распоряжении большие объемы экспериментальных данных, полученных на реальных объектах, находящихся в различных технических состояниях, при определении границ могут применяться методы статистического анализа.

Для нормирования диагностических признаков по экспериментальным данным разработана и апробирована следующая методика.

1. Данные, полученные из баз экспериментальных установок разделяют по группам, соответствующим различным типам объектов.

2. Производится фильтрация данных в группах для исключения «ложных» и «совпадающих» значений диагностических признаков.

3. Для полученной репрезентативной выборки определяется вариационный ряд, рассчитывается математическое ожидание и эмпирическая функция распределения:

$$M^*(X) = \frac{1}{n} \cdot \sum_{i=1}^n x_i; \quad F^*(x) = \frac{n_x}{n}, \quad (1)$$

где n – объем выборки; x_i – значения вариант; n_x – число вариант, меньшее x .

4. Эмпирическая функция распределения аппроксимируется распределением Вейбулла-Гнеденко:

$$F(x) = 1 - e^{-\left(\frac{x-x_0}{T_0}\right)^\alpha}, \quad (2)$$

где α – параметр формы; T_0 – параметр масштаба; x_0 – параметр сдвига.

Для этого:

- определяется параметр сдвига:

$$x_0 = x_{\min} - \frac{x_{\max} - x_{\min}}{n}; \quad (3)$$

- путем двойного логарифмирования и заменой переменных выражение (2) приводится к линейному виду:

$$\bar{Y} = \alpha \cdot \bar{X} + \beta, \quad (4)$$

являющемуся модифицированной эмпирической функцией распределения, где:

$$\bar{Y} = \text{Ln}(-\text{Ln}(1 - F^*(x))); \quad \bar{X} = \text{Ln}(x - x_0); \quad (5)$$

- определяются коэффициенты линейной аппроксимации α и β для части модифицированной эмпирической функцией распределения (рис. 1), хорошо описываемой уравнением линейной регрессии ($R^2 \rightarrow 1$).

- рассчитывается параметр масштаба:

$$T_0 = e^{-\frac{\beta}{\alpha}} \quad (6)$$

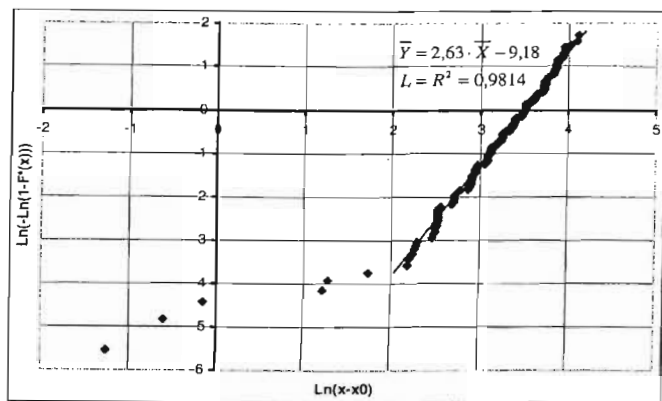


Рис. 1. Модифицированная эмпирическая функция распределения

5. Достоверность аппроксимации эмпирической функции теоретической оценивается с помощью множественного коэффициента детерминации (меры определенности Линдера) по формуле:

$$R^2 = 1 - \frac{\sum_{i=1}^n (F(x_i) - F^*(x_i))^2}{\sum_{i=1}^n (F^*(x_i))^2 - \frac{1}{n} \left(\sum_{i=1}^n F^*(x_i) \right)^2} \quad (7)$$

6. Рассчитывается дисперсия, мода, а также стандартное отклонение:

$$D(X) = T_0^2 \cdot \left(\Gamma\left(1 + \frac{2}{\alpha}\right) - \Gamma^2\left(1 + \frac{1}{\alpha}\right) \right), \quad (8)$$

где $\Gamma(X)$ – гамма-функция Эйлера;

$$M = T_0 \cdot \frac{(\alpha - 1)^{1/\alpha}}{\alpha^{1/\alpha}} + x_0; \quad S = \sqrt{\frac{n}{n-1} \cdot D(X)}. \quad (9)$$

7. Численные значения границ различия технических состояний норма – требует принятия мер, например, могут быть определены по выражению (для случайной величины, распределенной по нормальному или близкому к нормальному закону, т.е. для $\alpha = 2.5 - 3.5$):

$$X_{\text{нм}} = M \pm 2 \cdot S; \quad (10)$$

то есть по уровню 95.8 %. Значения границ различия технических состояний требует принятия мер – недопустимо отличаются от границ норма – требует принятия мер в 2 – 3 раза. Для диагностических признаков, распределенных по законам отличным от нормального ($\alpha = 1$ – экспоненциальный, $\alpha = 2$ – Релея), а также для односторонне ограниченных диагностических признаков значения границ различия состояний могут определяться по другим выражениям.

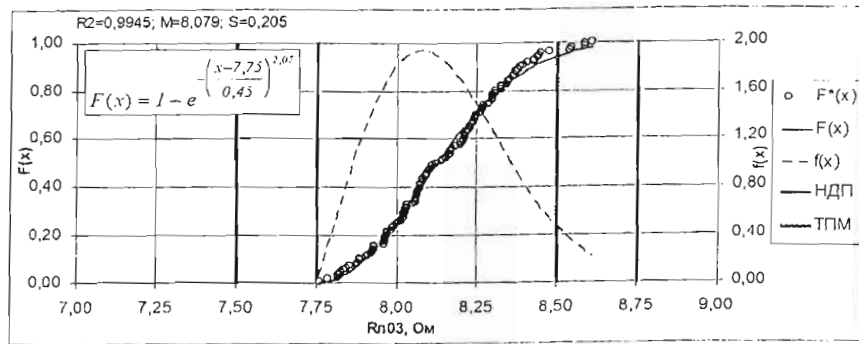
В случае мультимодальности эмпирической функции, обусловленной априорно известными причинами различия, она подвергается декомпозиции на ряд соответствующих унимодальных функций, каждая из которых исследуется самостоятельно аналогично процессу описанному выше.

Практика испытаний электропоездов показала, что мультимодальность функции распределения ряда диагностических признаков обуславливается установкой на электропоезде нетиповых элементов, а также неисправностями и нарушениями технологии испытаний, носящими систематический характер.

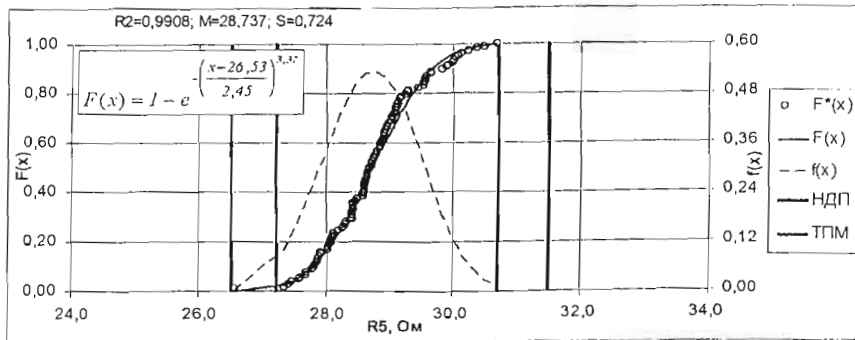
В ряде депо реализованный в системе способ диагностики электрических цепей [3] позволяет в автоматическом режиме осуществлять достоверную

В качестве примера на рис.2 представлены эмпирические функции распределения, аппроксимирующие их теоретические функции, плотность распределения, а также границы различия состояний, определенные по предлагаемой методике, для некоторых диагностических признаков электрических цепей электропоездов. Все представленные данные были получены при многочисленных испытаниях, проводимых перед постановкой секций электропоездов на ремонт, после проведения ремонта в объеме ТР-2, ТР-3, а также при испытаниях секций временно выводимых из эксплуатации с помощью систем комплексного диагностирования секций электропоездов КОМПАКС®-ЭКСПРЕСС-ТР3, применяемых для оценки технического состояния цепей с глубиной до отдельных элементов или сменных функциональных блоков (резисторов, катушек аппаратов, обмоток электрических машин, участков схемы).

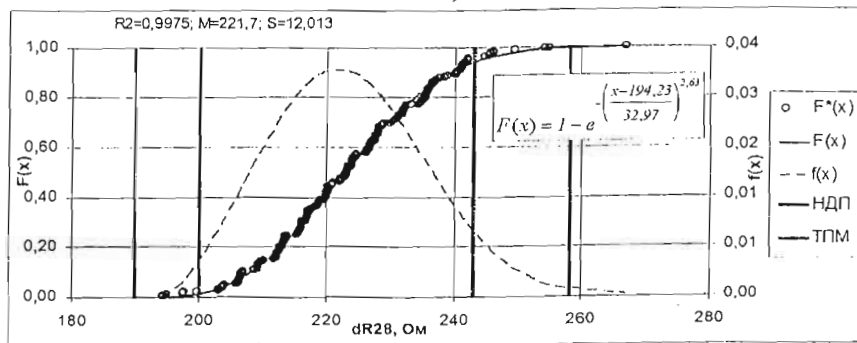
Распределение диагностического признака вспомогательных цепей электропоезда серии ЭД4М (R5 – сопротивление пускового резистора преобразователя), показанное на рисунке 2-б, близко к нормальному закону распределению с модой 28.79 Ом.



а)



б)



в)

Рис. 2. Примеры распределений диагностических признаков электрических цепей электропоездов

Как видно, 99,4 % значений признака укладывается в диапазон, соответствующий состоянию норма, определенный по предлагаемой методике. 3 % значений признака, попавших в диапазон норма, отклоняются от нормативного значения ($28,8 \pm 1,44$ Ом) не более чем на 1,5 %.

Распределение на рис. 2-в соответствует диагностическому признаку низковольтных цепей управления секции электропоезда ЭР9Т dR28 – сопротивлению цепи двух параллельно соединенных катушек электромагнитных контакторов в цепи фазорасщепителя, подключенных к секционному проводу 28 моторного вагона. Как видно, 6,7 % распределения значений признака находится в состоянии требует принятия мер, определенному по предлагаемой методике, 0,4 % в состоянии недопустимо. 15 % значений, попавших в диапазон норма, отклоняются от нормативного значения ($218,5^{+8}_{-5}$ Ом) не более чем на 2,5 %.

Следует отметить, что в нормативных документах не учитывается сопротивление соединительных проводов, контактов межвагонных электрических соединений, а также контактов коммутирующих аппаратов, в то время как используемые в системе диагностические признаки их учитывают [4]. Таким образом, величина отклонения диагностических признаков от нормативных значений характеризует не только состояние катушек аппаратов, но и состояние соединительных элементов и проводов цепей управления, что существенно повышает полноту диагностирования.

Представленные примеры определения границ различия состояний хорошо согласуются с данными нормативно-технической документации и подтверждают достигаемую, благодаря имеющимся метрологическим характеристикам и реализованным способам диагностики, высокую различающую способность и достоверность выявления неисправностей в различных группах оборудования электропоездов, в частности, в электрических цепях управления, силовых и вспомогательных цепях. Значения границ различия состояний, определенные по представленной методике, обеспечивают малую ошибку диагностирования, не превышающую 3 % для ошибки I-го и 2 % для ошибки II-го рода с доверительной вероятностью 0,95, что подтверждается результатами эксплуатации систем КОМПАКС®-ЭКСПРЕСС-ТР3, активно используемых в технологических циклах обслуживания и ремонта пригородного подвижного состава в ряде моторвагонных депо ОАО «Российские железные дороги» [5].

1. Костюков, В.Н. Мониторинг безопасности производства. М.: Машиностроение, 2002. 224 с.
2. ГОСТ Р 53564-2009. Контроль состояния и диагностика машин. Мониторинг состояния оборудования опасных производств. Требования к системам мониторинга. – М.: Стандартинформ, 2010. – 20 с.
3. Пат. 2453855 Российская Федерация, МПК G01R 27/16. Способ диагностики электрических цепей с переменной структурой. / Костюков В.Н., Костюков А.В., Казарин Д.В. №2011109704/28 заявл. 15.03.2011; опубл. 20.06.2012.
4. Казарин Д.В., Костюков А.В. Выбор диагностических признаков электрических цепей электропоездов // Наука, образование, бизнес: Материалы Всероссийской научно-практической конференции ученых, преподавателей, аспирантов, студентов, специалистов промышленности и связи, посвященной Дню радио. - Омск: Полиграфический центр КАН, 2009, С. 189-194.
5. Костюков В.Н., Костюков Ал.В., Казарин Д.В. Комплексное диагностирование электропоездов в условиях депо. ЕвразияВестн. 2012. №9. С. 30.
6. Костюков В.Н., Костюков Ал.В. Оценка погрешностей сборки машин виброакустическим методом. Сборка в машиностроении, приборостроении. 2010. №1. С.22-28

УДК 621.313.2

В. В. Харламов, П. К. Шкодун, А. П. Афонин (ОмГУПС)

ПОВЫШЕНИЕ ДОСТОВЕРНОСТИ ДИАГНОСТИРОВАНИЯ КОЛЛЕКТОРНО-ЩЕТОЧНОГО УЗЛА ТЯГОВОГО ЭЛЕКТРОДВИГАТЕЛЯ

Диагностирование любого технического объекта, как правило, является сложной задачей ввиду наличия значительного количества факторов, влияющих на его функционирование. Одним из таких объектов диагностирования является тяговый электродвигатель (ТЭД), как составная часть тягового подвижного состава. Основные эксплуатационные

характеристики ТЭД подвижного состава в значительной мере определяются их коммутационной устойчивостью, техническим состоянием коллекторно-щеточного узла (КЩУ).

Задача диагностирования заключается в формировании методики определения состояния КЩУ ТЭД в процессе эксплуатации и выявления соответствующей совокупности диагностических параметров.

При работе ТЭД в условиях эксплуатации на работу его КЩУ оказывают влияние не только внутренние факторы электромагнитной и механической природы [1], приводящие к появлению неидентичности коммутационных циклов, но и внешние, определяющие условия работы двигателя, например, изменение температуры окружающей среды, влажности, вибрации и другие параметры. Помимо этого, на работу ТЭД в условиях эксплуатации оказывает влияние изменение напряжения питания, что также приводит к неидентичности коммутационных циклов. Перечисленные причины могут вызвать повышенное искрение щеток ТЭД.

Для определения диагностических параметров, позволяющих повысить достоверность диагностирования состояния коммутации машин постоянного тока проведена математическая обработка экспериментальных данных машины серии 2П [2]. Анализ полученных результатов говорит о том, что необходимо регистрировать не только средний уровень искрения в целом по машине, но и среднее квадратичное отклонение уровня искрения по коллектору σ_x и среднее квадратичное отклонение уровня искрения во времени σ_t .

С целью выявления множества диагностических параметров применен графоаналитический метод с последующей декомпозицией исходной граф-модели по характеру воздействия факторов на процесс коммутации ТЭД.

Исходная граф-модель КЩУ ТЭД в условиях эксплуатации (рис. 1) представлена множествами входных параметров – K , внутренних параметров – M , структурных параметров – E , а также дефектов – D , подлежащих распознаванию.

Для выявления наиболее эффективных диагностических параметров V необходимо произвести упорядочение вершин граф-модели. Решение данной задачи возможно с применением метода экспертного оценивания [3].

Объединяя маршруты, у которых расстояния между любой вершиной и конечной вершиной x_i соответствуют $\rho \leq \rho_{кр}$, получаем рабочую граф-модель. Рабочая граф-модель, в отличие от исходной, не содержит ряда связей между

<i>Костюков В. Н., Зайцев А. В. (НПЦ «Динамика»), Басакин В. В. (ОмГУПС). Исследование вибрации подшипниковых узлов подвижного состава при изменении частоты вращения.....</i>	92
<i>Файзибаев Ш. С., Соболева И. Ю. (ТашиИИТ, Узбекистан). Расчетное обоснование уплотняющей поверхности бойка, воздействующего на поверхность бандажа колесной пары.....</i>	97
<i>Капустьян М. Ф., Кузнецов В. Ф., Шантаренко С. Г. (ОмГУПС). Роль человеческого фактора в обеспечении эксплуатационной надежности локомотивов.....</i>	101
<i>Литвинов А. В. (ОмГУПС). Развитие силовой преобразовательной техники как способ повышения эксплуатационной надежности электроподвижного состава.....</i>	105
<i>Костюков В. Н., Костюков А. В., Казарин Д. В. (НПЦ «Динамика»). Методика нормирования диагностических признаков электрических цепей электропоездов.....</i>	110
<i>Харламов В. В., Шкодун П. К., Афонин А. П. (ОмГУПС). Повышение достоверности диагностирования коллекторно-щеточного узла тягового электродвигателя.....</i>	116
<i>Костюков А. В., Казарин Д. В., Щелканов А. В. (НПЦ «Динамика»). Методика диагностирования электропневматической системы электропоездов.....</i>	121
<i>Кисель А. Г., Ражковский А. А. (ОмГУПС), Попов А. Ю., Реченко Д. С. (ОмГТУ), Шнуров Ю. В. (ЗАО НПО «Промэкология»). Охлаждающая способность смазочно-охлаждающих жидкостей применяемых при обработке деталей подвижного состава.....</i>	126
<i>Кисель А. Г. (ОмГУПС). Влияние смазочно-охлаждающей жидкости на силы резания при токарной обработке деталей подвижного состава.....</i>	130
<i>Харламов В. В., Шкодун П. К., Сергеев Р. В., Долгова А. В. (ОмГУПС). Оценка механической составляющей износа коллектора тяговых электрических двигателей.....</i>	133
<i>Капустьян М. Ф., Отраднова А. О., Супчинский О. П., Пономарев Е. В. (ОмГУПС). Эксперимент по корректировке межремонтных пробегов электровозов.....</i>	138

<i>Цурпаль А. Е. (ОмГУПС). Выбор параметров для диагностирования оборудования вспомогательных цепей электропоездов.....</i>	143
<i>Бублик Ал. В. (ОмГУПС), Ткачев А. Ю., Афанасьев Ю. А. (ООО «ТрансПроектАвтоматика»). Комплекс автоматизированного испытания силовых полупроводниковых приборов (КАИСПП).....</i>	149
<i>Костюков В. Н., Бойченко С. Н., Павленков Д. В. (НПЦ «Динамика»). Оценка возможности использования фрактального анализа для целей диагностики машинного оборудования.....</i>	153
<i>Матюшкова О. Ю. (ОмГУПС). Моделирование сигналов вибрации подшипников с типичными дефектами.....</i>	157
<i>Должиков С. Н. (ОмГУПС), Глухов В. И. (ОмГТУ), Лакеенко М. Н. (ОАО «НИИТКД»). Качество ремонта и обеспеченность средствами измерения – звенья одной цепи.....</i>	163
<i>Мехедов В. К., Слинкин С. А. (ОАО «НИИТКД»). Совершенствование метода измерения расстояния между внутренними гранями бандажей колес колесных пар.....</i>	168
<i>Харламов В. В., Шкодун П. К., Бакланов А. А., Попов Д. И., Афонин А. П. (ОмГУПС). Испытания тяговых электрических двигателей электровозов с учетом режимов их эксплуатации.....</i>	173
<i>Блинов А. П., Лобачев И. Ю. (ОмГУПС). Технологическая подготовка ремонтного производства тепловозов ТЭП70БС.....</i>	178
<i>Пономарев Е. В., Шантаренко С. Г. (ОмГУПС), Дудкин А. В. (Зап.-Сиб. ж. д. – филиал ОАО «РЖД»). Технологическая подготовка ремонта колесно-моторных блоков электровозов серии ЭП2К.....</i>	186
<i>Тэттер В. Ю. (ОмГУПС). Методика реализации тестовых сигналов для объективной оценки возможностей вибродиагностического оборудования.....</i>	190
<i>Кисель А. Г., Ражковский А. А. (ОмГУПС), Попов А. Ю., Реченко Д. С. (ОмГТУ), Шнуров Ю. В. (ЗАО НПО «Промэкология»). Влияние концентрации смазочно-охлаждающих жидкостей на их охлаждающую способность при обработке деталей подвижного состава...</i>	197
<i>Отраднова А. О., Супчинский О. П. (ОмГУПС). Зарубежный опыт организации ремонта подвижного состава.....</i>	201



Министерство транспорта Российской Федерации
Федеральное агентство железнодорожного транспорта
ОАО «Российские железные дороги»
Омский государственный университет
путей сообщения

Эксплуатационная надежность локомотивного парка и повышение эффективности тяги поездов



Омск 2012

Министерство транспорта Российской Федерации
Федеральное агентство железнодорожного транспорта
ОАО «Российские железные дороги»
Омский государственный университет путей сообщения



175-летию железных дорог России
ПОСВЯЩАЕТСЯ

Эксплуатационная надежность локомотивного парка и повышение эффективности тяги поездов

Материалы всероссийской
научно-технической конференции
с международным участием
(6, 7 декабря 2012 г.)

Омск 2012

УДК 629.4.083; 629.4.014.2; 629.488

ББК 39.2

Эксплуатационная надежность локомотивного парка и повышение эффективности тяги поездов: Материалы всероссийской научно-технической конференции с международным участием / Омский гос. ун-т путей сообщения. Омск, 2012. 454 с.

В сборник вошли статьи с результатами исследований, выполненных по комплексу научных направлений, посвященных тягово-энергетическому обеспечению перевозочного процесса и проблемам вождения поездов повышенной массы и длины; повышению эксплуатационной надежности и эффективности использования тягового подвижного состава; проблемам рекуперативного торможения на электроподвижном составе постоянного и переменного тока; влиянию конструктивных особенностей тягового подвижного состава на эффективность перевозочного процесса; техническому обслуживанию и ремонту локомотивов; совершенствованию технологии и средств технического диагностирования тягового подвижного состава; проблемам обеспечения скоростного и высокоскоростного движения поездов; эффективности использования системы тягового электроснабжения и ее взаимодействия с электроподвижным составом.

Материалы, представленные в сборнике, могут быть использованы при модернизации существующих и создании новых типов и серий тягового подвижного состава для железнодорожного транспорта, совершенствовании процессов его технического обслуживания и ремонта.

Сборник может быть полезен для научных сотрудников и специалистов, работающих в области железнодорожного тягового подвижного состава.

Библиогр. 254 назв. Табл. 46. Рис. 213.

Редакционная коллегия:

доктор техн. наук, профессор И. И. Галиев (отв. редактор);
доктор техн. наук, профессор О. А. Сидоров;
доктор техн. наук, профессор В. Т. Черемисин;
доктор техн. наук, профессор В. А. Четвергов;
доктор техн. наук, доцент С. Г. Шантаренко (зам. отв. редактора).

Рецензенты: доктор техн. наук, профессор В. А. Аксенов;
доктор техн. наук, профессор В. Н. Горюнов.

© Омский гос. университет
путей сообщения, 2012

Научное издание

ЭКСПЛУАТАЦИОННАЯ НАДЕЖНОСТЬ ЛОКОМОТИВНОГО ПАРКА И ПОВЫШЕНИЕ ЭФФЕКТИВНОСТИ ТЯГИ ПОЕЗДОВ

Материалы всероссийской научно-технической конференции
с международным участием

Ответственный за выпуск С. Г. Шантаренко

* * *

Печатается в авторской редакции

Подписано в печать 1.12.2012. Формат 60 × 84 ¹/₁₆.
Плоская печать. Бумага офсетная. Усл. печ. л. 28,2. Уч.-изд. л. 31,5.
Тираж 300 экз. Заказ 823

* *

Типография ОмГУПСа

*

644046, г. Омск, пр. Маркса, 35