



УДК: 621.313.001.42

Производство

Вайнер А.И., Буртовой В.А.
ПАО «АрселорМиттал Кривой Рог»
Ткаченко Г.И., Мохнатый А.В.
ООО «Криворожэлектромонтаж»

Хижняк В.Я. /к.т.н./
КНУ

Стенд для послеремонтных испытаний электрических машин постоянного тока методом динамического нагружения

Представлены результаты разработки и внедрения технических средств и программного обеспечения стенда для послеремонтных испытаний электрических машин постоянного тока мощностью 10-350 кВт в условиях электроремонтного цеха ОАО «АрселорМиттал Кривой Рог». Стенд позволяет получить токи двигателя равные и выше номинальных без использования механической нагрузки. Статья может представлять интерес для руководителей электроремонтных предприятий. Ил. 4. Библиогр.: 2 назв.

Ключевые слова: реверсивный тиристорный преобразователь постоянного тока, микропроцессорный контроллер, ограничение пускового тока, режимы испытаний

The results of development and implementation of hardware and software for post-repair stand the test of electric cars DC power 10-350 kW in electric repair shop "ArcelorMittal Krivoy Rog". The stand provides a motor currents equal and above the nominal load without using mechanical. The article may be of interest to managers electric repair businesses.

Keywords: reversible thyristor DC-DC converter, a microprocessor controller, limiting the inrush current testing regimes

В настоящее время большинство электроремонтных предприятий выполняют основные нагрузочные испытания отремонтированных электрических машин только в режимах холостого хода. Причина – большая номенклатура типоразмеров машин и трудности сочленения с устройством, реализующим механическую нагрузку с регулируемым моментом.

В [1] предложен алгоритм, методика и средства диагностики асинхронных двигателей при послеремонтных испытаниях. Алгоритм подразумевает подачу напряжения питания на статор двигателя непосредственно от сети через регулятор напряжения с использованием метода динамического нагружения [2].

Суть динамического нагружения для двигателей и генераторов постоянного тока заключается в применении ограниченного режима противовключения следующим образом (рис. 1.1):

1. На якорь подается напряжение в направлении вращения якоря, например, «Вперед» с ограничением пускового тока.
2. В момент начала уменьшения тока напряжение снимается и выполняется торможение до скорости примерно 0,3-0,5 номинальной.
3. Следующее действие – подача напряжения в направлении вращения якоря «Назад» также с ограничением пускового тока.
4. В момент начала уменьшения тока напряжение снимается и выполняется торможение до скорости примерно 0,3-0,5 номинальной.
5. Действия по п.1-п.4 повторяются заданное время.

Таким образом, основное назначение стенда – реализация испытаний отремонтированного двигателя или генератора током равным и более номинального без использования механической нагрузки. В основу разработки стенда положен подход, изложенный в [1].

Стенд выполняет следующие режимы испытаний.

1. «Предварительный» холостой ход, обеспечивающий вращение якоря машины со скоростью в 0,2-0,3 номинальной. При этом выполняется контроль искрообразования, вибраций, очистка коллектора и пр.
2. Холостой ход, обеспечивающий вращение якоря машины в направлении «Вперед» и «Назад» при номинальном якорном напряжении и номинальном напряжении возбуждения.
3. Холостой ход с повышенным на 30 % якорным напряжением.
4. Режим динамического нагружения с автоматическим измерением уровня вибраций и ручным измерением (мобильный пирометр) температуры подшипников.
5. Испытания электромагнита - определение величины напряжения, требуемого для подъема контрольного груза, и величины напряжения его отпущения.
6. Испытания генератора – разгон генератора в двигательном режиме до установившейся скорости, отключение от источника якорного напряжения, измерение напряжения холостого хода и подключение к нагрузке с измерением тока якоря и времени выбега.
7. Испытание катушки электромагнитного тормоза – подача на катушку заданного напряжения и из-

мерение тока, протекающего в цепи катушки.

8. Измерение сопротивления изоляции и сопротивления обмоток постоянному току выполняются вручную с использованием мегомметра и моста сопротивлений.

Особенность разработки - диапазон изменений якорных токов от 2-3 (ток холостого хода маломощных машин) до 2000 А (ток разгона машин мощностью 350 кВт).

Конструктивно стенд представляет собой 3 шкафа и рабочую станцию:

- реверсивный тиристорный преобразователь постоянного тока (изготовитель Запорожский электроаппаратный завод);

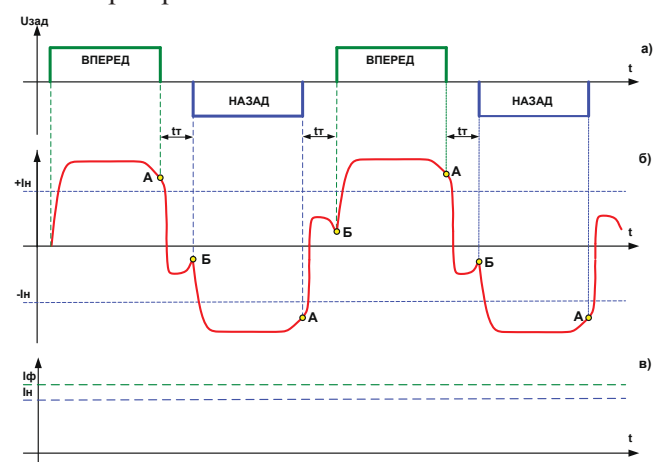
- шкаф коммутации, содержащий три комплекта силовых шин, четыре контактора, промежуточные электромеханические реле и шунты (разработчик и изготовитель ООО «Криворожэлектромонтаж»), нагрузочный резистор R_n установлен для исключения режима прерывистых токов при малых якорных токах в режиме холостого хода;

- шкаф управления, содержащий измерительные контроллеры, контроллер управления и специальное программное обеспечение (разработчик и изготовитель ООО «Криворожэлектромонтаж»);

- рабочая станция, содержащая компьютер, принтер и специальное программное обеспечение (разработчик ПО ООО «Криворожэлектромонтаж»).

Основные технические данные стенда.

1. Напряжение питания – 380В, 50 Гц.
2. Диапазон мощностей испытываемых машин, кВт – от 10 до 350.
3. Погрешность поддержания заданных величин токов в переходных режимах – не более 10 %.
4. Погрешность измерения токов и напряжений – не более 3 %.
5. Продолжительность испытаний – устанавливается оператором.



а) сигнал задания, выдаваемый контроллером шкафа управления в реверсивный тиристорный преобразователь
 б) ток якоря двигателя в режиме динамического нагружения
 в) условное значение фактического тока (I_f), полученного при испытаниях, по отношению к номинальному (I_n)
 t_t – время торможения.

Рис. 1.1. Алгоритм работы станции

6. Измерение вибраций выполняется установкой на время испытаний магнитного чувствительного элемента на корпус двигателя. Выходной сигнал измерителя уровнем 4-20 мА поступает в контроллер управления.

7. Измерение температуры подшипников выполняется оператором мобильным пирометром.

8. Период съема сигналов тока, микросекунд, 200.

9. Разрядность АЦП, бит, 10.

10. Входное напряжение АЦП- однополярное 5 В.

11. Параметры БГРН: при $U_{вх} = 0$, $U_{вых} = 2,5$ В; при $U_{вх} = +2,5$ В, $U_{вых} = 5$ В; при $U_{вх} = -2,5$ В, $U_{вых} = 0$ В.

12. Диапазон измеряемых токов, 1-2400 А.

13. Разрешающая способность АЦП от 0,08 (поддиапазон 0-40 А) до 0,88 (поддиапазон 0-400 А).

14. Скорость обмена по RS-485, кбод – 115,2.

15. Габариты (В x Ш x Г), мм:

15.1. Шкаф управления: 1200 x 800 x 300.

15.2. Шкаф силовой: 1900 x 860 x 800.

15.3 Тиристорный преобразователь: 1900 x 1100 x 800.

16. Допустимые длины силовых линий связи, не более – 100 м.

17. Допустимые длины связи для сигналов управления, не более – 800 м.

18. Температура окружающего воздуха, кроме аппаратуры рабочей станции, от минус 10 до плюс 50 °С.

На рис. 2 представлена структурная схема стенда, где дана расшифровка условных обозначений. Назначение отдельных составляющих схемы следующее:

- РТП (реверсивный тиристорный преобразователь) – выдача на якорь двигателя (генератора), обмотку электромагнита или катушку тормоза напряжения, обеспечивающего по командам контроллера управления, заданные величины времени испытаний, тока разгона, торможения и противовключения (см. рис. 1), выдача в обмотку возбуждения требуемой величины напряжения;

- делители – резисторы, обеспечивающие масштабирование напряжения, подаваемого на входы БГРН от шунтов;

- БГРН – блоки гальваноразвязки и нормализации сигналов, поступающих от делителей, все блоки имеют один и тот же коэффициент усиления;

- ИК₁-ИК₄ – измерительные контроллеры, каждый из которых содержит четырехканальный быстродействующий АЦП.

Функции ИК₁:

- измерение мгновенных значений тока и напря-

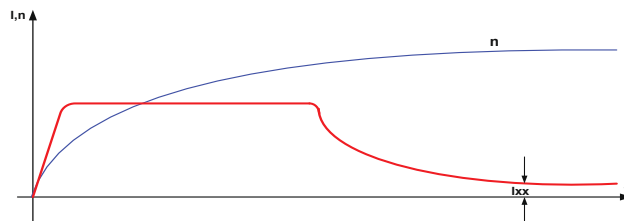


Рис. 1.2. Скорость и ток якоря в режиме испытаний холостого хода

жения возбуждения, напряжения якоря;
 - по запросу контроллера управления передача измеренных значений тока и напряжения.

Функции ИК2-ИК4:

- измерение мгновенных значений тока якоря;
 - формирование признака (Π_i);
 - по запросу контроллера управления передача измеренных значений тока.

Для формирования признака Π_i ток, протекающий через каждый шунт, разбит на четыре поддиапазона (в амперах) следующим образом:

- Π_1 (0-160) поддиапазоны 0-40, 41-80, 81-120, 121-160;
- Π_2 (100-1600) поддиапазоны 100-400, 401-800, 801-1200, 1201-1600;
- Π_3 (800-2400) поддиапазоны 800-1200, 1201-1600, 1601-2000, 2001-2400.

Таким образом, формирование признака Π_i в ИК выполняется, если измеренное значение тока (I) соответствует условию

$$\Pi_i = 1, \text{ если } 0,5 D_{\text{н}} \geq I \leq 0,95 D_{\text{в}},$$

где $D_{\text{н}}$ – нижнее значение поддиапазона тока двигателя, А; $D_{\text{в}}$ - верхнее значение поддиапазона тока двигателя, А.

В (1) $i = 2, 3$ или 4 , где $2, 3$ и 4 соответствует ИК₂, ИК₃ и ИК₄ на рис. 2 (контроллер ИК₁ имеет только один диапазон измерений).

Рассмотрим определение фактической величины тока, например, при условии

$$\Pi_{\text{ИК4}} = 1, \text{ АЦП}_4 = 812, 2^0 = 0,8 \text{ А,}$$

где ИК₄ – сформирован $\Pi_4 = 1$, т.е. признак ИК₄, подключенного к Π_3 (см. рис. 2); АЦП₄ – обработка данных 4-м каналом АЦП; 812 – показания АЦП ИК4 в десятичном коде; 2^0 – разрешающая способность младшего разряда АЦП.

Тогда величина измеренного тока (Ик4) определяется следующим образом

$$I_{\text{ИК4}} = (812 - 512) \times 0,8 + 2000 = 2320 \text{ А}$$

где 512 - показания АЦП при отсутствии тока; 0,8 – см. (2); 2000 – величина нижнего предела измерения тока в 4-м поддиапазоне ИК₄, равного 2000–2400 А.

Более детальное описание принципа измерения токов и напряжений с использованием ИК см. в [1].

K_1 - K_4 – контакторы по командам контроллера управления, подключающие к РТП испытываемую машину в соответствии величиной её якорного тока.

КУ – контроллер управления со следующими функциями:

- обмен данными с рабочей станцией;
- обмен данными с измерительными контроллерами и прием измеренных величин токов и напряжений только с того ИК, у которого сформирован признак согласно (1);
- прием аналоговых сигналов об уровне вибраций;
- выдачу в РТП данных о требуемых величинах ограничения скорости нарастания и величины тока разгона, тока и времени торможения, значение максимального тока защиты;

- прием из РТП служебных данных: «Готовность» и «Авария»;
- выдача команд выбора контактора и реализация режимов испытаний;
- выдача команд запрета на выполнение испытаний в случае возникновения аварийных ситуаций (превышение измеренных величин токов и напряжений допустимых значений).

Рабочая станция со следующими функциями:

- прием от оператора данных о типе, мощности, номинальном токе машины;
- номинальной скорости, токов якоря и возбуждения для двигателя и генератора;
- данных о заказчике ремонта машины, дате её поступления в ремонт, ФИО ответственных за отдельные виды ремонта и т.д.;
- прием от оператора и выдача в контроллер управления команд на режим испытаний и их продолжительность;
- прием от оператора и запоминание данных о величине сопротивления изоляции, величине сопротивления обмоток постоянному току, температуре подшипников с привязкой к дате и времени;
- проверка данных, вводимых оператором с клавиатуры, по принципу «логические ворота»;
- прием от контроллера управления данных о мгновенных значениях токов, напряжений и вибрации;
- оформление результатов испытаний в виде протокола;
- архивирование и визуализация данных о результатах испытаний, в том числе графиков изменения токов и напряжений при испытаниях с привязкой к дате, времени и типу двигателя.

Разработанное программное обеспечение стенда включает три подсистемы:

- определения токов и напряжений, размещенных в измерительных контроллерах;
- расчетов и управления, размещенных в контроллере управления;
- рабочей станции.

Рабочая станция ведет диалог с оператором с помощью удобного оконного интерфейса, системы подсказок и «горячих» клавиш. Для архивации данных используется СУБД FireBird. Протоколы испытаний сохраняются в формате RTF и, следовательно, их можно просмотреть в любом текстовом редакторе, включая MS Word.

В качестве примера на рис. 3 представлен график изменения токов и напряжений двигателя типа 4ПН225М в режиме динамического нагружения, на рис. 4 - в режиме холостого хода. Все необходимые пояснения даны на рисунках. Ниже представлен образец протокола с результатами испытаний двигателя, выдаваемый на дисплей рабочей станцией и печать.

Особенности и сложности, обнаруженные при наладке.

1. При измерении токов якоря и возбуждения в момент коммутации тиристоров возникают броски напряжения («иглы») уровнем до 530 В, которые

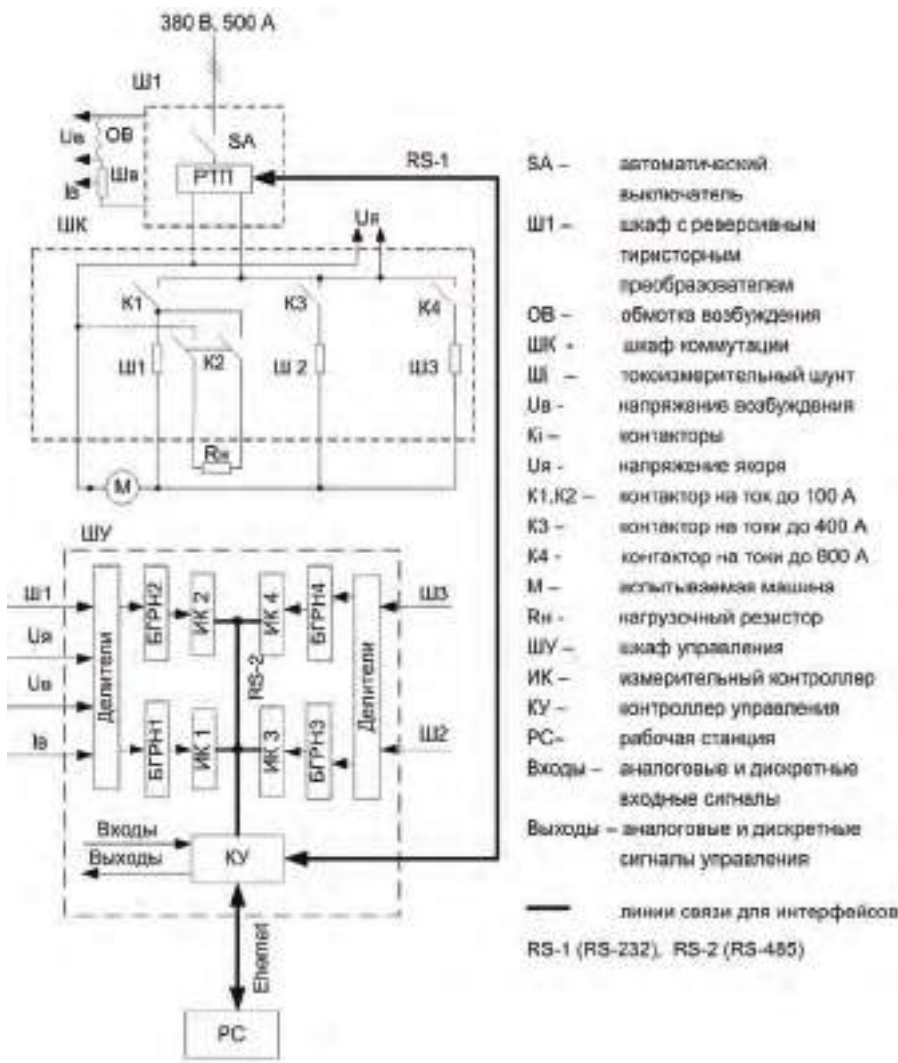


Рис. 2. Структурная схема стенда

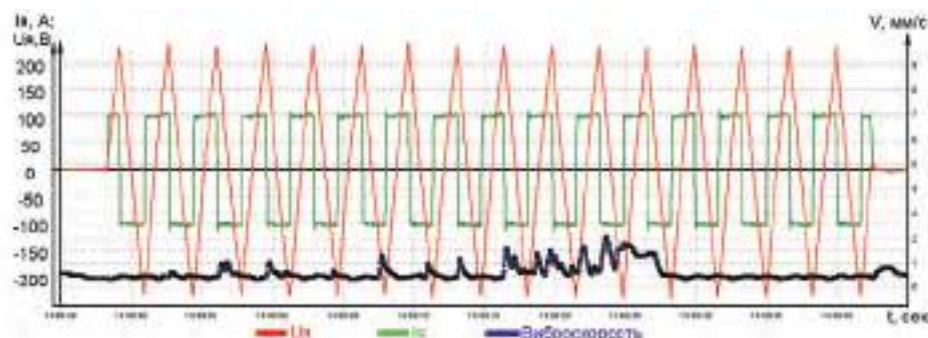


Рис.3. Испытания в режиме динамического нагружения

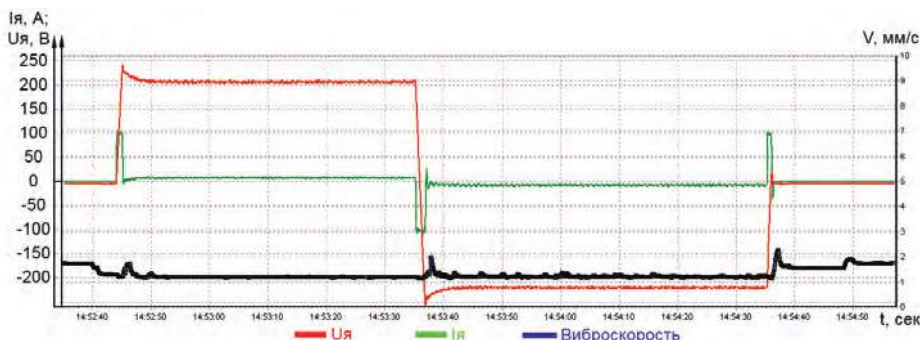


Рис.4. Испытания в режиме холостого хода

существенно влияли на результирующее значение, в случае если бросок напряжения совпадал с моментом измерения. Решено путем программной фильтрации входного сигнала.

2. При отключении в аварийной ситуации обмотки возбуждения от РТП в коммутирующем аппарате возникла дуга вследствие большой индуктивности цепи возбуждения. Решено установкой параллельно обмотке возбуждения диода, гасящего ЭДС самоиндукции.

СТП 130-03-2010
 ПУБЛИЧНОЕ АКЦИОНЕРНОЕ ОБЩЕСТВО «АрселорМиттал Кривой Рог»

Электроремонтный цех
 Протокол № 894
 результатов испытаний электрической машины постоянного тока

Вид электромшины:
 Двигатель
 Тип: 4ПН225М.
 Дата: 24.10.2012
 Заказ №: 963451. Заводской (инв.) №: 2303999
 Заказчик: Блюминг – 2. Вид ремонта: Капитальный
 Паспортные данные
 Мощность: 20 кВт, Скор. вращ.: 750 об/мин., I_{якоря}: 105 А,
 U_{якоря}: 220 В, I_{возб}: 3,5 А, U_{возб}: 220 В.

1. Сопротивление изоляции обмоток: R_{изя} = 10 МОм, R_{изв} = 11,5 МОм

2. Сопротивление обмоток постоянному току: R_я = 0,01 Ом, R_ш = 62,93 Ом.

3. Режим холостого хода:
 U_{возб} = 200 В, I_{якоря} = 4,3 А, I_{возб} = 3,45 А

4. Режим нагружения: I_я = 100 А, U_я = 211 В, Вибрация = 2,2 мм/с

5. Температура подшипников:

Передний до испытания – 20 °С, Задний до испытания – 20 °С

Передний после испытания – 27 °С, Задний после испытания – 29 °С

6. Время испытаний: 14:02-14:28

7. Заключение:

- уменьшение вероятности отправки заказчику электрической машины со скрытыми дефектами;
- сокращение времени подготовки отчетных документов за счет уменьшения количества данных, вводимых вручную, путем использования методов автоматизированной их подготовки;
- долговременное хранение данных с результатами испытаний в электронном виде.

Испытание произвёл: К.Б. Прохоренко

Ст. мастер по испытаниям: С.В. Чирва

Начальник ЭРЦ: В.А. Буртовой

3. При испытании электромагнита существовала вероятность возникновения аварийного пробоя тиристоров РТП за счет возникновения ЭДС самоиндукции, возникающей при отключении силовой цепи автоматическим выключателем или обрыве силового провода. Решено установкой параллельно обмотке катушки диода, гасящего ЭДС самоиндукции, на время испытания электромагнита.

В заключение отметим, что использование стенда обеспечивает:

Библиографический список

1. Вайнер А.И., Буртовой В.А., Ткаченко Г.И. и др., «Стенд для послеремонтных испытаний асинхронных двигателей методом динамического нагружения» // *Металлург. и горноруд. пром-сть.* – 2011. - № 4. - С. 111-115.
2. Родькин Д.И. Системы динамического нагружения и диагностики электродвигателей при послеремонтных испытаниях. – М.: Недра, 1992. – 236 с.

Поступила 31.10.2012



**НАУЧНО-ТЕХНИЧЕСКИЙ И ПРОИЗВОДСТВЕННЫЙ ЖУРНАЛ
«Металлургическая и горнорудная промышленность»**

Единственное в Украине специализированное издание, освещающее вопросы научной и практической деятельности специалистов горно-металлургического комплекса, а также все проблемы ГМК. Наш журнал издаётся с 1960 г. Распространяется по подписке в Украине и странах СНГ (Россия, Молдавия, Казахстан, Беларусь, Узбекистан).

Индекс: 74311 – журнал «Металлургическая и горнорудная промышленность» на рус. языке. Стоимость годовой подписки (6 журналов) – **2 580 грн.;**

Индекс: 49501 - журнал «Металлургическая и горнорудная промышленность», CD-ROM. Стоимость годовой подписки (6 журналов) – **1 728 грн.;**

Главная задача журнала – рекламная поддержка передовых технологий и разработок, публикация информации о новейших научно-технических достижениях исследовательских коллективов, институтов, предприятий и организаций ГМК Украины.

Читатели журнала «Металлургическая и горнорудная промышленность» - специалисты и топ-менеджмент предприятий, участвующих в технологическом цикле сырье – сталь – металлообработка - потребление: ГОКи, КХЗ, ферросплавные заводы, производители чугуна, стального проката, труб, метизов, конечные потребители базовых отраслей металлургической и горнорудной промышленности.

**ЖУРНАЛ ДЛЯ ТЕХ, КТО РАБОТАЕТ
В МЕТАЛЛУРГИИ И ДЛЯ МЕТАЛЛУРГИИ!**

Стоимость рекламы (в гривнах):

<i>Площадь, формат</i>	<i>Чёрно-белая</i>	<i>Полноцветная</i>
<i>1 стр. обложки (½ стр)</i>		5 000
<i>4 стр. обложки:</i>		
<i>страница (A4)</i>	-	5 000
<i>на страницах журнала:</i>		
<i>страница (A4)</i>	1 000	2 000
<i>½ стр.</i>	500	1 000

Вложение в журнал рекламных листовок: A4 – 1 грн.; A5 – 0,5 грн.

Публикация статьи на правах рекламы – 750 грн за страницу.

Адрес редакции :

49027, Днепропетровск, ул. Дзержинского, 23 ,

тел/факс (0562) 46-12-95, (056) 744-81-66.

E-mail: metinfo@metinform.dp.ua;

http: // www. metaljournal.com.ua