

ФЕДЕРАЛЬНОЕ ГОСУДАРСТВЕННОЕ
БЮДЖЕТНОЕ УЧРЕЖДЕНИЕ НАУКИ
ИНСТИТУТ ЯДЕРНОЙ ФИЗИКИ
им. Г.И. Будкера СО РАН
(ИЯФ СО РАН)

О.В. Беликов, В.А. Журавлёв,
Э.Л. Неханевич, Д.И. Фадеев

МОДЕРНИЗАЦИЯ
СВЕРЛИЛЬНОГО СТАНКА КД-46

ИЯФ 2015-13

Новосибирск
2015

Модернизация сверлильного станка КД-46

О.В. Беликов, В.А. Журавлёв,
Э.Л. Неханевич, Д.И. Фадеев

Институт ядерной физики им Г.И. Будкера
630090, Новосибирск, Россия

Аннотация

Модернизация металлообрабатывающих станков с числовым программным управлением (ЧПУ) стала отраслью промышленности. Причем, судя по публикациям, суть не только в замене электроники, хотя это – наиболее важный (и, от себя добавим, сравнительно недорогой) этап модернизации. Замена элементов механического привода также позволяет поднять класс обработки. Не последнее место занимает фактор старения чугунной станины станка, что обеспечивает постоянство и стабильность размеров. Современные станки отличаются прекрасным внешним видом, высокой точностью обработки, но ещё и высокой ценой (существенно дороже модернизации). Стабильность размеров станины во времени нового станка, скорее всего, уступает 30-летним “старичкам”.

В предыдущей работе на тему модернизации станка КД-46 [1] подробно описаны результаты замены электроники ЧПУ и приводов шаговых двигателей. Представленный препринт содержит полное (хотя и краткое) описание всех этапов и элементов модернизации: замена аналоговых блоков силового питания электроприводов шаговых двигателей на импульсный блок питания с высоким к.п.д., реализация электроники управления электрошпинделями с использованием промышленных преобразователей частоты, замена позиционных индуктивных датчиков ПИЩ-6-1 герконами, а также доработка элементов станка. В препринте описаны результаты модернизации, подтверждённые конкретными измерениями, выполненными с использованием координатно-измерительной машины ZEISS CONTURA G2 – приведены графики разброса координат отверстий, просверлённых на печатных платах.

© Институт ядерной физики им Г.И. Будкера СО РАН

1. Введение

"Станок четырехшпиндельный с ЧПУ для сверления печатных плат" модель КД-46, в 80-х годах прошлого столетия выпускаемый Каунасским станкостроительным объединением, можно и спустя 3 десятилетия использовать в производстве печатных плат, если модернизировать ЧПУ и электронику приводов электрошпинделей.

На рис. 1 показан внешний вид исходного комплекта станка, в том числе два шкафа с электроникой: шкаф ЧПУ 2П22-1 с перфоленточной системой ввода программ сверления печатных плат и электрошкаф с преобразователем частоты ПЧ-3,5-3200-1Р23 для питания электрошпинделей.

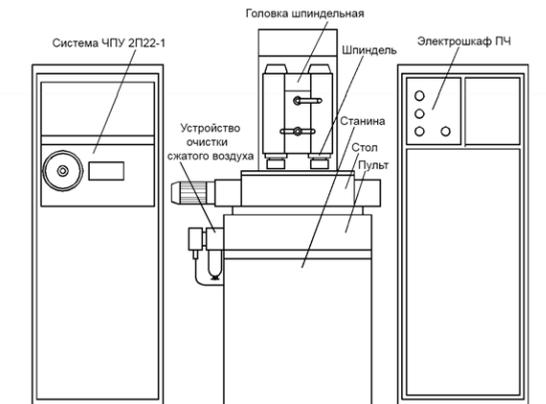


Рис. 1. Исходный комплект станка КД-46.

ЧПУ 2П22-1 предназначено для горизонтального позиционирования рабочего стола программой сверловки печатной платы путём управления шаговыми двигателями (ШД) по координатам "X" и "Y", а также для вертикального (координата "Z") перемещения электрошпинделей типа АС72, выполняющих сверление отверстий. Все перемещения выполняются с помощью шестифазных шаговых двигателей типа ШД5 с током в фазе до 3 А.

Привязка к начальным координатам рабочего стола, а также контроль перемещений (и рабочего стола, и шпинделей) обеспечивается с помощью индуктивных датчиков положения типа ПИЩ-6-1 [2]. Используются по 2 датчика на приводах шпинделей и по 3 – на координатах "X" и "Y". Причем координаты "0" по "X" и "Y" фиксируют по два датчика – грубый и точный. Максимальная мощность, потребляемая станком с системой ЧПУ от электросети – 4 кВт.

В Институте ядерной физики СО РАН работы по модернизации станков КД-46 велись на протяжении ряда лет [1, 3] и выполнялись в несколько этапов. Окончательный вариант представлен на рис. 2.



Рис.2. Модернизированный комплект станка КД-46.

2. Управление шаговыми двигателями

Управление шаговыми двигателями в режиме реального времени (интерполяция перемещения стола и электрошпинделей) выполняется с помощью персонального компьютера (ПК). Программное обеспечение работает под управлением системы MS DOS и выполняет “пошаговое” управление перемещением стола и электрошпинделей вплоть до максимальной частоты (согласно паспорту ШД5) – 16000 шагов в секунду, причем ускорение и замедление также программируемое. Включение ПК в локальную сеть обеспечивает оперативный доступ к обрабатываемым программам из дискового архива. В ПК в качестве устройств внешней памяти вместо жестких дисков применены флэш-модули Transcend 40-pin IDE flash Module на 2 или 4 Гб, что увеличило надежность работы ПК.

Электроника питания обмоток ШД5, выполнение алгоритмов пошагового управления, защита силовых элементов от перегрузки размещены в блоках электроприводов ЭШД5 [1, 4], разработанных в Институте ядерной физики.

В электроприводе используются современные MOSFET транзисторы и программируемая логика (ПЛИС), что позволяет минимизировать габариты блока, снизить потребляемую мощность, уменьшить сечение проводов в кабелях, повысить надежность и увеличить время безаварийной работы.

Шесть блоков ЭШД5, блок связи с ПК, а также блок питания БПШД-1ф размещены в крейте конструктива «Вишня» (рис. 3). Персональный компьютер и этот крейт заменили шкаф с системой ЧПУ 2П22-1 исходного комплекта станка. Наиболее важные функции контроля (аварийная защита в том числе) исполняются автономно в блоке связи и не зависят от работы ПК. Кроме этого блок связи с ПК содержит логику сопряжения с датчиками положения и связной интерфейс системы ДОЗА [5].

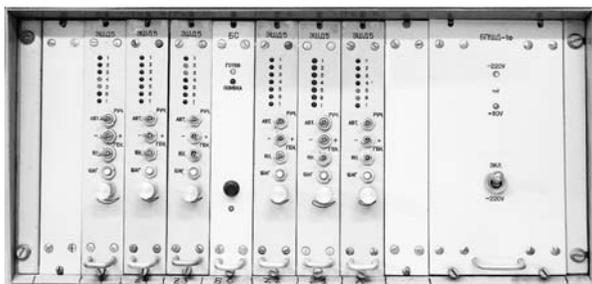


Рис. 3. Крейт управления шаговыми двигателями.

Блок силового питания шаговых двигателей БПШД-1ф выполнен с использованием импульсных блоков питания (ИБП) типа S-350-48 со следующими характеристиками:

- входное напряжение* – 220 В (однофазное);
- выходное напряжение* – до 48 В;
- выходная мощность* – 350 Вт;
- кпд* – до 80%.



Рис. 4. Блок питания БПШД-1ф.

В каждом БПШД-1ф установлено по два ИБП, у которых выходы соединены последовательно и отрегулированы на напряжение 80 В. Крейт потребляет от однофазной электросети вместе с ПК и монитором около 1 кВт.

3. Управление электрошпинделями

Управление электрошпинделями выполнено на преобразователях частоты (ПЧ) Commander SK с номинальной выходной мощностью 0,25 кВт (тип SKA1200025). Каждый шпиндель управляется отдельным ПЧ, что упростило системы коммутации и аварийной защиты. Небольшие габариты преобразователей позволили разместить их на правой панели станины станка (Рис.5).

Внутренность станины занимал внушительный кабельный коллектор, надобность в котором отпала. Каждый ШД подключен многожильным кабелем прямо к блоку электропривода. Новые кабели – меньшего сечения, они занимают гораздо меньше пространства внутри станины. Панель ПЧ потребляет от электросети максимум 1 кВт (когда все преобразователи включены).

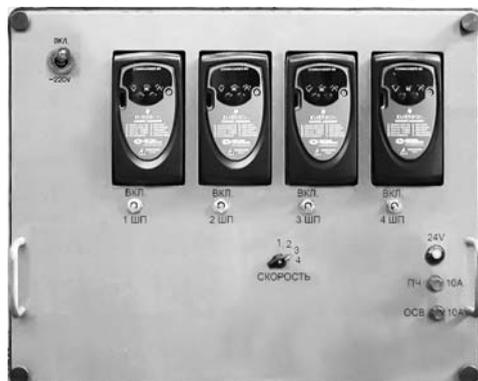


Рис. 5. Панель преобразователей частоты.

Таким образом, электроника станка полностью переработана. Модернизированный станок потребляет от однофазной сети (а не трехфазной, как у прототипа) вдвое меньшую мощность 2 кВт.

Переключение скорости вращения шпинделей от программы не реализовано. Это решение было принято сознательно, т.к. в станке КД-46 отсутствует функция автоматической смены инструмента. По команде на экране монитора оператор станка должен выключить ПЧ, дождаться остановки вращения сверла для его замены, после этого установить соответствующую скорость и включить вращение электрошпинделя. Следовательно, ручное переключение скорости вращения шпинделя не добавляет станочнику забот.

Установлена одна из причин выхода из строя шпинделей – пересохшие дюритовые шланги, через которые подается сжатый воздух. Мелкие частицы с внутренней поверхности шланга, попав в микронный зазор воздушного подшипника, способны заклинить электрошпиндель. Проблема решена заменой дюритового шланга на современный шланг ПВХ, армированный синтетической нитью. Отметим также замену громоздкого устройства очистки сжатого воздуха на более компактное – типа П-ППВ 16-12/10.

Существенно упрощен пульт управления. На нем размещены кнопки для включения и выключения ПЧ и манометр ДМ 2010 с электроконтактами для отключения питания ПЧ при снижении давления ниже порога 5 атмосфер. Это не исключает полностью вероятность поломки сверла, но предохраняет дорогостоящий шпиндель от выхода из строя из-за перегрева.



Рис. 6. Пульт управления.

4. Датчики позиционирования

Преобразователи индуктивные щелевые ПИЩ-6-1, использованные в станках КД-46 как позиционные, с большой натяжкой можно считать датчиками *позиционирования*. По технической документации на станок дискретность отсчёта (перемещение по "X" и "Y" на 1 шаг шагового двигателя) – 0,005 мм, а точность линейного позиционирования стола по осям "X" и "Y" – 0,040 мм. Паспортная погрешность датчиков [2] – 0,3 мм на каждые 10°C изменения температуры и 0,4 мм на 10% изменения напряжения питания. Последнее легко "лечится" стабилизированным источником питания. Для компенсации температурной нестабильности при включении обслуживающей программы выполняется многократное перемещение стола станка по замкнутому контуру с возвращением в исходную точку. Задавая в этом "танце" одинаковое количество шагов по "+X" и "-X", а также по "+Y" и "-Y", находим отклонение от координаты "0", полученной от датчиков ПИЩ-6-1. Если отклонение превышает допустимое паспортное (0,040 мм), предполагается, что температура в корпусе станка недостаточно стабилизировалась, и "танец" повторяется. В процессе сверления печатных плат выполняется регулярное считывание срабатывания "точных" позиционных датчиков, сравнение с текущей координатой и её коррекция.

Недостатки датчиков ПИЩ-6-1 особенно проявили себя в схеме позиционирования шпинделей: датчики определяют высоту подъема сверла над печатной платой и глубину сверления. Место установки датчиков вертикального перемещения электрошпинделей оказалось крайне неудачным – вблизи шаговых двигателей, которые разогреваются до 50 – 80°C. Требования к точности глубины отверстия (примерно $\pm 0,2$ мм) гораздо мягче по сравнению с требованиями по позиционированию рабочего стола, тем не менее, температурные отклонения нижнего порога в течение рабочей смены достигали 1 мм, что иногда приводило к "недосверливанию" отверстий.

В процессе работы были выявлены сбои в работе индуктивных датчиков. Возможными источниками помех можно назвать импульсные электронные ключи в схемах управления силовыми элементами (электрошпиндели, шаговые электродвигатели, блоки питания). Поиск источников одиночных сбоев электронной аппаратуры – задача всегда не из простых. Легче бывает найти способ защитить от помех вероятный приемник. В данном случае вопрос решился “радикально”: вместо индуктивных датчиков были применены миниатюрные герконы КЭМ-2А и постоянные магниты (размером 8x4x5 мм) с полюсными наконечниками из магнитомягкого материала толщиной 0,5 мм.

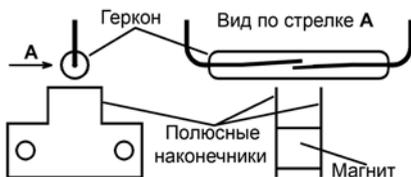


Рис. 7. Позиционный датчик из геркона и постоянного магнита.

На фотографии рис. 8 можно сравнить новую и старую конструкции датчиков, предназначенных для ограничения перемещения электрошпинделей при сверлении отверстий.

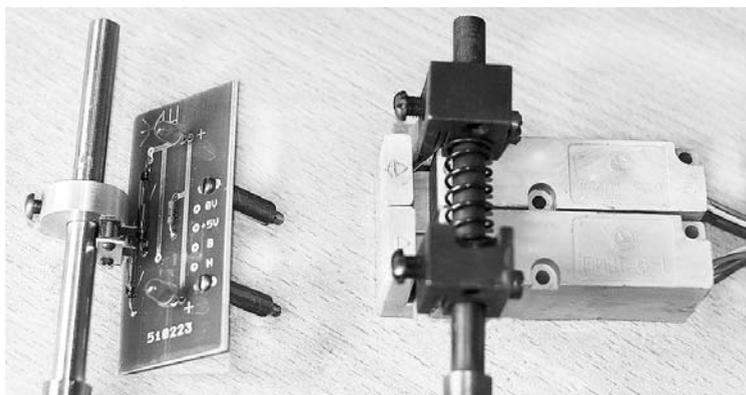


Рис. 8. Пара герконных датчиков и индуктивные щелевые датчики.

Точность герконных датчиков оказалась поразительной: ± 1 шаг перемещения стола, т.е. $\pm 0,005$ мм (вместе с возможными люфтами механизма). Размер герконного датчика раз в 10 меньше индуктивного, а точность срабатывания практически не зависит от окружающей температуры. Питание датчику не требуется (разве что для светодиодного индикатора срабатывания). Важно, что с заменой датчиков прекратились сбои, а также практически отпала необходимость в "танцах", о которых сказано выше.

На гистограммах (рис. 9 и 10) для индуктивных датчиков ПИЩ-6-1 и герконных датчиков, установленных на приводе ходового винта ("точные" датчики), показана статистика разброса точек срабатывания при "наезде" на датчик со скоростью 1000 шагов в секунду.

Из сравнения гистограмм видно – герконный датчик по точности не намного уступает индуктивному. Зато во всём остальном (температурная стабильность, миниатюрность, отсутствие источника питания) – превосходит.

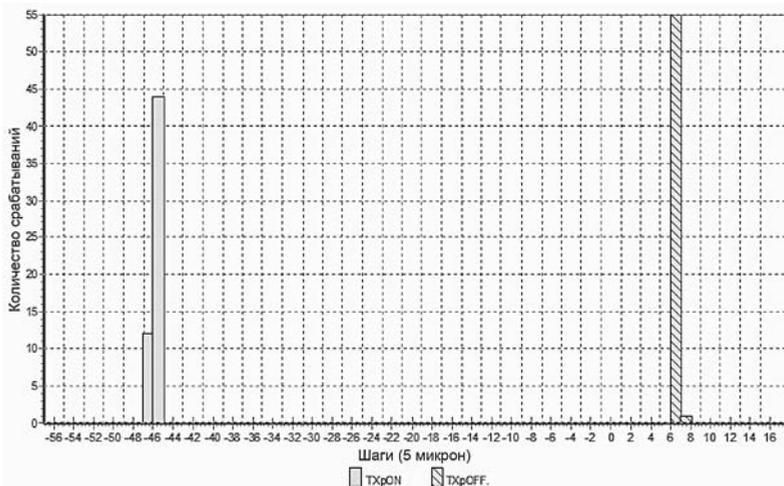


Рис. 9. Гистограмма срабатываний индуктивного датчика.

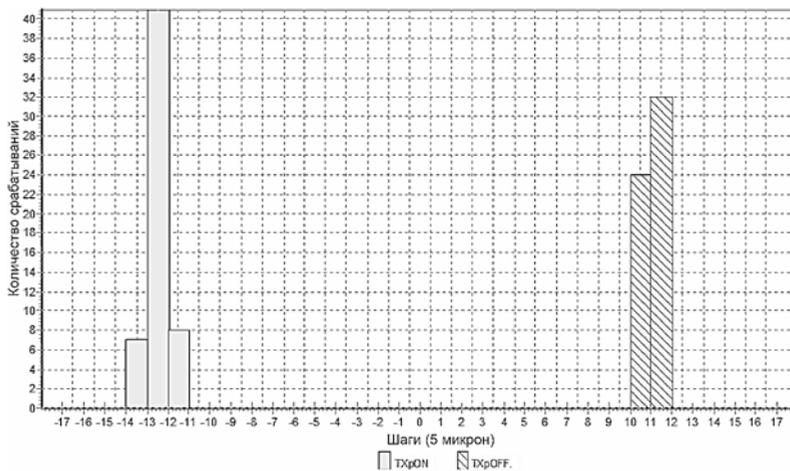


Рис. 10. Гистограмма срабатываний герконного датчика.

5. Методика измерений

Некоторые технические параметры станка КД-46 из ТО на станок:

- * дискретность отсчёта (перемещение по осям “X” и “Y” на 1 шаг шагового двигателя) – 0,005 мм;
- * точность линейного позиционирования стола по “X” и “Y” – 0,040 мм;
- * минимальный диаметр сверления – 0,8 мм.

Отработана методика измерений результатов работы станка с использованием координатно-измерительной машины (КИМ) ZEISS CONTURA G2.

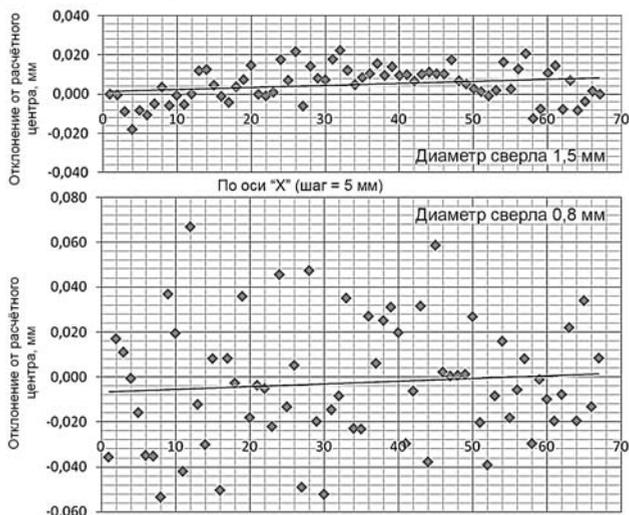


Рис. 11. Графики разброса центров отверстий на плате длиной 350 мм.

Результаты измерения отклонений координат отверстий от расчетных показали, что можно добиться точности *системы позиционирования станка* $\delta = \pm 0,020$ мм, т.е. отклонение от центра не более 4 шагов. Для тонких сверл отклонение втрое больше из-за ухода (скольжения) сверла в процессе входа в материал (фольгированный стеклотекстолит). Уменьшить скольжение сверла можно, применяя накладку на фольгированный стеклотекстолит из тонкого гетинакса. Отклонения линии аппроксимации от горизонтали (смещение и наклон) компенсируется программно. На рис. 11 для большей наглядности результат демонстрируется без компенсации отклонений.

Так как сверление на базе 350 мм выполняется двумя электрошпинделями, то в случае несогласованности установки шпинделей, этот факт также можно легко обнаружить и устранить регулировкой механики или программно. Точно так же выполняется контроль перемещения по вертикальной оси “Y” с последующей настройкой.

7. Дополнительные меры

После замены электроники стали заметны недостатки механики станка, поэтому были выполнены следующие доработки:

1. Доработаны элементы позиционирования стола для уменьшения люфтов. Отработана методика регулировки подвижных элементов станка.

2. Позиционные отверстия диаметром 4 мм для фиксации позитива на печатной плате теперь сверлятся на этом же станке одновременно с монтажными отверстиями, что увеличивает точность установки позитива.

3. Применен цанговый зажим сверла упрощенной (собственной) конструкции (Рис. 12), обеспечивающий более прочное (и точное) крепление сверла и позволяющий устанавливать сверла с хвостовиком большей длины.

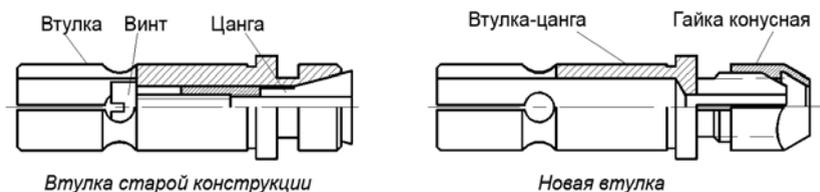


Рис. 12. Старая и новая конструкция зажима для сверл.

Результаты:

1. Сверлильный станок в технологической цепочке занимает важное место: от его работы в значительной степени зависит результат. В отличие от других источников ошибок (точность изготовления позитива и его позиционирование на заготовке печатной платы, в частности), качество работы сверлильного станка можно оценить независимо от остальных этапов производства. Кроме того, можно получить статистическую оценку отклонений, привести их к виду, удобному для выявления причин и их устранения.

2. Система позиционирования станка обеспечивает достаточную точность. Отклонение $\delta = \pm 0,060$ мм – это всего 30% от ширины пояска контактной площадки 0,2 мм, что укладывается в требования ГОСТ 23752-86 для 3-го класса точности (см. рис. 13): минимальный размер пояска $b = 0,1$ мм.

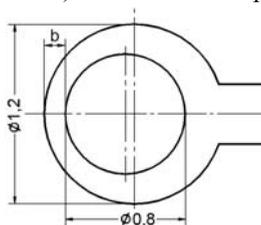


Рис. 13. Ширина пояска.

3. Параметры станка улучшены настолько, что в случае необходимости стало возможным применять сверла диаметром 0,6 мм.

Благодарности. Авторы признательны сотрудникам Экспериментального производства ИЯФ, Отдела вычислительных систем, научных лабораторий, помогавшим не только советами, но и практически в реализации проекта модернизации сверлильного станка КД-46 с ЧПУ: Галузину В.П., Свиридову В.А., Шаповалову Р.А., Шлома В.Ф., Сарпову С.М., Винокурову А.С., Кузьменко Ю.В., Баеву В.Н., Медведко А.С., Сингатулину Ш.Р., Бибко Н.С., Кротову С.В., Кондаурову М.Н. и многим другим, прямо или косвенно принимавшим участие в проекте.

Литература

- [1] О.В. Беликов, В.А. Журавлев, Э.Л. Неханевич, Модернизация системы ЧПУ сверлильного станка КД-46. Препринт 2007-23 ИЯФ СО РАН, Новосибирск, 2007.
- [2] Преобразователи положения индуктивные щелевые ПИЩ-6-1. Паспортные данные.
- [3] М.Н. Кондауров, С.В. Кротов. Автоматизированная подсистема сверловки печатных плат. Препринт 87-98 ИЯФ СО РАН, Новосибирск, 1987.
- [4] О.В. Беликов, Э.Л. Неханевич, Ш.Р. Сингатулин. Электропривод для шагового двигателя ШД5. Препринт 2002-66 ИЯФ СО РАН, Новосибирск, 2002.
- [5] Э.Л. Неханевич. Применение системы передачи данных ДОЗА в условиях промышленного производства. Препринт 2002-61 ИЯФ СО РАН, Новосибирск, 2002.

О.В. Беликов, В.А. Журавлёв,
Э.Л. Неханевич, Д.И. Фадеев

Модернизация сверлильного станка КД-46

O.V. Belikov, V.A. Zhuravlev,
E.L. Nekhanevich, D.I. Fadeev

Modernization of drill machine CD-46

ИЯФ 2015-13

Ответственный за выпуск А.В. Васильев

Работа поступила 15.09. 2015 г.

Сдано в набор 16.09. 2015 г.

Подписано в печать 19.09. 2015 г.

Формат 60x90 1/16 Объем 0,7 печ.л., Обуч.-изд.л.

Тираж 100 экз. Бесплатно. Заказ № 13

Обработано на РС и отпечатано
на ротапинтере «ИЯФ им. Г.И. Будкера» СО РАН,
Новосибирск, 630090, пр. Академика Лаврентьева, 11