

**АВИАМАШИНОСТРОЕНИЕ  
И ТРАНСПОРТ СИБИРИ**

Сборник статей  
III Всероссийской научно-практической  
конференции

**(Иркутск, 11–12 апреля, 2013 г.)**



# АВИАМАШИНОСТРОЕНИЕ И ТРАНСПОРТ СИБИРИ

Сборник статей  
III Всероссийской научно-практической конференции  
(Иркутск, 11–12 апреля, 2013 г.)



ИЗДАТЕЛЬСТВО  
Иркутского государственного технического университета  
2013



Печатается по решению редакционно-издательского совета

**Авиамашиностроение и транспорт Сибири** : сб. статей III Всерос. науч.-практ. конф. (Иркутск, 11–12 апреля, 2013 г.) – Иркутск: Изд-во ИрГТУ, 2013. – 442 с.

Представлены статьи, посвященные актуальным вопросам развития авиамашиностроительных технологий и транспортного комплекса городов и регионов РФ. Приводятся обобщения результатов научных исследований, обмена практическим опытом в интересах развития перспективных конструкций и технологий авиа- и машиностроения, повышения качества транспортного обслуживания регионов РФ.

**Редакционная коллегия:**

Ответственный редактор – Зедгенизов А.В. – канд. техн. наук, доцент;

Ахатов Рашид Хадиатович – канд. техн. наук, доцент, директор Института авиамашиностроения и транспорта;

Грудинин Владимир Гарриевич – ст. преподаватель кафедры конструирования и стандартизации в машиностроении

**СОДЕРЖАНИЕ:**

**Авиационная техника и технологии**

<b>А.И. Демидов, И.О. Бобарика.</b> Численное моделирование аэродинамики несущих элементов летательных аппаратов потоком несжимаемой жидкости при малых числах Маха.	8
<b>А.С. Говорков, И.В. Фокин.</b> Применение инновационных технологий и интерактивных методов обучения при изучении курса "технология производства самолетов"	14
<b>А.С. Говорков, А.Э. Рябцева.</b> Методика проведения кинематического анализа с учетом податливости тел в NX MotionFlexiblebody на примере узла интерцептора самолета МС-21	18
<b>А.И. Исаев, Нго Куанг Туен.</b> Гидродинамическое исследование формирования вихревых течений камеры сгорания	24
<b>В.А. Жуков.</b> Совершенствование эксплуатации жидкостных систем охлаждения транспортных ДВС.	28
<b>С.И. Феоктистов, С.В. Белых, М.М. Погарцева.</b> Учет влияния фрезерования на форму готовых деталей летательных аппаратов из прессованных профилей, получаемых методами изгиба.	36
<b>А.А. Перевалов, С.В. Белых.</b> Применение MSC.MARC для моделирования процесса изгиба прессованных профилей несимметричного сечения.	45
<b>С.В. Белых, А.В. Станкевич, В.А. Мишагин.</b> Особенности автоматизированного изготовления длинномерных деталей летательных аппаратов из прессованных профилей.	53
<b>Р.Ф. Крупский, А.В. Станкевич, А.А. Кривенок, С.В. Белых.</b> Опыт использования обтяжного пресса для формообразования деталей летательного аппарата из профилей.	61
<b>А.В. Черняев, М.И. Шевченко.</b> Анализ видов, методов и задач подтверждения соответствия программно-математического обеспечения изделий авиакосмической техники.	70
<b>А.И. Селиверстов, И.В. Шевченко.</b> Влияния нелинейности диссипативных сил на динамические характеристики ракеты – носителя.	77
<b>Ю.А. Остяков, М.И. Шевченко.</b> Взаимосвязь надежности и экономической эффективности изделий машиностроения.	82
<b>Т.А. Назарова, Т.А. Школьникова.</b> Влияние отделочно-зачистных технологий на увеличение ресурса работы машины.	90
<b>М.В. Лаврентьева.</b> Автоматизация типовых процессов проектирования электронного макета изделия.	96
<b>К.А. Однокурцев, П.А. Лукин.</b> Средства автоматизированного монтажа сборочной оснастки в самолетостроении.	102
<b>Ю.Ф. Огнев, О.Ш. Бердиев, Ю.П. Денисенко.</b> Новый метод контроля каркасных авиационных панелей из ПКМ.	109



В самолётах А320, А340 и В777 было использовано уже 10-15% углепластиков по весу.

В конструкции перспективных самолётов этих двух корпораций А350 и В787 (Dreamliner) доля углепластиков по массе превышает 50%.

В российском проекте «Магистральный самолёт XXI века» (МС-21) – проекте ближне-среднемагистрального пассажирского самолёта (рис.2), доля композитов на основе стекловолокна и углепластиков по массе будет составлять почти 35%.

Увеличить в будущем долю конструкций из углепластиков в составе планера летательного аппарата поможет решение вопросов ремонтпригодности и эксплуатационной технологичности конструкций из этих материалов.

Библиографический список:

- 1 <http://www.polimerportal.ru>
- 2 [arma.mephi.ru](http://arma.mephi.ru)
- 3 Углерод, углеродные волокна, углеродные композиты. Мелешко А.И., Половников С.П., Москва, Сайнс-пресс, 2007.
- 4 <http://www.ximicat.com/ebook.php>

УДК 621.715.4, 658.515

## Разработка схемы монтажа сборочной оснастки с использованием робота

К.А. Однокурцев, И.В. Проничев

Иркутский государственный технический университет, 664074, г. Иркутск, ул. Лермонтова, 83.

Приведены результаты анализа и выбора метода и схемы выполнения безэталонного монтажа сборочной оснастки в самолётостроении с помощью шести осевого робота. Исследованы различные виды роботов и способы их применения при выполнении безэталонного монтажа сборочной оснастки, определены основные технические характеристики роботов для каждой схемы: грузоподъёмность, рабочая зона, компоновка и др. В качестве оптимальной по трудоёмкости монтажа и гибкости технологической системы выбрана схема монтажа с использованием робота KUKA KR 150.

Ключевые слова: *сборочная оснастка; безэталонный монтаж; автоматизация; схема монтажа; робот.*

**Однокурцев Константин Андреевич**, кандидат технических наук, доцент кафедры самолётостроения и эксплуатации авиационной техники, e-mail: [only\\_const@mail.ru](mailto:only_const@mail.ru)

**Проничев Иван Владимирович**, студент кафедры самолётостроения и эксплуатации авиационной техники, e-mail: [ivan\\_pronichev@mail.ru](mailto:ivan_pronichev@mail.ru)

В настоящее время на территории Российской Федерации и, в частности, в Иркутской области самолётостроительное производство является одним из наиболее развивающихся. Авиастроительная отрасль российской промышленности обеспечивает заказами на длительный срок достаточно большое количество предприятий на всей территории страны. Поэтому развитие этой отрасли имеет важное экономическое значение, так как она обеспечивает занятость достаточно большой части населения страны, приносит государству высокую прибыль в виде налогов, стимулирует развитие отечественной науки.

Иркутский авиационный завод является одним из самых передовых в нашей стране. Он смог достичь такого успеха, внедряя инновационные проекты в производство, оборудуя цеха современными станками, а конструкторские отделы – мощными компьютерами и современным программным обеспечением. С целью сокращения своих затрат завод



постепенно перевел производство с плазово-шаблонного метода обеспечения взаимозаменяемости на бесплазовый. В связи с этим, вся документация была переведена в цифровой формат. Это позволило, в том числе, внедрить безэталонный метод монтажа сборочной оснастки. Тем самым была достигнута более высокая точность монтажа сборочной оснастки.

В настоящее время управление положением элементов сборочной оснастки при безэталонном монтаже выполняется вручную с помощью болтов и калиброванных прокладок. Такой метод обладает малой производительностью, поскольку требует многократных итераций, чтобы получить необходимое положение базирующих и фиксирующих элементов. Положение монтируемого элемента контролируется при помощи лазерного трекера, а после того, как контролируемая величина достигнута, установочный кронштейн фиксируется болтами и штифтуется. Эти операции занимают много времени, так как на базирование одного элемента у бригады из четырех человек может уходить до трех часов рабочего времени. Требуется, чтобы элементы сборочной оснастки при монтаже были точно и быстро закреплены, а этот результат можно получить только с использованием цифровых технологий и средств автоматизации производства.

Сборочные работы составляют значительную часть длительности и трудоемкости производства самолета [1]. Поэтому на производстве стараются максимально сократить трудоёмкость изготовления стапеля и запуска его в рабочий процесс, чтобы соблюсти график выпуска готовой продукции. Чрезвычайной ситуацией в цехе считается выход стапеля или его элемента из строя, поэтому требуется высокая производительность труда и мобильность бригады наладчиков в восстановлении работоспособности сборочного приспособления.

Не менее важным фактором, влияющим на процесс сборки, является точность, с которой будет изготовлено и смонтировано сборочное приспособление, а затем и собрана сборочная единица. Сейчас при монтаже рубильника вместе с кронштейнами в основном обеспечивается точность 0,1 мм. Данный допуск распространяется только на одну контролируемую точку, а для трёх точек на одном рубильнике суммарная погрешность в среднем составляет 0,2 мм. Таким образом, при существующей технологии безэталонного монтажа погрешность накапливается, а с рубильника она передаётся на теоретический контур изготавливаемого изделия. Вследствие большого количества элементов на стапеле, погрешность может выйти за пределы допусков и достигать 0,5 мм. Поскольку данная погрешность имеет набегающий характер, то необходимо стремиться сократить количество промежуточных элементов, участвующих в размерной цепи сборочного приспособления. Для этого необходимо производить высокоточный монтаж непосредственно

базирующего элемента конструкции сборочного приспособления, который задаёт теоретический обвод изделия.

Из-за низкого уровня автоматизации всех сборочных процессов появляется сугубо негативный производственный фактор: низкая производительность. В то время как зарубежные самолетостроительные заводы в день выпускают по 2 самолета, ИАЗ в месяц выпускает 4 самолета. Зарубежные авиастроительные предприятия чаще вводят новые серии в производство. При сборке конструкции планера на них уменьшена доля участия человека, а значит и снижается скрытый человеческий фактор. Однозначным выводом следует, что мы по всем позициям проигрываем зарубежным конкурентам, так как они на своих заводах уже широко используют конвейерную сборку самолетов с применением роботов [2].

Анализ методики монтажа сборочной оснастки показал, что в данный момент на отечественных предприятиях она проводится:

- малоэффективно;
- достаточно трудоемко;
- с недостаточным уровнем автоматизации.

Из вышесказанного следует, что необходимо применение универсальной, быстро перенастраиваемой системы монтажа сборочной оснастки.

Переход с плазово-шаблонного метода монтажа сборочной оснастки на безэталонный должен происходить с оцифровкой существующей сборочной оснастки. На сегодняшний день в качестве основного метода проектирования используются цифровые технологии. Эти технологии можно использовать и для решения задачи, связанной с монтажом сборочной оснастки. В современных условиях носителем геометрической информации является математическая модель объектов производства, построенная на основе CAD-моделей собираемых изделий – 3D модель сборочной оснастки [3]. Следовательно, целью является разработка типовой схемы монтажа сборочной оснастки и проведения её планово-предупредительного ремонта (ППР) с использованием современных CAD/CAE/CAM систем.

По результатам анализа и сравнения современных средств позиционирования, была выбрана наиболее гибкая схема монтажа с применением шести осевого робота [4]. Были рассмотрены несколько схем применения робота при монтаже сборочной оснастки (таблица 1):

- позиционирование роботом типа KR 30 НА установочного кронштейна (рубильник навешивается после позиционирования на установленные кронштейны): обеспечивает наиболее простое управление и требует наименьшей грузоподъемности робота;
- позиционирование роботом типа KR 150 R2700 рубильника в сборе с установочными кронштейнами: обеспечивает высокую точность и



наименьшую трудоёмкость, но требует наибольшей грузоподъёмности робота;

- позиционирование рубильника в сборе с установочными кронштейнами двумя роботами типа KR 60 HA, удерживающими концы рубильника: обеспечивает высокую точность, но требует сложной системы управления и больше места для размещения двух роботов в рабочей зоне;
- позиционирование рубильника в сборе с установочными кронштейнами одним роботом типа KR 60 HA (последовательно за каждый конец рубильника), с дополнительной поддержкой рубильника разгрузочным устройством для компенсации его веса: обеспечивает достаточную точность, но требует выполнения не менее двух итераций позиционирования для рубильника в целом и наличия разгрузочного устройства.

Таблица 1 – Сравнение методов позиционирования роботом

№	Методы позиционирования	Точность позиционирования, мм		Грузоподъёмность робота, кг	Радиус рабочей зоны робота, мм	Кол-во установов робота	Общее кол-во операций процесса монтажа
		робота	методика в целом				
1	По схеме (а) (робот KR 30 HA)	±0,05	+0,5 -0,05	30	2033	8	193
2	По схеме (б) (робот KR 150 R2700)	±0,06	±0,09	150	3026	4	94
3	По схеме (в) (робот KR 60 HA)	±0,05	±0,08	60	2033	4	98
4	По схеме (г) (робот KR 60 HA)	±0,05	±0,06	60	2033	8	187

Приведенные в таблице 1 методы монтажа были рассмотрены на примере стапеля общей сборки бака 2 самолета Су-30. По итогам анализа схема (б) оказалась наиболее удовлетворяющей требованиям точности и трудоёмкости. Она удовлетворяет заявленным требованиям точности позиционирования  $\pm 0,05$ , предъявляемым к сборочной оснастке, и является универсальной системой, которую можно настроить под каждый стапель индивидуально.

Робот KUKA KR 150 (рисунок 1, технические характеристики в таблице 1) предлагается использовать для выбранной схемы монтажа с универсальным пневматическим параллельным схватом (рисунок 2). Робот располагается на рельсовой направляющей, как показано на рисунке 1, что позволит увеличить рабочую зону робота. Рельсовая направляющая жестко монтируется к полу цеха. Робот устанавливается на неё с помощью кран-

балки, также к роботу подключается система управления и система подачи энергии.

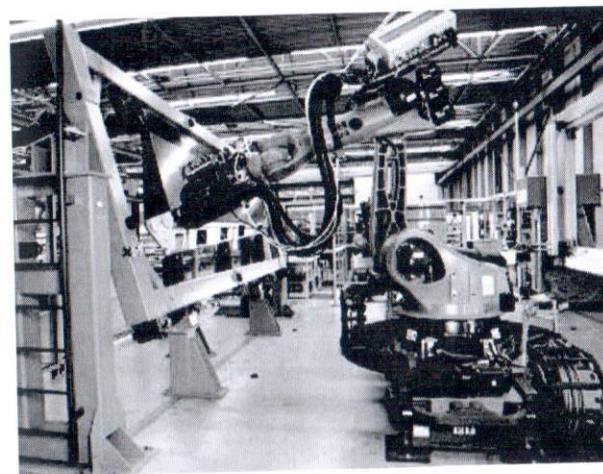


Рисунок 1 – Шести осевой робот фирмы KUKA в процессе клёпки закрылка самолета Airbus A350 [4]

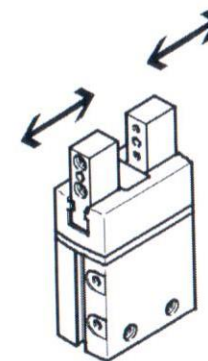
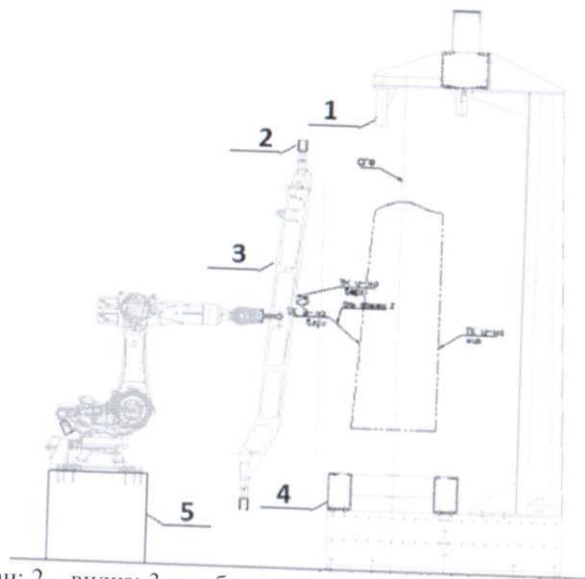


Рисунок 2 – Схват робота (параллельный)

До начала процесса монтажа робот производит привязку к стапелю, чтобы связать с его конструкцией свою систему координат и определить пределы перемещений. После этого оператор робота в ручном режиме выдает команду взять схватом монтируемый элемент, например рубильник (рисунок 3). Далее схват робота с зафиксированным в нём рубильником выставляется в требуемое положение. При этом текущие координаты



рубильника в пространстве определяются путём измерения лазерным трекером.



1 – стакан; 2 – вилка; 3 – рубильник; 4 – рама стапеля; 5 – основание с установленной на нем рельсовой направляющей

Рисунок 3 – Схема монтажа рубильника роботом KUKA KR 150

На основе результатов измерения выполняется позиционирование рубильника роботом с заданной точностью. Затем производится окончательная фиксация рубильника. На концах рубильника имеются вилки, необходимые для его окончательной фиксации. Они помещаются в соответствующие стаканы, приваренные на каркасе стапеля, и заливаются быстро застывающим раствором, например, цементом или стеклоакрилом. После фиксации вилок в стаканах схват робота разжимается и производится контрольное измерение окончательного положения рубильника в пространстве при помощи лазерного трекера.

Предложенная схема монтажа имеет следующие преимущества по сравнению с монтажом по эталонам, применяемым в настоящее время на ИАЗ для сборочной оснастки самолета Су-30:

- уменьшается трудоемкость процесса монтажа;
- уменьшается продолжительность монтажа;
- увеличивается точность монтажа (по результатам расчёта, она равна  $\pm 0,09$  мм).

Но данная схема также имеет некоторые недостатки:

- большие денежные вложения на этапе закупки оборудования;
- необходимость в узкоспециализированных кадрах, выполняющих обслуживание и эксплуатацию робота.

Высокая стоимость приобретения робота должна окупиться при его повсеместном использовании для монтажа новой и планово-предупредительного ремонта существующей сборочной оснастки за счёт снижения трудоёмкости и длительности процесса монтажа. Также будут оправданы и затраты на обучение персонала, обслуживающего робот.

Кроме использования робота при монтаже сборочной оснастки, возможны и другие способы его применения, с небольшими изменениями технологической системы. В современных условиях вектор развития инновационных технологий направлен на замену ручного труда автоматизированным. Ввиду небольших объёмов выпуска продукции в отечественном самолётостроении, эффективная автоматизация возможна только на основе оборудования с высокой степенью универсальности, например, роботов. Авиастроительные предприятия могут применять роботов для выполнения различных технологических операций, таких как клепка, сверление отверстий, нанесение покрытий.

#### Список использованной литературы:

1. Современные технологии агрегатно-сборочного производства самолётов / Пекарш А.И., Тарасов Ю.М., Кривов А.Г. и др. – М.: Аграф-пресс, 2006. – 304 с., ил.
2. Компания изготовитель самолетов Airbus [Электронный ресурс]. Р., 1993-2013. URL: <http://www.airbus.com>. (Дата обращения: 12.03.2013).
3. «Современные методы и средства монтажа сборочной оснастки»: учебно- методическое пособие / сост. Р.Х. Ахатов, А.С. Говорков. – Иркутск: Изд-во ИрГТУ, 2011. – 76 с., ил.
4. Фирма изготовитель роботов KUKA [Электронный ресурс]. Г., 1993-2013. URL: <http://www.kuka-systems.com>. (Дата обращения: 12.03.2013).



**Ю.Ф. Огнев, Ю.П. Денисенко, Е.С. Бронникова, М.А. Мурыгина, Н.В. Третьяков.** Металлографические исследования скрытых дефектов деталей авиационного производства.

**А. Портнов, С. Проводов.** Диагностика авиационных двигателей по параметрам частиц изнашивания, измеренных сцинтилляционным методом.

**Н.М. Пуденков, В.П. Пашков.** Применение углепластиков в авиастроении.

**К.А. Однокурцев, И.В. Проничев.** Разработка схемы монтажа сборочной оснастки с использованием робота.

**В.Б. Кузнецова, А.И. Сергеев, А.В. Попов.** Требования к структуре размещения информации в среде Teamcenter для создания процесса выпуска производственной документации на ОАО «ПО «Стрела».

**Р.А. Туранов, В.К. Еремеев.** Механизм выпуска крыла экранолёта.

**В.В. Суржик.** Комплексный подход к проектированию оптимальных экранопланов нового поколения.

#### **Вопросы эксплуатации, диагностики и ремонта автомобильного и железнодорожного транспорта**

**А.Ю. Ткаченко, А.В. Данеев.** Контроль полноты информации по локомотивным бригадам в базе данных регионального комплекса управления локомотивным хозяйством.

**В.Н. Катаргин, И.С. Писарев, С.В. Хмельницкий.** Имитационная модель поддержки принятия решения целесообразности проведения восстановительного ремонта агрегатов автомобилей.

**Ле Ван Луан.** Исследование распределения реакций по длине пятна контакта тормозящей эластичной шины с беговым барабаном.

**Федотов А.И., Бойко А.В., Халезов В.П.** Метрологический комплекс для исследования процессов происходящих в пятне контакта эластичной шины с беговым барабаном и дорогой.

**Федотов А.И., Бойко А.В., Халезов В.П.** Экспериментальные исследования нормальных напряжений в пятне контакта эластичной шины с беговым барабаном и дорогой.

#### **Машиностроительные технологии и материалы**

**Р.В. Кононенко, И.Г. Майзель.** Оборудование для внутритрубной теледиагностики.

**А.А. Вторушин, А.С. Бубнов.** Применение SYSWELD в расчете деформаций технологии изготовления штанги дозаправки.

#### **Создание и исследование мехатронных систем**

**В.Ю. Какаева.** Автоматизация выбора технологических баз.

**Кузнецов Н.К., Ле Ба Хань.** Компенсация упругих колебаний мехатронных систем на основе управления по старшей производной.

**Кузнецов Н.К., Нгуен Мань Дык.** Разработка экспериментального макета самонастраивающегося гидравлического демпфирующего устройства двухстороннего действия.

**Нгуен Ван Хуан, Кузнецов Н.К.** Алгоритмы управления колебаниями мехатронных систем на основе решения обратных задач динамики.

**М.Ж. Цыцыренова.** Теоретические основы исследования систем виброизоляции объектов установленных на упругом стержне.

#### **Транспортные системы городов и менеджмент на транспорте**

**А.В. Зедгенизов, Р.Ю. Лагереv, В. Муковкина.** К вопросу о генерации корреспонденций к крупному торговому центру на примере «Мебель сити» г. Иркутск.

**М.И. Шаров, А.В. Высокос, Л.А. Корьяк.** Пример построения транспортной модели г. Иркутска в прогаммном продукте ptv «visum».

**Е.О. Вагина, А.А. Савельева, Е.А. Пилишникова.** Использование GPS-данных для оценки безопасности перевозок пассажиров в городе Иркутске.

**Д.В. Корчева, Л.П. Догуюсова, П.В. Хахураев.** Оценка генераций объектам сферы обслуживания на примере «Сбербанка».

**М.А. Матвеева, А.В. Белоусова, Е.А. Черникова, М.Н. Воронов.** Показатели транспортной сети Иркутской области.

**Н.М. Занозина, А.Г. Левашев, А.А. Лыткина.** К вопросу о введении приоритета движения общественного транспорта.

**Е.С. Иванченко, Ю.А. Мункуева, Д.Г. Шкедов, А.Г. Левашев.** Измерение параметров транспортных потоков на кольцевых пересечениях.

**А.Н. Долгопольская, А.Ю. Иосифова, Д.А. Пинюга А.Г. Левашев.** Измерение задержек транспорта.

**Д.А. Пархоменко, А.С. Кольган, А.Г. Левашев.** Предложения по размещению стоянок в центре Иркутска.

**М.А. Косилов, Е.Н. Гузенкова, А.Г. Левашев.** Проблемы организации движения в зоне ТРЦ Джем-Молл.

**Л.В. Сорокина, Е.С. Иванченко, А.Г. Левашев.** Развитие системы общественных пространств в Иркутске.

**В.В. Борисова, А.Г. Левашев.** Вопрос о введении платы за паркирование.

**Р.Ю. Лагереv, С.Ю. Лагереv, Е.С. Немчинова, О.С. Немчинова.** Зарубежный опыт эксплуатации городского электрического



**АВИАМАШИНОСТРОЕНИЕ  
И ТРАНСПОРТ СИБИРИ**

Сборник статей  
III Всероссийской научно-практической конференции

**(Иркутск, 11–12 апреля, 2013 г.)**

Печатается с оригиналов, подготовленных авторами

Подписано в печать 05.04.2012. Формат 60 x 90 / 16.  
Бумага офсетная. Печать цифровая. Усл. печ. л. 28,0.  
Тираж 100 экз. Зак. 13с.

Лицензия ИД № 06506 от 26.12.2001  
Иркутский государственный технический университет  
664074, г. Иркутск, ул. Лермонтова, 83