

УДК 54.058

Обзор методов очистки ртути от примесей

Погорелый Даниэль Олегович^(*)

d.pogorelyi.d@mail.ru

Киреев Александр Русланович

kireev.cfif@gmail.com

Епанешникова Анастасия Максимовна

eam963@yandex.com

Ханбеков Иван Фэритович

ivan.khan@yandex.ru

МГТУ им. Н.Э. Баумана, Москва, Россия

Аннотация. Рассмотрены методы очистки ртути. Представлены значения содержания примесей в ртути после очистки разными методами. Показано, что по отдельности методы очистки не так эффективны, как их комбинация.

Ключевые слова: очистка, вакуум, ртуть, дистилляция, ректификация, примеси

Review of methods for purification of mercury from impurities

Pogorelyy Daniel Olegovich^(*)

d.pogorelyi.d@mail.ru

Kireev Alexander Ruslanovich

kireev.cfif@gmail.com

Epaneshnikova Anastasia Maksimovna

eam963@yandex.com

Khanbekov Ivan Faritovich

ivan.khan@yandex.ru

BMSTU, Moscow, Russia

Abstract. Mercury purification methods are considered. Mercury purification values from impurities after purification by different methods are presented. It is shown that individual purification methods are not as effective as their combination. Conclusions are made that the combination of mercury purification methods is effective.

Keywords: purification, vacuum, mercury, distillation, rectification, impurities

Введение. Согласно ГОСТ 4658–73 «Ртуть. Технические условия» существуют следующие категории чистоты ртути: P0, P1, P2 и P3. Содержание нелетучего остатка в которых не должно превышать 0,0003, 0,001, 0,01 и 0,1 % соответственно. Также существует техническая ртуть, где содержание ртути не превышает 99,0–99,5 % от общего количества металла. Ртуть применяется в различных отраслях промышленности: измерительные приборы, такие как термометры, барометры и манометры содержат определенное количество этого металла. Особое внимание стоит уделить ртути в полупроводниках и сверхпроводниках [1]. Тем не менее, ртуть необходимо очищать от примесей для получения необходимых для технологического процесса свойств.

Актуальность данной работы обусловлена постоянно растущими требованиями к чистоте ртутного сырья. Целью данной статьи является анализ существующих методов очистки ртути от загрязнений.

Материалы и методы. В ртути могут содержаться различные вещества, способные растворяться в ней или же образовывать с ней соединения. Так, например, в ртути могут содержаться примеси бериллия, ванадия, никеля, алюминия, бария, магния, золота, серебра и прочих веществ.

Существует несколько методов очистки ртути от примесей. Большинство методов работают благодаря температурному нагреву, вследствие которого ртутной смеси передается энергия, необходимая для выделения из ртути компонентов примесей. Для улучшения показателей очистки применяется вакуумная технология для понижения давления в системе [2]. В статье рассмотрены дистилляция, ректификация, обработка в струе газа, озонирование.

Результаты. При использовании вакуумной технологии для очистки ртути методом дистилляции можно добиться снижения содержания следующих элементов (дистилляция проводилась три раза подряд):

- меди с 0,3 до 0,17;
- висмута с 0,06 до 0,04;
- железа с 0,3 до 0,2;
- свинца с 0,2 до 0,04 [3].

При определенной конфигурации ректификационной колонны происходит:

- полная очистка от цинка и свинца (при исходном содержании $1 \cdot 10^{-2}$ и $6 \cdot 10^{-4}$ % соответственно);
- снижение содержания серебра с $1 \cdot 10^{-3}$ до $7 \cdot 10^{-7}$.

Метод обработки ртути в струе газа при температуре 350–400 °C позволяет снизить содержание следующих элементов:

- кадмия с 0,024 до $1,5 \cdot 10^{-8}$;
- серебра с 0,0023 до $5 \cdot 10^{-8}$;
- олова с 0,035 до $3,5 \cdot 10^{-6}$.

Пятнадцатиминутное озонирование позволяет:

- полностью убрать цинк (в пределах чувствительности анализа) при исходном его содержании $1 \cdot 10^{-2}$ %;
- снизить содержание свинца с $1 \cdot 10^{-4}$ до $4 \cdot 10^{-6}$;
- снизить содержание серебра с $1 \cdot 10^{-3}$ до $4 \cdot 10^{-4}$.

Обсуждение полученных результатов. В рамках проведения исследовательских работ можно сделать вывод, что по отдельности применение известных методов очистки ртути от содержащихся в ней примесей, даже при использовании одного метода несколько раз подряд, не могут очистить ртуть до электронной чистоты. Для получения особо чистой ртути предлагается использовать комбинированные методы очистки ртути от примесей. Так, например, можно объединить метод дистилляции и ректификации. Смесь, попадающая в блок ректификации после очистки методом дистилляции, очевидно, является более чистой в сравнении с исходным сырьем. Ртуть — очень опасное вещество, реагирующее со многими элементами, образуя соединения, амальгамы, например золота, серебра и прочее. Это означает, что компоненты системы должны быть выполнены из материала, никак не реагирую-

щего с ртутью, либо же добиться ее минимального взаимодействия с этими материалами. Одним из материалов, способных не реагировать с ртутью, является стекло. Если в качестве метода очистки выбрана вакуумная дистилляция, то необходимо подобрать стекло, способное работать в условиях пониженного давления. Так, отличным материалом для системы может являться кварц из-за своих уникальных свойств и инертностью к ртути.

Заключение. Проведенное исследование показало, что не рекомендуется применять единственный метод очистки ртути от примесей. Поставленная цель работы достигнута: приведены методы очистки ртути от загрязнений и приведены численные значения примесей после каждого метода. Полученные результаты соответствуют теоретическим ожиданиям и подтверждают гипотезу о том, что для получения более чистой ртути необходимо использовать комбинированные методы очистки. Для получения особо чистой ртути с содержанием примесей в конечном продукте не более 0,00001 % подойдет комбинированный метод очистки ртути с применением ионно-плазменной обработки. Это позволит получать ртуть чистоты, требуемой в технологических процессах для получения полупроводников и сверхпроводниковых материалов.

Список источников

- [1] Гладышев В.П., Левицкая С.А., Филиппова Л.М. *Аналитическая химия ртути*. Москва, Наука, 1974, с. 11–13.
- [2] Фролов Е.С., Минайчев В.Е., ред. *Вакуумная техника: справочник*. Москва, Машиностроение, 1992, 480 с.
- [3] Мельников С.М. *Металлургия ртути*. Москва, Металлургия, 1971.

Содержание

В. Специальное машиностроение	3
В1. Ракетно-космическая техника	5
<i>Меркулова А.А.</i> Исследование динамики движения связки геостационарного космического аппарата-эвакуатора и объекта космического мусора	7
В2. Вооружение и военная техника	11
<i>Зузов В.Н., Яковлев Д.А.</i> Совершенствование методики расчета преград из сыпучих материалов на примере корундового песка	13
<i>Кудрявский А.Э., Левин Д.П., Петюков А.В.</i> Анализ высокоскоростного удара эластичного компактного элемента по модели антропоморфного манекена THUMS	17
<i>Левин Д.П., Меньшаков С.С., Оганесян Д.А.</i> Анализ боеприпасов и боевых частей беспилотных летательных аппаратов ближнего действия	23
<i>Мушкарин Е.Ю., Стариков А.Ф., Малиновский М.П.</i> Результаты математического моделирования движения автопоезда с активным полуприцепом при выполнении стандартных маневров	28
В4. Транспортные системы	35
<i>Ван Чжэньюй, Зузов В.Н.</i> Улучшенная модель сварного соединения для многовариантных расчетов при ударных нагрузках	37
<i>Зыбин П.В.</i> Метод выбора рациональных параметров трехпоточного механизма передачи и поворота гусеничной машины	47
<i>Иванов М.И., Арутюнян Г.А.</i> Оценка влияния параметров подвески на показатели плавности хода автомобиля	51
<i>Максимов Р.О.</i> Методы улучшения комфорта магистральных грузовых автомобилей путем внедрения управляемого демпфирования в системы поддрессоривания кабин	56
<i>Нескин И.В., Арутюнян Г.А.</i> Исследование влияния жесткости резинометаллических шарниров на кинематику подвески автомобиля	62
<i>Чжоу Цзинбо, Зузов В.Н.</i> Исследование методов моделирования цилиндрической батареи электромобилей при раздавливании	68
В5. Технологии специального машиностроения	75
<i>Агха Мостафа Ахмед Хассан Шебл, Пискунова Н., Маслова Т.И.</i> Моделирование метеорологического спутника, оснащенного зондом Лонгмюра, для измерения параметров космической плазмы	77
<i>Гусарова С.В., Зубарев Н.А., Галиновский А.Л., Филимонов А.С.</i> Оценка качества деталей, изготовленных методом послойного наплавления	83
В6. Композиционные материалы	93
<i>Вай Ян У, Михайловский К.В.</i> Моделирование напряженно-деформированного состояния и оценка областей появления дефектов в крыле легкого самолета из полимерного композиционного материала при соударении с птицей	95

В7. Динамика движения и управление полетом космических и летательных аппаратов	99
<i>Кондрашев Д.О., Луценко А.Ю.</i> Численное моделирование обтекания возвращаемой ступени ракеты-носителя при ее газодинамическом торможении	101
<i>Кошелев И.В., Корянов В.В.</i> Концепция построения низкоорбитальной группировки-дополнения к системе ГЛОНАСС для повышения устойчивости приема, точности и доступности	107
<i>Кухаренко А.С., Корянов В.В.</i> Анализ движения летательных аппаратов, управляемых внутренними подвижными массами	112
<i>Швецов М.В., Беляев А.А., Корянов В.В.</i> Исследование движения межорбитального буксира для обеспечения заданного периода снижения	117
Г. Робототехника и комплексная автоматизация, информационные технологии	123
Г1. Системы автоматизированного проектирования и информационные системы	125
<i>Абу Сувейлим Мухаммед Мунифович, Теплов Б.Д., Суханов Д.А., Евсюков Д.Ю., Масич И.С.</i> Инструмент выбора счета и временного окна для выставления инкассового поручения на основе анализа временных рядов движения денежных средств	127
<i>Ахмад Бушира, Неусытин К.А., Масленников А.Л.</i> Моделирование захода на посадку беспилотного воздушного судна на посадочную платформу, совершающую угловое движение	132
<i>Гаршин И.С., Панилов П.А.</i> Распространение телефонной связи на авиатранспорте: влияние на авиационные коммуникационные системы и технологии предотвращения помех	136
<i>Зобов О.В.</i> Масштабируемая гибридная потоковая архитектура для энергоэффективного вывода трансформерных нейронных сетей на ПЛИС	139
<i>Ковров Д.А., Борсук Н.А., Задоркин С.М.</i> Анализ работы с последовательными UART-портами и их настройка для передачи данных между устройствами	144
<i>Летка Д.А., Чулин Н.А., Масленников А.Л.</i> Алгоритмы определения координат камеры, установленной на подвижное основание, по визуальным маркерам	152
<i>Масленников А.Л., Калюжная В.Р.</i> Настройка параметров нелинейных систем на работу в режиме автоколебаний с заданными параметрами колебательных процессов на примере осциллятора Лоренца	157
<i>Маурина М.Ю., Маслова Т.И.</i> Цифровой иммунитет как стратегический подход к обеспечению кибербезопасности устройств и технологий на всех этапах их жизненного цикла	163
<i>Неусытин К.А.</i> Экспериментальное исследование алгоритма коррекции навигационного комплекса	169
<i>Неусытин К.А., Задорожная Н.М., Клычников В.В.</i> Моделирование алгоритмов коррекции навигационной системы по данным лабораторного эксперимента	172
<i>Пролетарский А.В., Селезнева М.С., Васюков С.А.</i> Синтез систем управления и моделей летательных аппаратов	177

<i>Селезнева М.С., Клычников В.В.</i> Детекция аномалий на конвейерных лентах и гранулометрия	180
<i>Селезнева М.С., Клычников В.В.</i> Подходы к сегментации изображений в горно-металлургической промышленности	186
<i>Селезнева М.С., Комков А.Е., Чернега Е.В.</i> Навигационный комплекс возвращающихся в атмосферу космического летательного аппарата	190
<i>Селезнева М.С., Филяков М.Д.</i> Синтез алгоритмического обеспечения навигационного комплекса, основанный на концепции динамического системного синтеза	195
<i>Суркова А.Д., Селезнева М.С., Неусыпин К.А.</i> Критерий степени адаптивности переменных состояния линейных моделей динамических систем	200
<i>Цзи Юньпэн, Селезнева М.С.</i> L1 управление квадрокоптером с обратной связью по состоянию с неопределенностью и потерей управления	205
<i>Чэнь Хао, Селезнева М.С.</i> Исследование тяжелых хвостов NLOS в навигационных системах UWB-ИНС на основе коррэнтропии	213
Г2. Робототехнические и интеллектуальные системы в современном производстве	219
<i>Бережнов М.К.</i> Конструктивные особенности автономных транспортных средств	221
<i>Булавкина А.М., Егошин Д.А., Павлов А.В., Скрыбин А.С.</i> Применение методов искусственного интеллекта для автоматизации спектрального анализа плазмы	229
<i>Комков А.Е.</i> Алгоритм управления на основе решения уравнения Риккати с параметрами, зависящими от состояния	233
<i>Косыгин Е.В., Лятифов Р.Э.</i> Прототип модуля управления трехкабельным щупальцем: конструкция и технические решения	236
<i>Котов А.К., Лагута В.С.</i> Гибкая производственная система Denford в МГТУ им. Н.Э. Баумана — экспериментальная площадка проектирования компьютерно-интегрированных производств	241
<i>Кочешков М.А., Цибизова Т.Ю., Горячев В.С.</i> Разработка и исследование алгоритма автоматизированного управления интеллектуальной системой захватного устройства робота-манипулятора	246
<i>Кочешков М.А., Тихонов Е.А., Акмаев А.А.</i> Введение экспертных систем с искусственным агентом в контур управления робототехническими комплексами	251
<i>Крутов Т.Ю.</i> Концептуальная модель предиктивной аналитики с учетом логистических факторов	253
<i>Лобачёв И.В., Масленников А.Л.</i> Алгоритм формирования сети технологических дорог виртуальной модели карьера	258
<i>Морин Н.П., Тененбаум С.М.</i> Исследование возможности использования технологической камеры спутника в качестве датчика Земли	263
<i>Пешков Д.В., Гуренко В.В.</i> Сравнительный анализ методов моделирования серверной нагрузки	269
<i>Шишков И.А., Щербак О.Ю.</i> Регулирование положения трехзвенного плоского маятника при воздействии на свободное третье звено	274

Д. Развитие инженерного образования	279
<i>Виловская А.А., Лубовский Д.В.</i> Применение проектной деятельности в образовательных технологиях для слабослышащих студентов	281
<i>Волков М.К., Косовская В.В.</i> Некоторые аспекты формирования знаний в сфере информационной безопасности	285
<i>Готвиг А.М., Денисов В.Н., Погорелый Д.О., Комкова Т.Ю.</i> Первый опыт практической подготовки в ООО «Сахалинская Энергия»	291
<i>Задоркин С.М., Борсук Н.А., Ковров Д.А.</i> Веб-ориентированная среда моделирования схем для обучения начинающих специалистов	298
<i>Ивлев В.Ю., Ивлева М.Л.</i> Экологическая культура в условиях современной техногенной цивилизации	305
<i>Казаков Я.А., Костюков И.С.</i> Влияние Студенческого конструкторского бюро на инженерное образование	308
<i>Кешелян Э.Р., Водчиц-Озмидова А.С., Федоритенко Н.А.</i> Диагностика и развитие визуально-пространственного мышления иностранных студентов: валидность методик и академическая успешность	312
<i>Комкова Т.Ю., Воскресенская О.Е.</i> Реализация управления социально-профессиональным самоопределением обучающихся в вузе	317
<i>Кунавцев А.В.</i> Субъектность — основа технологического суверенитета	321
<i>Куцая А.Ю., Куцый О.Я., Куцый А.О.</i> Значение электронной образовательной среды технического вуза в формировании научной культуры студента	327
<i>Мартынов Н.Д., Цибизова Т.Ю., Косовская В.В.</i> Проблемы адаптации иногородних студентов: исторический экскурс	335
<i>Мелашенко Т.Е., Гузева Т.А., Гайфуллина А.А.</i> Мотивационные механизмы привлечения и удержания инженерных кадров на предприятиях ОПК: интегративный подход	344
<i>Мурашова И.И., Цибизова Т.Ю.</i> Формирование международного сотрудничества в сфере инженерного образования	349
<i>Никитин А.В., Шевелев Д.В.</i> Опыт совместного создания студенческого научно-технического центра (СТУД-НТЦ) ПАО «Калужский двигатель» и КФ МГТУ им. Н.Э. Баумана	353
<i>Рязанцев А.А., Цибизова Т.Ю.</i> Основные аспекты формирования экологической компетентности	358
<i>Селянин К.С., Цибизова Т.Ю.</i> Особенности гражданско-патриотического воспитания студентов технического университета	363
<i>Сыркин Д.Т., Буренина В.И., Зай Я Лин, Соу Сан Хейн, Кхайн Пхью Зо.</i> Специфика обучения слушателей из Мьянмы на подготовительных отделениях для иностранных граждан в технических вузах	367
<i>Шамсутдинов Р.В., Цибизова Т.Ю., Гайфуллина А.А.</i> Формирование непрерывной системы патриотического воспитания обучающихся в среде общеобразовательных организаций	372
<i>Яценко Р.Д., Яценко В.В.</i> Развитие системных компетенций современного инженера	375

Е. Экономика и организация машиностроительного производства 381

<i>Анисимова М.И.</i> Технологические инновации в нефтегазовом машиностроении	383
<i>Болдырев В.С., Меньшиков В.В., Байбикова В.В.</i> Алгоритмизация поиска оптимального аппаратного оформления гибких многоассортиментных малотоннажных химико-технологических систем	388
<i>Болдырев В.С., Меньшиков В.В., Байбикова В.В.</i> Алгоритм оптимизации ассортимента гибких производственных систем малотоннажной химии	393
<i>Борисов И.С., Васильев В.А.</i> Цифровизация как фактор развития систем управления качеством и организации производства в машиностроении	399
<i>Ванчури М.Д., Затонский И.В., Васильев В.А.</i> Интеграция систем визуализации в организацию производства изделий, где преобладает ручной труд	406
<i>Васеев А.В., Пилюгина А.В.</i> Совершенствование механизмов финансирования выпуска наукоемких изделий	411
<i>Гутенев А.В.</i> Экономические аспекты внедрения ресурсосберегающих технологий в машиностроении	415
<i>Затонский И.В., Ванчури М.Д., Васильев В.А.</i> Оценка экономической эффективности внедрения цифрового двойника в систему управления качеством изделий машиностроения	419
<i>Ильенко Н.И., Славянов А.С.</i> Практические рекомендации оценки рисков при внедрении инноваций в сварочное производство	424
<i>Ковалева (Шипкова) А.Д.</i> Механизм учета экологических единиц в машиностроении	429
<i>Постников А.В., Титов Д.С., Постникова Е.С.</i> Методы и критерии создания интегрированных производственных систем	434
<i>Самородова Е.А., Муравьева Е.В.</i> Анализ дефектов изделий в машиностроении через призму диффузионной модели	440
<i>Сидорова М.А., Потапова А.Д., Пилюгина А.В., Белов П.С., Клищенко В.В.</i> Организационно-финансовые механизмы развития научно-образовательных центров как участников технологических цепочек	445
<i>Тадевосян А.С.</i> Операционная эффективность цифровизации и интеллектуализации машиностроительного производства в контексте устойчивого развития	449
<i>Чеканский А.В.</i> Комплексный характер управления проектами в нефтегазохимическом машиностроении	453
<i>Шамсувалеева А.М., Ряховская О.Н.</i> Глобальные тенденции внедрения новых технологий: лидеры и приоритетные направления	457
<i>Шиболденков В.А.</i> Образование временных инженерно-ориентированных команд и коллективов для адаптации машиностроительного производства в условиях санкций	464
<i>Ширшов Д.Н.</i> Комплексный характер управления проектами в нефтегазохимическом машиностроении	469
<i>Яценко Р.Д., Омельченко И.Н.</i> Влияние технологической специализации машиностроительного производства на структурные изменения отрасли	474

Ж. Организационное сопровождение научно-технической деятельности	481
<i>Караваева А.В., Абрашкова А.В.</i> Bluetooth-трекеры: обзор устройств и значимость для экспертного исследования	483
<i>Караваева А.В., Хребтова Е.Ю.</i> Назначение и производство комплексных экспертиз	487
<i>Караваева А.В.</i> Роль специалиста при получении компьютерной информации из мобильных устройств в ходе проведения предварительного следствия	492
<i>Сафронов К.О., Молодцова Ю.В.</i> Информационная безопасность и контроль импорта интеллектуальных роботизированных устройств в Российской Федерации	496
3. Математическое моделирование	501
<i>Бибенина А.А.</i> Моделирование процессов устойчивости тонких пластин на основе асимптотической теории	503
<i>Богод Д.А., Фазлов И.Р., Хоменков З.В.</i> Реализация алгоритма наложения тканевых изделий на параметрические поверхности с помощью масс-пружинной модели	508
<i>Бойко С.В.</i> Моделирование деформирования многослойных микрополярных пластин на основе асимптотического метода	513
<i>Димитриенко Ю.И., Коряков М.Н.</i> Конечно-элементное многомасштабное моделирование процессов тепломассопереноса в термодеструктурирующих конструкциях	518
<i>Димитриенко Ю.И., Юрин Ю.В., Сборщиков С.В., Маремшаова А.А.</i> Моделирование микроразрушений и SN-диаграммы усталостной прочности для композиционных материалов на основе метода асимптотического осреднения и «химического» критерия усталостной прочности	523
<i>Димитриенко А.Ю.</i> Модель вязкопластических сред с повреждаемостью, разносопротивляющихся растяжению — сжатию	531
<i>Ильенко Н.И., Королев С.А.</i> Математическое моделирование тепловых процессов при многодуговой сварке продольного шва трубы большого диаметра	538
<i>Кортенко А.М.</i> Численное моделирование дозвуковых течений газа на неструктурированных сетках	543
<i>Куприн А.Д.</i> Классификация тонкостенных 3D-моделей с помощью нейросетей	550
<i>Лобачев В.П.</i> Численное исследование температурных полей в тонкостенных конструкциях на основе конечно-элементного анализа	555
<i>Мукминов Н.Р., Панфилова Е.В.</i> Математическое моделирование оптических эффектов в сенсорах на основе самоорганизующихся фотонно-кристаллических структур	561
<i>Петров С.Е.</i> Математическое моделирование бурового насоса: установка коленчатого вала, анализ стабилизирующего эффекта	568
<i>Скрипка А.О., Хандрамай Н.А.</i> Оценка радиационных эффектов при обогреве помещений плинтусной системой отопления закрытого типа	573
<i>Титов А.Д.</i> Вычисление средней анизотропии для двумерных дискретных формирующих фильтров	579

<i>Титов А.Д.</i> Сравнительный анализ вычисления анизотропийной нормы линейных двумерных систем с различными граничными условиями	585
<i>Тронов К.А., Гагарин Ю.Е.</i> Современные методы генерации, дополненной поиском и их применение в технике и машиностроении	591
<i>Яхновский А.Д.</i> Моделирование эффективных ядер ползучести и релаксации полимерных композитов на основе метода асимптотического осреднения	595
II. Физические, электротехнические и химические явления в машиностроении	599
<i>Веснин В.Р., Гембар М.И., Данилов В.М.</i> Измерение температуропроводности полимерных материалов	601
<i>Козырев А.В., Айрапетянц А.В.</i> Влияние ионно-звуковой турбулентности на магнитную изоляцию плоского зонда в аномальном тлеющем разряде	607
<i>Козырев А.В., Баршак Д.А.</i> Шаровая локализация анодного электронного потока тлеющего разряда	613
<i>Козырев А.В., Волк Р.В.</i> Ионно-звуковая турбулентность в голове страты гелий-неонового тлеющего разряда	620
<i>Козырев А.В., Докукин М.Ю., Смирнов Е.А.</i> Оптическая спектральная и зондовая диагностика тлеющего разряда	626
<i>Микита Г.И.</i> Физические и электротехнические особенности асинхронных двигателей в транспортном машиностроении	632
<i>Погорелый Д.О., Киреев А.Р., Епанешникова А.М., Ханбеков И.Ф.</i> Обзор методов очистки ртути от примесей	637

Научное издание

Будущее машиностроения России

XVIII Всероссийская конференция молодых ученых и специалистов (с международным участием)

(Москва, 24–27 сентября 2025 года)

Сборник докладов

Том 2

Компьютерная верстка *С.А. Серебряковой*
Художник *Э.Ш. Мурадова*

Оригинал-макет подготовлен
в Издательстве МГТУ им. Н.Э. Баумана.

В оформлении использованы шрифты
Студии Артемия Лебедева.

Подписано в печать 21.03.2026. Формат 70×100/16.
Усл. печ. л. 52,65. Тираж 50 экз.

Издательство МГТУ им. Н.Э. Баумана.
105005, г. Москва, улица 2-я Бауманская, д. 5, стр. 1.
press@bmstu.ru
<https://press.bmstu.ru>

Отпечатано в типографии МГТУ им. Н.Э. Баумана.
105005, г. Москва, улица 2-я Бауманская, д. 5, стр. 1.