

УДК 621.74.045

**В. С. Дорошенко, И. О. Шинский, К. Х. Бердыев\***

Физико-технологический институт металлов и сплавов НАН Украины, Киев

### **ОБОРУДОВАНИЕ НЕПРЕРЫВНОГО ДЕЙСТВИЯ ДЛЯ ЛИТЬЯ ПО ГАЗИФИЦИРУЕМЫМ МОДЕЛЯМ**

*Рассмотрены принципиальные схемы оборудования для ЛГМ, которое по методу обработки формовочного сыпучего материала относится к проходному типу или к оборудованию непрерывного действия.*

*Розглянуті принципові схеми устаткування для ЛГМ, яке по методу обробки формувального сипкого матеріалу відноситься до прохідного типу або до обладнання безперервної дії.*

*The principles of equipments for Lost Foam Process, which on the method of treatment of mould friable material behaves to the communicating type or to the equipments of continuous action, are considered.*

**Ключевые слова:** литье, газифицируемая модель, литейная технология, сыпучий материал.

Среди некапиталоемких гибких технологий, повышающих культуру производства, литье по газифицируемым моделям (ЛГМ) показывает опережающую динамику и географию распространения в литейном производстве стран мира. ФТИМС НАН Украины, десятки лет совершенствуя эту технологию как один из видов своей научно-технической специализации и обладая солидным опытом по ее внедрению в производство, поставляет для литейных цехов типовые комплексы оборудования производительностью 150-5000 т отливок в год, проектируя участки под конкретные площади и сегодняшнюю программу литейных цехов заказчика.

Расчеты показывают, что созданные институтом такие комплексы оборудования для ЛГМ только на заводах Минпромполитики Украины позволят при монтаже их на реконструируемых литейных предприятиях создать производственные мощности с суммарным выпуском литья свыше 150 тыс. т/год, в частности, отливок для автотракторной техники, техники для АПК, нефтегазовой промышленности, арматуро- и насосостроения, военной техники.

ЛГМ по точности и качеству отливок, условиям труда и экологической безопасности вполне можно отнести к высоким технологиям литейного производства. Эта технология хоть и имеет 50-летний «стаж» с даты первого изобретения Г. Шроера по теме газифицирования модели теплом металла в форме, пожалуй, и сейчас остается одной из наиболее оригинальных технологий литья, тормозом расширения применения которой служит, прежде всего, инерция стереотипов литейщиков, обучение и опыт которых посвящены традиционным видам литья ЛГМ. Расход на 1 т годного литья модельно-формовочных материалов при ЛГМ весьма скромнен (может считаться «рекордным») и состоит из четырех

---

\*Работа выполнена под руководством д-ра техн. наук, проф. О. И. Шинского

наименований, в кг: кварцевый песок - 50, противопригарные покрытия - 25, пенополистирол - 6, пленка полиэтиленовая - 10 м<sup>2</sup>, связующее для песка не применяется.

Для транспортирования и охлаждения оборотного песка при ЛГМ удобно использовать пневмопоток или простейшие конвейеры. Эти металлоконструкции линий охлаждения песка для экономии помещений можно монтировать с внешней стороны стены цеха, где сухой песок сохраняется в силосе, «не боясь» мороза. А в помещении на формовочном участке от такой линии ставят две единицы оборудования: трубопровод с устройством засыпки песка в форму над вибростолом для формовки; приемное устройство с решеткой для высыпки из контейнерных опок отработанного песка.

Совершенствуя оборудование, особенно для механизированных линий, и «обкатывая» его в цехе института, за последние 1,5 года разработали конструкторскую документацию и изготовили (или находится в стадии изготовления) следующее оборудование (размеры рабочих органов указаны в мм): осушитель подвспененного пенополистирола в бункере вылеживания; эжекторный транспортер пенополистирола для питания пресс-автоматов; регенератор песка без псевдооживления; осушитель газов от водокольцевого насоса; установка каталитического дожигания газов без контакта с пламенем горелки; поворотный стол 1200x1200 с механической загрузкой-выгрузкой, приводной секционный рольганг 1200x4000; водяной осадитель пыли для предохранения водокольцевых вакуумных насосов от абразивного износа; силос с осадителем пыли/песка для пневмотранспорта всасывающего типа; объемный дозатор 0,5 м<sup>3</sup> песка для засыпки в контейнерные опоки; вибростолы 600x900 с подъемником ( $h = 25$  мм) для линий формовки и 1200x1200 с виброколебаниями в горизонтальной и вертикальной плоскостях.

Опыт конструирования оборудования для ЛГМ свидетельствует, что больше всего нестандартных решений требует оборудование для оборота песка, которое обеспечивает операции его охлаждения и регенерации, с целью получения стабильного качества песка (при уровне вторичного использования ~95 %), компактности, простоты изготовления и обслуживания установок и понижения их энергоемкости, а также при предотвращении таких ухудшений условий труда в цехе, как пыле- и шумовыделение. По техническим решениям такое оборудование часто не имеет аналогов в литейном производстве, а созданное и описанное ниже может быть использовано для многих переделов, включающих операции с использованием песка, песчаных смесей и других сыпучих материалов. К тому же, описания конструкций и принципы работы оборудования для ЛГМ практически не публикуются в отечественной технической литературе, что не способствует его оптимизации и в целом снижает темп распространения процесса ЛГМ.

Рассмотрим подробнее принципиальные схемы оборудования, которое по методу обработки сыпучего материала относится к проходному типу или к оборудованию непрерывного действия. Уже упоминался способ охлаждения в псевдооживленном слое, широко используемый для участков ЛГМ. Этот слой еще называют «кипящим», он представляет собой гетерогенную систему, состоящую из слоя частиц кварцевого песка и потока воздуха, проходящего сквозь слой частиц и создающего интенсивное их перемешивание, напоминающее «вязкую кипящую жидкость». При соответствующих температурах и газовых составляющих кипящий или псевдооживленный слой имитирует теплопроводные, изотермические и диффузионные свойства жидких сред, создавая в установках проходного типа условия для получения равномерного охлаждения теплообменом с воздушным потоком, главным образом, за счет принудительной конвекции.

На рис. 1 показан технологичный элемент охладителя в псевдооживленном слое производительностью от 1 до 6 м<sup>3</sup>/ч, в котором в качестве хладагентов применяются воздух и вода. Установка состоит из трех отсеков секторов: нижний - воздушный, средний - охлаждающий, верхний - сепарирующий. Тепло от горячего песка отбирается охлажденным воздухом, подаваемым в установку вентилятором по трубопроводу 1 с регулируемым затворами 2, а охлаждение воздуха происходит за счет его прохождения между трубами 3 в виде змеевика, через которые протекает вода, подаваемая из водопроводной или водо-

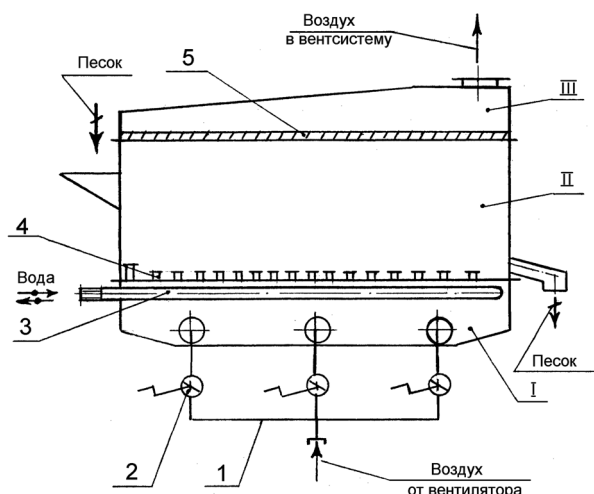


Рис. 1. Установка охлаждения песка в псевдооживленном слое; состоит из трех отсеков-секторов: I - нижний воздушный, II - средний охлаждающий, III - верхний сепарирующий; 1 - трубопровод, 2 - затворы, 3 - трубы в виде змеевика, 4 - патрубки-грибки, 5 - "отбивная" решетка

оборотной системы. Охлажденный воздух через патрубки-грибки 4 восходящим потоком при определенной (называемой в гидродинамике этого процесса критической) скорости подается в зону охлаждения и переводит слой подаваемого песка в полувзвешенное состояние, которое приобретает свойства текучести. В промежутке между двумя стенками отсека (с одной торцевой стенки горячий песок подается, а с другой - отводится) за счет поступающего холодного воздуха из отверстий грибков 4 в нижней стенке отсека создается псевдооживленный слой. Для задержания песка от уноса с восходящим потоком воздуха в верхней части отсека установлена «отбивная» решетка 5, через которую очищенный воздух отводится в вентиляционную систему цеха.

Особенностями кипящего слоя являются его большие теплоемкость и теплопроводность. Интенсивная циркуляция частиц, объемная теплоемкость которых на порядок превышает объемную теплоемкость воздуха, иногда не позволяет обеспечить требуемую скорость охлаждения, ведет к удлинению установок свыше 5-6 м и увеличению их энергоемкости. Поэтому ниже приведены две конструкции установок комбинированного охлаждения путем сочетания двух хладагентов - воздуха и воды. Причем в воздухе перед его соприкосновением с сыпучим материалом дозированно распыляется вода (создается водовоздушная дисперсия) в количестве, не препятствующем сохранению сыпучести песка.

На рис. 2 показана установка охлаждения сыпучего формовочного материала, которая представляет собой сварную металлическую конструкцию, состоящую из внутреннего водоохлаждаемого корпуса 2 и наружного корпуса 5, внутри которого расположены отражающие пыль кольца 3 и воздухоподводящий патрубок 4 с конусными экранами на разных уровнях. На верх внутреннего корпуса устанавливается сетчатый колпак 1, отсеивающий крупные включения из формовочного материала.

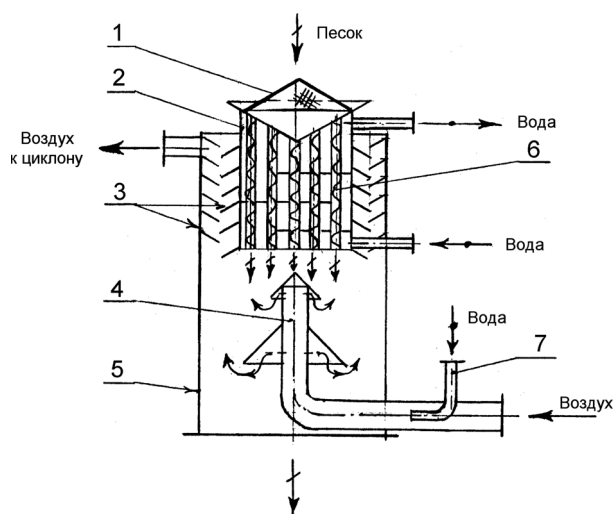


Рис. 2. Установка охлаждения сыпучего формовочного материала комбинированным способом: 1 - сетчатый колпак; 2 - водоохлаждаемый корпус; 3 - отражающие пыль кольца; 4 - воздухоподводящий патрубок; 5 - наружный корпус

уровнях. На верх внутреннего корпуса устанавливается сетчатый колпак 1, отсеивающий крупные включения из формовочного материала.

Водоохлаждаемый корпус 2 сварен в виде трубы, к верхней части которой приваривается коническая воронка, а нижняя стенка выполнена плоской. Между ними приварены вертикальные трубы. Внутренняя часть корпуса поделена на секции перегородками из листового материала для создания турбулентных потоков воды, омывающих трубы. Вода, подаваемая в нижнюю подводящую трубу, проходит между трубами и отводится через верхнюю боковую трубу.

Песок через сетку 1 попадает в воронку, делится на потоки и проходит через многочисленные водоохлаждаемые трубы корпуса 2.

С целью увеличения пути и продолжительности контакта горячего сыпучего материала со стенками труб в них вкладываются спирали из листового материала, служащие склизом для песка. Шаг спирали выбран так, чтобы песок по ним скатывался под углом, превышающим угол его естественного откоса. За счет приобретения тангенциальной составляющей песчинки, скользя и перекатываясь по спирали, всегда контактируют с металлом трубы и спирали, охлаждаясь таким образом. Песок, просыпаясь через трубки водоохлаждаемого корпуса, попадает в наружный корпус, в котором навстречу ему подается увлажненный воздух через воздухоподводящий патрубок 4. Воздух от вентилятора подается в патрубок, в него же подается и струйка воды из расчета 50-100 мм<sup>3</sup> на 1 м<sup>3</sup> воздуха. Верхний отводящий патрубок наружного корпуса соединяется с циклоном и вытяжкой цеховой вентиляционной системы.

Таким образом, песок, охлажденный первоначально в водоохлаждаемых трубах, дополнительно охлаждается встречным потоком увлажненного воздуха. Частично уносимый объем песка отбивается отражательными кольцами 3, а пылевидные частицы осаждаются в циклоне. Песок в установке кроме охлаждения очищается от нежелательной пылевидной части для литья по газифицируемым моделям. Описанная установка отличается компактностью и рекомендуется для небольших формовочных участков.

Установка охлаждения барабанного типа, показанная на рис. 3, состоит из цилиндрического вращаемого полого корпуса 9, в полость которого с одного конца по питателю 11 подается горячий песок (сыпучий формовочный материал), а на другом конце имеется разгрузочное отверстие, из которого охлажденный песок попадает в приемный бункер 2. Перемешивание и подача охлаждаемого материала осуществляются спиральной лопастью с лопатками 10, которые изготовлены из листового металла. Наружная поверхность внутреннего корпуса 9 охлаждается водой, которая находится между ним и водяной рубашкой 8. Вода подается по водоподводящему каналу 6, а сливается в бак 7.

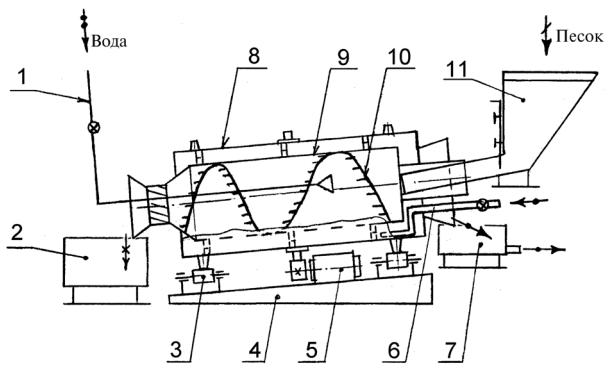


Рис. 3. Установка охлаждения барабанного типа: 1 - система подачи воды с распылителем; 2 - приемный бункер; 3 - опорная система; 4 - станина; 5 - привод; 6 - водоподводящий канал; 7 - бак водооборотной системы; 8 - водяная рубашка; 9 - цилиндрический вращаемый корпус; 10 - спиральная лопасть с лопатками; 11 - питатель

Внутренний корпус 9 и водяная рубашка представляют собой цельную конструкцию, расположенную под углом. Такое расположение, а также конструкция слива обеспечивают заполнение более 50 % промежуточного пространства водой между стенками корпуса и водяной рубашки, которые в технике обычно называются двумя барабанами с одной осью вращения. Дополнительно предусмотрена система подачи водовоздушной смеси через канал 1 с распылителем. Вода подается из расчета 50-100 мм<sup>3</sup> на 1 м<sup>3</sup> воздуха для сухого песка, а также в большем количестве, если барабанная установка применяется для сырых формовочных смесей. Барабанный корпус с водяной рубашкой устанавливается на опорную систему 3 с роликами, установленными на станине 4 и приводятся во вращение (5-10 об/мин) приводом 5. Изменяя диаметр и длину водяной рубашки 8 и внутреннего корпуса, а также их наклон и скорость вращения, получают производительность охлаждения формовочной смеси от 2 до 6 м<sup>3</sup>/ч. Для предотвращения замерзания воды используют водоспускную систему.

В линиях регенерации песка описанным установкам предшествует вибросито, конструкция которого показана на рис. 4 и состоит из следующих частей: корпуса 1 из листового материала, вибродеки 2 с одной или двумя сеточными полотнами и фартуком. На вибродеку устанавливается электровибратор 3. Дека имеет заднюю эластичную опору 4 и переднюю шарнирную 7. Ниже фартука деки находится воронка 6, из которой подается просеянный песок. Все вышеперечисленные элементы крепятся к станине 5. Отходы по лотку 8 отводятся в сторону. Сверху кожуха 1 имеются два отверстия: через отвер-

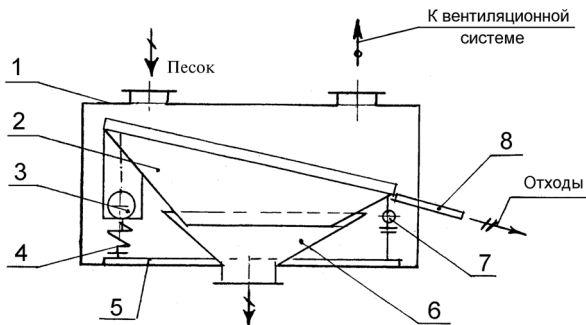


Рис. 4. Вибросито: 1 - корпус; 2 - вибродека; 3 - электровибратор; 4 - эластичная опора; 5 - станина; 6 - воронка; 7 - шарнирная опора; 8 - лоток

(взаимным расположением) грузов дебалансов вибратора. Отличительное достоинство конструкции вибросита состоит в том, что одновременно с удалением крупных включений из просеиваемого песка осуществляется вентиляция с удалением пылевидной составляющей без попадания ее в атмосферу цеха.

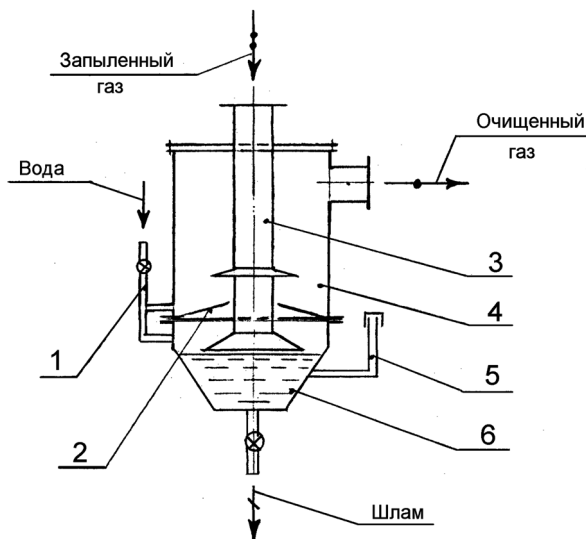


Рис. 5. Осадитель жидкостный: 1 - система циркуляции воды; 2 - водостражатель; 3 - труба; 4 - корпус; 5 - контрольная трубка; 6 - донная часть

ральной трубке 5 и должен быть ниже уровня дефлектора. Капельки воды, захваченные потоком газа, отбиваются сетчатым с водостражателем 2 верхним экраном и верхним дефлектором трубы крышки 3. Осажденная вода через систему водоциркуляции вновь попадает в дно. Очищенный газ через боковое отверстие в верхней части корпуса 4 отводится к следующему технологическому оборудованию: к насосу, расширителю и т. д.

Песок перед просеиванием и охлаждением подвергают магнитной сепарации. Магнитный сепаратор, показанный на рис. 6, предназначен для улавливания магнитных металлов из формовочного материала. Он состоит из корпуса 1 прямоугольной формы с бортами сверху и снизу. В корпусе на опорах 6 и 7 крепятся внутренние части 4 и 5. Барабан 4 через подшипники установлен в корпусе 1. Один конец барабана через муфту соединен с приводом 8, при помощи которого вращается. Внутри барабана на подшипниковых узлах установлена магнитная система 5. Между барабаном 4 и магнитной системой 5 имеется воздушный зазор. Угловое положение магнитной системы относительно стенки А корпуса 1 вращением вокруг горизонтальной оси регулируется установочным узлом 9. Магнитное поле, создаваемое постоянными магнитами в секторе 130-150°, притягивает к по-

стие, показанное слева на рис. 4, на сетчатые полотна деки подается песок, а другое отверстие (справа) присоединяется к вытяжной вентиляционной системе для отсоса пылевидных частиц, которые из-за вибрации деки и удара частиц песка о воронку поднимаются вверх и уходят в систему отсоса и осаждения. Очищенный песок через отверстие воронки 6 высыпается вниз в тару или в приемное отверстие следующей установки проходной линии регенерации. Амплитуда и усилие вибрации регулируются разводкой

Отработанный воздух, отходящий от установок линии охлаждения песка, нуждается в очистке, для чего сконструирован осадитель жидкостный, показанный на рис. 5. В нем используется принцип разности кинетической энергии молекул газа и пылевидных включений в движущемся потоке. Загрязненный газовый поток через трубу 3 крышки попадает в полость корпуса 4. Дефлектор на конце трубы направляет поступающий поток на воду, залитую в донную часть 6 осадителя через систему 1 циркуляции воды. За счет разности энергий включения пылевидная часть при повороте газового потока оседает в воде и скапливается. Накопившийся шлам спускается через сливную трубу дна 6 осадителя. Уровень воды при заливке контролируется по контрольной трубке 5 и должен быть ниже уровня дефлектора. Капельки воды, захваченные потоком газа, отбиваются сетчатым с водостражателем 2 верхним экраном и верхним дефлектором трубы крышки 3. Осажденная вода через систему водоциркуляции вновь попадает в дно. Очищенный газ через боковое отверстие в верхней части корпуса 4 отводится к следующему технологическому оборудованию: к насосу, расширителю и т. д.

верхности вращающегося барабана металлические магнитные частицы. Перегородка 2 делит нижнюю часть корпуса на два канала - Б и В. В нижней части скребок 3 отделяет удерживаемые магнитным полем на барабане частицы и сбрасывает их в канал В, а очищенный песок проходит через канал Б.

Конструкция опорных узлов предотвращает контакт стенки барабана с магнитной системой. Воздушный зазор  $S$  между ними путем уменьшения теплопередачи защищает магнитную систему от

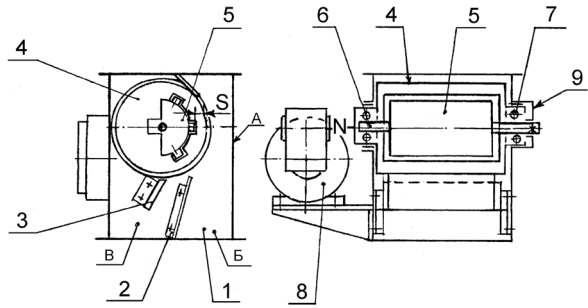


Рис. 6. Магнитный сепаратор: 1 - корпус; 2 - перегородка; 3 - скребок; 4 - барабан; 5 - магнитная система; 6, 7 - опоры; 8 - привод

перегрева при сепарировании нагретого формовочного материала и предохраняет от размагничивания, что позволяет подвергать магнитной сепарации сразу высыпаемый из формы песок при высокой температуре на этапе операции выбивки формы.

Что касается конструирования оборудования для изготовления моделей, то разработанная конструкция стола порезки позволяет быстро и качественно вырезать нагретой нихромовой проволокой модели различной формы из блочного пенополистирола с удовлетворительной точностью. Единичные модели сложной пространственной формы можно на этом столе изготавливать по частям (часто с использованием шаблонов), а потом собирать в целое методом термосклеивания или на клею. По такому же способу модели, изготовленные по пресс-формам или на таком столе, и модели элементов литниковой системы, большинство из которых изготавливается на подобных столах, собираются в блоки или кусты и передаются на операцию нанесения противопожарного покрытия. Кроме того, по опыту эксплуатации автоклавов емкостью 100 и 400 л и пресс-автоматов разработаны новые конструкции установок, позволяющие рекуперировать использованный пар. Это снижает энергозатраты при изготовлении моделей и их стоимость.

Таким образом, описанное оборудование имеет ряд новых технических решений на уровне изобретений, отличается многофункциональностью с точки зрения возможности изолирования пылящих процессов от рабочей зоны цеха и монтирования в линии непрерывного действия даже вне помещения цеха, а также рекомендовано для переработки других (кроме песка) сыпучих материалов.

Все оборудование, поставляемое ФТИМС, сравнительно несложное в изготовлении и обслуживании, легко комплектуется в линии различной производительности и степени автоматизации, что позволяет его поставлять и монтировать при организации участка ЛГМ в течение нескольких месяцев. Оно вместе с постоянно совершенствуемыми разновидностями технологии ЛГМ, обрабатываемыми на своей опытной базе и в цехах заводов-заказчиков, представляет собой высокотехнологичный законченный инновационный продукт как значительное достижение научно-технической литейной школы ученых-технологов и конструкторов, сложившейся в ФТИМС в течение последних десятилетий. ЛГМ относятся к таким отечественным технологиям, которые конкурентны для экспортирования как сами по себе в виде интеллектуального товара в комплекте с сопутствующим оборудованием, так и при поставках на экспорт производимых по ней высококачественных металлозаготовок, что при расширении внедрения ЛГМ в Украине позволяет эффективнее использовать то наше преимущество, что наше государство относится к немногочисленным странам с замкнутым металлургическим циклом производства металлов из собственных руд и может успешно конкурировать в сфере производства наукоемкой металлопродукции на базе собственных технологий.

Поступила 20.08.08