

МИНИСТЕРСТВО ОБРАЗОВАНИЯ И НАУКИ РОССИЙСКОЙ ФЕДЕРАЦИИ
Федеральное государственное автономное образовательное учреждение высшего образования
**«НАЦИОНАЛЬНЫЙ ИССЛЕДОВАТЕЛЬСКИЙ
ТОМСКИЙ ПОЛИТЕХНИЧЕСКИЙ УНИВЕРСИТЕТ»**
ЮРГИНСКИЙ ТЕХНОЛОГИЧЕСКИЙ ИНСТИТУТ

УТВЕРЖДАЮ
Зам. директора по УР ЮТИ ТПУ

_____ В.Л. Бибик
« ___ » _____ 2014 г.

БРИКЕТИРОВАНИЕ РУД

Методические указания к выполнению лабораторной работы
по дисциплине «Обогащение полезных ископаемых» для студентов, обучающихся
по специальности 130400 «Горное дело»
очной формы обучения

Составитель **А.В. Анучин**

Типография
ООО «МедиаСфера»
2014

УДК 622
ББК 33.4
Д75

Д75 **Брикетирование руд:** методические указания к выполнению лабораторной работы по дисциплине «Обогащение полезных ископаемых» для студентов, обучающихся по специальности 130400 «Горное дело» очной формы обучения / сост.: А.В. Анучин; Юргинский технологический институт (филиал) Томского политехнического университета. – Юрга: Типография ООО «Медиасфера», 2014. – 18 с.

УДК 622
ББК 33.4

Методические указания рассмотрены и рекомендованы
к изданию методическим семинаром кафедры
горно-шахтного оборудования ЮТИ ТПУ
« » _____ 2014 г.

Зав. кафедрой ГШО
кандидат технических наук _____ *А.А. Казанцев*

Председатель
учебно-методической комиссии _____ *А.В. Коперчук*

Рецензент

Кандидат технических наук,
доцент кафедры ГШО ЮТИ ТПУ
М.Ю. Блащук

© Составление. ФГАОУ ВО НИ ТПУ Юргинский
технологический институт (филиал), 2014
© Анучин А.В., составление, 2014

1. Цель работы

Изучить технологию брикетирования пылеватых руд, шламов, различных техногенных отходов с использованием термической обработки и химическим твердением.

2. Теоретические сведения

Брикетирование - это превращение мелкозернистых полезных ископаемых в кусковой продукт за счет механических, химических или термических воздействий с применением специальных добавок или без них, за счет физико-химических процессов, позволяющих получить механически и термически прочный сортовой продукт - брикет определенной геометрической формы, размера и массы.

Брикетирование руд без добавки связующих веществ осуществляют прессованием под давлением до $73,5 \text{ МН/см}^2$ (750 кгс/см^2).

Сырые брикеты подвергают высокотемпературному обжигу (1200°C и выше), в процессе которого происходит их упрочнение. Прочность обожженных брикетов на сжатие достигает 150 кгс/см^2 , этот способ широко применяется во многих странах.

Брикеты, полученные прессованием руд и концентратов с добавками связующих веществ, имеют высокую прочность, поэтому упрочняющему обжигу они не подвергаются. В качестве связующих добавок применяют следующие органические и минеральные вещества: каменноугольная смола, пек, асфальт и др. Но они широко не используются из-за их дороговизны.

Наибольшее распространение при брикетировании получили более дешевые неорганические связующие добавки (портландцемент, гашеная известь, жидкое стекло, хлористый магний, чугунная стружка в смеси с поваренной солью и др.).

Брикетирование по сравнению с агломерацией и производством окатышей имеет следующие преимущества:

- возможность большего использования в шихте техногенных отходов (металлургические шлаки, шламы химических производств, бедные руды);
- использование недефицитных видов топлив и углесодержащих отходов различных производств (каменный уголь, антрацит, смолы, пеки).

Использование брикетов в доменном переделе позволяет:

- увеличить производительность металлургических печей за счет большей насыпной плотности брикетов по сравнению с обычной доменной шихтой;

- обеспечение более интенсивного протекания восстановительных процессов при доменной плавке;

- снизить энергозатраты в доменном и сталеплавильном процессах;

повысить стабильность свойств выплавляемого металла, в частности природнолегированных и специальных марок чугунов с одновременным увеличением степени извлечения ценных элементов (хром, никель, ванадий, титан, медь и др.).

Брикетиrowание руд известно с 1880 г., однако в настоящее время этим способом окусковывают не более 5% всей массы пылеватых руд и концентратов. Поэтому его применяют в основном в электро- и цветной металлургии.

Связующие вещества.

Вещества, способные соединять разобщенные твердые тела и сохранять их прочный контакт в условиях значительных внешних воздействий, называются связующими (клеями, адгезивами).

Связующие могут быть органического и неорганического происхождения и должны удовлетворять следующим требованиям:

- иметь высокую поверхностную активность, максимально смачивать поверхность материала, обеспечивая прочную связь;
- быть устойчивыми к атмосферному воздействию;
- не разрушать структуру готового брикета;
- иметь эластические и пластические свойства;
- обладать высокой прочностью, но не быть жестче склеиваемого материала, т.к. внешняя нагрузка может привести к появлению внутренних напряжений и разрушению брикета;
- иметь высокую скорость твердения;
- содержать достаточную долю спекающихся компонентов, обеспечивающих термическую стойкость брикетов при горении;
- иметь высокую теплоту сгорания, малый выход летучих веществ и низкую температуру воспламенения;
- обладать минимальной токсичностью;
- быть недефицитными и дешевыми.

Органические связующие

Нефтесвязующие - представляют собой тяжелый остаток от переработки нефти, обладающий характерными свойствами высокомолекулярных соединений.

Химические компоненты нефтесвязующих следующие. Масляная фракция представляет собой смесь парафиновых, нафтеновых и

ароматических углеводородов с небольшим количеством гетероорганических и сернистых соединений.

Смолы - полужидкие, нейтральные соединения различных углеводородов с молекулярной массой более 1200 и плотностью более 1000 кг/м³. Под действием света, повышенных температур и сильных кислот смолы переходят в асфальтены.

Асфальтены - порошок темно-бурого или черного цвета с молекулярной массой до 2500 и плотностью более 1000 кг/м³.

Карбены и карбоиды внешне напоминают асфальтены, но содержат больше углерода. Их можно рассматривать как слабый кокс. В нефтесвязующих содержание карбоновых (нафтеновых) и асфальтогеновых кислот, придающих поверхностную активность, незначительно.

Спекаемость нефтесвязующих тесно связана с коксообразованием, которое зависит от температурно-временных режимов окисления сырья и интенсивности его термической обработки. Показатель спекаемости нефтесвязующих (коксовое число) составляет 20-30%.

Каменноугольный пек - тяжелый остаток перегонки каменноугольной смолы коксования, полученный при температуре 360-380°C. В химическом отношении это сложная структурированная гетерогенная система, он обладает высокой спекаемостью. Его коксовое число находится в пределах 37-42%. Брикетты, изготовленные с использованием пека, обладают высокой термостойкостью.

В качестве сырья для производства каменноугольного пека применяют каменноугольную смолу (черно-бурая вязкая жидкость), содержащую до 10% свободного углерода в виде карбенов и карбоидов, остальное - сложные ароматические и гетероциклические соединения с включением непредельных углеводородов.

Токсичность каменноугольного пека ограничивает его область применения при брикетировании.

Лигносulfонат (сульфит-спиртовая барда - ССБ) - побочный продукт (отход) при переработке измельченной древесины на целлюлозу, содержащий не более 20-30% воды. Высокая вяжущая способность ССБ обусловлена наличием кальциевых, натриевых и аммониевых солей лигносulfоновых кислот - поверхностно активных веществ.

Неорганические связующие

Связующие неорганического (минерального) происхождения, как правило, вступают с брикетируемыми материалами в химическую реакцию. Интенсивность структурообразования зависит от скорости и полноты химических реакций, а также давления прессования. В качестве минеральных связующих наибольшее распространение нашли известь,

жидкое стекло, цементы, каустический магнезит и доломит, чугунная стружка, глины, гипс и др. Основной их недостаток заключается в том, что в процессе доменной плавки образуется дополнительное количество шлака.

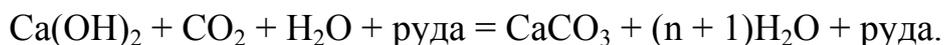
Известь - один из наиболее распространенных минеральных связующих материалов. Она содержит не менее 85% CaO + MgO и не более 2-3% глинистых примесей. В качестве связующего применяют как гашеную, так и негашеную известь.

Для брикетирования наиболее приемлема свежееобожженная известь, которая имеет чисто белый или слегка сероватый цвет, ее плотность примерно 3000 кг/м³. Гашение извести происходит с выделением тепла по реакции:

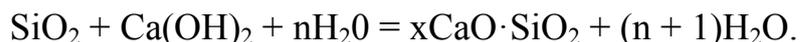


В зависимости от расхода воды образуется то или иное количество пушонки (связующее) и известкового молока (используется в строительстве). Ускорение гашения извести достигается добавкой в воду активирующих агентов: NaOH, CaCl₂, NaCl, MgCl₂.

Механизм связывания твердых частиц с помощью пушонки заключается в кристаллизации Ca(OH)₂ и карбонизации его углекислым газом из атмосферы по реакции



Автоклавирование - процесс гидротермальной обработки, при котором гель кремнезема, содержащийся в руде, взаимодействует с Ca(OH)₂. В результате образуются гидросиликаты или гидроферриты кальция, цементирующие структуру брикета по реакции



Автоклавирование проводят при давлении 0,7-0,8 МПа и температуре около 175 °С и большой доле кремнезема в брикетируемой руде.

Известь, как связующее, применяется при брикетировании железорудной мелочи, цинковых концентратов, мелочи медного колчедана, колошниковой пыли и другого рудного сырья. Ее расход составляет 5-10% от брикетируемой массы.

Растворимое жидкое стекло (стеклоглыба) представляет собой стекловидный прозрачный сплав с цветовыми оттенками от голубоватого до желтого. Оно состоит из смеси различных щелочных силикатов переменного состава общей формулы R₂O·nSiO₂, где R - натрий или калий; n - число молекул SiO₂, приходящихся на одну молекулу щелочных металлов.

Растворимое стекло известно под названием силикат-глыба, а его водные растворы - жидкое стекло. Плотность силикат-глыбы 2400 кг/м^3 , температура размягчения - $1000-1100 \text{ }^\circ\text{C}$.

Для брикетирования применяют натриевое жидкое стекло $\text{Na}_2\text{O} \cdot n\text{SiO}_2$, оно получается обжигом смеси кварцевого песка с содой или сульфатом натрия при температуре $1300-1400 \text{ }^\circ\text{C}$. После охлаждения расплава он превращается в силикат-глыбу, которую затем растворяют водой.

В зависимости от способа производства в растворимом стекле содержится, %: SiO_2 - 71-72; Na_2O - 25-27; а также Fe_2O_3 , Al_2O_3 , CaO , SO_2 .

Интенсификация цементации растворимого стекла может быть осуществлена сушкой брикетов при температуре $150-250 \text{ }^\circ\text{C}$.

Жидкое стекло применяется для брикетирования колошниковой пыли, феррохрома, железной и хромовой руд, его расход составляет от 5 до 10%, снижаясь с вводом активирующих добавок.

Цементы. Для брикетирования руд применяют в качестве связующих различные цементы: портланд, гидравлический, бокситовый, гипсовый, рудный, шлакопортланд и др.

Процесс твердения цементов - связующих в брикетах может идти по трем основным направлениям - естественному, ускоренному и автоклавному упрочению.

Естественное твердение идет при температурах окружающего воздуха в воздушно-влажной среде, в течении нескольких недель.

Ускоренное упрочение цементов осуществляется при температуре $60-100 \text{ }^\circ\text{C}$ в той же воздушно-влажной среде в течение нескольких часов. Эту обработку можно выполнить паром, увлажненным воздухом или другими способами нагрева (электро- или радиационный). Общее упрочение брикетов после завершения тепловой обработки не превышает 2 ч.

Автоклавное упрочение предполагает гидратацию цементного связующего при температуре $175-200 \text{ }^\circ\text{C}$ и избыточном давлении ($0,8-1,4 \text{ МПа}$) в течение 5-8 ч. Время упрочнения в автоклаве не превышает 2 ч, брикеты имеют высокую механическую прочность и пригодны для металлургического производства.

Расход цементных связующих для брикетирования железных руд и их концентратов составляет от 3 до 20%. Наименьшие расходы связующих требуются при брикетировании на портланд- и бокситовом цементе. Железистый (рудный) цемент расходуется в количествах до 20%.

Бентонитовые глины - морские осадочные породы, возникшие из лав, пеплов и туфов, их химический состав следующий, %: SiO_2 - 45-80; Al_2O_3 - 15; MgO - 8; CaO - 8. Основу бентонита составляет монтмориллонит $\text{Al}_2\text{O}_3 \cdot 4\text{SiO}_2 \cdot 3\text{H}_2\text{O}$, содержание которого иногда

превышает 80%. Bentonит способен при увлажнении увеличиваться в объеме в 30 раз. Для приготовления бентонитового связующего глину сушат до влажности 5-8% и измельчают до крупности менее 0,1 мм.

Для улучшения свойств бентонитовые глинны модифицируют добавками (натриевые и алюминиевые соли, щелочи, сода и др.). Расход бентонита при брикетировании железорудных концентратов не выше 1%, никелевых - до 10%, с добавлением 7-12% воды.

Чугунная стружка - тонкоизмельченный железистый продукт. Связующие свойства ее проявляются в процессе коррозии и гидратации с брикетируемым железорудным сырьем. Чугунную стружку (5-10% от брикетируемой массы) смешивают в присутствии катализатора с рудой и прессуют в брикеты. В качестве катализатора используют водные растворы NaCl (0,5-1% общей массы). В результате электрохимических процессов взаимодействия компонентов шихты начинается активное корродирование. Возникают гальванопары, растворяющие чугунную стружку с образованием продуктов коррозии, что ускоряет цементацию, которая длится несколько суток.

Для брикетирования с чугунной стружкой следует применять мелкие руды крупностью не более 0,5 мм, наилучшие показатели достигаются при окусковании магнетитовых и гематитовых руд.

Технология брикетирования

К качеству рудных брикетов предъявляются следующие требования: высокая механическая и термическая прочность, атмосфероустойчивость, пористость и плотность, причем каждый металлургический процесс предъявляет дополнительные требования к брикетам.

Железорудные брикеты для доменной плавки имеют следующий химический состав, %: железо - 55-60; серы не более 0,2-0,25%, фосфора - 0,01-0,03%, мышьяка и цинка не более 0,02%.

В брикетах для мартеновской плавки содержание железа составляет 62-64%, кремнезема 6-8%, прочих шлакообразующих компонентов до 3%, фосфора и серы до 0,03%, влаги 2%.

Прочность железорудных брикетов на сжатие и сбрасывание должна быть не ниже соответственно 15-25 МПа и 85-90%, пористость 5-10%, плотность - 4200-4600 кг/м³. Брикеты считаются прочными, если они сохраняют целостность при 1500°C в течение 3 мин. Оптимальными считаются размеры брикетов (40-45)x(20-25)x(50-60) мм.

Термостойкость характеризуется сохранением формы брикетов при 3 минутном пребывании их при температуре 600-900° С.

Восстановимость - способность рудного сырья с определенной скоростью отдавать связанный с металлом кислород газу-восстановителю.

Газопроницаемость тесно связана с пористостью самих брикетов и пористостью слоя брикетов. В первом случае она определяется пористостью брикета, во втором - однородностью размера и формы брикетов.

Подготовка брикетируемых компонентов. Подготовка к брикетированию заключается в обеспечении необходимой крупности, содержания влаги и металла в руде.

Для малопрочных руд крупность должна быть не более 1 мм. Более крупные зерна при прессовании растрескиваются и образуют большое количество новых поверхностей, не покрытых связующими. Для руд средней и высокой прочности верхний предел крупности составляет 5-6 мм. Например, при брикетировании железных руд со связующими оптимальная крупность 0-5 мм; без связующих она снижается до 1-2 мм.

Особое значение для подготовки шихты имеет содержание влаги, например для железных и железоникелевых руд (крупность 0-5 мм) оптимальная влажность составляет 20%.

Завершающий этап подготовки брикетной смеси - дозирование компонентов и их тщательное перемешивание. Для дозирования применяют тарельчатые, барабанные, вибрационные, шнековые и другие типы питателей; для смешивания - одно-, двухвальные лопастные и барабанные смесители и многоступенчатые мешалки.

Прессование. Важнейшим условием для получения качественного брикета является удельное давление прессования, оно зависит от конструкции пресса и характера сжатия (одно- или двухстороннее). При одностороннем прессовании не обеспечивается равномерное уплотнение брикета по высоте. Поэтому применяют двухстороннее сжатие, что обеспечивает более равномерное уплотнение материала. При этом высота брикетов должна быть по возможности небольшой, например, для цилиндрических брикетов отношение высоты к диаметру должно составлять 1:2.

На прочность рудных брикетов существенно влияет усадка при прессовании.

Условия прессования зависят от физико-химических свойств рудной шихты, крупности и влажности материала, расхода и качества связующего, интенсивности перемешивания и температуры смеси.

Для брикетирования применяют прессы *периодического и непрерывного действия*. К первым относятся штемпельные, револьверные (столовые) и рычажные; ко вторым - вальцовые и кольцевые.

Для получения прочных брикетов, особенно из тонкой рудной мелочи рекомендуется прессование вести в несколько стадий. Для этого пользуются приемами с промежуточным понижением давления, что

позволяет максимально удалить воздух из прессуемой массы, и обеспечить высокую прочность и плотность.

Наиболее широко применяются *вальцовые прессы*, они имеют высокую производительность, большие усилия прессования, экономичны, малогабаритны и просты в эксплуатации.

Эффективная работа вальцовых прессов во многом зависит от предварительного уплотнения шихты - *подпрессовки*, основная цель которой - увеличение насыпной массы прессуемого материала. Одновременно при этом достигаются снижение расхода связующего, уменьшение пластичности брикетной смеси, строгое дозирование шихты в межвалковое пространство. Применение подпрессовки позволяет развить давление прессования на вальцовых прессах более 100 МПа.

Для разных металлургических процессов необходимы различные брикеты по конфигурации и объему. Для мартеновских плавок брикеты изготавливают в форме окатышей объемом до 10-30 см³, для электросталеплавильного производства орехо- или яйцевидной формы объемом до 50 см³.

Важнейший фактор прессования - давление. Для железорудных брикетов со связующими оптимальное давление прессования составляет 40-50 МПа, для железной руды без связующих - 100-120 МПа. С уменьшением крупности руды, при замене полимерных органических связующих на неорганические, давление необходимо повысить. Давление прессования также зависит от влажности руды.

Марганцевые руды можно брикетировать в широком диапазоне давлений прессования (от 25 до 74 МПа), окисленные никелевые руды при 50- 60 МПа.

Вальцовый пресс состоит из питателя-загрузчика (распределительная чаша), валков с бандажными кольцами и станины с системой гидравлического сжатия валков (рисунок 6.1).

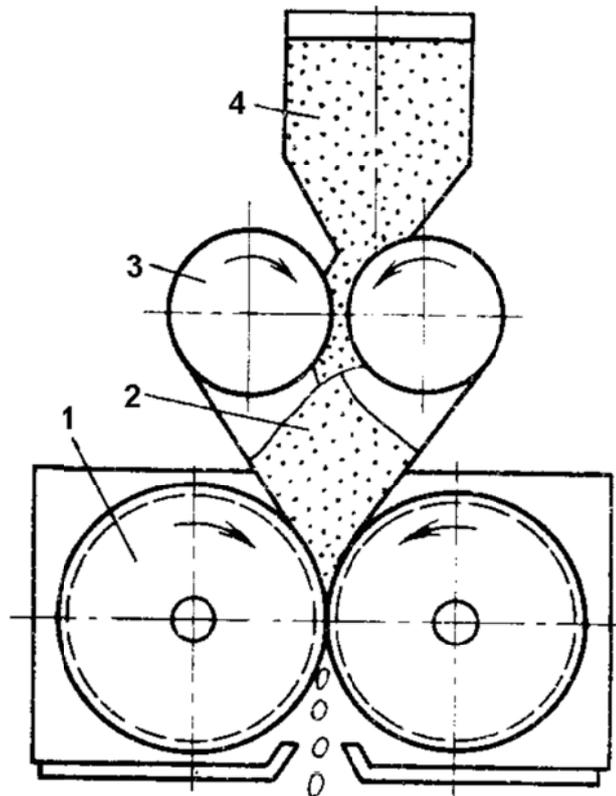


Рис1 – Схема работы вальцового пресса с валковым уплотнителем

Распределительная чаша (цилиндр из листовой стали вместимостью 0,5-1 м³) служит для равномерной загрузки валков пресса брикетной смесью. В днище чаши над каждой парой валков имеются отверстия. Через них брикетная смесь поступает в камеру загрузки перед прессованием.

Брикетная смесь из бункера 4 поступает в пространство между двумя валками 3, где происходит предварительное прессование, далее в бункер 2, из которого она выгружается под действием сил тяжести и трения вращающихся валков 1.

Валки изготовлены в виде двух пустотелых барабанов, на которые надеты бандажные кольца с ячейками в виде полуформы брикета.

Таблица 1

Техническая характеристика вальцового пресса

Параметр	Величина
Частота вращения валков, мин ⁻¹	2-12
Удельное давление прессования, МПа	20-70
Усилия, развиваемые прессом, МН	0,8
Производительность, т/ч	50

Для повышения сырой прочности брикетов применяют *комбинированные связующие*, что увеличивает адгезионные связи внутри брикетов.

При брикетировании руд без связующих, упрочение осуществляется комбинированными методами - низко- и высокотемпературной обработкой. На первом этапе брикеты подвергают естественному или слабому тепловому воздействию, что обеспечивает достаточную прочность. Затем применяются гидратационное упрочение, карбонизация или термическая высокотемпературная обработка. Однако такое упрочение без связующих не обеспечивает достаточной горячей прочности.

3. Материалы, приборы и оборудование

Для изготовления брикетов используется следующее лабораторное оборудование: прибор для отсева материалов (описан в лабораторной работе 3), технические весы и разновесы, приспособление для смешивания компонентов брикетируемой шихты, пульверизатор для распыления воды, формовочный пресс (рис. 2), пресс-формы для изготовления и испытания прочности брикетов.

4. Порядок выполнения работы

Взвесьте и тщательно перемешайте все компоненты шихты для изготовления брикетов.

Взвесьте навеску шихты для одного брикета и засыпьте ее через бумажную воронку в разобранную (предварительно смазанную) пресс-форму, которую затем соберите и установите на гидравлический пресс под упорную станину. Контролируя давление прессования, проведите брикетирование смеси. Таким образом, изготовьте несколько брикетов из различных типов шихт.

При проведении работы основной состав шихты задается, изменяются следующие параметры: тип и содержание связующего материала, давление прессования, время вылеживания брикетов и режимы обжига.

Холодную прочность брикетов определите на малом лабораторном прессе.

Первая партия брикетов подвергается естественной сушке на воздухе, вторая упрочняющему обжигу в прокалочной печи при температуре не менее 1200°C.

Для определения прочности высушенных брикетов используйте брикеты, изготовленные заранее (не менее 24 ч до момента испытания).

Механическую прочность определите по показаниям манометра гидропресса в момент разрушения брикета.

Полученные экспериментальные данные занесите в таблицу 3 и постройте графики влияния различных факторов на механическую прочность металлургических брикетов.

Сделайте выводы по работе.

Таблица 6.2

Влияние различных факторов на свойства металлургических брикетов

Фактор	Прочность брикетов, кг/см								
	сырых			высушенных			обожженных		
	номер опыта								
	1	2	3	1	2	3	1	2	3
Расход связующего, %:									
жидкое стекло (4, 6, 8)									
огнеупорная глина (6, 8, 10)									
каменноугольная смола (6, 8, 10)									
Руда хромоникелевая (остальное)									

Фактор	Прочность брикетов, кг/см								
	сырых			высушенных			обоженных		
	номер опыта								
Железорудный концентрат (остальное)									
Усилие прессования, кгс/см ²									
Время сушки, ч									

5. Контрольные вопросы

1. Охарактеризуйте технологические особенности процесса брикетирования.
2. Перечислите основные преимущества и недостатки брикетирования перед другими способами окускования железных руд.
3. Опишите технологию холодного и горячего брикетирования.
4. Какие факторы влияют на механическую прочность металлургических брикетов?
5. Объясните, почему в настоящее время технологический процесс брикетирования не находит широкого применения в черной металлургии.

Учебное издание

БРИКЕТИРОВАНИЕ РУД

Методические указания к выполнению лабораторной работы
по дисциплине «Обогащение полезных ископаемых» для студентов, обучающихся
по специальности 130400 «Горное дело»
очного отделения

Составитель

АНУЧИН Александр Владимирович

Печатается в редакции составителя

**Отпечатано в Издательстве ЮТИ ТПУ в полном соответствии
с качеством предоставленного оригинал-макета**

Подписано к печати 25.09.2014 г.
Формат 60x84/23 Бумага офсетная.
Плоская печать. Усл. печ.л. 2,79. Уч-изд. л. 2,53.
Тираж 10 экз. Заказ 1762. Цена свободная.
ИПЛ ЮТИ ТПУ. Ризограф ЮТИ ТПУ.
652000, г. Юрга, ул. Московская, 17.