

Бурый уголь белорусской химии

Александр Воробьев, д. т. н., профессор РУДН



Беларусь планирует приступить к добыче и переработке бурых углей

Глубокая переработка бурых углей для экономического развития Республики Беларусь может рассматриваться как перспективное направление. Использование конкретных видов переработки определяется особыми (горно-геологическими) условиями и глубиной залегания полезных ископаемых, мощностью и количеством угольных слоев. При оценке эффективности инновационных технологий недропользования необходимо учитывать также экологическую составляющую, как на стадии добычи, так и переработки полезных ископаемых.

Оценка ресурсов

Запасы бурого угля в Беларуси оцениваются в 1,5 млрд т: в том числе разведанные (балансовые экономически целесообразные) — в 160 млн т. Буроугольные формации распределены в республике в нескольких районах.

В настоящее время проведена детальная разведка Бриневского месторождения, на котором запасы бурого угля составляют 30 млн т. Международный аудит (в соответствии с кодексом JORC) оценил

запасы этого месторождения в 41,79 млн т. Заявленными потребителями продуктов переработки бурого угля данного месторождения являются концерн «Белнефтехим», а также многие предприятия Министерства энергетики Беларуси. Себестоимость добычи 1 тонны бурого угля на этом объекте составляет 13,5 долларов.

Запасы бурого угля Житковичского месторождения — свыше 47 млн т, а Тонезского месторождения — от 40 до

42 млн т. Заданная годовая производительность угольных разрезов составляет 3,3 млн т в год. В итоге, срок службы для северной залежи Житковичского месторождения составит 4,7 года, а для Найдинской — 5,9 лет.

Лельчицкое месторождение бурых углей расположено в Гомельской области. Эксплуатационные (извлекаемые) запасы бурого угля проектируемого горнодобывающего предприятия на этом объекте оценены в 35,715 млн т. Уголь данного месторождения обладает следующими ха-

рактеристиками: влажность — 5,0–8,8 %, средняя зольность — 34 %, выход летучих веществ — 43,2–44,9 %, содержание общей серы — 0,8–1,5 %, высшая теплота сгорания — 27,2–28,9 МДж/кг, теплота сгорания на сухое топливо — 16,0–20,4 МДж/кг. Уголь относится к переходной технологической группе, находящейся между группами 3Б (плотный маловлажный бурый уголь) и Д (длиннопламенный каменный уголь). По различным экспертным оцен-

Разведанные, экономически целесообразные запасы бурого угля в Белоруссии оцениваются в 160 млн т.

кам себестоимость добычи и погрузки в железнодорожные вагоны на этом объекте составляет 50,43 долларов за 1 тонну угля, а добычи и отгрузки потребителям — 51,36 долларов за 1 тонну. Основной тип потребителей: жилищно-коммунальное хозяйство, а также строительные организации (цементные заводы).

Кроме этого в южной части Припятского прогиба были выявлены отдельные углепроявления (Букчанское и Приболовичское), с суммарными ресурсами бурого угля около 450 млн т.

Рис. 1. Расположение основных месторождений бурого угля в Беларуси



Диаграмма 1. Удельная теплота сгорания органического топлива

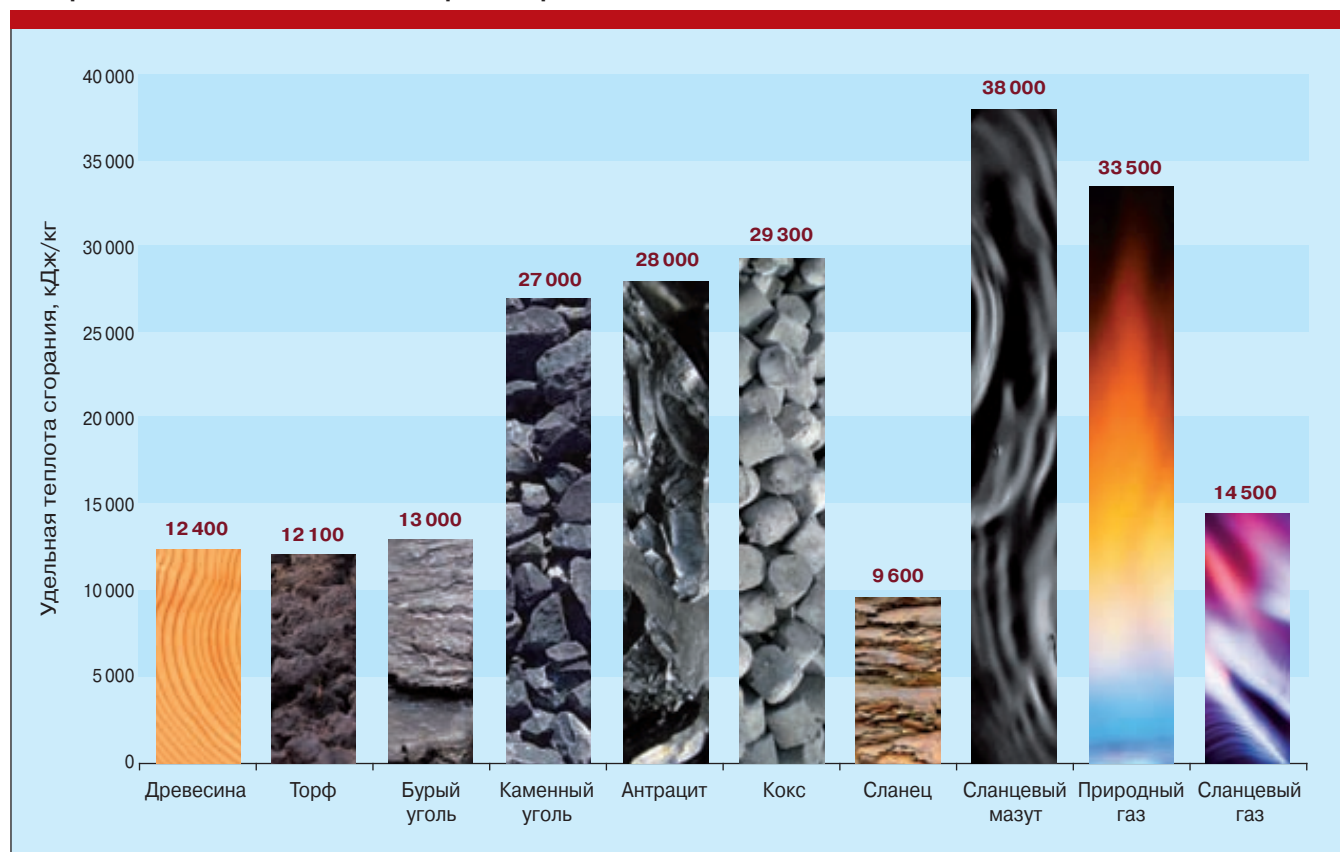
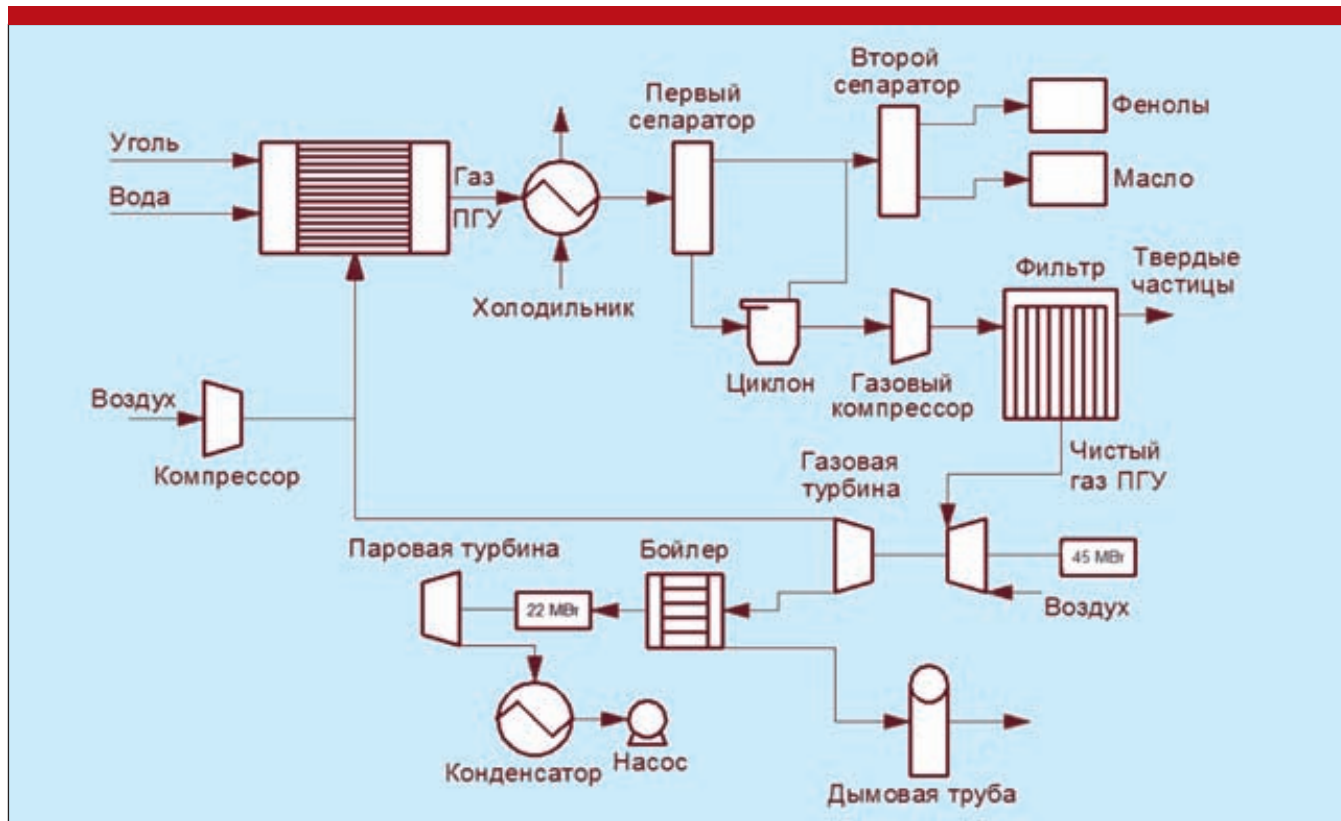


Рис. 2. Принципиальная схема комплексного предприятия ПГУ–ТЭС



Энергетическое использование

Одним из возможных способов переработки бурых углей является сжигание для нужд энергетики — выработки тепла или электроэнергии. Сжигание 1 кг такого топлива позволяет получить, в среднем, 23–27 МДж (6,4–7,5 кВт·ч) электрической энергии или — 2,0 кВт·ч электричества (при КПД 30 %).

Эффективность бурых углей Белоруссии применительно к нуждам энергетики при их сжигании в котлах с кипящим слоем довольно высокая. Наиболее перспективным является 2-х стадийное сжигание — с генерацией и последующим дожиганием полученных углеводородных газов.

Однако в соответствии с коэффициентом вскрыши, равным 3–4, из недр будет извлечено и захоронено в отвалах примерно 35 млн т горной массы, что повлияет на экологию региона. Поэтому целесообразно рассмотреть применение технологии скважинной газификации бурого угля (по месту его залегания в литосфере) — ПГУ. Такая технология может применяться для разработки угольных пластов со сложными горно-геологическими условиями залегания, при этом совмещаются процессы обогащения угля, его переработка и получение готового продукта в виде газовых смесей.

Технология ПГУ

Способ ПГУ включает в себя бурение с дневной поверхности системы скважин (до глубины залегания угольного пласта) с последующей их сбойкой (соединением) и обязательным нагнетанием воздуха (кислорода) и розжигом (созданием управляемого очага горения) угольного пласта.

Для этого в компрессорном цехе устанавливаются компрессоры 2-х типов — высокого и низкого давления. Первые предназначены для подачи под высоким давлением (5–6 МПа) в подземный газогенератор дутья на фильтрационную сбойку или проработку каналов газификации. Компрессоры низкого давления (турбовоздуходувки) подают дутье на газификацию под давлением 0,2–0,3 МПа.

Из компрессорного цеха дутье поступает в газогенераторный цех по двум системам трубопроводов и далее подводится к соответствующим скважинам. Для отбора газа из газоотводящих скважин служат коллекторы из металлических труб. Дутьевые и газовые коллекторы не являются постоянными сооружениями и по мере отработки угольного пласта периодически переносятся. На каждом газовом коллекторе устанавливаются циклоны — аппараты для улавливания крупной пыли, выносимой с газом из газоотводящих скважин. После осаждения пыли газ направляется в цех охлаждения и очистки (рис. 2).

Предварительное охлаждение извлекаемого углеводородного газа может проводиться непосредственно в газоотводящих скважинах. Для этого в каждую из них опускается трубка для подачи воды (диаметром 12–18 мм) с распылителем на конце.

В состав цеха охлаждения и очистки газа входят скрубберы, градирня, циркуляционная система охлаждающей воды, отстойники, электрофильтры и установка сероочистки.

Вначале углеводородный газ поступает в скрубберы, где охлаждается до температуры 30–35 °С и одновременно дополнительно очищается от пыли и частично от смолы. Далее он поступает в электрофильтры, где окончательно очищается, а после этого в скрубберы сероочистки для извлечения сероводорода. Затем газ направляется в транспортный цех, где установлены турбогазоудувки, подающие топливо потребителям.

Жидкое топливо

В 70–80-е годы XX века в СССР была создана экономически эффективная технология переработки бурых углей методом гидрогенерации под довольно невысоким (6–10 МПа) давлением водорода, позволяющая рентабельно производить высококачественный бензин, дизельное топливо, бензол и т. д.

Для получения объективной геологической информации и необходимого объема геоматериала для лабораторных исследований, РУП «Белгеологией» на месторождениях бурого угля Беларуси для получения кернов было пробурено 25 скважин, средней глубиной 90 м и общим метражом 2250 м.

Для непосредственного проведения лабораторных исследований термохимического разложения бурого угля на жидкие и газообразные углеводороды в Институт проблем использования природных ресурсов и экологии Национальной академии наук Беларуси было направлено 2,5 тонны бурых углей. Проведенные на этом материале лабораторные эксперименты показали, что термическое разложение (при температуре 600 °С) бурых углей Бриневского месторождения обеспечивает выход жидких углеводородов в объеме 17–21 %, газообразных — 19–22 %, а полукокса — около 60 %.

С целью разработки современной инновационной технологии эффективного получения из бурого угля синтетических жидких топлив в лабораторных условиях детально исследованы состав и структура бурого угля с получением закономерностей их изменения в зависимости от его возраста.

Установлено, что при определенных условиях взаимодействия с реакционной средой бурый уголь из первоначального твердого агрегатного состояния (даже при нормальной температуре и атмосферном давлении) переходит в жидкое агрегатное состояние. Это позволило разработать принципиально новую технологию получения из бурого угля синтетических жидких топлив, которая включает следующие основные стадии: ожигение, очистку и плазмохимический каталитический крекинг.

В соответствии с данной технологией на первой стадии осуществляется процесс ожигения бурого угля. Для этого в размольно-смесительный аппарат, представляющий собой 2-х червячный смеситель непрерывного действия, загружается бурый уголь и специальные модифицирующие добавки.

В процессе последующего измельчения и гомогенизации компонентов такой смеси осуществляется полноценная модификация бурого угля: значительно изменяется его первоначальная высокомолекулярная структура и состав исходных фрагментов, а также разрушаются существовавшие электронно-донорно-акцепторные связи, что приводит к деструкции угля и его превращению в жидкую углеводородную смесь по всем физико-химическим свойствам близкую к нефти.

Целенаправленно управлять реакциями разрыва химических связей возможно путем избирательного введения металлов-катализаторов в функциональные группы угольного вещества. Например, температура разрыва алифатической



Карьер по добыче бурого угля Йеншвальд (Германия). Бурый уголь занимает первое место среди местных энергоносителей в Германии

связи, соединяющей два ароматических фрагмента, существенно снижается, если катион двухвалентного металла (катализатора) замещает протоны двух соседних фенольных групп.

На этой основе разработана принципиально новая плазмохимическая технология переработки бурого угля,

а равномерно в эту же колонну снизу, а сверху на него накладывается мощный поток микроволнового излучения.

В итоге в объеме катализатора генерируется микроволновая плазма, разогревающая катализатор, реагент и угольную загрузку до необходимой (по реакционным условиям) температуры. В результате

Новая технология получения жидких топлив из бурого угля включает стадии: ожигение, очистка, плазмохимический каткрекинг.

осуществляемая в одну стадию, на выходе которой получают низкооктановый и высокооктановый бензины, а также дизельное и жидкое топливо для энергетических установок.

В соответствии с этой технологией переработка бурого угля осуществляется в плазмохимическом реакторе, который представляет собой стальной вертикальный аппарат колонного типа. В корпусе реактора размещен стационарный слой катализатора необходимого объема. Очищенный и подготовленный бурый уголь при нормальной температуре подает-

ся осуществляется каталитический крекинг углеводородного сырья и другие специфические реакционные превращения.

В верхнюю зону колонны в газообразном виде поступает катализатор, который затем выводится из колонны и возвращается в начало процесса — на стадию приготовления перерабатываемой смеси.

Каталитические превращения

Для обеспечения каталитических превращений угля применяются 2 основные

Рис. 3. Реакция разрыва алифатической связи при введении металла-катализатора

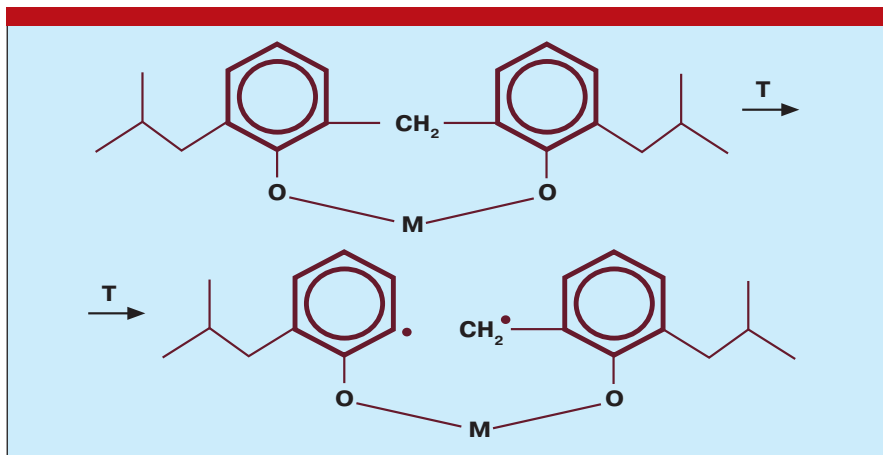
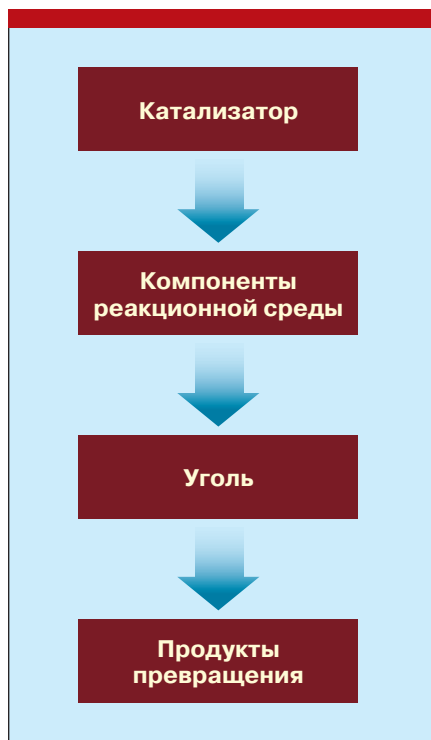


Рис. 4. Схема каталитических превращений угля



группы методов. Одна из них включает каталитические превращения только на границе раздела фаз поверхность угля — катализатор. Другая характеризуется тем, что каталитические превращения угля происходят путем передачи действия катализатора через жидкие или газообразные компоненты реакционной среды (см. рис. 4).

Разработаны разнообразные способы (рис. 5) применения катализаторов в процессах химического превращения углей. Самый хороший контакт для последующих реакций достигается при

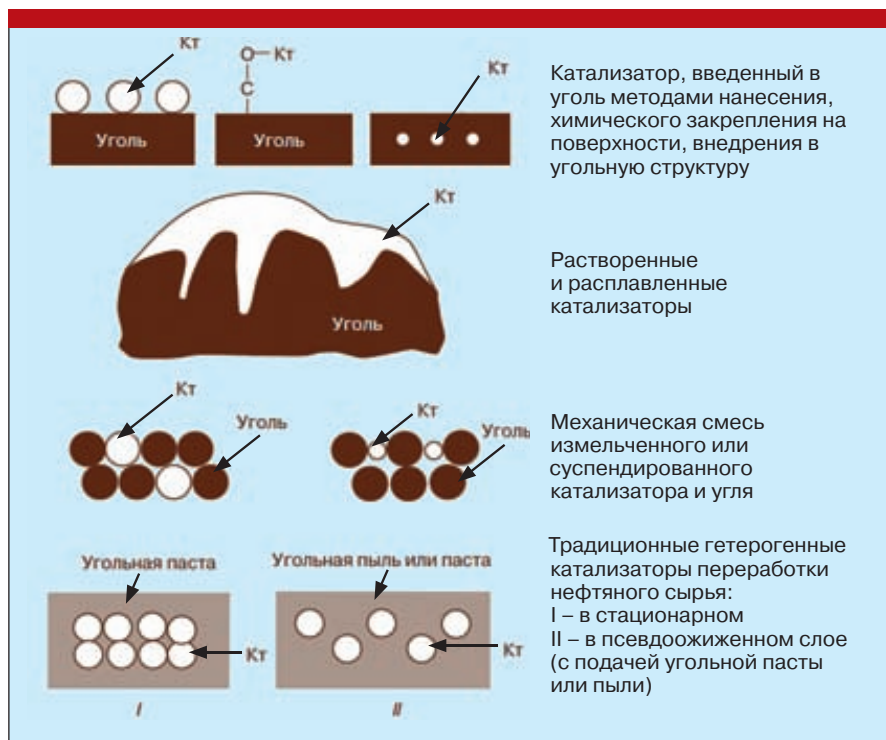
Для получения 4 млн т синтетической нефти необходимо переработать в заводских условиях 10 млн т бурого угля.

введении в уголь катализатора методами химического связывания с наиболее реакционно-способными группами (например, $-\text{COOH}$, $-\text{CH}_2\text{OH}$) на поверхности угля или внедрения в объем угольного вещества, а также при использовании катализаторов в растворенном, расплавленном или летучем состояниях.

Длительность процесса гидрогенизации угля, как правило, определяется объемной скоростью его подачи в реакционную камеру. Эта скорость зависит от типа угля, его фазового состояния, катализаторов, значений температуры и давления процесса.

Оптимальная объемная скорость гидрогенизации подбирается эмпирически и обычно составляет 0,8–1,4 т на 1 куб. м реакционного объема в час.

Рис. 5. Способы применения катализаторов (Кт) в процессах превращения углей



Катализатор, введенный в уголь методами нанесения, химического закрепления на поверхности, внедрения в угольную структуру

Растворенные и расплавленные катализаторы

Механическая смесь измельченного или суспендированного катализатора и угля

Традиционные гетерогенные катализаторы переработки нефтяного сырья:
I – в стационарном слое
II – в псевдооживленном слое (с подачей угольной пасты или пыли)

Образующиеся продукты реакции гидрогенизации разделяются в сепараторе на парогазовую смесь и тяжелый остаток — шлам. Технологически, первоначально выделяют жидкие продукты (масло и воду) и газ, который после отделения предельных углеводородов ($\text{C}_1 - \text{C}_2$), NH_3 , H_2S , CO_2 и CO , H_2O обогащают 95–97%-ным водородом и вновь возвращают в технологический процесс.

Шлам же разделяют на жидкие продукты и твердый остаток. Жидкие продукты после отделения воды подвергают дистил-

Так, по Бриневскому месторождению капитальные затраты (суммарные инвестиции в основные средства) составляют 1435,4 млн долларов, операционные и эксплуатационные затраты — 44,55 млн долларов, по Житковичскому месторождению — 391,3 млн долларов и 74,75 млн долларов соответственно, а по Тонезскому месторождению — 262,3 млн долларов и 45,4 млн долларов.

По Бриневскому месторождению объем требуемых инвестиций в уставный капитал, технологии и технологические процессы составляет 267,16 млн долларов, по Житковичскому месторождению — 391,3 млн долларов, по Тонезскому месторождению — 262,3 млн долларов. Требуемые инвестиции для Лельчицкого месторождения в уставный капитал, технологии и технологические процессы составляет 578,7 млн долларов, а капитальные затраты (суммарные инвестиции в основные средства) оцениваются в 508 млн долларов.

Кроме этого, при оценке эффективности различных вариантов технологий освоения месторождений бурого угля следует учитывать рентабельность, срок окупаемости затрат, время строительства предприятия и годовой экономический эффект.

Стоит обратить внимание и на социальные факторы — условия труда рабочих. С этой точки зрения ПГУ гораздо перспективнее других методов, так как он не требует создания горных выработок и необходимости присутствия в них персонала.

ляции на фракцию с температурой кипения до 325–400 °С и остаток, который возвращают в технологический процесс.

Что касается экологической составляющей, то необходимо принимать во внимание: для получения 4 млн т синтетической нефти (жидкого топлива) необходимо переработать в заводских условиях около 10 млн т бурого угля. При этом в атмосферу будет выброшено около 1,2 млн т углерода, 80 тыс. т углекислого газа и образовано 700 тыс. т золы.

Инвестиции

На развитие инновационных технологий недропользования существенное влияние оказывают экономические показатели, выдвигаемые заказчиком.

Диаграмма 2. Капитальные затраты (суммарные инвестиции в основные средства)

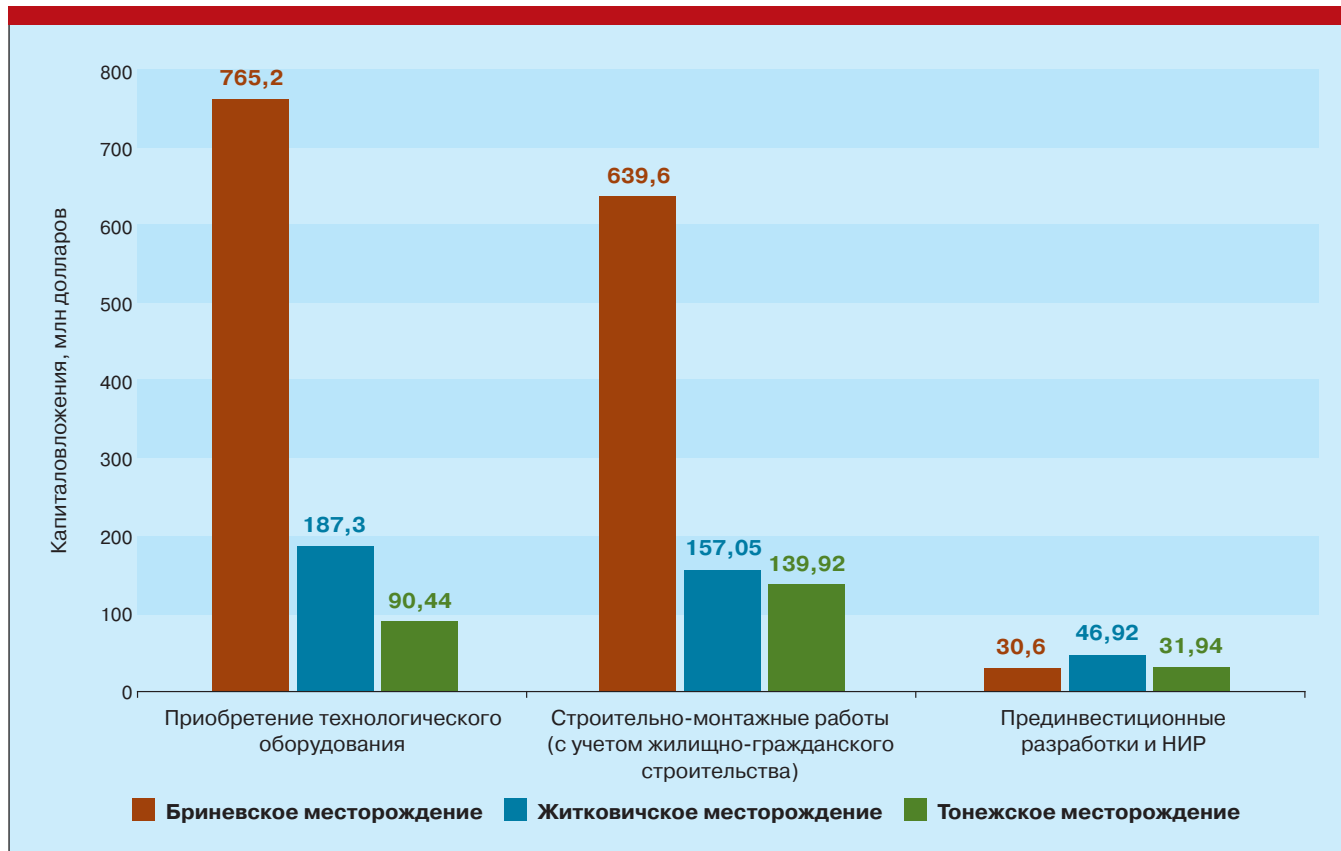


Диаграмма 3. Операционные и эксплуатационные затраты

