

*В.И. Багрянцев, С.А. Казимиров, А.И. Куценко, А.П. Подольский,
А.А. Рыбушкин, М.В. Темлянец*

Сибирский государственный индустриальный университет

ПРАКТИКА И ПЕРСПЕКТИВЫ ИСПОЛЬЗОВАНИЯ ТВЕРДЫХ УГЛЕРОДСОДЕРЖАЩИХ ОТХОДОВ В КАЧЕСТВЕ ТОПЛИВА ДЛЯ ТЕПЛОЭНЕРГЕТИЧЕСКИХ АГРЕГАТОВ

В условиях ежегодного роста цен на энергоносители и электроэнергию особую актуальность приобретают изыскания, направленные на поиск новых, более дешевых видов топлива. Весьма перспективными в этом плане являются нетрадиционные, возобновляемые источники энергии, такие как энергия ветра, солнца и т.п. Однако для большинства регионов России вследствие их климатических особенностей и географического положения они не находят широкого практического применения. Традиционно к основным видам топлива для теплоэнергетических агрегатов относят уголь, мазут и природный газ. При этом экономическая эффективность их применения в значительной степени предопределена близостью месторождений полезных ископаемых и затратами на транспортирование топлива. В таких условиях многократно возрастает интерес к местному топливу, а особенно к дешевому, на основе техногенных отходов.

Проведем анализ видов и объемов запасов углеродсодержащих техногенных отходов на примере Кузбасса и соседних регионов.

Отходы углеобогащения

Кузбасс является одним из основных угледобывающих регионов страны. В настоящее время в Кузбассе накоплено около 3 млрд. т твердых техногенных и бытовых отходов, основной объем которых составляют отходы обогащения угля. Такие значительные объемы именно этих видов отходов связаны с тем, что при реализации действующих на углеобогачительных фабриках технологий в отходах углеобогащения содержание угля может достигать 25 % и более. Большинство имеющихся отходов углеобогащения можно охарактеризовать как высокозольные, окисленные, повышенной влажности, мелкодисперсные. В силу невысокой удельной теплоты сгорания и низкой газопроницаемости угольные отходы такого рода

не пригодны для сжигания традиционным способом, например в топках слоевого сжигания. И как следствие такие отходы направляются в отвалы, образуют отчуждение больших полезных территорий для хранения твердых отходов и под санитарно-защитные зоны угледобывающих предприятий.

Многочисленные попытки ученых разработать на основе отходов углеобогащения новые виды топлива шли в основном по пути окомкования (создания топливных гранул) или брикетирования (создания топливных брикетов) дисперсных материалов. В обоих случаях получаемое топливо ориентировано на сжигание в топках с плотным слоем, которые имеют ряд существенных недостатков: относительно высокий химический и физический недожог, значительные выбросы в атмосферу вредных веществ и др. При окомковании и брикетировании решающую роль играют выбор связующего и технологии, определяющие стоимость и прочностные характеристики получаемого топлива. С теплотехнической точки зрения окомкование и брикетирование по отношению к мелкодисперсному сжиганию являются нежелательными процессами, поскольку, консолидируя дисперсное топливо, они уменьшают его поверхность реагирования, соответственно снижают интенсивность процессов теплогенерации.

Достаточно апробированным направлением является изготовление на основе отходов углеобогащения водоугольного топлива (ВУТ), водоугольных суспензий (ВУС) или кавитационного водоугольного топлива (КаВУТ) [1, 2]. Оно основано на создании жидкого топлива, углеродсодержащим компонентом которого являются угольные шламы, образующиеся при обогащении, гидродобыче углей, или измельченные (сухим или мокрым способом) до крупности 0 – 100 мкм угольные частицы. Транспортирующей жидкой фазой является вода, для увеличения доли твердой фазы, жид-

коподвижности ВУТ и предотвращения его расслоения (осадка дисперсных частиц, образования водяных прослоек и линз) в состав топлива вводят специальные присадки и добавки. Эффективным способом снижения содержания воды в суспензиях при сохранении их вязкостных характеристик, достаточных как для хранения, так и для перекачки суспензий по трубопроводам, является введение в них специальных химических добавок – поверхностно-активных веществ. Основное свойство последних – способность прочно связываться с поверхностями частиц, покрывая их мономолекулярным слоем. Добавки поверхностно-активных веществ не только снижают вязкость суспензий, но и переводят влагу в угольных частицах из связанного в свободное состояние и позволяют, тем самым, проводить более глубокое обезвоживание суспензий.

КаВУТ имеет ряд особенностей [2]. Его приготовление характеризуется высоким уровнем местного динамического компрессионного и температурного воздействия на обрабатываемый материал. Твердые частицы измельчаются до высокой степени дисперсности, а суспензия приобретает целый ряд новых свойств, в частности, стабильность на протяжении длительного времени и высокую пластичность при содержании твердой фазы до 70 %. Высушенное топливо переходит в состояние устойчивой суспензии при добавлении воды, причем без механического воздействия; топливо не увеличивает объем при замерзании, а после размораживания восстанавливает свои исходные свойства.

Полученное ВУТ сжигают по аналогии с жидким топливом с применением специальных форсунок. Вследствие высокой влажности и зольности водоугольные суспензии имеют ограниченную область применения. Их используют в основном как топливо для теплоэнергетических агрегатов, водогрейных и паровых котлов.

Сжигание ВУТ является интенсивно развивающимся направлением, технологии, агрегаты и устройства для его приготовления и сжигания непрерывно совершенствуются. В частности, в Сибирском государственном индустриальном университете (СибГИУ) разработаны новые технические решения по приготовлению топлива на основе процессов пневмокавитации, обеспечивающих повышение реологических свойств топлива, гомогенность и некоторое улучшение его энергетических характеристик. Созданы новые конструкции форсунок внешнего смешения, менее требователь-

ные к качеству топлива и повышающие эффективность его сжигания.

ВУТ и КаВУТ имеют ряд существенных преимуществ по сравнению с пылеугольным топливом. Топливо пожаро- и взрывобезопасно, наличие в его составе воды соответствующим образом влияет на кинетику процессов горения, интенсифицируя ее. Для ВУТ характерны гораздо меньшие, по сравнению со сжиганием топлива в плотном слое, выбросы в атмосферу вредных веществ, в том числе оксидов азота и монооксида углерода. К недостаткам ВУТ, приготовленного по традиционной схеме, обычно относят: сложную и дорогостоящую систему топливоподготовки; необходимость реализации специальных мероприятий по повышению износостойкости форсунок и топливоподводящей системы (высокое содержание твердых частиц в ВУТ приводит к интенсивному износу элементов перекачивающих насосов, трубопроводов, запорной и регулирующей арматуры, а также сопел форсунок); сложность транспортирования на большие расстояния в условиях отрицательных температур и др. [1, 2].

Перспективным направлением является сжигание пылеугольного топлива в открытом факеле или кипящем слое (пузырьковом или циркулирующем) [2]. Эти технологии позволяют сжигать мелкодисперсный, не обводненный углеродсодержащий материал. Для них характерна развитая поверхность реагирования топлива, как следствие – интенсификация горения. Движение твердых частиц в газовом потоке способствует его турбулизации и повышению степени черноты, это значительно интенсифицирует процессы конвективного и радиационного теплообмена, снижает химический и механический недожег.

По данным работ [2, 3] особенностью сжигания углеродсодержащего топлива в кипящем слое является то, что количество твердых частиц в нем составляет всего 5 – 10 % от общей массы слоя, это делает его своеобразным муфелем, термически инерционным и стабильным. В таких условиях изменение свойств и теплотехнических характеристик топлива в меньшей степени сказывается на работе теплоэнергетического агрегата по сравнению, например, с плотным слоем. В связи с этим технологию кипящего слоя применяют для сжигания низкосортных топлив и отходов угледобычи и углеобогащения. При использовании такого топлива температура слоя обычно не превышает 800 – 900 °С, это практически исключает образование термических оксидов азота. Для связывания оксидов серы (актуаль-

но при сжигании высокосернистых углей) возможно добавление сорбента (как правило известняка) [2].

В то же время при сжигании пылеугольного топлива в зависимости от условий сжигания могут возникать проблемы с взрыво- и пожаробезопасностью, что требует разработки специальных защитных мероприятий.

Особенностью способа является то, что зола топлива переходит в продукты сгорания и при отсутствии аппаратов пылеочистки уносится через дымовую трубу в окружающую среду, загрязняя атмосферу. Поэтому при сжигании пылевидного топлива обязательно должны устанавливаться пылеочистные сооружения сухой и/или мокрой очистки газов, что в зависимости от способа очистки удорожает весь технологический процесс [1]. Одним из перспективных направлений снижения выбросов твердых частиц в атмосферу является применение вихревых пылеуловителей. В СибГИУ разработан пылеуловитель вихревой для очистки запыленных газов, улавливания сухой мелкодисперсионной пыли. Конструкция пылеуловителя проста в изготовлении, надежна в работе благодаря отсутствию приводных механизмов и фильтрующих материалов. Пылеуловитель имеет высокие рабочие характеристики, в частности нижний предел сепарируемых (осаждаемых) частиц составляет $\alpha_{\min} \approx 5$ мкм. Опытный образец пылеуловителя установлен в котельной г. Киселевск. Общий вид пылеуловителя показан на рис. 1.

Технология сжигания пылеугольного топлива в кипящем слое весьма чувствительна к фракционному составу частиц. Так при чрезмерно тонком помоле частицы уносятся продуктами сгорания, а при чрезмерно грубом оседают, образуя аналог плотного слоя. Топки для сжигания топлива в кипящем слое имеют

достаточно развитое рабочее пространство. При создании котлов большой мощности с кипящим слоем имеются определенные сложности, которые связаны с необходимостью организации равномерной подачи топлива в кипящий слой большой площади. Для таких котлов характерна относительно низкая тепловая нагрузка на единицу площади пода из-за малых скоростей подачи воздуха под решетку, связанных с высоким уносом твердых частиц [2].

Золошлаковые отходы котельных и ТЭЦ

В основном золу и шлаки котельных и ТЭЦ рассматривают как сырье для производства строительных материалов, однако такие отходы могут представлять определенный интерес как топливо или его компоненты. В зависимости от конструкции котельного агрегата, используемого вида топлива и технологии сжигания золы и шлаки могут содержать до 10 – 15 % (а в некоторых случаях и более) углерода. При слоевом сжигании твердого топлива часть его может проваливаться через колосниковую решетку, мелкие частицы уносятся продуктами сгорания, поверхность кусков ошлаковывается, при этом прекращается доступ кислорода к центральной углеродсодержащей части куска. Все эти явления формируют механический недожег, который и является причиной высокого содержания углерода в золошлаковых отходах. Несмотря на достаточно большие объемы этого типа отходов их масштабное использование в качестве топлива затруднено вследствие высокой нестабильности состава, а конкретно – содержания углерода, низкой теплоты сгорания, необходимости дробления шлаков и др.

Коксовая пыль (мелочь)

Коксовая пыль образуется в процессе производства кокса. Она характеризуется высокими теплотой сгорания и содержанием углерода, однако объемы ее образования относительно невелики. Оптимальной технологией утилизации коксовой пыли считается брикетирование [4]. Получаемые брикеты впоследствии используются в качестве топлива и восстановителя в металлургическом производстве.

Отходы лесозаготовительной и деревообрабатывающей промышленности

К углеродсодержащим отходам лесозаготовительной и деревообрабатывающей промышленности обычно относят древесные опилки,

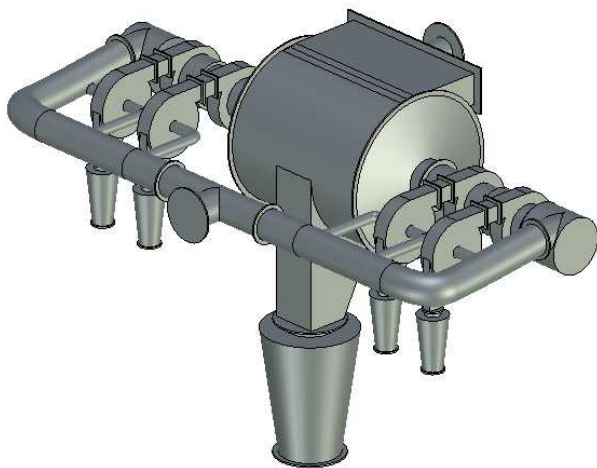


Рис. 1. Общий вид вихревого пылеуловителя

стружку, неделовую древесину и т.п. Интерес к подобному рода отходам предопределен рядом факторов. По данным [5] Россия обладает 25 %-ми мировых запасов древесины, при этом выход отходов при деревообработке в отдельных случаях может достигать 50 – 80 %. Среднестатистическая лесопилка превращает около 60 % древесины в доски, при этом около 12 % уходит в опил, 6 % – в концевые обрезки и 22 % – в горбыль и обрезки кромок [6]. Объем опила и стружки при деревообработке достигает 12 % от исходного сырья [6].

Сфера утилизации отходов лесозаготовительной и деревообрабатывающей промышленности весьма широка. В нее входит производство древесно-волоконистых и древесно-стружечных плит, древесно-слоистых пластиков, древесно-цементной массы, целлюлозно-бумажная промышленность, сельское хозяйство (удобрение, кормовые добавки, подстилка и пр.) и др. Особым направлением является использование таких отходов в качестве топлива. Преимуществами древесины как топлива является низкая зольность (в большинстве случаев менее 1 %) и отсутствие серы (повышенной сернистостью обладает только кора хвойных деревьев) [1, 5]. Этот вид топлива гораздо более экологичен чем уголь, мазут и дизельное топливо. В то же время для древесины характерна высокая влажность, опилки характеризуются склонностью к самовоспламенению и малой насыпной плотностью. Учитывая последнее, их перевозка на расстояния более 20 – 40 км и использование в качестве топлива экономически не выгодны [6]. Для повышения насыпной плотности опилок их гранулируют с помощью специальных технологий, получая древесные гранулы (пеллеты) или брикеты [5].

Сельскохозяйственные отходы

К углеродсодержащим сельскохозяйственным отходам относят солому, лузгу подсолнечника, проса, риса и др. [7].

Солома и лузга обладают еще меньшей насыпной плотностью, чем опилки. Поэтому логистические и экономические требования к использованию отходов сельского хозяйства в качестве топлива для энергетических объектов, удаленных от места их сбора и хранения, однозначно предопределяют необходимость их гранулирования [7].

В отличие от древесных отходов сжигание отходов сельского хозяйства сопряжено с рядом трудностей, обусловленных их химическим составом. Так, содержащийся в соломе азот увеличивает эмиссию NO_2 . Большое со-

держание хлора в соломе овса, ячменя и рапса приводит к повышенной коррозии теплообменного оборудования. Значительное содержание калия снижает температуру плавления золы, что способствует образованию шлаковых агломератов, которые препятствуют нормальной работе котлов. Анализ химического состава показывает, что агломераты состоят из легкоплавкой эвтектики $\text{K}_2\text{O} - \text{SiO}_2$, образованию которой способствует также накопление калия в слое [7].

Фактически все перечисленные технологии сжигания топлива из углеродсодержащих отходов находят определенное практическое применение, однако их недостатки ограничивают область распространения, а самое главное снижают тепловую эффективность агрегатов, экономичность и экологичность их работы. В связи с этим разработка более универсальных видов и технологий сжигания твердого углеродсодержащего топлива по-прежнему остается актуальной научно-практической задачей, имеющей большое значение для регионов со значительными объемами образования техногенных отходов.

На основе проведенного анализа можно выделить ряд перспективных направлений, обеспечивающих повышение тепловой и экономической эффективности использования твердых углеродсодержащих отходов в качестве топлива для теплоэнергетических агрегатов:

- 1) максимальное сокращение транспортных расходов посредством использования топлива по месту образования отходов;
- 2) обеспечение развитой реакционной поверхности топлива, отказ от окомкования и брикетирования;
- 3) переход на более совершенные технологии, чем сжигание твердого топлива в плотном слое;
- 4) реализация мероприятий, интенсифицирующих теплообменные процессы, повышающих эффективность сжигания низкокалорийного топлива.

Коллективом ученых и инженеров СибГИУ разработаны агрегаты и технологии сжигания различных видов углеродсодержащего топлива из техногенных отходов с целью генерации тепловой энергии. Для сжигания дисперсных углеродсодержащих отходов создан агрегат, основу которого составляет топка внешнего сжигания. Принцип работы топки основан на сжигании смеси воздуха и твердых частиц в потоке высокоинтенсивного газо-пламенного вихря, вращающегося вокруг горизонтальной оси с большой скоростью.

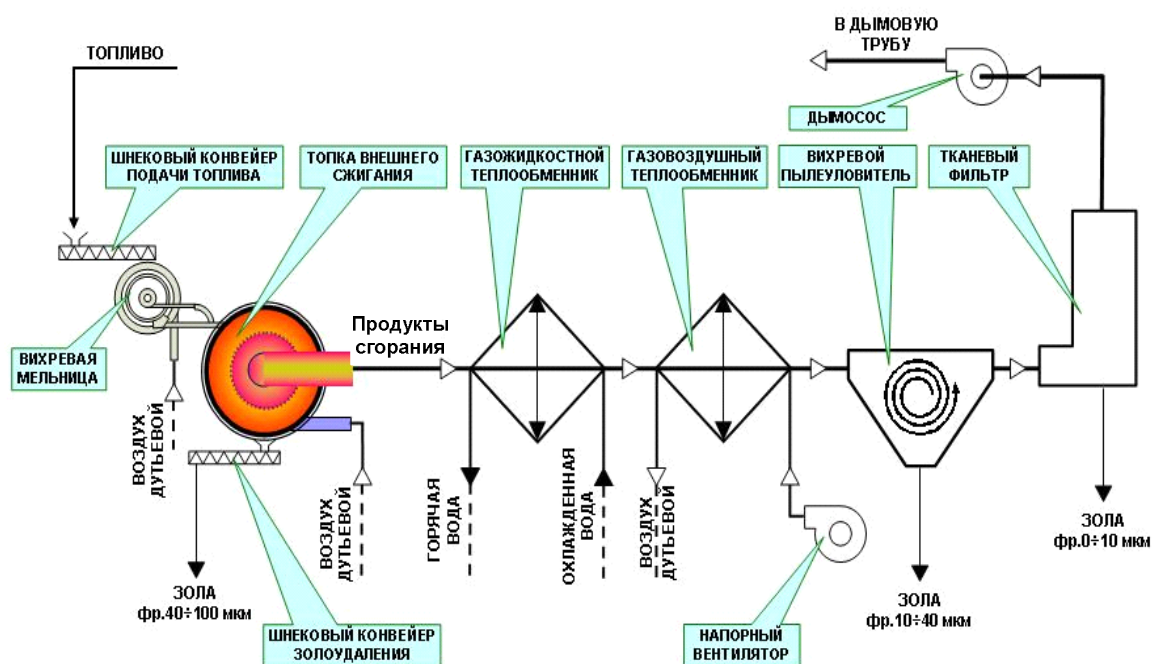


Рис. 2. Схема экспериментальной установки сжигания некондиционного топлива в вихревой топке

Схема экспериментальной установки сжигания некондиционного топлива в вихревой топке показана на рис. 2.

Топливо в топку подается потоком воздуха из вихревой мельницы. Закрученный газовый поток создается неподвижными лопатками закручивающего аппарата при прохождении через них потока дутьевого воздуха. Дутье обеспечивает специальный напорный вентилятор. С целью повышения КПД топки и сокращения расхода топлива предусмотрен подогрев воздушного дутья до $100\text{ }^{\circ}\text{C}$. Потоки смеси воздуха и твердых частиц направлены в одну сторону. Высокая интенсивность тепло- и массообменных процессов в системе газ – твердое топливо обеспечивает высокие скорости горения с эффективностью сжигания не менее 95 %.

Продукты сгорания с температурой более $1000\text{ }^{\circ}\text{C}$ эвакуируются из топки по двум газоходам, расположенным с торцов топки. С продуктами сгорания из топки во взвешенном состоянии удаляется мелкая (летучая) зола (фракции до 40 мкм). Ее доля в общей массе золы составляет до 70 %. Более крупная зола (фракции 40 – 100 мкм) концентрируется по периферии вихревого потока и удаляется через щелевой канал по специальным течкам на шнековый конвейер золоудаления в узел утилизации золы.

В качестве топлива возможно использование отходов: углеобогащения, золошлаковых, лесозаготовительной и деревообрабатывающей промышленности, сельскохозяйственных.

Основные требования к топливу при сжигании отходов углеобогащения следующие: гранулометрический состав представлен фракцией 0 – 10 мм (содержание фракции 0 – 5 мм не менее 70 %), влажность и зольность на рабочую массу не более 17 и 45 % соответственно, выход летучих не менее 11 %; низшая теплота сгорания не менее $4000 - 5200\text{ ккал/кг}$ ($16,6 - 21,6\text{ МДж/кг}$).

В зависимости от дисперсного состава и вида применяемого топлива топка комплектуется дополнительными устройствами для осуществления его помола, сушки, при сжигании опилок и лузги – специальным загрузочным устройством.

Выводы. На основе проведенного анализа обобщены и систематизированы сведения о различных видах твердых техногенных углеродсодержащих отходов, используемых в качестве топлива для теплоэнергетических агрегатов, рассмотрены достоинства и недостатки технологий их сжигания. Выделены наиболее перспективные направления, обеспечивающие повышение тепловой и экономической эффективности использования твердых углеродсодержащих отходов в качестве топлива для теплоэнергетических агрегатов.

БИБЛИОГРАФИЧЕСКИЙ СПИСОК

1. Лисиенко В.Г., Щелоков Я.М., Ладыгин М.Г. Топливо. Рациональное сжигание, управление и технологиче-

- ское использование: Справочное издание в 3-х кн. Кн. 1 / Под ред. В.Г. Лисиенко. – М.: Теплотехник, 2004. – 608 с.
2. Б у р д у к о в А.П., М а т у з о в С.В. Сжигание отходов углепереработки в котле кипящего слоя // Уголь. 2012. № 12. С. 69 – 72.
 3. К о р ч е в о й Ю.П., М а й с т р е н к о А.Ю., Т о п а л А.И. Экологически чистые угольные энерготехнологии. – Киев: Наукова думка, 2004. – 186 с.
 4. Ш у в а л о в Ю.В., Н и ф о н т о в Ю.А., Н и к у л и н А.Н. Брикетирование нетрадиционных видов топлив // Горный информационно-аналитический бюллетень. 2005. № 9. С. 161 – 166.
 5. Д у б и н и н В.С., Л а в р у х и н К.М., С т е п а н о в а Т.А. и др. Использование древесины и растительных отходов с целью получения искусственного экологиче-
 - ски чистого твердого топлива для децентрализованного энергоснабжения России // Промышленная энергетика. 2006. № 9. С. 44 – 47.
 6. Ф и л и н а Н.А., А л и б е к о в С.Я. Технология утилизации древесных и нефтесодержащих отходов с целью получения тепловой энергии // Безопасность жизнедеятельности. 2010. № 10. С. 32 – 37.
 7. И с ъ е м и н Р.Л., К у з њ м и н С.Н., В и р я с о в Д.М. и др. Котел для бесплакового сжигания сельскохозяйственных отходов // Промышленная энергетика. 2011. № 11. С. 55 – 58.

© 2013 г. В.И. Багрянцев, С.А. Казимиров, А.И. Куценко, А.П. Подольский, А.А. Рыбушкин, М.В. Темлянцева
Поступила 20 сентября 2013 г.

УДК 621.313.2

А.Н. Савельев¹, М.В. Кипервассер¹, Д.С. Аниканов²

¹Сибирский государственный индустриальный университет

²ООО «ПНУ ОК «СШС»

ОДИН ИЗ ПОДХОДОВ К РАСПОЗНАВАНИЮ АВАРИЙНЫХ СИТУАЦИЙ НА ШАХТНЫХ ПОДЪЕМНЫХ УСТАНОВКАХ

Клетевые и скиповые шахтные подъемы относятся к основным технологическим агрегатам, обеспечивающим работу подземных горнодобывающих предприятий. От их надежной и безотказной работы зависят безопасность и производительность предприятия в целом.

Узлы и агрегаты подъемных установок в процессе работы подвергаются значительным нагрузкам, действие которых приводит к постепенному износу и выходу из строя механизма по тем или иным причинам. Доступ к быстро изнашивающимся узлам и деталям агрегата у персонала установки ограничен, что исключает непрерывную оценку их состояния. По этой причине возникающие неисправности и аварии выявляются несвоевременно, а их характер устанавливается зачастую неверно, что многократно увеличивает потери производства. В этой связи своевременное и точное определение места и характера повреждения является важной для производства задачей. В

сложившихся условиях для постоянной оценки состояния клетевых и скиповых шахтных подъемов может быть использован метод энергетической оценки работы привода [1].

Рассмотрим работу одного из основных механизмов, обеспечивающих технологический процесс рудной шахты, – скипового подъема [2]. Этим термином объединяется довольно сложный комплекс узлов и агрегатов, включающий:

- коренную часть подъема (барабан, тормозные устройства, опорные подшипники и т.д.) (рис. 1);
- подъемные сосуда (скипы) с прицепными устройствами и канатами;
- загрузочные устройства (дозаторы), шахтный ствол с направляющими проводниками, разгрузочные «кривые»;
- электрический двухдвигательный привод постоянного тока со схемой управления.