

## РАЗДЕЛ 1

# СОВРЕМЕННОЕ СОСТОЯНИЕ БРИКЕТИРОВАНИЯ УГЛЕЙ И ПЕРЕРАБОТКИ ШЛАМОВ

### 1.1. Экономическая целесообразность использования бурого угля в Украине

Значительное количество публикаций, касающихся сложившейся ситуации с энергоносителями в Украине, а также ряд постановлений, принятых Кабинетом Министров Украины, свидетельствуют о том, что процессы переосмысления роли энергоносителей и переориентации, которые начались в экономически развитых странах мира четверть века тому назад, наконец, коснулись и нашего государства.

США, как и большинство стран Европы и Азии, за последние 20 лет привели свое энергопотребление в соответствие с собственными естественными запасами энергоносителей.

Структура потребляемых Украиной энергоносителей (угля, газа, нефти) такая, что до 65 % из них импортируется. В общем объеме всего импорта Украины на закупку энергоносителей тратится до 40 % средств. Вопрос оплаты импортных энергоносителей на протяжении длительного периода времени остается одним из наиболее болезненных в сфере внешнеэкономических отношений.

Таким образом, энергетика Украины сегодня нуждается в разработке долгосрочных стратегических решений, которые в значительной мере повлияют на ее экономическое развитие в первой половине XXI ст. При этом выбор вида энергоносителя имеет первостепенное значение, и мировая тенденция использования собственных энергоносителей, несомненно, станет господствующей.

Бурый уголь отличается от других ископаемых энергоносителей экономически привлекательными запасами, которые в Украине составляют 8 млрд тонн.

В Европе, где запасы нефти и газа ограничены, бурый уголь – один из основных видов энергоносителей для электроэнергетики.

В Украине буроугольные месторождения расположены преимущественно на юго-западе от реки Днепр – в Кировоградской и Черкасской областях, а также на Левобережье – в Полтавской и Харьковской областях. Основные буроугольные месторождения имеют мощность до 21 м и находятся на глубине от 10 до 150 м.

Экономически выгодным на сегодняшний день является освоение и разработка новых месторождений, как – Верхнеднепровское, которое подлежит первоочередному освоению, далее Ново-Дмитровское, Синельниковское, Сула-Удайское и другие [32].

Условия залегания бурого угля в Украине, как и во всем мире, – благоприятные для проведения горных работ открытым способом, который имеет неопровержимые преимущества над подземным, в том числе по необходимым первичным инвестициям, срокам окупаемости, эксплуатационным расходам, более высокой степени прогнозирования результатов, единичной нагрузке на оборудование и производительности труда.

На основе открытого способа добычи бурого угля, при условии достаточных объемов производства, расходы на тонну получаемого условного топлива, включая и расходы на сушку, оказываются значительно ниже, чем для каменного угля с подземной добычей.

Исходя из этого положения и строили свою энергетическую программу экономически развитые страны. Вот почему необходимо потенциально использовать развитие угольной промышленности Украины, где находятся значительные запасы бурого угля.

Как показывает опыт развитых стран мира, бурый уголь оказывает существенное влияние на их топливно-энергетический баланс, причем используется он не только как энергетическое топливо, но и как ценное сырье для химической и других отраслей промышленности. Так, в Германии до 85 % всей электроэнергии вырабатывалось за счет использования бурого угля, кроме того, из него получали бытовой газ, горный воск, полукокс, смолы и другие химические продукты [5]. В таком же направлении используется бурый уголь в Чехии и в Польше, но основной объем добываемого угля расходуется на получение электроэнергии.

Научно-исследовательские институты Украины разработали технологии комплексного использования как самого бурого угля, так и полезных ископаемых, выемка которых осуществляется при вскрышных работах. На буроугольных предприятиях были внедрены рентабельные технологии производства из бурого угля [42]:

- горного воска для машиностроения, металлургии, химической и легкой промышленности;
- углещелочных реагентов, используемых при бурении скважин;

- гуматов в качестве сельскохозяйственных удобрений, которые существенно повышают плодородие почв;
- жидких высококалорийных топлив типа мазута (и даже дизельных), бензинов;
- адсорбентов, пластификаторов;
- стройматериалов, кирпича, керамических изделий из сопутствующих материалов и золы от сжигания угля на теплоэлектростанциях.

Бурый уголь с повышенным содержанием серы имеет более высокий выход летучих – 60 % (в каменном угле – до 43 %), что обеспечивает его преимущества при сжигании в мощных котлоагрегатах с последующей простой технологией золо- и шлакоудаления.

Опыт эксплуатации Ладыжинской теплоэлектростанции (ТЭС), которая начала в экспериментальном порядке сжигать сырой бурый уголь и брикеты из высушенного угля, подтверждает, что высушенный бурый уголь по теплоте сгорания не уступает каменному, который поставляется на ТЭС шахтами Павлограда и Луганска [5].

ЗАО “Энергоуголь” и Ладыжинская ТЭС ведут общую подготовку по поставке и сжиганию непосредственно высушенного бурого угля, исключив лишний для электростанций процесс брикетирования. Есть все основания считать, что это одна из возможностей эффективного использования бурого угля на существующих котлоагрегатах отечественных теплоэлектростанций, в том числе и устаревших типов.

Как видим, Украина имеет такие запасы бурого угля, которые при их освоении оказывают существенное влияние на топливно-энергетический баланс и возможность дополнительного получения ценных продуктов химико-технологической переработки.

Однако с развитием буроугольной промышленности загрязнение атмосферы, почвы и водоемов стало одной из наиболее острых проблем современности. Поэтому при проектировании и эксплуатации любого предприятия должны учитываться комплексное решение технологических и технико-экономических задач, связанных с экологическими аспектами.

Один из наиболее действенных факторов борьбы с загрязнением водных бассейнов – создание безотходных производств и технологических схем с оборотным водоснабжением на фабрике. Последнее

является сложным комплексом, включающим осветление шламовых вод для их повторного использования, сгущение и обезвоживание шламов. Назначение комплекса следующее:

- обработка шламовой воды с целью улавливания из нее ценного компонента;
- сокращение расхода воды, поступающей из наружных источников;
- предотвращение сброса промышленных стоков за пределы фабрики.

Системы осветления оборотной воды на фабриках могут быть разного характера. Это обусловлено рядом специальных операций при обработке шламовых вод, различиями их свойств, применением разных машин и аппаратов для реализации процессов [28].

## **1.2. Сырьевые и материальные ресурсы брикетных фабрик**

В геологическом строении Днепровского бурого угольного бассейна есть породы от архея до четвертичных отложений.

В большинстве случаев угольные залежи состоят из двух-трех пластов горизонтального залегания, приуроченных к понижениям в кристаллическом массиве. Месторождения представлены отдельными залежами.

Наиболее мощным и выдержанным на залежах, как правило, является нижний пласт, мощность которого колеблется от 5 до 16 метров. Мощность среднего и верхнего пластов угля редко превышает три метра. Часто эти пласты залегают в виде вытянутых линз. Мощность породных прослоев, разделяющих угольные пласты, колеблется преимущественно от 1 до 5 метров.

Уголь типично бурый с низкой степенью углефикации. Качество углей следующее: зольность 15–40 %, содержание битумов 3–12,3 %, смолы – 10,9–20,4 %. Более высококачественными являются угли нижнего пласта.

Исходя из установленных в настоящее время промышленных запасов угля и принятой проектной мощности карьера в 3500 тыс тонн в год, срок действия карьера определяется в 20 лет.

В качественном отношении уголь Константиновского участка относится к типичным бурым углям, содержащим большое количество внешней влаги, золы и серы. Ввиду наличия большого количества балластных примесей калорийность угля низкая.

К отличительным свойствам этого угля следует также отнести землистость и рыхлость, что значительно затрудняет их сжигание.

Константиновские землистые угли состоят в основном из гуминовой массы, в составе которой много остатков растительного детрита. Включения в угле принадлежат линзочкам глины, зернам кварца и конкрециям пирита и гипса. Количество неорганических примесей колеблется от 10 до 70 %.

Насыпная масса угля зависит от его плотности и зольности и колеблется от 0,76 до 0,8 т/м<sup>3</sup>. Усредненный гранулометрический состав рядовых углей приведен в табл. 1.1.

Таблица 1.1

*Усредненный гранулометрический состав рядовых углей*

<b>Класс крупности, мм</b>	<b>Выход, %</b>
<b>+150</b>	<b>2</b>
<b>100–150</b>	<b>3,3</b>
<b>50–100</b>	<b>9,2</b>
<b>25–50</b>	<b>7,3</b>
<b>13–25</b>	<b>9,3</b>
<b>6–13</b>	<b>13,0</b>
<b>3–6</b>	<b>15,2</b>
<b>0–3</b>	<b>40,7</b>

Угли разреза “Константиновский” по своему химическому составу обладают следующими свойствами:

- влажность угля колеблется в широких пределах от 20 до 56 % (в среднем на рабочее топливо – 40 %);

- по содержанию золы южную часть Днепровского бассейна можно разбить на западную – с зольностью до 40 % на абсолютной сухой уголь и центрально-восточную, где 50 % от общей массы угля содержит золы более 40 % (местами до 70 %). В среднем для западной части участка зольность не превышает 20 %;

- сера присутствует в угле в виде пирита и сульфитов. Среднее содержание ее – 4,17 % при колебаниях от 1,70 до 7,60 %. Сера, в основном, пиритная и ее содержание составляет не менее 80 % от общего ее количества;

- среднее содержание летучих веществ в буром угле – 40,83 % на сухую массу. На органическую массу угля среднее количество летучих веществ составляет около 60,51 %;

- в безводной и беззольной массе бурого угля кокса содержится около 39,49 %;

- средняя калорийность угля при влажности около 50 % и зольности 30 % составляет около 2000 калорий и для угля с зольностью около 20 % – 2370 калорий.

При 40 % влаги и 40 % золы калорийность угля снижается до 1800–1900 калорий, т.е. до предела использования ископаемых видов топлива в промышленности.

Теплотворная способность абсолютно сухого угля колеблется от 4536 до 5418 калорий, а органической массы угля составляет 6586 калорий.

Приведенный элементарный анализ угля (табл. 1.2) показывает, что Александрийские угли должны быть отнесены к типичным бурым углям, характеризующиеся содержанием: С – 70 %; Н – 5,5 %; О+Н – 4,5 %.

Таблица 1.2

*Элементарный анализ угля*

Химический элемент	Содержание химических элементов в угле, %		Среднее содержание химических элементов в угле, %
	от	до	
<b>Углерод (C<sub>2</sub>)</b>	<b>63,70</b>	<b>74,55</b>	<b>69,56</b>
<b>Водород (H<sub>2</sub>)</b>	<b>3,71</b>	<b>6,62</b>	<b>5,40</b>
<b>Азот + Кислород (N+O<sub>2</sub>)</b>	<b>18,87</b>	<b>30,77</b>	<b>24,64</b>
<b>Кислород (O<sub>2</sub>)</b>	<b>24,65</b>	<b>29,71</b>	<b>26,99</b>
<b>Азот (N<sub>2</sub>)</b>	<b>0,66</b>	<b>1,18</b>	<b>0,89</b>

Часть углей Днепровского бассейна является битуминозной. Среднее содержание битумов по участку – 10,90 %. Следовательно, бурые угли Днепровского бассейна могут использоваться и как энергетическое топливо, и как сырье для химической промышленности, применяя процессы полукоксования, гидрирования и газификации. Следует отметить возможность получения из битума монтан-воска, средний выход которого составляет около 70 %.

Зола угля Днепровского бассейна пылевидная, серого цвета. В золе содержатся частицы несгоревшего угля, обожженные пластинки гипса и слюды, а также частицы шлака.

Часть золы состоит, главным образом, из минеральных зерен с преобладанием части кварца. Под микроскопом зола состоит из многочисленных углекислых частиц. Реже встречаются зерна аморфного шлака. Из других минеральных зерен чаще всего встречаются частицы кварца и реже частицы полевого шпата и слюды. Наиболее мелкие зерна золы состоят из глинистых частиц.

Бурые угли со средней плавкостью золы характеризуются следующими температурными параметрами °С:

- точка деформации – 1130;
- точка размягчения – 1190;
- точка плавления – 1220.

Потребителями бурых углей правобережья Днепра являются – электростанции (Кременчугская, Александрийская, Кировоградская, Звенигородская), сахарные и винокуренные заводы, мельницы и фабрики.

Опыт сжигания бурых углей показал, что их можно использовать:

- в виде добавки до 40 % к донецкому углю, сжигаемому в котлах с обыкновенными плоскими решетками;
- для частой загрузки колосниковой решетки небольшими порциями угля через малые промежутки времени (примерно через 2,5 мин) после того, когда установится тепловой режим;
- для сжигания в котлах с наклонными колосниковыми решетками, что явилось более эффективным;
- для камерно-взвешенно-пылевого сжигания.

При длительном хранении в воздухе уголь быстро подсыхает, покрывается трещинами и рассыпается в бурый порошок. Согласно данным угли Днепровского бассейна на воздухе, как правило, легко самовозгораются как в массиве, так и в штабелях. Поэтому высота последних не должна превышать 1,5–2,0 м. Горение угля обычно начинается при температуре 60 °С.

С января 2005 года без ограничения срока действия введены технические условия ТУУ 10.2 – 26505890 – 001:2004, разработанные АФЗАО “Энергоуголь”. Эти технические условия распространяются на уголь Правобережной Украины марки Б–бурый, для изготовления буроугольных брикетов и сжигания сырого угля на теплоэлектроцентралях. Климатическое их выполнение – УХЛ 2.1 ГОСТ 15150.

Основными потребителями угля являются предприятия разных видов собственности и частные лица.

В качестве классификационного параметра стадии метаморфизма бурых углей в Международной классификации принято содержание влаги на беззольную массу в свежедобытом угле. Все бурые угли разделены на шесть классов с содержанием влаги от 20 до 60 % и более [36]. Другим параметром является выход первичной смолы (%) на сухую и беззольную массу. Этот параметр отражает ценность угля как сырья для технологического использования.

Бурые угли Днепровского бассейна в отличие от бурых углей других бассейнов используются как энергетическое топливо и подвергаются брикетированию без связующих веществ (Димитровская, Байдаковская брикетные фабрики).

Для углей, направляемых на брикетирование, производство углещелочных реагентов и пылевидное сжигание, разработаны потребительские стандарты. Качество углей, используемых для экстрагирования и восстановления руд, регламентируется техническими условиями.

Параметрами, характеризующими уголь как в государственных стандартах, так и в технических условиях, приняты его зольность и влажность. При этом регламентируется выход гуминовых кислот и выход первичной смолы (на брикетирование направляются угли первой и второй подгрупп согласно ГОСТу 9280–590 и др.). Однако эти показатели не могут служить характеристикой товарной продукции из-за сложности их определения [36].

Предприятия многих областей, связанные с использованием бурых углей, выдвигают весьма жесткие требования к ним. Так, в углях, поставляемых для производства углещелочных реагентов, важен выход гуминовых кислот, а в углях, используемых с целью экстрагирования буроугольного воска, основным показателем их характеристики является выход битумов.

В углях Днепровского бассейна выделены гумиты и гумито-липтобиолиты [36]. Гумиты объединяют землистые, плотные, лигнитовые и зольные разновидности углей, а гумито-липтобиолиты – землистые и плотные. К гумитам относятся угли, в которых преобладают остатки растений. Гумито-липтобиолитовые угли характеризуются примерно одинаковым содержанием остатков растительных и липоидных (желтых) тел. Иногда последние преобладают над первыми.



Землистые и плотные угли класса гумитов содержат до 75 % микрокомпонентов группы витринита. При этом землистые угли характеризуются преобладающим количеством структурных гелифицированных компонентов (мелкие обрывки гелифицированных растительных тканей), а плотные угли – бесструктурной гелифицированной массой. На долю кутинизированных элементов в землистых углях приходится 4–5 %, а в плотных – 2–3 %.

Зольные разновидности углей отличаются от других значительным содержанием мелкообломочного кварца, каолинита и других минеральных примесей.

В гумито-липтобиолитовых углях содержится до 40 % желтого смолоподобного вещества. Смолоподобные вещества и смоляные тела цементируются микстоаттритовым веществом.

Смолоподобные (воскоподобные) вещества относятся к микрокомпоненту спорополинит группы лейптинита. К этой же группе относятся смоляные тельца (резинит). Землистые и плотные гумито-липтобиолитовые угли различаются большей гелификацией обрывков растительных тканей.

В табл. 1.3 приведена качественная характеристика углей Днепровского бассейна, полученная по систематизированным данным исследования, а также по некоторым результатам товарного опробования угля [36]. Различие в выходах летучих веществ и первичной смолы, а также разница в теплоте сгорания у гумитовых и гумито-липтобиолитовых углей настолько значительны, что по этим показателям представляется возможным определить один из двух генетических классов углей.

С целью получения ряда альтернативных параметров для создания квалификации практического назначения исследованы зависимости между основными химико-технологическими показателями бурых углей и шламами (всплывшая и потонувшая фракции), определяемыми их петрографическим составом [36].

Выходы первичной смолы и летучих веществ на горючую массу для бурых углей и шламов Днепровского бассейна являются альтернативными показателями, определяющими их технологическую ценность для процессов полукоксования и экстрагирования, и зависят от петрографического состава (рис.1.1 – 1.3).

Таблица 1.3

*Качественная характеристика различных типов углей Днепровского бассейна*

Класс, тип	Месторождение, участок	W <sup>r</sup> , %	A <sup>d</sup> , %	V <sub>r</sub> , %	Q <sub>гб</sub> , ккал/кг	C <sub>r</sub>	H <sub>r</sub>	O <sub>r</sub> + N <sub>r</sub>	Выход битумов на горючую массу, %	Выход на сухую массу		
										первичной смолы, %	газа, л/кг	полукокса, %
Гумиты, землистые	Верболозовский	-	19,0	60,00	6610	62,40	5,10	27,80	4,86	10,0	148	63,8
	Семеновско - Головковский	58,6	7,4	60,80	6907	68,16	5,98	21,90	6,85	16,0	153	55,5
	Санжаровское	-	13,8	59,10	6612	66,97	5,10	24,00	4,19	13,5	169	58,0
	Бандуровское	-	13,3	60,40	6730	63,50	6,10	27,20	4,20	17,2	122	57,8
Гумиты, плотные	Семеновско - Головковский	58,6	8,1	59,20	6716	68,06	5,64	20,95	7,22	15,9	140	59,6
	Бандуровское	-	14,4	59,30	6950	63,50	6,00	28,14	6,50	16,0	146	56,6
	Михайловское	-	21,5	61,50	6800	65,74	5,58	23,50	5,89	14,0	140	62,8
	Балаховское	-	8,7	65,00	7121	65,70	6,10	25,56	12,24	29,4	112	45,3
Гумито-липтобиолиты, землистые	Верхнеднепровское	-	13,9	64,93	-	65,40	6,20	25,73	12,30	23,7	134	55,9
	Верболозовское	-	10,5	65,10	-	62,90	6,20	28,40	10,20	22,2	130	52,0
Гумито-липтобиолиты, плотные	Балаховское	-	8,9	67,50	7300	69,50	6,90	21,40	12,42	28,9	104	53,0
	Верхнеднепровское	-	11,7	65,12	-	69,00	5,90	22,52	9,90	21,9	147	54,0

В качестве классификационного параметра целесообразно принять выход летучих веществ, так как этот показатель проще и быстрее определяется, чем выход первичной смолы. Он входит также в обязательную характеристику товарной продукции.

Выход гуминовых кислот и летучих веществ (рис.1.4) находится в обратной зависимости, поскольку угли и шламы (всплывшая и потонувшая фракции), характеризующиеся повышенным содержанием микрокомпонентов группы витринита, имеют невысокий выход летучих веществ, незначительное содержание водорода и повышенное – гуминовых кислот. Это соответствует представлениям ряда исследователей, считающих, что по сравнению с другими составными частями топлива гуминовые кислоты дают наибольший выход полукокса.

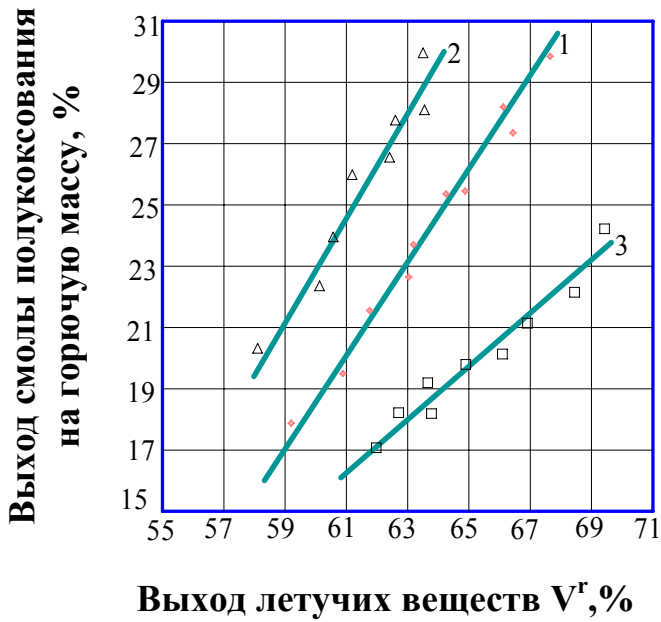
Теплота сгорания гумито-липтобиолитовых углей выше, чем гумитовых, однако она подвержена колебаниям, особенно у гумитовых углей, что обусловлено разной степенью их окисленности.

Следовательно, теплота сгорания может быть вторым параметром при классификации углей Днепровского бассейна, указывающим на петрографический состав угля и степень его окисленности. При содержании влаги более 30 % теплота сгорания составляет менее 5700 ккал/кг.

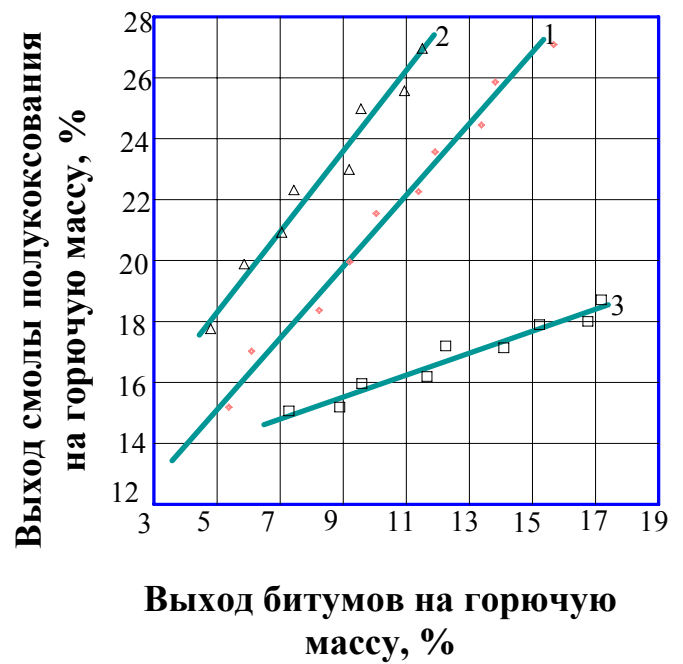
Промышленно–генетическая классификация бурых углей Днепровского бассейна основана на генетическом параметре (петрографическом составе) и на потребительских показателях. Классифицировать эти угли по генетическому параметру – степени углефикации, нет необходимости, так как они содержат 60–70 % влаги на беззольный уголь и относятся к одной и той же степени углефикации.

В основу классификации по петрографическому составу, разделяющему угли Днепровского бассейна на два класса – гумиты и гумито-липтобиолиты, положен выход летучих веществ. Вместе с тем выход летучих веществ является потребительским показателем, поскольку он закономерно связан с выходом битумов и гуминовых кислот, выходом первичной смолы (рис. 1.1 – 1.4). Эти показатели определяют требования к углю по основным видам переработки: экстрагированию, производству углещелочных реагентов и восстановлению железных руд.

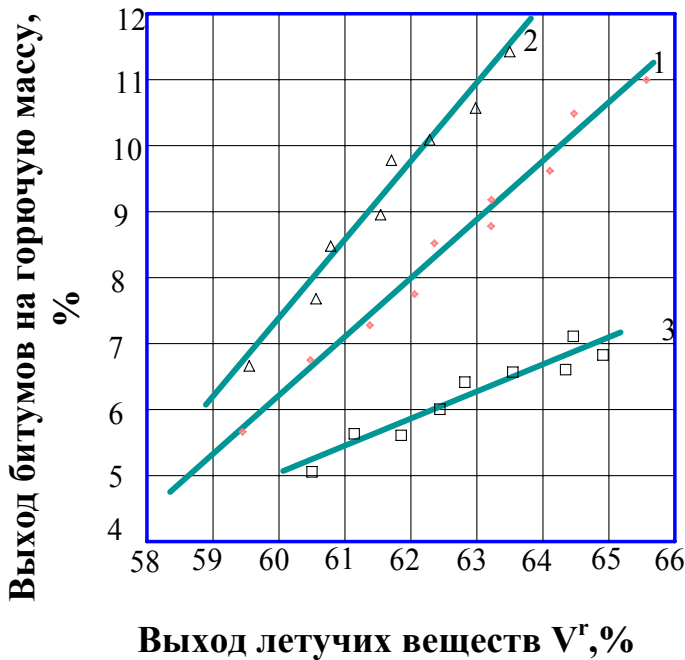
Классификационным показателем является также теплота сгорания, принятая для характеристики степени окисленности угля.



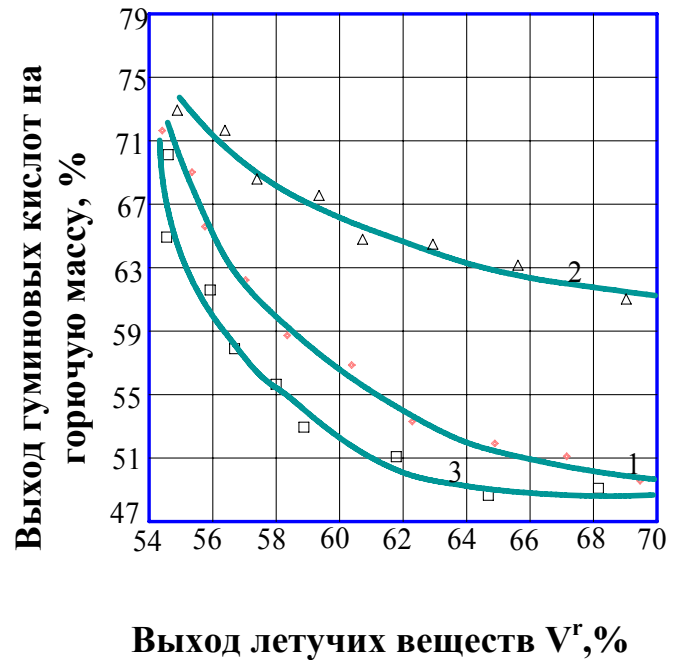
*Рис. 1.1. Зависимости между выходами летучих веществ и первичной смолы для углей и шлама Днепровского бассейна*



*Рис. 1.2. Зависимости между выходами битумов и первичной смолы для углей и шлама Днепровского бассейна*



*Рис. 1.3. Зависимости между выходами битумов и летучих веществ для углей и шлама Днепровского бассейна*



*Рис. 1.4. Зависимости между выходами гуминовых кислот и летучих веществ для углей и шлама Днепровского бассейна*

На рис. 1.1 – 1.4 обозначены: И.Е. Святца [36]; 2, 3 – всплывшая и потонувшая фракции шлама (результаты исследований авторов).

1 – результаты исследования

Витрен бурых углей содержит до 70 % гуминовых кислот. Витрен же каменных углей, хотя и образуется в основном из гуминовых кислот, в каменноугольной стадии метаморфизма не обладает ни одним из характерных свойств этих веществ. Содержание гуминовых кислот понижается от молодых к более метаморфизированным углям.

Трудную флотированность окисленных углей и отсутствие флотации бурых углей можно объяснить содержанием в них в различном количестве гуминовых кислот.

Для битумных веществ характерна низкая степень окисленности, отсюда – небольшое содержание полярных групп и высокая гидрофобность. Однако содержание битумов в углях не может однозначно характеризовать гидрофобность последних. Так, известно, что содержание битумов в бурых углях больше, чем в каменных, а гидрофобность каменных углей, наоборот, значительно выше, чем бурых. В этом случае главную роль играют не битумные вещества, а гуминовые кислоты. Возможно, что и химический состав битумов оказывает в этом отношении определенное влияние, так как битумы бурых и каменных углей отличаются друг от друга. Это объясняется тем, что в битумах бурых углей присутствуют воск, а в битумах каменных углей – углеводороды.

Химический состав бурых углей представлен углеродом (60–70 %), кислородом и азотом (24 – 35 %), водородом (5 – 6 %).

### **1.3. Основные элементы теории и практики брикетирования бурого угля без связующих**

#### **Основные элементы теории брикетирования углей**

Брикетирование – одно из перспективных направлений отрасли, обеспечивающей высокий потенциал топливно-энергетического комплекса страны.

Деление бурых углей (землистые молодые и плотные зрелые) связано с влиянием метаморфизма и петрографическим составом. В отличие от каменных углей они содержат битумы, гуминовые и карбоновые кислоты, обладают способностью к пластическим деформациям.

Пластичность зависит от степени метаморфизма и “коллоидного старения” бурых углей; при этом важная роль принадлежит влаге, находящейся в органическом веществе угля.

Связь влаги с бурыми углями может быть химической, физико-химической и физико-механической. Первая – выделяется при  $t > 125^\circ\text{C}$ , ее не более 3 %. Вторая – возникает за счет адсорбции воды на внешней и внутренней поверхности бурого угля. Третья – определяется коэффициентом поверхностного натяжения жидкости и капиллярным давлением. По ним можно оценить поднятие воды в капиллярах и интенсивность ее связи с углем.

Различают коллоидную, капиллярную, битумную, гуминово-кислотную, гидратационно-молекулярную гипотезы брикетирования бурого угля без связующих.

Коллоидная гипотеза оценивает брикетируемость бурых углей с позиции действия молекулярных сил, а влагу – как связующую прослойку, способствующую скольжению частиц относительно друг друга. В зависимости от свободы движения (скольжения) слоев достигается тот или иной эффект сцепления и упрочнения брикетов.

Согласно коллоидной гипотезе бурый уголь состоит из двух фаз – жидкой и твердой. Твердую фазу представляют мельчайшие гуминовые частицы крупностью от  $10^{-3}$  до  $10^{-5}$  мм. В процессе прессования происходит уплотнение этих коллоидных частиц.

По данным К. Кегеля, в подобных бурых углях, как правило, 50–75 % пор по объему имеют радиусы менее 10 микрон [36]. Большая часть влаги находится в капиллярах диаметром  $10^{-7}$  см, и только незначительная часть ее находится в более крупных капиллярах. Однако проведенные в 1946–1952 гг. исследования по брикетируемости бурых углей Подмосковного, Богословского, Черновского и других месторождений показали ошибочность этих взглядов.

Согласно капиллярной гипотезе количественное изменение содержания влаги в угле вызывает ту или иную интенсивность сцепления между брикетируемыми зернами.

В бурых углях влага может быть связанной с угольной поверхностью (адсорбционная) и капиллярная. Последняя находится как в капиллярах, так и в узком пространстве между угольными зернами и силовым воздействием удерживает зерна за счет капиллярного давления вогнутых менисков.

В зависимости от толщины адсорбционной пленки достигается различная прочность брикетов, а максимальной она будет при мономолекулярной пленке воды.

Гидратационно-молекулярная гипотеза базируется на оптимальном соотношении адсорбционной и капиллярной влаги в наружных и внутренних слоях узких классов крупности сушонки и количестве выдавливаемой влаги при определенном давлении прессования.

Согласно гуминово-кислотной гипотезе брикетируемость бурых углей зависит от количества гуминовых кислот в роли связующих, которые выделяются в угле в процессе приложения давления прессования. В результате возникают силы молекулярного сцепления между зернами. Эта гипотеза применима к молодым зернистым бурым углям с большим содержанием свободных гуминовых кислот.

Гуминовые кислоты, входящие в состав торфа и бурых углей, представляют собой высокомолекулярные ароматические, оксикарбоновые кислоты весьма сложного состава.

По данным Т.А. Кухаренко, наибольший выход гуминовых кислот имеют землистые бурые угли (40–70 %) [36].

В торфе выход гуминовых кислот доходит до 50 %, а в блестящих бурых углях составляет 5–10 %, в зависимости от глубины процесса преобразования гуминовых кислот в более сложное вещество высокометаморфизированных углей.

В землистых бурых углях гуминовые кислоты присутствуют в свободном виде, а также в виде соединений с кислотами более простого состава, растворенными в воде. Элементарный состав гуминовых кислот изменяется в зависимости от степени углефикации.

Согласно битумной гипотезе брикетирование бурых углей представляет процесс, аналогичный брикетированию полезных ископаемых со связующими. Роль связующих исполняют битумы, содержащиеся в бурых углях и представляющие собой продукты разложения смол, воска и жирных кислот. Они представляют смесь углеводородов, спирта, кислот и эфиров. Содержание битумов в бурых углях 5–20 %. Битумы в расплавленном состоянии обладают клеящей способностью. При охлаждении они переходят в твердое состояние с высокой прочностью.

В процессе брикетирования под влиянием повышенного давления и трения уголь нагревается. Выделяющиеся при этом битумы обволакивают тонкой равномерной пленкой зерна. Битумная пленка при прессовании связывает отдельные зерна в брикет, предотвращает разрушающее воздействие влаги, так как она

гидрофобна и придает брикету прочность. Вода, испаряясь в процессе прессования угля, предохраняет битумы от разложения; недостаток влаги приводит к разрушению структуры битума и потере связующих свойств.

Битумная гипотеза подтверждает необходимость присутствия в угольной шихте мелкозернистых и пылевидных частиц, которые обеспечивают большую клеящую поверхность пленки и сравнительно легкое выделение битумов. Кроме последних, в бурых углях присутствуют в больших количествах пиробитумы и другие вязкие пластичные продукты.

К битумам относятся смолоподобные и смолистые вещества угольной массы, извлекаемые органическими растворителями при сухой перегонке.

Битумы – продукты извлечения смол, воска и жирных кислот. Они состоят из алифатических углеводородов, высших алифатических кислот и их эфиров, гидроароматических и ароматических углеводородов и их спиртов.

Чем выше степень углефикации, тем меньше выход битумов.

Температура плавления битумов составляет 70–80 °С. При более высоких температурах, достигающих в формовочном канале пресса на поверхности брикета 250–300 °С, битумы размягчаются, превращаясь в пластическую массу, которая связывает зерна угля в брикет.

Первичная смола в углях придает брикету водоустойчивость и повышает его механическую прочность. Значительный выход битумов из угля снижает в некоторой степени гидрофильную способность гуминовой кислоты и гуматов и, тем самым, повышает водоустойчивость брикета.

При обычных температурах нагрева угля 40–60 °С температура внутри брикета не превышает 65 °С.

Некоторые марки бурых углей с большим выходом битумов брикетируются значительно хуже тех, в которых меньше выход битумов. Это связано с тем, что брикетируемость углей зависит не только от выхода битумов, но и от ряда других факторов и их сочетаний.

Битумы и гуминовые кислоты оказывают существенное влияние на брикетируемость угля. Кроме того, на брикетируемость влияют также коллоидная структура угля, влажность, содержание золы и другие факторы.

Механизм основной стадии брикетирования – прессование в общем виде – представляется следующим образом. При небольшом



давлении происходит внешнее уплотнение материала за счёт пустот между частицами. Затем уплотняются и деформируются частицы; между ними возникает молекулярное сцепление. Высокое давление в конце прессования приводит к переходу упругих деформаций частиц в пластические, вследствие чего структура брикета упрочняется и заданная форма сохраняется. На характер деформаций влияют физико–химические свойства исходного материала.

Основные требования к качеству брикетов зависят от многих факторов и прежде всего от свойств брикетируемого угля, его плотности и пластичности, выхода битумов и гуминовых кислот, зольности, состава золы и других показателей.

Влажность брикетируемого угля составляет при давлении прессования:

- 120 МПа – около 18 % (для всех классов);
- 220 МПа – оптимальная влажность для класса 0–3 мм – 11 %, класса 0–2 мм – 13 % и класса 0–1 мм – 14 %.

Поверхности зерен угля при длительном хранении могут покрываться жировой пленкой за счет адсорбции жировых веществ. В результате этого уменьшается их смачиваемость (если даже образовавшаяся жировая пленка является мономолекулярной).

Таким образом, при брикетировании выветрелого мелкого угля воды на поверхностях соприкосновения зерен остается все меньше и действие молекулярных сил сцепления происходит интенсивнее; одновременно более гидрофобная поверхность брикета становится менее чувствительной к атмосферным явлениям.

Иногда брикетируемый уголь специально подвергают действию инертного газа с температурой нагрева 800–900 °С, вследствие чего на поверхности отдельных угольных зерен появляется тонкая пленка смолы, обуславливающая повышение водоустойчивости брикета.

Сопротивление брикетов на раздавливание повышается до 22 МПа, если увлажнить угольную пыль до 16–17 % и смешать ее с брикетируемым углем.

Одна из наиболее частых причин ухудшения качества брикетов – это нарушение технологии сушки угля: недосушивание или переосушивание его.

Наибольшую механическую прочность имеют брикеты из угля класса 0–2 мм.

Из изложенного следует, что брикетируемый уголь должен быть мелко измельчен и в то же время – зернистым. Наличие в угле мелких зерен крупностью 0–0,2 мм ухудшает качество брикетов.

Брикетируемый уголь после сушки в тарельчатых сушилках имеет температуру нагрева 75–80 °С, а в трубчатых сушилках – 90–95 °С. Перед прессованием его охлаждают до 40–60 °С.

Обычно брикеты, выходящие из зева пресса, имеют температуру 70–80 °С и перед погрузкой в железнодорожные вагоны они охлаждаются до 30–40 °С. Для снижения температуры бытовых брикетов в таких пределах при охлаждении их в желобах требуется 20–25 мин.

Одним из важных показателей качества буроугольных брикетов является их водостойчивость. Водостойчивость брикетов обуславливается их способностью впитывать воду или поглощать атмосферную влагу и зависит в первую очередь от свойств поверхности зерен брикетируемого угля, которые, в известной степени, определяют также свойства поверхности брикета.

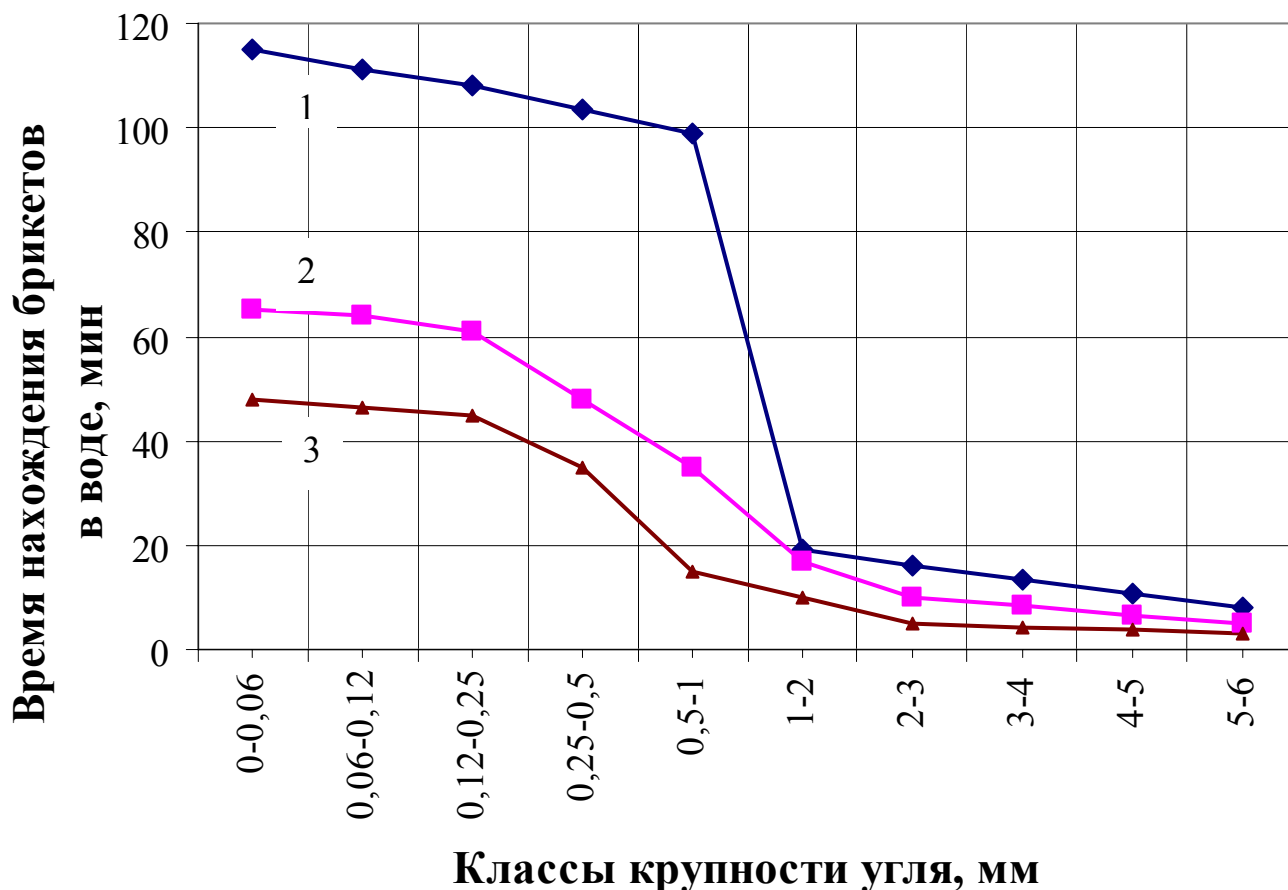
Недостаточная пластичность углей, малый выход смолы и свободных гуминовых кислот, значительный выход связанной гуминовой кислоты и гуматов характерны для большинства старых бурых углей. Поэтому брикеты из них не водостойчивы даже при тонком измельчении угля, повышенном давлении прессования и высокой температуре нагрева.

Чем выше температура, при которой осуществляется обработка брикетируемого угля, тем меньше влагопоглощение. Так, например, при температуре обработки 75 °С брикет после 10 часов нахождения в воде поглощает 7 % влаги, а при температуре обработки 160 °С брикет за тот же период поглощает менее 4 % влаги. Брикет из необработанного угля впитывает около 16 % влаги.

Так как испарение влаги из капилляров меньшего диаметра происходит при более высоких температурах, чем из капилляров большего диаметра, то для испарения влаги из мелкого зерна требуется более высокая температура, чем для испарения влаги из крупного. Этим объясняется тот факт, что при обработке горячими газами мелкого угля водостойчивость брикетов повышается в большей степени, чем при обработке крупного угля.

На рис. 1.5 приведен график водостойчивости брикетов из углей различной крупности, обработанных горячими газами, из которого следует, что водостойчивость брикетов при брикети-

ровании угля крупностью от 0,25 до 2 мм резко повышается, а крупностью более 2 мм и менее 0,25 мм – повышение незначительное. Поэтому водоустойчивость брикетов зависит в основном от свойств исходного угля.



*Рис. 1.5. Графики водоустойчивости брикетов из молодых (1) и старых (2, 3) бурых углей при различных классах крупности*

Повышенная водоустойчивость брикетов требуется при их перевозке на значительные расстояния, а также в районах с частыми атмосферными осадками. Недостаточно водоустойчивые брикеты, попадая под дождь, теряют прочность и разрушаются.

Основными причинами недостаточной водоустойчивости буроугольных брикетов являются:

- коллоидная структура бурого угля и обусловленные ею повышенные гигроскопические его свойства;

- присутствие в угле глинистых минеральных примесей и солей гуминовой кислоты;
- наличие на поверхности и внутри брикетов различных пор и трещин.

Вследствие коллоидной структуры уголь, находясь во влажной атмосфере или в водной среде, поглощает воду. Этот процесс связан с набуханием, следствием чего является увеличение объема брикетов и нарушение их структуры. Если в угле имеются глинистые примеси и кальциевые соли гуминовой кислоты, то последние при нахождении брикетов в воде набухают, при этом в брикетах создается внутреннее давление, разрушающее их структуру.

Старые бурые угли некоторых месторождений (ангренские, подмосковные и др.) чаще содержат много фюзена, имеющего высокую пористость и отличающегося значительной минерализованностью. Эти факторы также снижают водоустойчивость брикетов.

Водоустойчивость брикетов зависит от выхода из угля смолистых веществ. Чем больше выход этих веществ, тем выше водоустойчивость брикетов. Так, брикеты из молодых бурых углей украинских и башкирских месторождений с выходом смолы от 8 до 18 % обладают более высокой водоустойчивостью, чем брикеты из подмосковных и ангренских старых бурых углей с незначительным выходом смолы (1–2 %).

Высокая водоустойчивость брикетов из молодых бурых углей объясняется плотной и прочной их структурой, образующейся при прессовании вследствие высокой пластичности угля и малой его упругости.

Проникновение воды внутрь этих брикетов затрудняется и разрушение их не происходит. Кроме того, в молодых бурых углях содержится незначительное количество глинистых минеральных примесей и кальциевых солей гуминовой кислоты.

Брикеты из старых бурых углей, содержащих большое количество глинистых минеральных примесей и кальциевых солей гуминовой кислоты, имеют разветвленные волосяные поры и трещины, образующиеся при упругом расширении.

Эти поры и трещины располагаются главным образом в местах неплотных контактов отдельных угольных зерен, создавая широко разветвленную систему ходов по всему брикету.

На поверхности зерен в местах наличия пор имеется избыточная свободная поверхностная энергия. Так как глинистые примеси и соли гуминовой кислоты являются гидрофильными, то вода в виде тонких пленок проникает в мелкие поры, перемещается по ним и раздвигает (расклинивает) отдельные угольные зерна.

Если возникающее при этом капиллярное давление превышает действующие между угольными зернами силы сцепления, то происходит полное разрушение брикета. Если капиллярное давление меньше сил сцепления, то наблюдается лишь частичное снижение прочности брикета.

Повысить водоустойчивость буроугольных брикетов возможно путем снижения их смачивающей способности или повышения интенсивности молекулярного сцепления угольных зерен в брикетах. Последнее может быть достигнуто путем применения высокого давления прессования, тонкого измельчения угольных зерен и увеличения длительности воздействия давления на брикеты.

Эти мероприятия дают положительный результат при брикетировании молодых бурых углей. Для старых углей они не обеспечивают достаточного повышения водоустойчивости брикетов. Более эффективное повышение водоустойчивости возможно путем снижения смачивающей способности угля или готовых брикетов. Это достигается путем температурной обработки угля либо обработки его неочищенным полукоксовым газом или перегретым паром, а также путем покрытия брикетов пленкой эмульсии, для чего они погружаются на 1,5–2,0 мин в ванну, заполненную эмульсией.

Для обработки брикетов применяется битумная эмульсия, имеющая примерно следующий состав: битума 45–50 %, смолы и антраценового масла 2 %, дистиллированной воды 44–46 %, озокерита и канифоли 5–6 %, жирной кислоты 4 %.

Эта эмульсия разбавляется горячей водой: на одну часть эмульсии – 3 части воды.

Расход эмульсии составляет 0,8–1,0 кг на 1 т брикетов. После выемки брикетов из ванны и испарения из эмульсии воды на их поверхности образуется глянцевая черная пленка. Эта пленка должна обладать достаточной прочностью и иметь необходимое сцепление с поверхностью брикетов.

Обработка битумной эмульсией дает положительные результаты для брикетов из молодых и средних по возрасту бурых углей. Брикетты из старых бурых углей, пропитанные этой эмульсией, водоустойчивостью не обладают.

Значительное повышение водоустойчивости брикетов из подмосковных, райчихинских и ангренских углей было достигнуто при обработке их гидрофобными эмульсиями типа вода-масло. Брикетты кольцевых прессов, обработанные эмульсией, после пребывания их в воде в течение часа и под сильным душем в течение 3 часов поглотили влаги лишь 0,5–1,0 %.

Применялась гидрофобная эмульсия следующего состава: парафинистого мазута 60–67 % и известковой воды 40–33 %. Последняя получается путем растворения гашеной извести в воде в количестве 1,5 г/л. Смешение мазута и известковой воды, предварительно нагретых до температуры 60–80 С°, производилось в диспергаторе.

Расход гидрофобной эмульсии на пропитку брикетов составил 2 % от их веса.

Температурная обработка бурого угля перед прессованием заключается в нагреве его до температуры, вызывающей разрушение гуминовых кислот и их солей и выделение из угля смолистых веществ. Так как гуминовые кислоты и их соли являются гидрофильными, то естественно, что разложение их под действием высокой температуры снижает гидрофильность угля и повышает таким образом водоустойчивость брикетов. Смолистые пленки, покрывающие поверхность угольных зерен, также снижают гидрофильные свойства угля.

Температура нагрева угля зависит от его свойств и колеблется в пределах 250–350 °С. При этой температуре уголь должен выдерживаться примерно в течение 10–15 мин. За это время из него испаряется почти вся влага. Поэтому для обеспечения устойчивого режима работы прессов уголь после нагрева охлаждают и увлажняют до содержания влаги, обеспечивающей получение прочных брикетов.

Прочность брикетов из термически обработанного угля обычно ниже прочности брикетов из угля, не подвергнувшегося обработке, примерно на 15–25 %.

Это объясняется тем, что при нагреве угля происходит изменение его коллоидной структуры, которая появляется в уплотнении макромолекул, в связи с чем уголь становится менее пластичным и более хрупким.

Недостатком этого метода повышения водоустойчивости брикетов является техническая трудность его осуществления и высокая стоимость.

Обработка угля полукоксовым газом состоит в следующем. Сухой уголь, подготовленный к прессованию, выдерживают в контакте с полукоксовым газом, не очищенным от остатков смолы. Бурый уголь адсорбирует на своей поверхности смолу, вследствие чего значительно повышается его гидрофобность и водоустойчивость получаемых из него брикетов.

Угли перегретым паром обрабатывают примерно в течение 3 часов при температуре 200°С и давлении пара 15–17 атм. При этом происходит сушка угля и разрушение его коллоидной структуры, что вызывает снижение гидрофильных свойств угля и повышение водоустойчивости брикетов. Этот метод обработки угля – технически трудоемкий и сравнительно дорог.

Наиболее водоустойчивыми брикеты получаются после длительной их обработки горячими газами и парами брикетированного угля, высушенного до абсолютно сухого состояния. Эти брикеты могут находиться в воде несколько дней и потеря их механической прочности при этом несущественна.

При значительном выходе из угля первичных смол также возможно получение водоустойчивых брикетов, что наблюдается при брикетировании в штемпельных прессах тонкоизмельченного нагретого угля. Для расплавления смолистых веществ на поверхности брикета необходима высокая температура угля в канале пресса. При этом поверхность брикета, покрываясь смолистой пленкой, становится гидрофобной и затрудняет проникновение влаги вовнутрь.

При испытании брикетов на прочность в условиях одной из фабрик они покрывались эмульсией следующего состава: битум – 43 %, жирная кислота – 4 %, канифоль и озокерит – 5 %, смола и антраценовое масло – 2 %, вода – 46 %.

Расход эмульсии составил 0,8 кг на тонну брикетов. Прочность брикетов, покрытых эмульсией, повысилась на 18–20 %. Вес брикета, имеющего поверхность 0,4 м<sup>2</sup>, увеличился на 1,1–1,2 г.

### **Анализ производства буроугольных брикетов**

Брикетирование – процесс переработки материала в куски (брикеты) геометрически правильной, однообразной формы и практически одинаковой массы. При брикетировании создаются дополнительные, сырьевые ресурсы из мелких материалов (преимущественно, ископаемых топлив и руд), использование которых малоэффективно или затруднительно, а также утилизируются отходы (пыль, шлаки, металлическая стружка и т. п.).

Целесообразность брикетирования в каждом случае экономически обосновывается. В зависимости от исходного материала брикетирование выполняется со связующими (цементирующими, клеящими) веществами при давлениях ( $10 - 50 \text{ Мн/м}^2$ ) и без связующих веществ при высоких давлениях ( $100 - 200 \text{ Мн/м}^2$ ). Для получения брикетов высокого качества материал, направляемый на прессование, должен отвечать определённым требованиям (фракционный состав, влажность, температура и пр.).

Брикетирование было предложено в России в 30-х гг. XIX века А.П. Вешняковым, который разработал метод получения прочных брикетов из отходов древесного и каменного угля, назвав этот вид топлива карболеином. В 1858 году в Германии запущена в работу первая буроугольная брикетная фабрика, а в 1860 – каменноугольная с вальцевыми прессами.

Окускование рудной мелочи путем брикетирования широко применялось во второй половине XIX века.

Брикетирование ископаемого топлива (отсевы каменных и близких к ним старых бурых углей с относительно прочной механической структурой; рядовые слабоструктурные молодые бурые угли и торф) производится в основном для энергетики и коммунально-бытового хозяйства на брикетных фабриках. Зольность получаемых брикетов – до 20 %. Они противостоят перегрузкам, выдерживают длительное хранение на открытом воздухе, не разрушаются до конца горения.

Брикетирование применяется в качестве составной части методов коксования для получения металлургического кокса из газовых и слабоспекающихся углей. Тощие угли, антрацит, старые бурые угли, полукокс брикетируются со связующими (каменноугольный пек в твердом или жидкорасплавленом виде, нефтяной битум и др.).



Наиболее распространенная форма брикетов, выдерживающая перегрузки, – яйцевидная. Масса брикета 70–75 г. Существенный недостаток брикетов с пековым и нефтебитумным связующими, ограничивающими их потребление, – выделение копоти и низкая термоустойчивость.

При реализации методов обработки таких брикетов горячими газами, содержащими определенное количество кислорода, или твердым теплоносителем происходит окисление, полимеризация связующего, вследствие чего брикеты упрочняются и при сжигании горят бездымным пламенем.

В практике распространен метод так называемого горячего брикетирования, позволяющий без связующих веществ получать высококачественное бездымное топливо или кокс прессованием предварительно нагретых до пластичного состояния спекающихся углей или в смеси с ними неспекающихся углей (антрацит, тощие и бурые угли) и полукокса.

Молодые бурые угли с повышенным содержанием влаги (от 45 до 60 %), куски которых при хранении и транспортировке разрушаются, брикетируются без связующих (для слоевого сжигания) по схеме:

- прием углей, дозирование, классификация угля на дисковых или ситовых грохотах и измельчение его в молотковых дробилках до крупности зерна менее 6 мм, сушка угля в паровых трубчатых сушилках или в газовых трубах-сушилках до оптимальной влажности 14 – 19 %;
- дробление крупных частиц угля и охлаждение угля (в некоторых случаях не применяется), выходящего из сушилок с температурой 85–90 °С, в охладительных установках до температуры 35–45 °С;
- прессование при давлении 100–200 Мн/м<sup>2</sup> в ленточных штемпельных (реже – в кольцевых) прессах и охлаждение брикетов, выходящих из пресса с температурой 70–80 °С, в охладительных желобах и на сетчатых конвейерах до температуры 40 °С;
- отгрузка брикетов потребителям. Брикеты имеют форму параллелепипеда с закругленными углами. Масса брикета 500–600 г.

Развитие производства брикетного топлива характеризуется разработкой и внедрением новых схем и стадий брикетирования, а также применением современных связующих, аппаратуры для получения высококачественного бездымного бытового топлива, что

касается и способов непрерывного коксования с целью расширения сырьевой базы и улучшения экономики коксохимической промышленности.

Еще в середине 70-х годов прошлого столетия прогнозировали сегодняшний кризис, связывая его со снижением добычи рядового угля по причине исчерпания запасов и ухудшения горно-геологических условий.

В более поздний период (90-е годы) как по указанным причинам, так и по ряду других обстоятельств объемы производства начали резко падать. Появившиеся проблемы частично удавалось решать за счет государственного субсидирования. На протяжении многих лет рассматривались различные схемы вывода отрасли из кризиса, начиная от увеличения производства брикета и заканчивая переработкой других видов сырья.

В “Мастер-плане развития буроугольной отрасли Украины” – работе немецких экспертов, выполненной совместно со специалистами ГХК “Александрияуголь”, отмечена важность и неизбежность изменения номенклатуры товарной продукции для выхода на рентабельность производства. Следовательно, нужно обоснованно планировать развитие отрасли, учитывая ее специфику, современные технологии, конъюнктуру рынка и т.д.

Рассматривая опыт развития буроугольной промышленности Германии (позитивный), России (негативный) и проецируя его на Днепровский буроугольный бассейн, можно утверждать, что в последнем сохранились основные фонды отрасли. В настоящее время на строительство таких предприятий, как разрез “Морозовский” или “Константиновский” необходимо затратить более 0,5 млрд грн, а таких объектов, как ТЭЦ–1–2 и ТЭЦ–3 – более 30 млн долл.

Простейший экономический анализ – сравнение доходов от конечной продукции, показывает, что производство традиционного брикета не является прибыльным. Так, переработка 1000 т рядового угля, при условии ритмичности производства и неизменности существующей технологической схемы, позволяет получить до 370 т топливных брикетов или около 60 тыс. грн дохода, т.е. 60 грн на каждую тонну добытого угля. При этом в последнее время себестоимость добычи угля не снижалась менее чем 50 грн за тонну. Приведенные цифры свидетельствуют о том, что разница в 10 грн. не способна покрыть затраты на брикетирование и как следствие – колоссальные убытки от производственной деятельности.

Учитывая сложившуюся данную ситуацию, специалисты ГХК “Александряуголь” совместно с профильными институтами непрерывно вели работу по организации комплексной переработки бурых углей, как наиболее доходного и приоритетного направления производственной деятельности. Этот выбор был сделан на основе глубокого технико-экономического анализа. Так, производство горного воска, брикетов (сушенки), тепловой и электрической энергии в едином технологическом потоке более чем в 2 раза эффективнее по сравнению с традиционным брикетированием.

Несмотря на многочисленные предложения в различные организации, причем и вышестоящие инстанции, организовать данное производство к настоящему времени не удалось. Тем не менее, в отсутствие целенаправленного финансирования, по этому направлению выполнен комплекс работ: разработана новая технология производственного процесса; подобрано основное технологическое оборудование; проведены лабораторные исследования; найден рынок сбыта товарной продукции; поддерживаются прямые контакты с потребителями, а также ведется работа по привлечению инвестиций в проект.

На основании данных, полученных в ходе длительной работы, разработан бизнес-план комплексной переработки бурого угля на Байдаковской брикетной фабрике и ТЭЦ 1–2, которым предусматривается:

- реконструкция основных фондов фабрики и ТЭЦ 1–2;
- строительство экстракционного цеха для получения сырого буроугольного воска;
- наращивание тепловой и электрической мощности на ТЭЦ 1–2, строительство паротрассы для отопления и горячего водоснабжения жилых массивов г. Александрия.

Технико–экономические показатели модель планируемого производства показывают состоятельность данного проекта не только с точки зрения эффективности вложенных денег, но и бюджетной эффективности. А это более 2,5 млн грн в год отчислений в бюджет и внебюджетные фонды.

Реализация данного проекта позволит сохранить более 550 высокооплачиваемых прямых рабочих мест и, следовательно, более 1500 мест на смежных производствах, что в свою очередь позитивно скажется на социально-экономической ситуации в регионе.

Негативный Российский опыт заключается в ликвидации ОАО “Башкируголь” (в основном брикетной фабрики), вследствие чего другие угледобывающие предприятия Южноуральского буроугольного бассейна остались без рынка сбыта рядового бурого угля, качественные характеристики которого подобны углю Днепровского бассейна.

### **Технология брикетирования углей**

Технология производства брикетов на Димитровской и Байдаковской брикетных фабриках одинаковая, а именно – без применения связующих из бурого угля Днепровского бассейна.

Технологический процесс брикетирования бурых углей включает следующие операции: подготовку угля по крупности, сушку, охлаждение перед прессованием, прессование, охлаждение и погрузку готовых брикетов (рис.1.6).

Сырой уголь поступает на брикетную фабрику из шахт и разрезов Днепровского буроугольного бассейна. Уголь разгружается с железнодорожных вагонов в приемную яму емкостью 1500 т.

Разгрузка бункеров двухсторонняя – с помощью лопастных питателей. В приемной яме расположены две крыльчатые дробилки. Далее уголь по конвейеру поступает в дробильно-сортировочный корпус на валковые грохота для классификации.

После классификации класс 0–6 мм направляется на сушку в сушильно-прессовый корпус.

Сушильное отделение оборудовано паровыми трубчатыми сушилками, которые работают на отработанном перегретом паре Александрийской ТЭЦ 1–2. Высушенный уголь с температурой до 80–85 °С и влажностью 20 % подается в охлаждающее отделение, где он охлаждается до температуры 40–50 °С.

Охлажденная сушенка поступает на прессование. В процессе прессования под действием высоких механических усилий происходит обжиг угольной мелочи; в результате она превращается в кусковой продукт – брикет.

Брикеты, выходящие из штемпельного пресса, имеют температуру 70–80 °С на поверхности и 50–60 °С внутри.

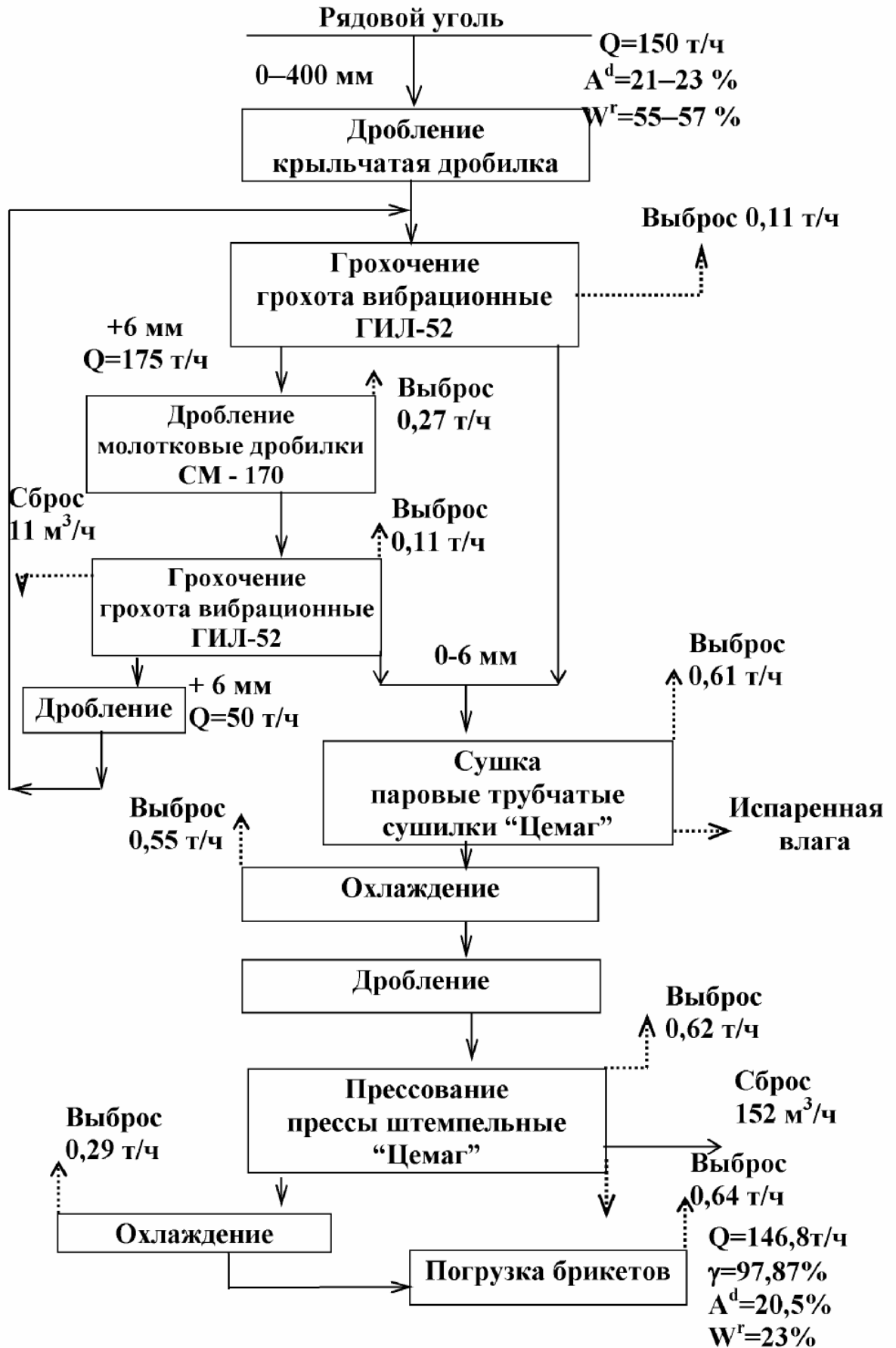


Рис. 1.6. Технология производства бурого угольных брикетов

Поэтому они из-за высокой температуры легко деформируются и даже разрушаются. Следовательно, обязательной технологической операцией является их охлаждение, которое осуществляется на охладительных желобах и сетчатых конвейерах. По мере движения брикетов по желобу происходит их охлаждение и постепенное снятие внутренних напряжений. В результате брикеты приобретают прочные внутрискруктурные связи.

Завершающей стадией производственного процесса брикетирования углей является погрузка готовых брикетов в железнодорожные вагоны для доставки потребителю.

Удельный расход угля на производство одной тонны брикетов составляет от 2,05 до 2,3 т в зависимости от объемов производства и технического состояния оборудования.

Данная технология характеризуется наличием традиционного подхода к брикетированию бурых углей без связующих и связана с получением производственных отходов в виде боя брикетов (крошки) и шламов, которые складываются в шламоотстойники. Разработка природоохранной технологии переработки отходов производства брикетов (шламы, крошка, бой брикетов) с целью их утилизации на основе рационально обоснованного технологического оборудования – одно из приоритетных направлений в сфере ресурсосберегающей технологии.

#### **Анализ источников образования отходов производства и водоснабжения брикетных фабрик**

Процесс брикетирования угля на брикетных фабриках сопровождается образованием большого количества угольной пыли.

Улавливание пыли на фабриках осуществляется сухим, мокрым и комбинированным способами.

При сухом способе пылеулавливание и осуществляется в циклонах, батарейных циклонах и электрофильтрах; при этом вся пыль вновь возвращается на брикетирование [41]. Однако в циклонах и батарейных циклонах не достигается полного улавливания тонкой пыли.

Мокрое пылеулавливание проводится в орошаемых циклонах, мокрых пылеуловителях и камерах мокрой очистки. При этом достигается более полная очистка газов от пыли; однако образуется шлам, который является одним из источников отходов брикетных фабрик.

Комбинированный способ пылеулавливания основан на двух стадиях: осаждение крупной пыли в сухих пылеуловителях и улавливание тонкой пыли в мокрых пылеуловителях. При этом достигается высокая степень очистки и значительная часть пыли возвращается в технологический процесс.

На буроугольных брикетных фабриках пыль образуется на всем тракте движения угля и брикетов.

Наибольшее пылеобразование происходит при сушке угля, транспортировании и прессовании сушенки.

В дробильно-сортировочном цехе пыль образуется в местах перепада сырого угля и при дроблении в молотковых дробилках. Для избегания попадания пыли в атмосферу в местах перегрузки угля с конвейеров установлена вентиляционная система сухой очистки.

Воздух, отсасываемый с мест перегрузки угля из молотковых дробилок, очищается тремя ступенями сухой очистки: первая – коллектор диаметром 300 мм, вторая – комюлятор и третья – циклон.

В сушильно-прессовом цехе основной источник выделения пыли – это сушильные барабаны. Угольная пыль, уносимая паровоздушной смесью из паровых трубчатых сушилок, улавливается электрофильтрами. Каждый электрофильтр оборудован системой автоматического управления.

Обеспылевание скребковых конвейеров в сушильно-прессовом корпусе осуществляется вентиляционными системами с двумя ступенями очистки: первая – сухая, вторая – мокрая.

В охладительном отделении для улавливания угольной пыли, поступающей от скребковых конвейеров и охладительных барабанов, применяется мокрое пылеулавливание.

В штемпельном прессе сухая пылевоздушная смесь образуется в питателе и вертикальном загрузочном канале у штемпеля на выходе его из головки пресса, а влажная – на выходе брикетной ленты из канала пресса. Поэтому в прессовом отделении предусмотрены две отдельные системы обеспыливания штемпелей и питателей, а также отдельно головок прессов.

Запыленный воздух из питателя и от штемпеля отсасывается по трубопроводам пылеулавливающими установками и направляется на первую ступень очистки циклона, индивидуальную для каждого пресса, где осаждается крупная пыль. Воздух, содержащий мелкую пыль, поступает на вторую ступень очистки, а тонкая пыль – на окончательную очистку в мокрый пылеуловитель.

Смесь воздуха, водяных паров, выделяющихся из прессового канала у брикетной ленты, и пыли отсасывается вентиляционными системами и подается в мокрые пылеуловители. На участке погрузки брикетов пыль отсасывается пылеулавливающими системами, состоящими из четырех циклонов.

На фабриках имеются источники выброса вредных веществ в атмосферу – это охладительные желоба для буроугольных брикетов и площади под ними, а также аварийный склад готовых брикетов. Выбросы с площади между сортировочно-погрузочным комплексом и охладительными конвейерами составляют 76,35 тонн в год, а с аварийного склада – 0,12 тонн в год.

Выбросы твердых веществ в атмосферу за последний год только на Димитровской брикетной фабрике составили 2068,01 т.

Значение приведенной массы годового выброса загрязняющих веществ в атмосферу определяется по следующей формуле:

$$M=At=40\cdot 2068,01=82720,4 \text{ т/год,}$$

где  $A$  – показатель относительной агрессивности вредного вещества [41];

$t$  – масса годового выброса, т.

Количество вредных веществ, выбрасываемых в атмосферу и загрязняющих окружающую среду на 1000 кг продукции, составляет в целом по фабрике 2,012 кг. Их характеристика приведена в табл. 1.4.

Таблица 1.4

### *Характеристика выбросов в атмосферу вредных веществ*

Вредное вещество	Количество вредных веществ, т/год				Лимит выброса
	выделенных от всех источников	выделенных без очистки	поступивших на очистные установки	выброшенных в атмосферу (фактически)	
Буроугольная пыль	134581,48	76,47	134505,01	2068,01	2464,68

Характеристика состояния окружающей среды определяется значениями фоновых концентраций загрязняющих веществ, которые согласно данным Кировоградского областного комитета по охране природы приведены в табл. 1.5.



Таблица 1.5

**Значения фоновых концентраций загрязняющих веществ**

Загрязняющее вещество	Код загрязняющего вещества	Значения фоновых концентраций, мг/м <sup>3</sup>
Сернистый ангидрид	701	0,1
Двуокись азота	200	0,03
Окись углерода	322	1,5
Пыль	986	0,2

На промплощадке фабрики имеется три системы водопровода (питьевая, производственно–противопожарная и повторного использования).

Источником водоснабжения систем питьевого водопровода является городской водопровод, по которому поступает вода из реки Днепр по каналу Днепр-Кировоград в объеме 9 м<sup>3</sup>/ч.

Питьевая вода используется для хозяйственно-бытовых нужд, т. е. душевых, стирки специальной одежды, приготовления пищи в столовой и т. д.

Характеристика источников вредных веществ в системе водоснабжения приведена в табл. 1.6.

Таблица 1.6

**Характеристика источников вредных веществ в системе водоснабжения брикетной фабрики**

Источники вредных веществ	Показатели качества воды в контрольных растворах, мг/л	
	г. Александрия, Ингулецкое водохранилище на реке Ингулец	г. Александрия, водопровод Днепр-Кировоград
Взвешенные вещества	10,75	–
Сухой остаток	720	333
Нефтепродукты	0,05	–
Аммиак	0,38	0,08
Железо	0,3	0,19
Хлориды	–	34
Сульфаты	–	46

Для производственных нужд забор воды осуществляется из Ингулецкого водохранилища в объеме, определяемом производительностью и режимом работы насосной станции.

Техническая вода используется на технологические нужды, т.е. на охлаждение оборудования, конденсата, затем на обеспыливание и смыв пыли.

На промплощадке фабрики находятся в эксплуатации две системы канализации – бытовых и производственных стоков (рис. 1.7).

Бытовая канализация отводит стоки от санузлов и бытовых помещений на городские очистные сооружения. Объем этих сточных вод, сбрасываемых в канализацию, составляет 4,0 м<sup>3</sup>/ч.

Производственные сточные воды, содержащие буроголистый шлам после обеспыливания и мытья полов, с территории фабрики поступают в бойлерную насосную, а оттуда перекачиваются в золоотстойник. Он находится на балансе Александровской ТЭЦ 1–2 и является шламонакопителем (горная выработка бывшего Байдаковского угольного разреза). После его заполнения шламом данная площадь будет рекультивирована и передана сельскому хозяйству (табл.1.7).

Таблица 1.7

***Характеристика полигонов и накопителей, предназначенных для складирования отходов***

<b>Накопитель отходов (район размещения)</b>	<b>Площадь, га</b>	<b>Площадь санитарно- защитной зоны, га</b>	<b>Заполнение емкости, тыс. т/год</b>	<b>Срок службы (начало и окончание по проекту), год</b>
<b>Золошламохранилище (горная выработка отработанного Байдаковского угольного разреза)</b>	<b>110</b>	<b>50</b>	<b>6000</b>	<b>1972 – 2009</b>

Санпрофлабораторией райэнергоуправления регулярно проводится химический анализ сточных вод, результаты которого показывают, что сбрасываемые воды и шлам не токсичны.

За время эксплуатации шламонакопителя в нем образовалось значительное количество шлама и нужна технология, которая предотвратит сбрасывание шламовой воды за пределы фабрики.

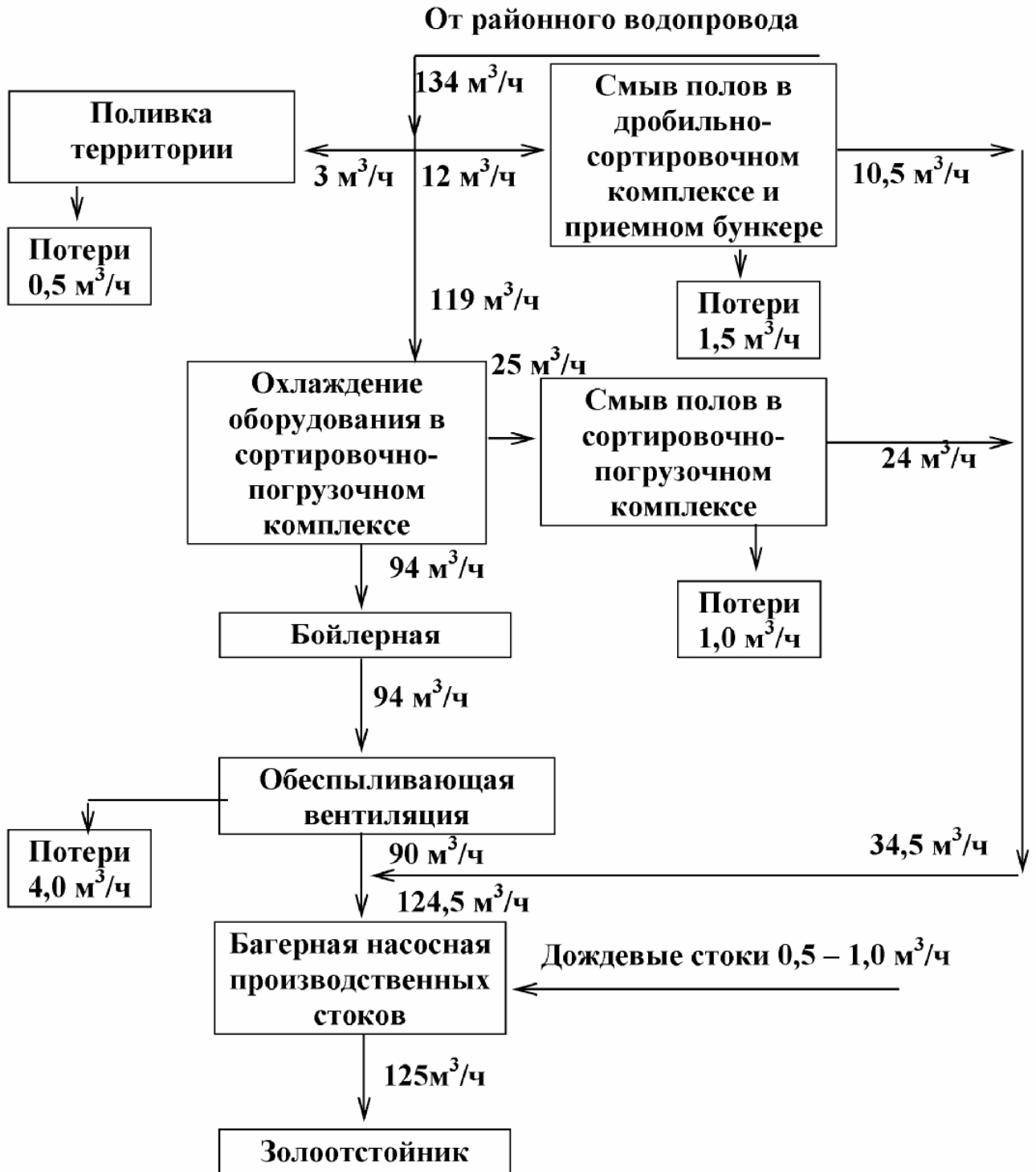


Рис. 1.7. Схема водоснабжения брикетной фабрики

Выходящие из штемпельного пресса брикеты из-за высокой температуры легко деформируются и даже разрушаются. Поэтому обязательной технологической операцией является их охлаждение.

При охлаждении буроугольных брикетов на охладительных желобах и конвейерах образуется 72150 т/год крошки (табл. 1.8).

Таблица 1.8

**Характеристика отходов, образующихся на предприятии**

Отходы	Технологический процесс или производство, где образуются отходы	Агрегатное состояние	Количество отходов, т/год,			Периодичность образования и сброса отходов за пределы фабрики
			образованных всего	переданных другими предприятиями, организациями	использованных на предприятии	
Буроугольная крошка	Охлаждение брикета	Твердое	72150	65650	6400	Постоянно
Шлам	Производственные сточные воды	Твердое	5096	—	—	Постоянно

Таким образом, на брикетных фабриках, кроме боя брикетов (крошки), образуются отходы в виде пыли, которая выбрасывается в атмосферу, и шлама, складываемого в золоотстойник.

Недостатками традиционной технологии производства буроугольных брикетов на брикетных фабриках являются: отсутствие замкнутого водно-шламового цикла и потери топлива в виде тонких частиц (класс 0–0,3 мм), содержание которых в шламах брикетных фабрик достигает 90 %, а также загрязнение окружающей среды сбросом этих шламов за пределы фабрики.

Например, Байдаковская брикетная фабрика сбрасывает более 3000 м<sup>3</sup>/сут буроугольных шламов с концентрацией твердого до 10 % в карьер-отстойник. В последний из системы гидроулавливания золы Александрийской ТЭЦ перекачивается около 2400 м<sup>3</sup>/сут пульпы с концентрацией буроугольной золы до 100 кг/м<sup>3</sup> [11, 12, 38].

После смешения в отстойнике пульпа содержит до 5 % твердой фазы, где 4,4 % составляет зола, а 0,6 % – бурый уголь, т.е. шлам содержит 88 % золы и 12 % бурого угля.

Утилизация этой смеси практически невозможна ни как топлива, из-за высокой зольности, ни как стройматериала, из-за способности его к самовозгоранию.

Шламовая вода брикетной фабрики, содержащая до 10 % бурого угля, трудно и длительно осветляется, так как плотность угля составляет  $1,05\text{--}1,07\text{ г/см}^3$ , т. е. незначительно отличается от плотности воды. Скорость естественного осаждения шламовых частиц составляет  $(2,31\text{--}5,79) \cdot 10^{-7}\text{ м/с}$ .

Таким образом, традиционная технология производства буроугольных брикетов нуждается в системе замкнутого водоснабжения фабрики, что предотвратит сбрасывание шламовых вод в карьер-отстойник.

#### **1.4. Анализ основных работ по переработке угольных шламов**

Для полного прекращения сброса шламовой воды за пределы фабрики и охраны окружающей среды угольной к промышленности предъявляются высокие требования в отношении повышения качества продукции. В связи с этим дальнейший технический прогресс связан с применением замкнутых циклов водоснабжения, т. е. с очисткой и переработкой сточных вод.

Источником образования шлама в сточных водах брикетных фабрик являются дробление, измельчение и истирание угля, а также процесс его транспортировки. В результате суммарный выход угольных шламов на фабриках растет. Таким образом, наличие в технологической схеме эффективной переработки шламов – одно из решающих условий стабильной и качественной работы фабрики.

При переработке угольных шламов особенное значение имеют их физико-химические характеристики: гранулометрический состав, удельная поверхность, зольность и др.

Содержание в шламовой пульпе большого количества тонкодисперсных минеральных частиц создает серьезные проблемы при выборе эффективных технологий переработки угольных шламов. Из существующих технологий по их переработки (осветление шламовых вод на фабриках и обогащение шлама) наибольшее применение получила пенная флотация [40]. Однако в некоторых случаях пенная флотация не обеспечивает необходимого качества продукта из-за недостаточной селективности разделения органической и минеральной составляющих угольного шлама.

Основная причина низкой селективности разделения угольного шлама при оптимальном режиме флотации – наличие в нем большого количества тонкодисперсных фракций, которые обладают

пониженной вероятностью столкновения и закрепления угольных частиц к пузырькам воздуха [9]. В результате снижения селективности процесса флотации часто органическая масса угля теряется вместе с отходами.

В условиях недостаточной эффективности традиционных технологий переработки угольных шламов перспективной является технология селективной флокуляции.

Селективная флокуляция тонкодисперсных угольных фракций осуществляется с помощью водорастворимых или гидрофобных полимерных соединений [25]. В обоих случаях наблюдается мостиковый механизм структурообразования.

Среди водорастворимых различают анионные, катионные и неионогенные полимерные флокулянты.

Анионные полимерные флокулянты состоят, в основном, из полиакриловой кислоты, ее солей или акриламида.

Катионные полимерные флокулянты представляют собой положительно заряженные группы аминов, иминов или четвертичных аминов. Флокуляционное действие катионных флокулянтов проявляется как при низкомолекулярных массах, так и при высоких, поскольку их действие обусловлено комбинацией явлений электронной нейтрализации и механизма мостикообразования [53].

Неионогенные полимеры состоят, в основном, из полиспиртов, негидролизированных полиэфиров и полиамидов. Из них в процессах селективной флокуляции наиболее широко используется негидролизированный полиакриламид (ПАА). Информация о применении растворимых полимерных флокулянтов отражена в работах [3, 24, 26, 37 и др.].

В настоящее время широко применяются водорастворимые полимеры на основе акриламида (АА), которые объединены под общим названием “полиакриламиды”. В эту группу входят полиакриламид (ПАА) – неионогенный полимер, его анионные (например, частично гидролизированный ПАА) и катионные (например, поливиниламин) производные, а также сополимеры АА с различными ионогенными и неионогенными мономерами.

Полимеры и сополимеры с разными молекулярной массой, молекулярно-массовым распределением, химическим составом и распределением звеньев исходных мономеров (вдоль цепи, линейные, разветвленные и сшитые) имеют различное функциональное назначение и соответственно области применения:

- неионные полимеры – очистка природных и сточных вод, обезвоживание осадков в целлюлозно-бумажной промышленности;
- анионные полимеры – водообработка, флокуляция хвостов флотации руд, обогащение и регенерация полезных ископаемых и нефти, обработка бумаги и шлихтование текстильных материалов (создание на поверхности нити эластичной и прочной пленки с высокой водопоглощающей способностью, которая закрепляет выступающие волокна на стволе нити и улучшает качественные ее свойства);
- катионные полимеры – обработка бумаги и флокуляция биологических клеток.

Высокомолекулярные полимеры, эффективность свойств которых возрастает с увеличением молекулярной массы, используют как флокулянты, загустители, структуро- и пленкообразователи, а также для смазки.

Низкомолекулярные полимеры используют как разжижители нефти, диспергаторы и стабилизаторы буровых растворов, а также как добавки для герметизации, снижения потерь цементного раствора и предотвращения образования накипи.

Прививку АА на различные полимеры применяют для улучшения их свойств (например, при прививке на полиакрилонитрил повышаются гидрофильность, окрашиваемость и адгезия).

Наиболее широко водорастворимые полимеры АА используются в качестве флокулянтов для эффективной очистки природных и промышленных сточных вод, улавливания и выделения ионов тяжелых металлов и токсичных веществ, что способствует решению экологической проблемы защиты окружающей среды и, в частности, природных водоемов от загрязнений.

Действие флокулянтов основано на агломерации частиц в крупные флокулы, что способствует их быстрому осаждению. Флокуляция происходит вследствие адсорбции макромолекул в результате их физической или химической связи с поверхностью частиц по механизму мостикообразования или нейтрализации зарядов.

Эффективному связыванию осаждаемых частиц способствует увеличение размеров макромолекул в водной среде в результате увеличения молекулярной массы и содержания ионогенных звеньев в цепи (например, при флокуляции различных дисперсных систем наилучшие результаты получены при 20–30 %-ном содержании карбоксилатных групп в гидролизованном ПАА).

Малые добавки (0,02 %) частично гидролизованного ПАА в воду водохранилищ, ирригационных водоемов и плавательных бассейнов используют для снижения (на 14 %) скорости испарения воды.

По прогнозам специалистов, в связи с ухудшением экологической обстановки ожидается увеличение объема использования полимеров для очистки природных и промышленных сточных вод.

Успешно применяются полимеры АА как флокулянты и в медицинской, микробиологической и пищевой (например, для очистки сахарных сиропов и фруктовых соков) промышленности.

Полимеры АА часто применяются в качестве селективных флокулянтов при добыче, обогащении руд и регенерации ценных полезных ископаемых (уран, золото, титан, алюминий, железо, каменный уголь).

Добавление в небольших объемах ПАА в воду (0,001 %) в два раза повышает эффективность резания мрамора струей воды под давлением. Разрушающий эффект струи подобен действию на образец смеси песка и воды, но не разрушает трубы и насосы установки.

Обработка водными растворами частично гидролизованного ПАА пылевидных частиц успешно используется для снижения запыленности в угольных шахтах, на асбестовых заводах и при бурении.

Технология селективной флокуляции гидрофобными полимерами, например, такими как КАТ-FLOC 3840, КАТ F 148, КАН 20 VHM, X99B1 применяется для обогащения и обезвоживания различных видов полезных ископаемых, в том числе мелкодисперсных классов угля. Наиболее подробно результаты этих исследований изложены в работах [49, 50, 52, 55], где приведены данные исследований комбинированных флокуляционно-флотационных технологий по переработке угольного шлама и влиянием рН среды на механизм взаимодействия селективных флокулянтов с угольными частицами.

В Великобритании разработан способ селективной флокуляции угля с использованием в качестве флокулянта смеси аполярных масел и гидрофобных полимеров [48, 54]. При этом происходит селективная флокуляция с последующим удалением флокулянта флотацией. Все авторы подчеркивают, что технология селективной флокуляции



угольного шлама гидрофобными полимерами отличается высокой экологической безопасностью.

Таким образом, проведенный анализ показывает, что из всей совокупности потенциальных путей повышения эффективности переработки тонкодисперсных угольных шламов наиболее эффективной, но и дорогостоящей на сегодняшний день является технология селективной флокуляции полимерными соединениями.

Для очистки повторно используемой воды от взвесей на фабриках имеются аппараты и устройства, объединенные в единую водно-шламовую систему предприятия. Общая тенденция развития водно-шламовых систем состоит в отказе от наружных очистных сооружений и осветлении циркулирующей воды внутри фабрики. Однако до настоящего времени наружные очистные сооружения – хвостохранилища (илонакопители) и шламовые отстойники являются обязательным технологическим звеном на большинстве фабрик.

Подача шламовой пульпы в отстойники свидетельствует о несовершенстве технологического процесса и в первую очередь – водно-шламовой системы предприятия. В наибольшей степени это касается фабрик, перерабатывающих бурые угли.

Хвостохранилища, как и шламовые отстойники, являются источниками загрязнения окружающей среды. Дренажное дно и стенки хвостохранилища и отстойников приводит к повышенной минерализации и значительному насыщению органическими соединениями подпочвенных вод.

Наличие хвостохранилищ отрицательно сказывается и на экономике брикетных фабрик, причем не только в результате капиталовложений на их строительство, но и в связи с повышением эксплуатационных расходов на транспортирование (иногда за несколько километров) шламовой воды в хвостохранилище.

## **Выводы**

Проведенный анализ, касающийся технологии переработки бурых углей, позволил сделать следующие выводы:

1. Проблему утилизации отходов производства буроугольных брикетов необходимо решать в связи с обеспечением охраны окружающей среды и рациональной эксплуатации брикетных фабрик, на которых тонкодисперсные шламы составляют 3 – 10 %, удаляемых в илонакопители вследствие низкой технологической эффективности существующего оборудования.

2. Наиболее перспективной для переработки буроугольных шламов является безреагентная флотосепарация, характеризующаяся высокой технологической эффективностью, низкой энергоемкостью и простотой аппаратного исполнения.

3. Технология переработки буроугольного шлама до настоящего времени не исследована как теоретически, так и экспериментально, что не позволяет определить рациональные параметры соответствующего оборудования.

В соответствии с выбранным направлением исследования и для достижения поставленной в настоящей работе цели необходимо решить следующие задачи:

1. Выявление и изучение особенностей бурых углей и шлама брикетных фабрик, а также исследование поверхностных свойств шлама для обоснования разделительного признака.

2. Определение разделительного признака буроугольного шлама с учетом его поверхностных свойств для установления технологической эффективности безреагентной флотосепарации.

3. Исследование кинетики осаждения и влияния различных флокулянтов на эффективность процесса сгущения шлама для его улавливания и получения оборотной воды.

4. Разработка безотходной технологии переработки буроугольных шламов с целью их утилизации на основе обоснования рациональных параметров соответствующего оборудования.