

3991

66.063.62

К94

АКАДЕМИЯ НАУК СОЮЗА ССР

ЭНЕРГЕТИЧЕСКИЙ ИНСТИТУТ
им. Г. М. КРЖИЖАНОВСКОГО

В. Ф. КУСТОВ

ТОПЛИВНЫЕ СУСПЕНЗИИ

*

ИЗДАТЕЛЬСТВО АКАДЕМИИ НАУК СССР

55.

К 94

Д Е П

А К А Д Е М И Я Н А У К С О Ю З А С С Р

ЭНЕРГЕТИЧЕСКИЙ ИНСТИТУТ им. Г. М. КРЖИЖАНОВСКОГО

8

662.6
12.94

РЕСПУБЛИКАНСКАЯ
НАУЧНО-ТЕХНИЧЕС-
КАЯ БИБЛИОТЕКА
БССР

В. Ф. КУСТОВ

ТОПЛИВНЫЕ СУСПЕНЗИИ

★

65500

РЕСПУБЛИКАНСКАЯ
НАУЧНО-ТЕХНИЧЕС-
КАЯ БИБЛИОТЕКА
БССР

965 07

МИНСКАЯ ОБЛАСТНАЯ
НАУЧНО-ТЕХНИЧЕС-
КАЯ БИБЛИОТЕКА
БССР

А. С. ПУШКИНА

Инв. №

ИЗДАТЕЛЬСТВО АКАДЕМИИ НАУК СОЮЗА ССР

МОСКВА

1942

ЛЕНИНГРАД

Ответственный редактор *акад. Г. М. КРЖИЖАНОВСКИЙ*

Редактор *И. М. Подгорненская*

Подписано в печати 18/XII 1942 г.	Печ. листов 11,5	Бумага 70 X 108 ^{1/16}
Уч.-изд. л. 16,77	Л1102828	Цена 9 руб. Тираж 3000
		Заказ 830

13-я тип. ОГИЗ РСФСР треста „Полиграфкинг“. Москва, Денисовский пер., д. № 20

ОТ АВТОРА

Скорость химической реакции зависит от агрегатного состояния веществ, вступающих в реакцию. Распыленные дисперсные материалы, например мазут, уголь и т. д., в топке печи быстрее сгорают, чем твердое кусковое топливо. Жидкое топливо весьма удобно для эксплуатации, но требования, предъявляемые химической промышленностью на нефть и коксующиеся угли, вынуждают промышленность искать менее дефицитное топливо. Однако перевод установок, работающих на жидком топливе, на другие виды топлива, иногда задерживается или встречает технические затруднения. В этом случае значительное сокращение расхода мазута возможно иметь при наличии несложной установки, изготовляющей углемазутную смесь. Применение углемазутных смесей может быть также промежуточным этапом при переводе топки на пылеугольное отопление. В некоторых случаях работы печей на газовом топливе углемазутные смеси могут применяться для «подцветки» газа.

Значение углемазутных смесей не ограничивается заменой ими котельного и печного мазута. В настоящее время проводятся многочисленные опыты по применению топливных смесей в двигателях внутреннего сгорания. Недавно в американских газетах сообщалось, что директор одного института, занимающийся топливными суспензиями, совершает поездки по г. Чикаго на автомобиле, работающем на суспензии; он же обещал в ближайшее время выпустить на рынок суспензии для автомобилей с содержанием до 20% твердого топлива. Большой интерес представляет также коксование суспензии как с целью получения кокса из некоксующихся углей, так и различных высокоцековых дистиллатов.

В этой монографии, первой в мировой литературе по вопросу топливных суспензий, автор имел желание собрать материал, опубликованный в иностранной и нашей печати, а также сообщить документальный материалы его опытных исследований смесей в производственных условиях. Эти работы организованы им и проведены под его руководством.

На различных конференциях инженеров и техников, а также частично в печати автор уже сообщал о результатах опытных сжиганий смесей. В настоящей монографии, значительно сокращенной с ранее наменным объемом, не только сообщаются материалы по топливным суспензиям, а также и высказывается ряд мыслей на возможность дальнейших работ в области изготовления технологических, т. е. специально приготовленных топлив из различных видов горючих. Автор считает, что даже электростанции должны иметь обогороженное топливо. Необходимо поставить культуру топлива так, чтобы котлы электростанций не были утилизационными агрегатами; «химические комбинации», которыми увлекаются некоторые теплотехники, только затрудняют работу станций. Культура топлива вовсе не означает приготовление топлива настолько высокого качества, что оно могло бы конкурировать с аптечными медикаментами. Одностороннее повышение

требований к моторному топливу привело конструкторов моторостроения в тупик, и в этом направлении совместная работа механизмов, химиков и физиков будет содействовать созданию новых, менее капризных машин, работающих на новых видах топлива — смешанных топливах.

Автор старался настоящую монографию дать для широкого круга лиц, имеющих дело с топливом: инженеров, теплотехников, металлургов, экономистов, научных работников, студентов, сталеваров и квалифицированных кочегаров.

Автор вполне удовлетворен тем вниманием, которое ему оказывала техническая общественность при организации и постановке опытов, а также и в обсуждении результатов их на совещаниях и конференциях и с большой любовью и благодарностью за доверие вспоминает тот большой коллектив инженеров и техников, который принимал непосредственное участие в проведении испытаний.

Товарищескую признательность автор выражает: С. Н. Панкову, А. И. Евсееву, И. Я. Лаврушину, Г. М. Чиликину, В. И. Коршунову, Л. Л. Хотунцеву, В. Н. Фетисовой, А. К. Скрябину, И. П. Жабину, Р. С. Назарову, Н. Н. Некрасову, В. Н. Рукавишникову, В. М. Фейгину, М. Н. Старовичу, Юшину, В. А. Гольдштейну, Н. Г. Былинкину, К. Чиркову и многим другим инженерам, техникам, сталеварам, кочегарам и студентам, принимавшим горячее участие в проведении опытов и содействовавшим их успеху.

Автор также выражает благодарность за товарищеский обмен опытом и приглашение на проведение испытаний: А. М. Смирнову, Четвертакову, А. И. Дворецкому, К. И. Иванову и С. Н. Семихатову.

За ценные советы и моральную поддержку автор позволяет себе быть признательным: академику Г. М. Кржижановскому, академику М. В. Кирпичеву, проф. В. И. Шрётеру, заслуженному деятелю науки проф. В. Р. Вильямсу, члену-корреспонденту АН проф. П. А. Ребиндеру, проф. Воларовичу, проф. Фигуровскому, заслуженному деятелю науки проф. Е. К. Мазингу, проф. Н. М. Караваеву.

За весь период работы с 1935 до 1942 г. тяжелый труд секретаря выполняла моя жена А. С. Кустова, за что ей выражаю особую благодарность.

Доктор технических наук проф. В. Кустов

ГЛАВА I

ОБЩИЙ ОБЗОР РАЗВИТИЯ ТЕХНИКИ ИЗГОТОВЛЕНИЯ И ПРИМЕНЕНИЯ ТОПЛИВНЫХ СУСПЕНЗИЙ

ИСТОРИЯ ПРИМЕНЕНИЯ ТОПЛИВНЫХ СУСПЕНЗИЙ ЗА ГРАНИЦЕЙ

Указать первый момент приготовления в качестве топлива смеси из жидкого топлива и твердого порошкового топлива довольно трудно. Имеется в литературе указание (1), что капитаном Сельвином в Вульвиче производились опыты по изготовлению угольных суспензий в 1867—1870 гг.; в качестве жидкой среды он брал креозотовое масло. Имеются указания и на других авторов: Манинг приводит фамилии Смита и Мунселя, приготовивших смесь в 1879 г. В 1912 г. в качестве жидкой среды было испытано оланцевое масло, показавшее хороший результат. Годур (Англия) готовил суспензию, состоящую из угольного порошка, антраценового масла и петролейного эфира, но она не имела практического значения.

Наиболее серьезной следует считать попытку приготовить топливо из смеси нефти и угольного порошка, сделанную изобретателем коллоидной мельницы ниж. Плаусоном, работавшим в 1913 г. в Петербурге (2—4). Плаусон эту мельницу использовал для приготовления суспензий; так как угольные частицы были получены диаметром 5—20 μ , то осадок не образовывался в течение весьма продолжительного времени. Однако практическому использованию коллоидных мельниц даже в настоящее время, при наличии весьма существенных усовершенствований их, мешает значительный расход энергии на работу этих мельниц.

Вопрос об изготовлении суспензий был поднят к концу первой мировой войны в связи с применением подводных лодок: германские подводные лодки начали топить в большом количестве транспортные суда, что вызвало нефтяной голод, прежде всего в Англии. Попытки применить порошковое топливо, сделанная британским адмиралтейством, успеха не имела, так как порошковое топливо вследствие малой калорийности занимало на судах большой объем, а изготовление порошка на самих судах представляло большие неудобства.

В 1917 г. группой американских корабельных, нефтяных и страховых фирм было организовано «Общество защиты от подводных лодок». Линдс В. Бэтс руководил технической стороной дела. Бэтсом на построенной им станции для изготовления углемазутных смесей (5—6) были использованы работники исследовательской лаборатории фирмы «Кодак», состоявшей членом указанного общества (7). Для проведения испытаний в условиях морского плавания адмиралом Бенсоном было предоставлено небольшое судно «Джем»; эти испытания состоялись в апреле—июле 1918 г. и дали вполне удовлетворительные результаты, опубликованные в патентной литературе уже после войны (8—22). Аналогичные опыты были проведены и на суше. Топливная су-

спензия в указанных опытах состояла из угольного порошка, проходившего через сито в 100 меш и остававшегося на сите в 200 меш, и топочного масла с удельным весом 0.900 при вязкости 2300 сек. по Редвуду. Угольного порошка было взято в количестве около 30% (по весу) и жидкого топлива около 70%. Уже тогда было отмечено, что скорость падения частиц угля в полученной суспензии была значительно более замедлена, чем вычисленная скорость по правилу Стокса; ввиду того что при подаче в форсунку смесь подогревалась и тем самым понижалась стабильность суспензии, тогда же было предложено добавлять защитные коллоиды в качестве стабилизаторов.

Дэнн, приводя описание опытов на судне «Джем», указывает несколько рецептов изготовления суспензии:

1. Антрацит	15%	2. Бурый уголь	35%
Жирный уголь	15%	Нефть	55%
Газовая смола	15%	Фиксатор	10%
Нефть	55%		

Уголь размалывался со смолой и 20% нефти при 95° и затем в смесителе смешивался с остальной нефтью.

Угольный порошок проходил через сито № 40 в количестве 95% и через сито № 80 в количестве 85%. Фиксатор готовился смешиванием гашеной извести в количестве 5%, тяжелой нефти (Тексас) 83,5%, воды 1,5%, смолы 10%.

К сожалению, вся статья Дэнна составлена весьма неясно, так что по ней трудно судить, что взято автором из практики и опытов судна «Джем» и что из патентных описаний. Как пример укажем следующее: в этой же статье автор указывает на то, что угля можно взять для суспензий до 45 и даже до 75%, последняя цифра неправильна.

На судне «Джем» сжигание производилось на том же агрегате, где сжигалось обычное жидкое топливо. Суспензия подавалась насосом через трубу диаметром 2" на дно питательного бака, и для сжигания применялись механические форсунки Шютте и Кертинга.

Распыление подогретой до 65° суспензии производилось при давлении в 10 атм. Теплопроизводительность котельной установки при работе на суспензии не отличалась от работы на нефти. Дымообразование было не больше, чем на обычном жидком топливе.

Текучесть при выходе из форсунки также не отличалась от обычного жидкого топлива; изнашивание концов форсунки не было замечено в течение трех месяцев. Образование осадка в баке и в трубопроводах также не было замечено, но форсунки рекомендуется продувать по окончании работы паром или нефтью.

Таблица 1
Состав суспензий (в процентах)

Компоненты	Суспензия № 13	Суспензия № 14
Уголь	30	30
Каменноугольная смола и пр. . .	—	12
Фиксатор	1.5	1.2
Остатки мексик. нефти	28.8	—
Судовое топливо (Тексас) . . .	8.5	6.8
Нефтяные остатки	31.2	50.0

При одинаковой теплопроизводительности топливная суспензия занимает объем на 20% меньше, чем мазут.

Отмечено, что при хранении топливная суспензия выделяет меньше паров углеводородов. Принимая во внимание, что ее удельный вес больше единицы, хранение ее возможно, в случае применения не подверженного гидролизу фиксатора, под водой.

Дэни также приводит описание состава принятых Бэтсом суспензий (табл. 1) и описание результатов произведенного в 1919 г. сжигания суспензий и нефти под котлом стационарной установки (табл. 2).

Результаты испытаний

Таблица 2

Наименование	Суспензия		Нефть	
	№ 13	№ 14	опыт 1	опыт 2
Общая поверхность нагрева, м ²	450	450	450	450
Продолжительность в часах	8	8	8	8
Давление пара, кг/см ²	5.4	5.3	5.5	5.3
Температура питательной воды в °C	27	44	43	41
Мощность котла при температуре пара 116° в лошадиных силах	403	403	403	403
Форсировка, %	126	115	122	118.8
Теплотворная способность топлива, кал/кг	9632	9188	10165	10165
К. п. д. агрегата	76.8	85.3	75.9	79.5

Характеристика суспензии № 13 по анализу

Золы	3.2%	Вспышка	250°F
Серы	1.27%	Воспламенение	285°F
Вязкость при 70°F	6.5°E	Влажность	0.2%
Удельный вес при 70° F	1.0431		

В 1922 г. на железной дороге Great Central Railway (Англия) было проведено сжигание топливной суспензии в топке паровоза. При этих опытах были испытаны различные составы суспензий, как, например:

1. Угольный порошок	50%
Креозотовое масло	37.5%
Смола	12.5%
Теплотворная способность составляла	8466 кал/кг
2. Угольный порошок	50%
Топочное масло	50%
Теплотворная способность	9275 кал/кг
3. Угольный порошок	60%
Топочное масло	40%
Теплотворная способность	9104 кал/кг
4. Коксовая мелочь	50%
Топочное масло	50%
Теплотворная способность	8515 кал/кг

Сжигание суспензий в топке паровоза показало вполне удовлетворительные результаты (23—24).

Проф. Франке в Высшей технической школе в Ганновере проводит с 1922 г. опыты по изучению суспензий. В результате этого изучения в 1930 г. были поставлены машиностроительным обществом Балке (Бо-

хум, Германия), опыты в производственных условиях по сжиганию смесей, состоящих из 55% угольного порошка и 45% антраценового масла. Эта смесь была названа «текучим углем» (Fliesskohle)¹. О методе приготовления суспензии известно только, что смесь угля и масла «размалывалась» на специальной мельнице. Смесь сжигалась в топках паровых котлов; она содержала 3,5% золы. Опыты, проведенные машиностроительным обществом Балке, описаны Шультесом. Стабильность суспензии охарактеризована автором «по пробе, налитой в цилиндр высотой в 100 мм и оставленной стоять без сотрясений: через три недели были замечены первые следы разделения, а через девять месяцев наблюдалось просветление нефти на глубине 10 см от поверхности. Такая стабильность считалась достаточной (25).

Описание результатов сжигания под котлами корвалийского типа, полученных фирмой Балке, приводится в главе VI.

В 1932 г. паровой компанией «Cunard Steam Ship Co» было проведено сжигание углемазутной смеси в количестве 19 508 т под одним из котлов на судне «Скифия» в условиях нормального рейса между Ливерпулем и Нью-Йорком. О методе приготовления смеси этой фирмой данных не имеется. Известно лишь то, что тонкоизмельченный угольный порошок смешивался с крекинг-мазутом, дающим не менее 5% кокса по методу, указанному фирмой.

Определение кокса производится сжиганием в кварцевом тигле навески мазута на газовой горелке следующим способом: 1 г мазута сжигается в течение 7 мин. на бунзеновской горелке на высоте 20 см над пламенем в кварцевом тигле, имеющем размеры 35 × 20 × 40 мм, свободно покрытом фарфоровой крышкой. Пламя над тиглем должно иметь высоту 6—8 см и температуру 900°. Следует отметить, что такое определение имеет условный характер, принимая во внимание непостоянство температур пламени. Кроме того нашими опытами было установлено, что мазуты различного происхождения, дающие одно и то же количество кокса, по методу фирмы Кэнар могут давать с одним и тем же угольным порошком суспензии различной стабильности, о чем мы скажем в главе о химических условиях стабильности.

Ввиду того, что обычные защитные коллоиды типа воднорастворимых при наличии воды не предохраняют суспензии от расслоения вследствие процесса гидролиза, фирма Кэнар отказалась вводить стабилизаторы при проведении своих первых опытов (в последнее время предполагают, что добавки стабилизаторов, не подверженных явлениям гидролиза, все-таки производятся). Углемазутное топливо на судне «Скифия» подавалось по общему мазутопроводу, и это не вызвало никаких осложнений. Топливо выдерживало хранение в течение девяти месяцев. Более подробные испытания были проведены фирмой на берегу в стационарных условиях, а позже и на других кораблях. Результаты опытов, как уже сказано нами, кратко сообщались во многих журналах (26—28).

Брэме на заседании Общества химической промышленности (Лондон) 14 октября 1932 г. сделал доклад о коллоидном топливе (29—30), вызвавший оживленный обмен мнениями. В своем докладе Брэме ссылается на опыты, поставленные на «Скифии» в 1930 г., и подсчитывает, какое количество нефти могло бы быть сэкономлено при переходе на топливные суспензии взамен нефти или мазута. Брэме применял старый термин «коллоидальное топливо», и ему совершенно справедливо было сделано замечание (Орманди) на несогласованность этого термина с фактическим материалом, так как на угольных мельницах получают частицы, весьма далекие от коллоидных размеров. Обращалось также внимание на возможность использования штыбов. На этом совещании

¹ В Германии называют также Kohlenheizöl.

дискутировался вопрос и с экономической стороны (Поп), и выяснена большая рентабельность суспензии по сравнению с мазутом, особенно в глубине страны (Англия).

Вообще с 1932 г. на страницах технических журналов все чаще и чаще начинают появляться заметки о «коллоидальном топливе».

Такие заметки появляются в английских изданиях *Fuel Economist* (31—34), *Steam Engineer* (35—36), *Colliery Guardian* (37), а также в немецких статьях Зандера (38), Герке (39).

Результаты работ по топливным суспензиям, проводимых научно-исследовательскими институтами различных стран, нашли некоторое отражение на Всемирном конгрессе по силовым установкам. В протоколах конгресса по топливным вопросам (1933 г.) помещены доклады ряда лиц, занимающихся вопросом топливных суспензий в Англии, Америке, Германии и Испании (40—44). Эти выступления показали, что смеси угольного порошка с жидким горючим уже в 1933 г. изучались с различных сторон во многих странах (45—46). В годовом отчете английского департамента по исследованию топлив за 1933 г. имеются указания о работах, производившихся в лаборатории по топливным суспензиям; по этому отчету видно, что в Англии этот вопрос весьма серьезно прорабатывался. Отчет этот (47—48) цитировался также в журналах, помещающих обычно статьи о топливных суспензиях (49—50).

1934 год определяется установившимися направлениями в исследовании топливных суспензий, преимущественно по стабильности и вязкости их, а также рядом выданных интересных патентов.

Статья Браунлэя описывает уже известные опыты на судне «Джем», на судне «Скифия», на машиностроительном заводе Балке и лишь упоминает новый метод изготовления углемазутных суспензий, только что ставший известным (после 10 лет работы) и описанный в патенте Стеофана Виндгема (51—52). Эта установка описана в том же журнале уже в 1935 г. Установка представляет собой результат многолетней опытной работы Виндгема и может производить без применения стабилизатора удовлетворительное топливо, которое остается устойчивым при нормальных температурах минимум в течение четырех месяцев. Отмечается, что для обработки пригоден любой битуминозный уголь с низким золосодержанием и что для этой цели может быть использовано большое количество сортов нефтетоплива.

В 1933 г. была заметка в журнале *Engineering* о докладе Дэнлопа в Обществе кораблестроителей Шотландии, где сообщалось о низкотемпературной карбонизации суспензий (53—54). По методу Дэнлопа топливо готовится следующим путем: уголь, флотированный при добавке масла, смешивается с нефтью в разных количествах, и смесь пропускается через теплообменники; при этом получают газы и различные фракции масел; угольные частицы при такой обработке разрыхляются и переходят в остаток с тяжелыми маслами. Полученная суспензия, названная карбонилем, является весьма стабильной и может применяться наравне с обычным жидким топливом. Автор заметки полагает, что такой способ получения будет более рентабельным, чем другие. Дэнлоп описывает получение топливной суспензии как морского топлива в *Petroleum Times* (55). В этом же 1934 г. появляются статьи (56), из которых мы узнаем, что топливными суспензиями занимаются также и в Японии. Для приготовления суспензий японцы используют фушунские угли (воды 6.46%, золы 6.49, плотность 1.272), мазуты из Такамаши (Япония) и парафинистые нефти удельного веса 0.879 и вязкостью 24° Е при 25° С.

Угольный порошок применяют тонкостью 200 меш, стабилизатор добавляется при хорошем размешивании смеси в течение часа при 100°; в качестве стабилизатора добавляют каучук, который является также

по нашим наблюдениям лучшим стабилизатором из числа известных. Стабильность суспензий указывается более года.

Пертьерра в 1934 г. поместил статью в различных журналах о своих работах по растворению углей.

В 1936 г. в технической литературе появились материалы, которые по своему обобщению и полноте можно сравнить только с первой серьезной статьей по проблеме топливных суспензий — со статьей Шеппарда: 21 февраля в обществе инженеров-химиков был прочитан доклад Маннинга (57), который был приведен затем в ряде журналов (58—63), и весьма интересные статьи Стривенса в *Colliery Engineering* (64—67).

Маннинг в своем докладе прежде всего дает общую характеристику суспензий и ставит вопрос об их техническом и экономическом значении. Затем он кратко излагает эксперименты сжигания суспензии, начиная от испытаний на судне «Джем», указывает на опыты Робинсона, применявшего суспензии как топливо для паровозов, и сообщает, что этот опыт применения топливных суспензий на железных дорогах показал полную их пригодность для этой цели. После этого он переходит к опытам на «Скифин» и на заводах Балкс и оканчивает обзор методом Виндгема. В своем докладе Маннинг подробно останавливается на стабильности суспензий и оканчивает его вопросом сжигания и экономическими подсчетами.

По докладу Маннинга развернулась весьма интересная дискуссия.

Р. Лессинг указывает на необходимость разрешения основного противоречия: суспензия тем более стабильна, чем больше вязкость ее; с другой стороны, значительная вязкость ее затрудняет перекачку суспензии. Он также описывает предложенный им метод определения вязкости (концентрические цилиндры).

Мартин Гамильтон описывает опыт использования суспензий в дизелях. По вопросу о вязкости выступало несколько человек. Вальтере выступил по вопросу перекачки суспензий.

Если доклад Маннинга представляет интерес как работа, подводящая итог всему сделанному в области топливных суспензий, и более или менее известному широкому кругу лиц, интересующихся этим вопросом, то статьи Стривенса представляют интерес как некоторый сдвиг в технике изготовления и использования суспензий, и потому мы останавливаемся на них более детально ниже.

ИЗУЧЕНИЕ УГЛЕАЗУТНОГО ТОПЛИВА В СССР

В 1913 г. в Петербурге инж. Плаусон предложил измельчать уголь до размеров, приближающихся к коллоидным, на изобретенной им мельнице. Эта «коллоидальная мельница» представляла цилиндр диаметром 50 см с вращающимся валом при скорости от 4 000 до 15 000 об/мин; вал был снабжен билами, проходящими между зубцами; емкость мельницы составляла 12 л, а мощность мотора, необходимого для ее работы, 50 HP.

Путем многократных перепусков на подобной мельнице удастся получать весьма тонкие помолы.

В настоящее время техника изготовления этих мельниц значительно пошла вперед: имеется весьма большое количество патентов, а также специальные фирмы-изготовители. Последний патент Плаусону выдан в 1938 г. (68). Однако в производственной практике «коллоидальные мельницы» не нашли применения для изготовления топливных суспензий вследствие большого расхода энергии, затрачиваемой на их работу.

А. В. Сапожниковым и М. Н. Калининным в лабораториях Ленинградского института инженеров путей сообщения в 1923 г. были поставлены опыты (69) по изготовлению топливных суспензий на парафинистом мазуте, так как авторы считали парафин фиксатором (стабилизатором);

параллельно были поставлены опыты с машинным маслом № 6 и беспарафинистым мазутом.

Уголь, применявшийся для опытов, имел следующую характеристику:

Влажность	8.53%
Зола	11.15%
Сера	1.86%
Кокс	68.56%
Летучие	21.44%
Теплотворная способность	7 231 кал/кг

Этот уголь по просеву был отфракционирован на четыре части просевом через сита № 20, 30, 40 и 70.

Таким образом, видно, что применялся довольно грубый помол. Более детальных указаний по характеристике угольной пыли не имеется. Приготовление смесей производилось нагреванием до 50° и затем охлаждением до комнатной температуры в течение трех часов при постоянном помешивании мешалкой, приводимой в действие водяной турбинкой. Смесью выливалась в цилиндр 25 см высоты и отстаивалась 2 дня при температуре 8—12° С.

Характеристика машинного масла: удельный вес при температуре 15° 0.912, а вязкость 7.16 Е при 50° С. Авторы отметили, что смесь при содержании 5% угольного порошка через два дня выпала в осадок, и поэтому дальнейшие опыты с машинным маслом не производились. Беспарафинистый мазут также, по их мнению, оказался непригодным для этого дела, что выражено в табл. 3.

Таблица 3

Результаты опытов Садожников и Калинина на беспарафинистом мазуте

Топливо	Вязкость при 30°С, в °Е	Вязкость при 50°С, в °Е	Содержание угля в верхнем слое, в %	Содержание угля в нижнем слое, в %
Беспарафинистый мазут	5.30	2.67	—	—
Смесь беспарафинистого мазута с 10% угля, просев через сито № 20	6.39	2.88	0.34	26.67
То же; просев через сито № 70	7.61	3.51	3.02	21.23

Определение содержания угля производилось забором пробы пипеткой в количестве 20 г. Проба растворялась в подогретом бензине, профильтровывалась и промывалась бензином. При какой температуре и сколько времени сушилась, не указывается.

Парафинистый мазут авторы считают пригодным материалом, но никакой характеристики применявшегося ими парафинистого мазута они, кроме вязкости и температуры застывания, не приводят. Результаты выражены в табл. 4.

Авторы этой работы предпочитают изготовление суспензий на парафинистом мазуте, что в настоящее время следует признать неправильным. Ошибка авторов также состоит в том, что они провели изучение на очень малых концентрациях (5—10%) угольного порошка.

В 1928 г. в лаборатории технологии топлива Института народного хозяйства им. Плеханова в Москве были выполнены опыты по изготовлению коллоидного топлива студентами-дипломантами института гг. И. Я. Лаврушиным и Н. И. Вишневым под руководством проф. В. Р. Вильямса (70). Ввиду того, что приготовление коллоидного топлива

Опыты на парафинистом мазуте

Вид топлива	Содержание угля, в %		Вязкость, в °Е		Температура застывания
	в верхнем слое	в нижнем слое	при 30°C	при 5°C	
Парафинистый мазут	—	—	5.91	1.85	24°
Смесь парафинистого мазута с 5% угля, просеянного через сито № 20	4.70	4.85	4.69	1.87	24°
То же с 10% угля, просеянного через сито № 20	9.94	9.89	5.36	1.90	24°
То же с 5% угля, просеянного через сито № 30	4.57	4.75	4.98	1.96	следы сдвига 24°
То же с 10% угля, просеянного через сито № 30	9.70	9.94	5.07	1.98	следы сдвига 24°
То же с 5% угля, просеянного через сито № 40	4.78	4.86	4.46	1.97	24°
То же с 10% угля, просеянного через сито № 40	9.95	9.88	5.08	1.98	24°
То же с 5% угля, просеянного через сито № 70	4.96	4.94	5.09	1.97	24°
То же с 10% угля, просеянного через сито № 70	9.77	9.84	5.18	2.09	следы сдвига 24°

лива в лабораторных условиях представляло значительные трудности, его удалось изготовить всего около 75 кг.

В настоящее время имеется уже довольно много коллоидных мельниц, предназначенных для диспергирования до размеров, приближающихся к коллоидным величинам, но общий их недостаток — малая производительность при большом расходе энергии — определяет технико-экономическую целесообразность использования их только при фабрикации высокоценной продукции (парфюмерной, фармацевтической и др.).

Несколько позже работы по приготовлению углемазутных смесей были проведены в Кораблестроительном институте инж. Смирновым; эти работы, судя по краткой заметке в газете «Техника», дали положительный результат, но технико-экономических обоснований в заметке приведено не было.

С 1934 г. в Энергетическом институте Академии Наук СССР автором проводятся систематические исследования свойств смесей и технико-экономическое обоснования использования их в промышленности и на транспорте.

В 1937 г. были проведены опыты приготовления и сжигания смесей под руководством автора в производственной мартеновской печи завода «Серп и молот» (Москва) бригадой работников Академии Наук СССР и заводских работников.

В 1938 г. приготавливалась и сжигалась под котлом одной из московских электростанций смесь, приготовленная из антрацитового уноса и мазута; работа выполнена той же бригадой Академии Наук совместно с работниками станции.

В 1939 г. на заводе «Серп и молот» (Москва) была построена и пущена по методу автора первая опытная станция в СССР. Монтаж всей

установка и работа на ней проводились лабораторией диспергированных топлив ЭНИН совместно с работниками завода под руководством автора и инж. Г. М. Чиликина. Производительность станции составляла 4 т/час, и она обслуживала 30-тонную мартеновскую печь.

В 1939 г. инж. В. Н. Рукавишниковым (71), доцентом Лесотехнической академии (Ленинград), проведено опытное сжигание суспензии, приготовленной из угольного порошка и сульфитного щелока. Эти опыты показали полную возможность использования сульфитных щелоков сжиганием их совместно с угольным порошком.

В 1940 г. начала работать экспериментальная станция при ВТИ по изготовлению и применению топливных суспензий под котлами.

В 1940 г. было проведено опытное сжигание суспензий на судне «Марат».

ЛИТЕРАТУРА

1. Steam Engineer, III, 5, 183 (1934).
2. B. P. 17729.
3. D. R. P. 664915, cl. 50 c. 18.01 (1938).
4. Chem. Ztg., 44, 553, 565 (1920).
5. L. B. Bates, Colloidal Fuel, (1918).
6. Colloidal Fuel, изд. Submarine Defence Association (1918).
7. J. Ind. Eng. Chem., 13, 37 (1921).
8. Chem. Age, 3, 558 (1920).
9. J. Soc. Chem. Ind., 39, 395, 413 (1920).
10. Dunn. Pulverized Fuel, Colloidal Fuel. (1920).
11. Harwey. Pulverized Fuel, Colloidal Fuel, 1924.
12. B. P. 149306.
13. " " 153591.
14. " " 154538.
15. " " 154605.
16. " " 155209.
17. " " 159173.
18. " " 160754.
19. " " 161929.
20. " " 165418. — 428.
21. " " 165415.
22. " " 281240.
23. Modern. Transport, 7, 3 (1922).
24. Harwey. Pulverized Fuel, Colloidal Fuel (1924).
25. Glückauf, 1193 (1922).
26. Steam Engineer, III, 5, 184 (1934).
27. World Power, August, 1932.
28. Inst. Fuel, 13, 47 (1933).
29. Gas-Journal, 210 (1932).
30. Chemistry and Industry, 5, 855—57.
31. Fuel Economist, 5, 437—9, 471 (1930).
32. Fuel Economist, 7, 327 (1932).
33. " " 7, 408 (1932).
34. " " 8, 70 (1932).
35. Steam Engineer, 109 (1932).
36. " " 68, 1198 (1932).
37. Colliery Guardian, 144 (1932).
38. Brennstoff u. Wärmewirtschaft (1932).
39. Arch. f. Wärmewirtschaft, 291 (1932).
40. Manning. Proceed World Petr. Congr., 2, 811 (1933).
41. Benthin. Proceed World Petr. Congr., 2, 813 (1933).
42. Lessing. " " " 2, 809 (1933).
43. Schultes. " " " 2, 816 (1933).
44. José Perterra. " " " 2, 818 (1933).
45. Fuel in Science & Practice, 9, 291 (1933).
46. Engineering, 10, 523 (1933).
47. Ann. Report Fuel Research Board, 115—116 (1933—1934).
48. " " 125—129 (1934).
49. Colliery Guardian, 1178 (1934).
50. Steam Engineer, 3, 183 (1934).
51. B. P. 410883.

52. Steam Engineer, 248 (1935).
 53. Engineering (London), 10, 625 (Novemb. 1933).
 54. " " 15, 679 (June 1934).
 55. Petroleum Times, 31, 215, 243 (1934).
 56. J. Soc. Chem. Ind. (Japan), 47, 294 (1934).
 57. The Inst. of Fuel, June 1936, p. 303.
 58. Engineer, No. 4181, p. 229 (1936).
 59. Soc. Chem. Ind., 55, 177 (1936).
 60. Engineering, 141, 239 (1936).
 61. Steam Engineer, 266 (1936).
 62. Colliery Guardian, 562 (1936).
 63. The Industrial chemist, 111, March, 1936.
 64. Colliery Engineering, April 1936, 124.
 65. " " June 1936, 200.
 66. " " August 1936, 275.
 67. D. R. P. 664915, cl. 50 c. 18, 01.
 68. Нефтяное и сланцевое хозяйство 1923, № 11—12, стр. 652.
 69. В. Р. Вильямс. Бурные угли СССР, ОНТИ УССР, 1936.
 70. Изв. Акад. Наук. Отд. техн. наук, № 6, 1941.
-

ГЛАВА II

Компоненты топливных суспензий

Основными компонентами топливных суспензий являются твердые виды топлив и жидкие мазуты. Кроме этих двух основных групп, в качестве добавок могут применяться различные «пептизаторы», которые, с одной стороны, содействуют стабильности суспензий, а с другой стороны, сокращают количество потребных мазутов, так как пептизаторами обычно служат различные смолы. Следующая группа добавок — стабилизаторы суспензий. Такими стабилизаторами могут быть добавки из легких порошков (механические стабилизаторы — торфяная пыль) или добавки защитных коллоидов.

Уголь. Необходимо кратко остановиться на химии угля, а также на химии нефти, главным образом, в отношении тех их свойств, которые могут иметь значение при объяснении явлений стабильности суспензий при рассмотрении процесса горения.

Принимая во внимание, что, по современным взглядам уголь (1) и нефть происходят из одного источника — макро- и микро-растений, мы будем в дальнейшем основываться на составе углей к моменту их использования как промышленного топлива.

Уже давно прошло то время, когда на ископаемый уголь смотрели в основном как на углерод, смешанный с различными органическими соединениями (2), так как, по современным воззрениям, если и имеется в угле свободный углерод, то в очень небольшом количестве. Известно, что углерод не растворяется ни в одном растворителе, и потому лучшим доказательством того, что ископаемый уголь состоит не из углерода, является «растворение» его путем обработки соответствующими растворителями.

Ископаемые угли представляют смесь различных углеродистых и деуглеродистых соединений, и в «угле» мы можем найти газообразные, жидкие и твердые составные части.

Газы углей. Францем Фишером и его сотрудниками был предложен (3) интересный метод изучения углей путем обработки их при нагреве до весьма тонкого состояния («микронугли») в вакуум-мельнице. Уголь в таком дисперсном состоянии имеет большую активность (4) по сравнению с более грубым помолом и быстрее окисляется даже при воздействии воздуха (5). При тонком помоле углей в вакууме наблюдается выделение газов, и это газовыделение оказывается весьма значительным.

В своей статье Франц Фишер разбирает существующие методы (6—7) определения содержания газов в угле ввиду важности этих анализов с целью борьбы с рудничным газом и находит их несовершенными. Ввиду того, что размол по методу Франца Фишера проводится в вакууме (10—15 мм), мельница должна быть изготовлена весьма тщательно и, в особенности, должна удовлетворять условию герметичности.

В качестве примера полученных результатов приведем следующую таблицу содержания в угле газов из работы Ф. Фишера (табл. 5).

Содержание газов в угле

Таблица 5

Марка угля	Продолжи- тельность размола, в часах	Колич. газа на 100 г угля, в мл	Состав, в %								
			CO ₂	CO	H ₂	CH ₄	C ₂ H ₆	C ₃ H ₈	C ₄ H ₁₀	C ₅ H ₁₂	C ₆ H ₁₄
Minden	3.2	235	3.2	0.1	0.0	3.9	17.1	30.1	42.8	1.8	1.4
Obernkirchen . .	9.5	168	22.0	0.3	0.0	36.8	33.5	4.4	3.0	0.0	0.0
Borrlinghausen . .	2.4	47	70.0	0.0	0.0	30.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0
Sophia Jacoba . .	20.5	890	5.2	0.5	2.7	90.8	0.8	—	—	—	—

При рассмотрении трех образцов углей из табл. 5 можно отметить, что колебания в составе газов, адсорбированных на угле, весьма значительны.

Представляет интерес подсчет того давления, с каким удерживается адсорбированный газ на угле: 100 г антрацита занимают объем 71 мл, и в этом объеме в 100 г угля находится 890 мл газа; если принять пористость угля от 1 до 10% объема его, то газ должен быть под давлением от 130 до 1300 атм. Следует иметь в виду, что при микроскопическом исследовании угля при 1000-кратном увеличении поры не были обнаружены.

МИНЕРАЛЬНЫЕ НЕУГЛЕРОДИСТЫЕ КОМПОНЕНТЫ ИСКОПАЕМЫХ УГЛЕЙ

Золообразующие компоненты углей приходится учитывать при изготовлении топливных суспензий не только как балласт, понижающий качество суспензий, но также и по той роли, которую они играют в момент приготовления суспензий, в периоде хранения их и использования. Эта роль минеральных компонентов оказывается довольно многогранной: при размоле углей твердые минеральные компоненты вызывают изнашивание частей аппаратуры; при хранении суспензии многие из них (пирит) выпадают в осадок, в то время как другие (глинозем), наоборот, содействуют стабильности; при перекачке насосом царапающие элементы могут вызвать излишний износ поршневых колец, форсунок и других частей. Такое разнообразие в поведении неуглеродистых компонентов должно быть учтено как при изготовлении, так и при использовании суспензий. К числу обычных компонентов принадлежат минералы, окружающие угольное месторождение горных пород, минералы, отложившиеся и образовавшиеся из нафосов за геологические периоды и минеральные составные части растений углеобразователей. К таким обычным примесям принадлежат каолинит, гипс, бурый железняк, гетит, пирит, марказит, кальцит, магнезит, железный шпат, сернокислые соли железа, алюминия, магния, кальция, натрия, хлористые соли натрия, магния, кальция, фосфорнокислый кальций, силикаты и кремнезем, гуматы алюминия, железа и др. Кроме этих обычных примесей, в «золе» находят очень часто и другие соединения. Из числа последних для нас могут иметь интерес соли бора и ванадия, нередко находимые в углях в значительных количествах; затем укажем на соединения марганца, свинца, меди, никеля, кобальта, молибдена и редких земель. Если факт наличия тех или иных соединений, как, например, бора и редких земель, содействует интенсификации горения, то при наличии этих же и других соединений необходимо также обращать внимание и на то, какую минералогическую форму они представляют, так как

свойства суспензий могут зависеть от физических свойств этих примесей. Так, нами было замечено, что наличие аморфного глинозема содействует стабильности, в то время как гидратные формы железа неблагоприятны; также нежелательно большое количество магниезальных соединений; объяснить этот факт возможно различием зарядов этих соединений. Особое внимание необходимо обратить на минеральные компоненты углей при изготовлении суспензий для двигателей внутреннего сгорания. Этому вопросу должны быть посвящены особые исследования.

УГЛЕРОДИСТАЯ МАССА ИСКОПАЕМЫХ УГЛЕЙ

Углеродистая масса образовалась в результате различных реакций полимеризации и других физико-химических процессов во время метаморфизма углей, продолжавшегося в течение геологических периодов. Наличие первоначального углеобразующего материала коллоидной структуры (клетчатка, лигнин, смолы и т. д.), а также различных примесей (воск, масло, белки и т. д.) послужило материалом для весьма сложных превращений, чему содействовали также различные тектонические условия переменного характера.

О коллоидном состоянии углей написал трактат Потонье (8), затем Тиль (9), и с тех пор все больше и больше накапливается экспериментального материала в пользу этого положения, так что все явления, которые происходят с углями во время их переработки или технического использования, следует рассматривать, учитывая их коллоидные свойства. Теория коллоидного состояния ископаемых углей приводит прежде всего к положению о возможности перевода угля в состояние коллоидного раствора. Мысль перевести уголь в растворимое состояние является весьма заманчивой и вызвала большое количество исследований как с целью научного изучения угля, так и с целью технического использования вещества угля, отделенного в виде растворов от сопровождающих его неуглеродистых минеральных примесей. Понятие о коллоидной природе угля вынуждает также исследователей и технических работников рассматривать процессы нагрева угля, коксования и сухой перегонки с учетом его коллоидных свойств.

Изучению углей с учетом их коллоидной структуры посвящено весьма большое количество работ, и мы здесь, приводя те или иные работы, не ставим себе целью дать полный обзор их, а делаем это только с той предпосылкой, что знание химической природы углей и нефтей поможет нам несколько более ясно разобраться в свойствах суспензий, как в момент их приготовления, так и во время хранения и использования их.

Из работ за последнее пятилетие прежде всего сошлемся на работы Люри в Технологическом институте Карнеджи (Питсбург, Филадельфия), доложенные им на заседании американского химического общества в Чикаго, 10 сентября 1933 г. (10). То, что уголь не является однородным материалом, показывает уже макроскопическое изучение его: при рассматривании пласта угля можно заметить неуглеродистые прослойки («порода»), включения, а также и отдельные разновидности его. По удельному весу угли характеризуются следующими цифрами.

Удельный вес малозольных углей

Бурый уголь	0.8—1.25
Пламенный каменный уголь	1.25—1.35
Жирный	
Тоший	
Антрацит	1.35—1.50

Удельный вес зольных углей

Сланцевый уголь	1.2—1.4
Углистый сланец	1.4—1.7
Горючий	1.7—2.2

Размалываемость различных углей отличается весьма сильно. Затем макроскопически угли различаются по цвету, блеску, по окраске «черты» на бисквитной пластинке, по излому, текстуре и структуре (11—13).

Еще большее разнообразие в свойствах углей выявляется при их микроскопическом изучении. В этом отношении в последнее десятилетие сделаны большие успехи: на основе выработанной методики (14—21) отмечено наличие микроскопических остатков в углях (22—25), а самое «вещество угля» петрографами классифицируется по четырем петрографическим разностям (25—36): фюзен, дюрен, кларен и витрен.

Фюзен представляет наиболее характерную петрографическую разность, в нем хорошо сохранилась ясно различаемая под микроскопом клеточная структура растения (особенно древесина). Фюзен является весьма пористым материалом; он может быть очень хрупким и мягким или твердым минерализованным.

Дюреновая разность обладает зернистой непрозрачной структурой; дюрен наиболее твердый из всех четырех ингредиентов; он содержит включения из спор, кутикул и других «форменных элементов».

Наиболее однородная и бесструктурная разность — это витрен. Кларен имеет много общего с дюреном, но он мягок. Ввиду того, что по этому вопросу имеется уже богатая литература, мы на этом не будем останавливаться, а только укажем на то, что свойства ископаемых углей в зависимости от большего или меньшего содержания той или иной разности изменяются в их физическом и химическом поведении (37—42) и петрографический анализ в первом приближении может дать характеристику по соответствующему использованию углей в технике.

Ввиду того, что существующие ископаемые угли за время своего образования прошли различные стадии «углефикации», различают более «молодые» и более «старые» угли. Термин «молодые» и «старые» не всегда совпадает с геологическим возрастом углей, а в отношении интересующего нас вопроса по использованию углей в суспензиях мы обращаем наибольшее внимание не на возраст угля, а на степень его старения, как комплекса образований (углеродистых соединений) коллоидного характера.

В отношении поведения в суспензиях угли, по стадии превращения разделяемые также на бурые и каменные, проявляют довольно резко свои свойства во взаимодействии с растворителями, т. е. жидкой составной частью суспензий. Для изготовления топливных суспензий в Германии и в Англии применяют преимущественно бурые угли и реже — каменные угли. Использованию бурых углей содействует, кроме техно-экономических предпосылок, их большая доступность для химического изучения: они являются не такими старыми коллоидами, как каменные угли, и потому легко могут быть «отфракционированы» на отдельные компоненты. В каменных углях необходимо прежде всего разрешить вопрос, как провести разделение на петрографические разности, для того чтобы затем уже изучать состав угля по отдельным ингредиентам. В настоящее время мы еще не имеем достаточных оснований для того, чтобы считать необходимым такое предварительное разделение на «петрографические разности».

Вода и сера углей. Мы уже указали на содержание газов в углях, на минеральные примеси, а теперь заметим, что в углях также находится вода, связанная с минеральными углеродистыми и неуглеродистыми соединениями, и вода, образовавшаяся в результате естественного пропитывания углей во время их залегания, добычи и хранения.

Сера в углях может находиться в виде различных соединений, углеродистых и неуглеродистых. Как мы дальше увидим, сера углеродистых соединений является в некотором роде положительным фактором при изготовлении суспензий, в то время как минеральная сера, в особенности в пиритных соединениях, во всех случаях имеет отрицательное зна-

чение: сера в форме пиритов дает нестойкие соединения, а твердость пиритов оказывает большое влияние на изнашиваемость помольной аппаратуры.

Битумы углей. При обработке углей различными углеродистыми растворителями из них извлекаются различные углеродистые вещества, образовавшиеся во время «углефикации» первичных материалов из восков, смол и жирных кислот; в некоторых случаях такие битумы встречаются даже в виде крупных конкреций, так что их можно выделывать даже механическими способами (43).

В том случае, если бы удалось каким-либо методом обработать уголь соответствующим растворителем и перевести вещество угля в раствор при благоприятных техно-экономических предпосылках, возможно было бы иметь жидкость, свободную от минеральных примесей и удобную для дальнейшей фракционировки на отдельные компоненты. Такая перспектива уже с давних пор привлекала к себе внимание исследователей, и потому в этой области мы имеем много работ как по экстрагированию углей, так и по изучению методов изготовления очень тонких суспензий. В последнее время имеются в этом направлении значительные успехи, так как при подборе соответствующих углей, диспергаторов и растворителей удается получать весьма значительные выходы по проценту экстрагированного из угля материала. Работы по исследованию растворимости углей далеко ушли от того времени, когда Фишер писал в своей монографии (44—46): «экстрагирование масла из каменных углей для получения жидкого топлива никакой роли не играет». И даже тот метод, который предлагает Фишер, а именно использование жидкой двуокиси серы в качестве растворителя, должен быть рассмотрен заново. Мы думаем, что использование жидкого аммиака с той же целью могло бы иметь практическое значение. Пикте (47), Гофман, Дамм (48—49) одни из первых применили для экстрагирования угля бензол и пиридин. Пикте указывает, что им удалось извлечь из углей следующие соединения:

- 1) дигидротолуол
- 2) дигидроксипол
- 3) дигидромезитилен
- 4) дигидрофлуорен
- 5) нафтенy от C_8H_{16} до $C_{13}H_{26}$
- 6) гексагидрофлуорен
- 7) мален $C_{30}H_{50}$

Каждый из применяемых растворителей хорошо растворяет определенную группу имеющихся в углях углеродистых соединений.

Бензин удовлетворительно растворяет только углеводороды (50), медленнее — жирные кислоты, плохо — воски и почти совсем не растворяет гидроксилсодержащих соединений и смол. Эфир хорошо растворяет некоторые углеводороды, спирты и смолы, но плохо растворяет воски. Бензол хорошо растворяет воски, углеводороды и некоторые смолы. Спирт хорошо растворяет кислоты, воски и смолы, а также гиметамелановую кислоту и диспергирует гуминовые кислоты (но не в присутствии бензола).

Вещества, извлекаемые смесью спирта и бензола, принято называть «битумом А». Оставшийся уголь обрабатывают 10% кипящей соляной кислотой (51) и снова экстрагируют спирто-бензолом, после чего в экстракте получают «битум С». «Битум В» получают из остатка после извлечения «битума А» обработкой с бензолом при 50-атмосферном давлении и при нагреве до 250° ; так как этот продукт содержит примеси веществ, отличающихся от битумов, то он имеет значение только технического порядка (52).

Следует иметь в виду, что битумы сапропелитовых, гумусовых и сме-

шанных углей изменяются в зависимости от степени «углефикации» основной массы угля.

В Англии при изучении свойств коксовых углей приняты иные методы экстрагирования и другие растворители (53—57); Кларк и Уилер экстрагировали уголь пиридином (нерастворимый остаток— α -фракция), хлороформом (нерастворимая β -фракция); фракция, растворимая и в пиридине и в хлороформе, называется γ -фракцией. Последняя фракция разделена на растворимую в бензине (γ_1 -фракция), в эфире (γ_2 -фракция), в ацетоне (γ_3 -фракция) и нерастворимую в ацетоне (γ_4 -фракция).

Гуминовые вещества. После извлечения спирто-бензолом или бензолом под давлением битумов А, В и С этот битуминированный уголь разлагается при обработке 20% раствором водной щелочи при кипении или при давлении до 25 атм. В результате такой обработки извлекают гуминовые вещества кислого характера (у богхедов), а в остатке в большем или меньшем количестве «остаточный уголь». Гуминовые вещества реагируют с сильными щелочами (гуминовые кислоты: фульво-кислота, гиметамелановая и гумусовая). Гуминовые кислоты для нас представляют интерес, так как есть основание полагать, что они действуют стабильности суспензий.

Остаточный уголь является комплексом высокополимеризованных соединений. Образование, а также количество его зависят от первичного вещества и процессов его разложения и полимеризации. При изготовлении суспензии остаточный уголь не влияет на свойства суспензии и имеет только механическое значение.

Мы не останавливаемся более подробно на общей химии углей, а также на отдельных исследованиях, так как по этому вопросу имеется уже богатая литература (см. перечень в указанной нами монографии Лоури), а также и потому, что мы имели в виду в основном только подчеркнуть наличие в массе угля соединений, которые совместно с жидкими минеральными и каменноугольными дистиллатами могут так или иначе вступать с ними во взаимодействие и влиять на свойства суспензий (размалываемость, стабильность, сгорание и др.).

Считаем только необходимым указать на некоторые работы по растворимости углей, так как этот вопрос может представлять интерес и для изготовления топливных суспензий.

Интересным растворителем, имеющим техническое применение, является тетралин (58); этот растворитель весьма энергично (при сильном нагреве и под давлением) воздействует на массу угля, что Фишером объясняется отчасти его гидрирующим воздействием. Тетралин, как в чистом виде, так и совместно с другими растворителями, применялся весьма многими исследователями. Кроме тетралина, применялись и другие растворители, как, например, следующие (59):

Растворитель	Количество растворенного материала, в %
Пиридин	35.0
Бензин	0.6
Фурфурол	45.6
Мезитилоксид	20.1
Фенол	43.6

Не останавливаясь на ряде работ (60—64), перейдем к исследованиям Пертьера (65—68), старавшегося получить коллоидные растворы угля в практических целях. Он получил следующие результаты:

Растворитель	Количество растворенного материала, в %
Анилин	41.9
Пиридин	18.2
Хинолин	47.9
Фенол	21.9
Крезол	40.7
Нафтол	52.0

При повторной обработке анилином ему удалось извлечь при 200° 72,7% массы угля. При обработке антраценовым маслом при температуре 400° и давлении до 240 ат в автоклаве ему удалось извлечь 94,7%, считая на бензольный сухой уголь¹.

Другие виды твердых горючих. Кроме каменных углей, в качестве порошкового топлива в суспензиях могут применяться отходы древесноугольной мелочи, отходы моечных угольных фабрик, торфяной моршок, обогащенный сланцевый порошок, различные полукокс, коксы и др. Некоторые из этих материалов, как, например, древесноугольный порошок, являются весьма обременительным отходом, а между тем они могут быть вполне использованы на изготовление суспензий. Сланцевый порошок интересен в том отношении, что при некотором обогащении дает весьма стойкие суспензии.

Торф в тонком порошке может также применяться как твердая добавка; применение чистого торфа в большой концентрации (более 10%) неудобно, так как он чрезвычайно склонен к образованию сольватных оболочек и к набуханию и соответственно повышает вязкость.

Весьма интересным является использование древесноугольной мелочи и древесного бурого угля. При малом содержании золы использование этих углей вполне возможно в мартеновских печах при изготовлении высококачественной стали, а также в двигателях внутреннего сгорания.

Для тех же целей пригодна также так называемая целлюлозная мука; она может применяться в тех же случаях, что и торфяной порошок.

Жидкие компоненты. В качестве жидкого компонента на изготовление суспензий идут мазуты и смолы различного происхождения. Ввиду того что на рынок жидкое топливо поступает в более обезличенном виде, чем твердое, то в этом случае труднее ставить какие-либо условия, а приходится приспосабливаться к наличному виду топлива.

Наибольшее применение находят различные виды мазутов, и поэтому мы рассмотрим прежде всего этот вид жидкого топлива.

Мазуты прямой гонки по сертификации Союзнефти 1932 г. наименее пригодны для изготовления топливных суспензий. Парафинистые мазуты хотя и дают при низких температурах застывшие суспензии, но зато при подогреве до 50—60° не удерживают угольного порошка от быстрого выпадения в осадок.

В наших опытах мы пользовались, в числе прочих, мазутом марки «А», и этот мазут показал вполне удовлетворительные результаты при подборе соответствующих условий стабилизации.

Наиболее благоприятными мазутами, как это уже известно из исторической части, являются крекинговые. Мы уже указывали на примитивный метод определения пригодности мазутов, предложенный английской фирмой Кэнар, состоящий в определении количества кокса. Образование кокса, наибольшее в крекинговых мазутах, является положительным признаком, правда, недостаточным. Таким образом, из двух групп мазутов, наиболее пригодных в отношении стабильности суспензии, являются крекинговые мазуты, и применение их при сжигании под котлами в транспорте, особенно в морском флоте, наиболее оправдано практикой. Мазуты прямой гонки возможно применять в стационарных установках, т. е. там, где не требуется продолжительного хранения суспензии.

Для использования в двигателях внутреннего сгорания подойдут также мазуты прямой гонки, так как они наименее склонны к образованию нагаров вследствие наименьшего, по сравнению с крекинг-мазу-

¹ У нас, в СССР, интересные работы в этом направлении выполнены в ИГи АН СССР Казаковым, Лазовым и др.

тами, содержания полициклических ароматических углеводородов и смол как коксообразователей (69—70).

Хотя мы и начали характеристику мазутов по способу их получения, но основным фактором в различии мазутов следует считать химический состав нефтей, из которых они получаются, а вторичным уже образование различных химических соединений в процессе переработки нефти. Следует учесть, что при крекинг-процессе идет накопление ароматических соединений (в том числе и бензола).

Нефти могут сильно различаться также по составу асфальто-смолистых соединений. Асфальто-смолистые соединения, по работам Маркуссона, разделяются на:

- 1) асфальтены,
- 2) нейтральные нефтяные смолы,
- 3) асфальтовые кислоты и их ангидриды.

Эти три группы составляют высокомолекулярные соединения, склонные к дальнейшей полимеризации и окислению: они содержат кислород или серу. Повышению удельного веса нефти обычно соответствует повышение содержания асфальтовых соединений, что видно из табл. 6.

Таблица 6
Удельный вес нефти и содержание в них асфальтовых веществ

Нефть	Уд. вес	Асфальты, в %
Сураханская	0.8617	2.82
Романинская	0.8783	3.82
Сабунчинская	0.8803	9.44
Балахинская	0.8822	10.00
Биби-Эйбатская	0.8881	13.10
Бинагединская	0.9239	16.65
О. Артема	0.9309	17.2

Следует иметь в виду, что в процессе переработки нефти в нефтяных остатках в результате полимеризации и окисления количество асфальтовых образований увеличивается. Ввиду того что эти соединения образуются также и в крекинг-процессе, они играют большую роль в отношении глубины крекинга; текучесть крекинговых мазутов зависит в основном от асфальтовых образований. Гудроны при содержании асфальтенов в количестве 20% теряют текучесть, а при 30% превращаются в твердый материал.

Асфальтены являются наиболее интересной составной частью мазутов в технике изготовления топливных суспензий, и потому для уточнения их роли в интересующем нас вопросе кратко ознакомимся со свойствами асфальтенов (71—72).

Асфальтены принадлежат к группе высокомолекулярных образований коллоидного характера. В выделенном из растворов состоянии они хрупки и не плавки при удельном весе больше единицы; они содержат в своем составе кислород и серу в небольшом количестве. Предполагают, что образование асфальтенов произошло в результате конденсационной полимеризации в присутствии кислорода (Суханов), но все-таки следует сказать, что построение молекулы асфальтенов не изучено.

Элементарный состав асфальтенов представлен в табл. 7 (73).

Таблица 7
Состав асфальтенов

Наименование	C	H	S	O
Мазут грозненский беспарафинистой нефти	85.2	7.4	0.7	6.7
Гудрон грозненский	86.7	6.8	0.6	5.9
Уральская нефть	79.98	6.22	10.63	2.43

Согласно работам Наметкина, асфальтен не содержит карбоксильных групп и фенольных гидроксидов, а также следует признать, что «асфальтены не являются продуктами окисления нефтей» (74).

Особо следует отметить отношение асфальтенов к растворителям. Асфальтены растворимы в сероуглероде, четыреххлористом углероде, в хлороформе, в ароматических углеводородах, в высококипящих смазочных маслах (постепенно). Растворение выделенных асфальтенов происходит, как вообще всякое растворение коллоидов, при первоначальном набухании их.

Нерастворимы асфальтены в спиртах (этиловом, изоамиловом), в эфирах, в углеводородах неароматического порядка, в смолах. Важно отметить растворимость асфальтенов в углеводородах ароматического ряда и нерастворимость в неароматических углеводородах, а также значение характеристики асфальтенов как коллоидных высокополимерных соединений. Липофильность их к одним растворителям и липофобность их по отношению к другим учитывается при выяснении процессов стабилизации углемазутных смесей.

Как было указано ранее, фирма Кэнар в одном из своих патентов считает пригодными мазутами только те, которые дают в определенных условиях максимальное количество кокса. Ввиду того что асфальтены являются коксообразователями, с этим положением вполне можно согласиться, но только условно: мы в своих работах по изучению наиболее стойких суспензий на основе маловязких мазутов наблюдали, что различные мазуты (при одной вязкости), показывающие одно и то же коксовое число в условиях, предложенных фирмой Кэнар, имели с одним и тем же угольным порошком различную стойкость. Представляет интерес также тот факт, что количество асфальтенов в различных мазутах почти совпадает; отмечается лишь разница в скорости осаждения асфальтенов бензином: в то время как мазут, показавший наименьшую скорость выпадения угольного порошка, содержал асфальтены с большой скоростью выпадения их при добавке бензина, мазут, показавший большую скорость выпадения угольного порошка, содержал асфальтены, выделяющиеся с малой скоростью. Отсюда мы делаем вывод, что стойкость суспензии зависит не только от содержания высокополимеризованных асфальтенов, но и от степени их полимеризации.

К характеристике асфальтенов следует добавить, что они как высокомолекулярные соединения, в высокой степени полимеризации, построены «по одному общему принципу»: они представляют длинные шпигвидные молекулы (75), по всей вероятности, более длинные, чем молекулы парафина, отчего и зависят их коллоидные, интересующие нас свойства (76).

Под действием световых волн асфальтены легко переходят в не-

растворимую форму аналогично каучуку, белкам и другим высокомолекулярным соединениям; особенно быстро такой переход происходит у асфальтенов с большим содержанием серы.

Наибольшее количество асфальтенов содержится по классификации Стадникова в метанонафтоароматических и нафтоароматических нефтях.

Для иллюстрации приведем следующие цифры (табл. 8 и 9).

Таблица 8
Сравнительный состав нефтей (в процентах)

Нефть	Парафин	Асфальтены	Нейтросмолы
Грозненская парафинистая . .	6.5	0.9	4.5
Грозненская беспарафинистая.	0.5	1.5	8.0
Грозненская тяжелая	0.2	2.0	10.0
Майкопская	0.6	0.3	6.5
Сураханская	2.5	0.0	4.0
Балахинская	0.8	0.0	5.0
Биби-эйбатская	1.3	0.3	9.0
Бинагединская	0.7	0.6	12.0
Доссорская	следы	0.0	2.0

Таблица 9
Состав нефтей по классификации Стадникова

Классы нефтей	Содержание парафина твердого, в %	Содержание смол и асфальтенов, в %	д. вес остатка, кипющего при температуре 80°
Метановые	1.5—10.0	до 5—6	0.897—0.929
Метанонафтоновые . .	1—6	5—6	0.87—0.908
Нафтоновые	следы	5—6	0.895—0.912
Метанонафтоароматические	0.5—1.0	10	0.921—0.949
Нафтоароматические.	0.5	20	0.950—0.970

Ввиду того что мазутов прямой гонки становится все меньше, большее внимание следует обратить на изучение крекинг-мазутов, так как имеющиеся в литературе материалы по химическому составу и свойствам крекинг-мазутов совершенно недостаточны.

Следует отметить, что крекинг-мазуты отличаются большим коксовым числом (при большом содержании ароматики, асфальтенов и смол), большой вязкостью и малым содержанием парафинов. В практике чаще всего приходится иметь дело со смешанными мазутами.

Мы не останавливаемся более подробно на тех термических изменениях, которые происходят с различными ингредиентами нефти, так как по этому вопросу имеется специальная литература (77).

Кроме нефтяных остатков, в качестве жидкого топлива иногда находят применение продукты сухой перегонки ископаемых углей, сланцев, дерева, торфа.

В исторической части было указано на приготовление суспензий в Германии на антраценовом масле. Небольшая разница в удельных весах угольного порошка и антраценового масла благоприятствует получению довольно стойких суспензий: антраценовое масло имеет удельный вес около 1.1; оно из тестообразной массы переходит в жидкое состояние при температуре около 60°. Сланцевое масло, торфяная и древесная смолы могут быть использованы в качестве добавок к топливным суспензиям, приготовленным в основном на мазуте. Переработка сланцев наибольшее развитие получила в Эстонии (78), располагающей большими залежами богатых горючими компонентами сланцев. Для иллюстрации приведем состав сырого топочного масла из сланцев.

Анализ топочного эстонского масла

1. Удельный вес при 15°C	0.988	5. Теплотворная способность	9.335 кал/кг
3. Температура вспышки по Бренкену	106°	6. Влага	0.3%
3. Воспламенение	140°	7. Затвердевание	ниже 17°
4. Вязкость при 50°C, в °E	3.6	8. Сера	0.6—0.8%
		9. Фенолы	7.0%
		10. Асфальтены	7.6%

Для сравнения приведем также анализ отбензиненной смолы гдовских сланцев:

1. Удельный вес при 15°C	1.091	4. Теплотворная способность	9.030 кал/кг
2. Температура вспышки по Бренкену	180°	5. Застывание	16°
3. Вязкость при 80°C, в °E	13.1	6. Фенолы	19.1%
		7. Асфальтены	16.1%

Гдовская смола, как видно из анализа, более тяжелая и более вязкая, хотя следует учесть, что эстонская смола сырая. Добавка сланцевой смолы в количествах 10—15%, по нашим наблюдениям, согласующимся с работами других авторов, содействует стойкости суспензии при изготовлении их на маловязких (прямой гонки) мазутах.

Торфяной деготь, в случае наличия достаточного количества его, также по нашему мнению, мог бы быть применен в качестве добавки к углемазутным смесям благодаря наличию в нем наряду с парафином значительного количества асфальтенов. Состав торфяного дегтя, в зависимости от его происхождения и метода обработки торфа, может резко изменяться. Основным затруднением в технологическом процессе отгонки дегтя считается большое содержание торфяной и коксовой пыли, которая остается в торфяном дегте: содержание такой пыли может доходить до 50% и больше, что затрудняет дальнейшую переработку и использование дегтя. В случае использования дегтя в качестве добавок к углемазутным смесям, такое «запыление» его не только не является препятствием в использовании, а, можно сказать, даже желательно, так как торфяная пыль содействует стойкости суспензий, тем более, если получение такого «брахованного» дегтя упростит и удешевит технологический процесс его изготовления.

Первичный деготь из сфагнового торфа содержит следующие технологические составные части (79) (в процентах):

Органические основания	0.32	Остаток от перегонки	22.7
Кислые продукты	9.7	Асфальтены	11.6
Легкие нейтральные масла	15.0	Сликигелесвые смолы	13.8
Сырой парафин	11.2	Осаждаемые эфиром вещества	6.0

Изготовление углемазутных смесей имеет основной задачей сократить расход мазутов, как топлива за счет замены их угольным порошком. Кроме этой основной задачи, может быть поставлена и другая, например, использование сернистых мазутов в металлургических печах при добавке углей, не содержащих серы или с очень малым содержанием серы. Могут быть поставлены задачи использования угольной мелочи, древесноугольных отходов, сжигания смол и др.¹

Сульфитные щелока. Выше было указано на метод использования сульфитных щелоков, предложенный инж. В. Н. Рукавишниковым и проработанный им в Лесотехнической академии.

Так как уголь обладает гидрофобными свойствами по отношению к воде, то, для того, чтобы при смешивании угля с водой не образовывалось комков вследствие слипания отдельных частичек угольного порошка, в воде должны находиться материалы, препятствующие такому слипанию. К веществам, препятствующим слипанию, принадлежат различные дубильные экстракты (в присутствии щелочи), а также вещества из сульфитных щелоков. Такая способность сульфитных щелоков давать довольно стойкие суспензии с угольным порошком использована инж. В. Н. Рукавишниковым в его предложении по уничтожению сульфитных щелоков, являющихся отбросом на целлюлозных фабриках и причиняющих большой вред водоемам и населению. При изготовлении целлюлозы из древесины выбрасываются в водоемы лигнитные остатки, содержащиеся в воде в количестве 9—14%.

Малое содержание горючих материалов в сульфитных щелоках приводит к необходимости выпаривать их (по расчетам Теплотехнического института, — до 50% содержания влаги) для того, чтобы иметь возможность уничтожить их сжиганием. Взамен такой концентрации щелоков путем выпаривания возможно их сжигать с добавкой угольного порошка; при этом возможно выпаривать щелока в меньшей степени. Опыты, проведенные в нашей лаборатории, совместно с инж. В. Н. Рукавишниковым, показали, что при добавке 30—35% угольного порошка к сульфитному щелоку, несколько сконцентрированному выпариванием на открытом огне, получаются суспензии достаточно подвижные, достаточно стабильные и обладающие теплотворной способностью не ниже 3000 кал/кг. Такие суспензии возможно сжигать распыливанием из обычных нефтяных форсунок и тем самым содействовать уничтожению щелоков, что и доказано В. Н. Рукавишниковым на опытном сжигании (80).

Смоляные воды. По методу, аналогичному приготовлению суспензий на сульфитных щелоках, возможно приготовление суспензий-эмульсий с использованием смоляных вод, имеющих также в весьма значительных количествах и до сих пор неиспользуемых. В этом направлении практических испытаний еще нет, а лабораторные исследования проводятся.

В настоящей главе мы, конечно, не претендуем рассмотреть все возможные компоненты бинарных смесей-суспензий и «тройных» смесей суспензий-эмульсий. В практике, в зависимости от местных условий, могут быть самые разнообразные варианты. Целью главы было показать, что специфический состав многочисленных ингредиентов и их физико-химические свойства непременно должны учитываться при проработке местной рецептуры. Нашей задачей было также показать, что здесь имеется широкое поле для развертывания личной инициативы на пути к рационализации снижения расходов высококачественных топлив.

¹ Представляет интерес также сжигание высоксернистых мазутов с высоксернистыми углями или сланцами при утилизации сернистых соединений на изготовление серной кислоты.

ЛИТЕРАТУРА

1. Г. Л. Стадников. Происхождение углей и нефти. 1937, 531.
2. Зиммерсбах-Шнейдер. Основы химии кокса. 1933.
3. Brennstoffchemie, 13, 364 (1932).
4. " 13, 209 (1932).
5. " 14, 148 (1933).
6. Journ. pract. Chem., 5, 144, 6, 389, (1872).
7. Ann. des Mines de Belgique, 7, 657 (1902)
8. Abhandlung d. K. Pr. Landsanstalt, 55, 3 (1911).
9. Glückauf, 50, 86 (1914).
10. Ind. Eng. Chem., 26, № 2, 133 (1934).
11. Ю. А. Жемчужников. Введение в петрографию углей. 1932.
12. М. Д. Залесский. Очерк по вопросу образования угля. Геолком (1914) Изд.
13. M. Stopes & Watson. On the present distribution and origin of the vulc. in coal Philos. trans. of the R. S. of London, 1909, p. 167.
14. Ю. А. Жемчужников. Химия твердого топлива, 1931, № 5.
15. Fuel in S. & Pr., VIII, № 2, 86, (1929).
16. М. Д. Залесский. Известия сапропелевого комитета, 64 (1928).
17. Записки Уральск. Общ. любителей естествознания, X (XIII), 103 (1913).
18. Kräusel. Die Palaeobotanischen Untersuchungsmethoden, Iena (1929).
19. Stach. Kohlenpetrographisches Practicum (1928).
20. Glückauf, 64, № 25, 841 (1928).
21. Bull. Bureau of Mines, 1920, № 117.
22. Glückauf, 1925, № 48, 1529.
23. " 1929, № 41.
24. Fuel in S & Pr., 1922, № 2.
25. Braunkohle, 1930, № 9, 174.
26. Proceedings of the Royal Society, 90, 470 (1919).
27. Сборник "Топливо", НТО ВСНХ УССР, (1925).
28. Fuel in S & Pr., 390.
29. Glückauf, 1930, № 7.
30. Braunkohle, 1928, № 20.
31. Fuel in S & Pr., 1929, № 8, 375.
32. Fuel in S & Pr., 1930, № 10, 482.
33. Kohle und Erz., 1920, № 18, 699.
34. Kohle und Erz., 1920, № 24.
35. Fuel in S & Pr., 1929, № 1, 30.
36. Glückauf, 1925, № 48, 1523.
37. " 1928, № 32, 1073.
38. Brennstoffchemie, 1—11 (1929).
39. Горный журнал, 1926, № 11.
40. Brennstoffchemie, 1925, 83.
41. Glückauf, 1930, № 16, 529.
42. Fuel in S & Pr., 1930, № 1—3.
43. Г. Л. Стадников. Химия коксовых углей. 1934.
44. Ф. Фишер. Искусственное получение жидкого топлива. 1927.
45. Berichte Berl. G., 49, 1469 (1916).
46. Abh. Kohle, 1, 64 (1915—1916).
47. Berl. Berichte., 44, 2485 (1911).
48. Brennstoffchemie, 3, 73, 81 (1922).
49. Brennstoffchemie, 4, 65 (1923).
50. Г. Л. Стадников. Химия угля (1932).
51. Brennstoffchemie, 3, 11 (1922).
52. Brennstoffchemie, 2, 299 (1924).
53. J. Chem. Soc. (London), 700 (1927).
54. J. Chem. Soc. (London), 1914, 105, 181.
55. Fuel Research. Board Techn. pap., 1927, № 16.

56. J. Chem. Soc. (London), 103, 1704 (1913).
 57. J. Soc. Chem. Ind., 39, 135 (1920).
 58. Brennstoffchemie, 9, 105, 121 (1928).
 59. Fuel in S. & Pr., 1931, № 1, 44.
 60. Bull. Soc. Union Belgique, 1934, 1—24.
 61. Brennstoffchemie, 243—250, 1934.
 62. Ind. Eng. Chem., 1934, 1301. 8.
 63. Angew. Chemie, 1934, 576—578.
 64. Brennstoffchemie, 1934, 241.
 65. Chaleur et Industrie, 167, 442 (1934).
 66. Fuel in S. & Pr., 1934, № 1.
 67. Inst. Fuel, 26—23, 1934.
 68. Congr. de ch. ind. à Bruxelles, 15, 377 (1935).
 69. Ж. Р. Х. О., 894, 1927.
 70. Ж. Р. Х. О., 710, 1929.
 71. Маркуссон. Асфальт. Гостехизд. (1926).
 72. Гурвич. Основы химии и переработка нефти.
 73. Нефтяное хозяйство 1924, № 11—12, 993.
 74. Наметки. Химия нефти. Гостехнефтеиздат. 1932—35.
 75. Г. Л. Стадников. Происхождение углей и нефти, 531 (1937).
 76. Штаудингер. Высокомолекулярные органические соединения (1935).
 77. А. Ф. Добрянский. Научные основы крекинга нефти. Госизд. (1935).
 78. Сборник „Горючие сланцы“. Технология/сланцев (1932).
 79. Г. Л. Стадников. Химия торфа. 1930. Госизд.
 80. В. Н. Рукавишников и В. Ф. Кустов. Известия Акад. Наук СССР. Отделение технич. наук, 13, № 6 (1941).
-

ГЛАВА III

СВОЙСТВА ТОПЛИВНЫХ СУСПЕНЗИЙ

Особенностью топливных суспензий является то, что они как топливо могут быть приготовлены в согласии с теми требованиями, которые им предъявлены в зависимости от местных условий использования их. Отсюда следует, что в зависимости от местных эксплуатационных условий, наличия сырья, необходимости хранения или немедленного использования топлива эти технические требования в каждом отдельном случае будут своеобразными. Нет возможности предусмотреть в общем обзоре все возможные случаи, и поэтому мы остановимся лишь на наиболее важных общих свойствах топливных суспензий, преимущественно углемазутных.

В качестве общих требований к суспензиям могут быть поставлены следующие условия:

1 Стойкость суспензий, т. е. невыпадение угольного порошка и сохранение гомогенности системы в течение определенного промежутка времени, измеряемого днями, месяцами и даже годами.

2. Текучесть суспензий и возможность перекачки их насосами.

3. Достаточная скорость сгорания их при соответствующем тепловом эффекте.

Условие 3 мы рассмотрим в главе VI.

СТОЙКОСТЬ СУСПЕНЗИЙ

Топливными суспензиями мы называем такие углемазутные или другие горючие смеси, в которых размолотый твердый уголь находится в мазуте в виде частиц различной степени дисперсности при равномерном их распределении.

Применяемое для изготовления топливных суспензий порошковое топливо, даже довольно тонко размолотое, все-таки должно быть отнесено к порошкам низкой дисперсности.

В качестве примера приведем средние размеры зерен порошкового топлива наиболее высокого качества.

Диаметр частиц, в микронах	70	50	30	10	4	4
Весовое количество, в %	26.2	15.6	20.9	23.1	7.1	7.1

Скорость выпадения угольного порошка в мазутах определяется по известной формуле Стокса:

$$v = \frac{2}{9} \frac{r^2(D-d)g}{\eta} \text{ см/сек,}$$

где: v — скорость,

r — радиус частиц,

D — плотность угля,

d — плотность масла,

g — ускорение,

η — вязкость масла.

Согласно этой формуле, стойкость суспензии тем больше, чем больше вязкость среды, чем меньше размер частиц и разность в плотностях твердой и жидкой фаз. Кроме основных факторов — вязкости жидкой среды, разности плотностей (очень малой в углемазутных суспензиях) и размера частиц — приходится принимать во внимание и другие факторы физико-химического и химического характера: значение поверхностных явлений, структуру, высокую концентрацию суспензий, приближающихся по своим свойствам к гелям и к твердому телу, химическое взаимодействие компонентов смеси и др.

Ввиду того что формула Стокса рассчитана применительно к плотным частицам шарообразной формы и одинаковых размеров в условиях малой концентрации, непосредственное применение ее к гетеродисперсным системам и, особенно, в интересующей нас области не может быть оправдано.

Изучение топливных суспензий может быть прежде всего отнесено к области физической химии, определяющей свойства раздробленных «дисперсных» материалов, а также к физике молекулярных сил. В углемазутных суспензиях жидкой средой, называемой дисперсной, являются углеводороды мазутов, а измельченным материалом, дисперсной фазой — угольный порошок. Степень раздробленности — дисперсность — определяется отношением суммарной поверхности частиц к общему их объему: S/V .

Дисперсность является величиной, обратной среднему диаметру или эквивалентному радиусу частиц:

$$D = \frac{1}{d}.$$

Степень дисперсности может быть:

- 1) макроскопическая при d , равном от 1 до 10^{-3} см
- 2) макроскопическая » d » » 10^{-3} » 10^{-5} »
- 3) коллоидная » d » » 10^{-5} » 10^{-7} »
- 4) молекулярная » d » » 10^{-7} » 10^{-9} »

Обычные топливные суспензии (углемазутные смеси) лежат в пределах микроскопической дисперсности. Топливные суспензии, получаемые при термической обработке, лежат в пределе от высшей степени дисперсности микродисперсных систем до коллоидной дисперсности включительно. Дисперсность системы меняется от способов диспергирования, а с повышением дисперсности меняются и свойства системы.

Мы не останавливаемся на методах определения дисперсности (размера частиц) ввиду того, что этому вопросу достаточно уделено внимания в общих учебниках по коллоидной химии (1—3), хотя и без практической оценки приводимых методов; также имеются и специальные статьи и монографии по этому вопросу (4—8).

При изготовлении микродисперсных топливных суспензий для определения тонкости помола при рядовом контроле достаточно бывает проведения обычного ситового анализа и расчета помольной характеристики (см. также работы Розина и др.).

Если обратиться к формуле Стокса в ее выражении, интерпретирующем скорость осаждения частиц, то по ней можно судить, что фактор размера частиц, выраженный как квадрат радиуса частицы, имеет для стабильности суспензии очень важное значение. В практическом отношении роль фактора «размера частиц» условно можно выразить следующей примерной таблицей, согласно нашим работам

Стойкость суспензии, в сутках	2560	400	160	40	10	4
Радиус частиц, в микронах	2.5	5	10	40	80	120

Если принять во внимание, что обычный размер угля для порошкового топлива содержит очень много частиц размером не только 80, но также и 100 и 120 μ , то изготовление стабильной суспензии, со-

гласно этой ориентировочной таблице, становится весьма затруднительным. В то же время изготовление очень тонких порошков с экономической стороны нерентабельно, хотя в настоящее время и существуют системы очень тонкого помола (например, микрон-угли на мельницах Кеннеди и др.).

Следует учесть также, что скорость выпадения частиц с определенным диаметром тем больше, чем меньше находится в смеси частиц меньшего диаметра. Только очень крупные или очень тяжелые частицы выпадают быстро. В практике при концентрациях выше 30% выпадение всех частиц с диаметром менее 60 μ происходит с одинаковой скоростью.

«Коллоидальное топливо», приготовленное в Институте народного хозяйства им. Плеханова на коллоидной мельнице, с частицами угля, имеющими радиус 2,5 μ , не дает осадка при хранении в помещении Политехнического музея (Москва) в течение ряда лет.

Следует иметь в виду, что определение стойкости суспензий является весьма условным понятием.

Под стойкостью, как мы уже указали, понимают невыпадение осадка в течение определенного времени с момента изготовления до момента использования суспензий; в некоторых случаях стойкость может быть продлена применением мешалок, сотрясающихся шлангов, при передаче в топку и т. д.

В лабораторных условиях стойкость определяется различными способами, которые мы рассмотрим в главе IV.

Определение стойкости суспензий производится указанными количественными методами после отстаивания в течение определенного количества времени при соответствующих температурах — при обыкновенной температуре, при 75—80° и при 100°. Нами замечено, что стойкость суспензии при 100° в течение часа соответствует стойкости при обыкновенной температуре в течение месяца, стойкость при 100° в течение 2 часов — соответственно 2 месяца и 3 часов — 3 месяца. Мы считаем стойкой суспензию в том случае, если концентрация изменяется не более чем на 1—2%.

Определить количество осадка в суспензии (скорость осаждения) по расчету на основе формулы Стокса не представляется возможным как вследствие гетеродисперсности системы, так и вследствие различных факторов, не учитываемых идеальной формулой Стокса (прежде всего фактора концентрации).

Даже для наиболее чистых смесей, как, например, система вазелиновое масло + угольный порошок, формула Стокса в обычном выражении неприменима. Подсчитаем скорость падения угольных частиц с тремя средними радиусами 20, 40 и 60 μ по формуле Стокса:

$$v = \frac{2}{9} \cdot \frac{r^2(D-d)g}{\eta} \text{ см/сек},$$

где: r — радиус частиц, равный 0.002, 0.004 и 0.006 см,

D — плотность угля, равная 1.65,

d — плотность масла, равная 0.85,

g — ускорение, равное 988 см/сек²

η — вязкость масла, равная 0.175,

v — скорость, равная 0.02, 0.04, 0.06 см/сек.

При подсчете, даже для самой маленькой частицы, получаются скорости порядка около 70 см/час, что представляет величину, весьма далекую от наблюдаемой при эксперименте.

На рис. 1 мы приводим скорости осаждения угольного порошка, содержащего частицы радиусом от 0.002 до 0.004 см. Даже наиболее быстрое осаждение не соответствует формуле Стокса. Все приведенные нами кривые показывают стойкость суспензии с одинаковой кон-

центрацией: 30% угольного порошка указанной дисперсности и 70% чистого вазелинового масла. Различие в скорости осаждения при одной и той же температуре получалось нами вследствие различных методов

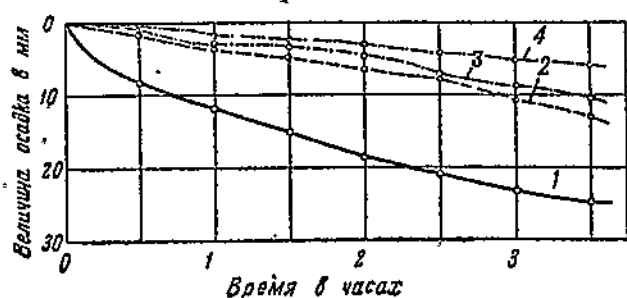


Рис. 1. Влияние продолжительности перемешивания на стойкость суспензии

изготовления суспензий. Суспензия, показанная на кривой 1, рис. 1, приготовлена простым перемешиванием угольного порошка и вазелинового масла в течение $\frac{1}{2}$ часа при 60° .

Суспензия, показанная на кривой 2, рис. 1, перемешивалась в течение часа при той же температуре. Суспензия, показанная на кривой 3, рис. 1, перемешивалась три часа при той же температуре, и суспензия,

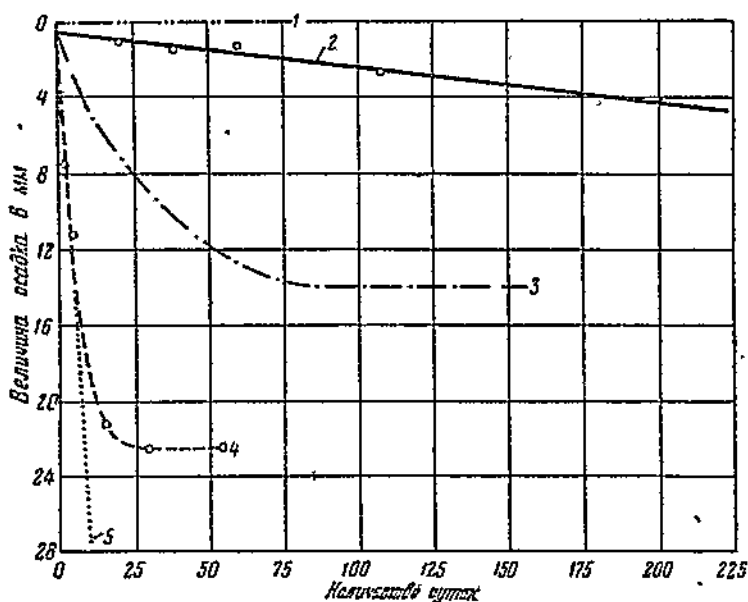


Рис. 2. Кривые характеристик стабильности суспензий

1 — нефть; 2 — стойкость суспензии, средняя скорость осаждения 0,02 мм в сутки; 3 — нестойкая суспензия на керосине; 4 — нестойкая суспензия на жидком мазуте; 5 — наиболее стойкая суспензия, осадок выпадает через 10 суток

показанная на кривой 4, рис. 1, растиралась в ступке без применения давления в течение часа (в этом случае возможно, конечно, частичное диспергирование).

Формула Стокса действительна только для малых концентраций, что обычно упускают из виду, в нашем же случае концентрации приближаются к пастообразному состоянию, и в этом случае, как видно из приведенного примера, формула эта непригодна.

При выпадении угольного порошка в осадок можно наблюдать различные формы такого осаждения: может образоваться резко ограни-

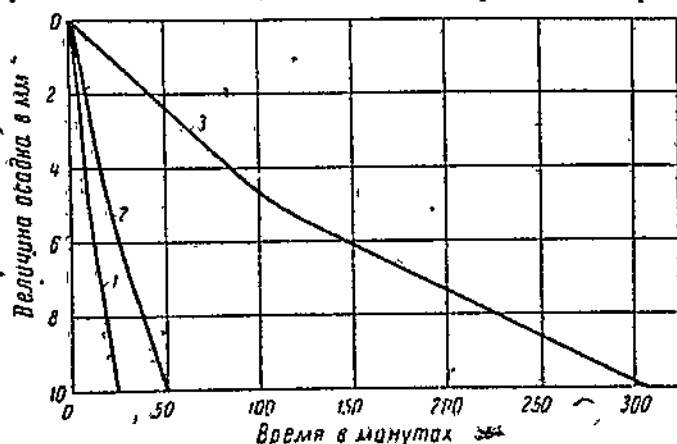


Рис. 3. Скорость осаждения угля в зависимости от степени помола

ченный плотный осадок, и может быть осадок неплотный при постепенном возрастании концентраций в нижней части, около дна сосуда.

Принято считать осадком уплотненный несмывающийся слой, и по высоте такого слоя и по скорости образования осадка при обыкновенной температуре суспензии подразделяют на три категории (английская испытательная станция по топливу):

1. Стойкие суспензии; имеют скорость осаждения до 0.02 мм в сутки.

2. Малостойкие; скорость осаждения до 0.6 мм в сутки.

3. Нестойкие суспензии; скорость осаждения до 2.7 мм в сутки.

Характеристика таких суспензий по английским материалам (9) нами приведена на рис. 2.

Влияние размера частиц на скорость осаждения особенно заметно в суспензии, приготовленной на вазелиновом масле (визуальный метод).

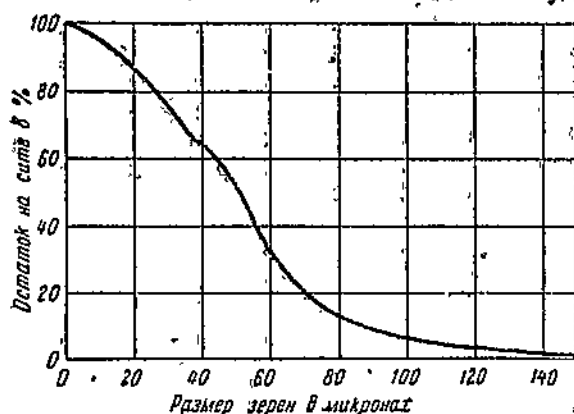


Рис. 4. Помольная характеристика антрацитового уноса

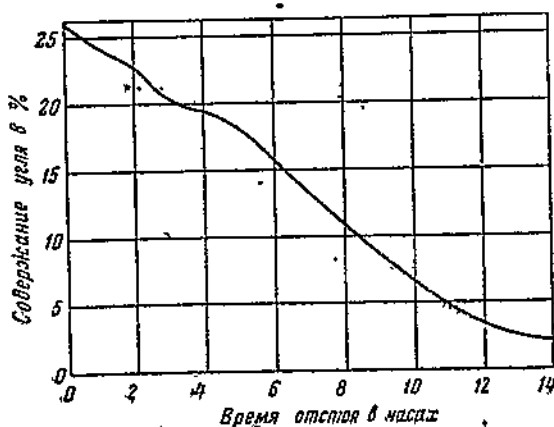


Рис. 5. Процентное содержание угля в верхнем слое суспензии в зависимости от времени отстоя при 80°C

На рис. 3 показаны скорости осаждения одного и того же угля, но различной дисперсности: кривая 1 показывает быстрое выпадение фракции угля, характеризуемой остатком на сите № 70 в количестве 20%, кривая 2 — при остатке до 6%, и кривая 3 — при остатке не более 2%.

На рис. 4 приведена помольная характеристика антрацитового уноса с содержанием зольных элементов до 20%. Этот унос смешивался с мазутом вязкостью = 10° Е при 50° С до концентрации в 25%. Стойкость такой смеси характеризуется содержанием угля на высоте 2 см

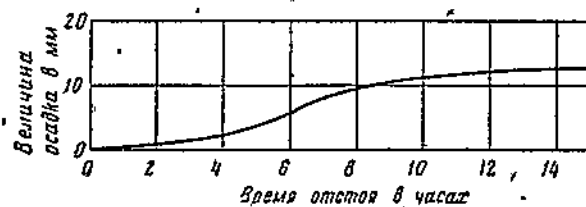


Рис. 6. Скорость образования осадка той же суспензии при 80°С

от верхнего уровня при температуре 80° С (рис. 5) и образованием осадка при той же температуре (рис. 6); здесь следует отметить, что содержание угля в верхнем слое все время убывает довольно равномерно, но в то же время образование осадка прекращается по достижении определенной концентрации.

Осаждение суспензий было проверено в сосудах различных диаметров; на основании полученных материалов считаем, что скорость осаждения как в очень узких сосудах диаметром 3 см, так и в широких — одна и та же, исключая, конечно, довольно редкие и мало изученные случаи спонтанного осаждения. Следует также иметь в виду, что при начавшемся осаждении (флокуляции) процесс происходит ускоренным темпом. Для иллюстрации приведем следующие цифры из журнала работ (табл. 11).

Т а б л и ц а 11

Зависимость осаждения угольного порошка в мазуте от диаметра сосуда при начальной концентрации в 33%

Температура опыта, °С	Продолжительность отстаивания, в часах	Диаметр сосуда, в см	Конечная концентрация на глубине 2 см
20—23	18	14	31.7
20—23	18	6	31.7
20—23	18	2.8	31.8
60—70	2	14	31.6
60—70	2	6	30.8
60—70	2	2.8	31.3

Мы считаем также весьма интересным наблюдение скорости осаждения суспензии в высоких сосудах на различных глубинах. Такие опыты мы провели в сосудах больших диаметров, в которых суспензия находилась на уровне 1 м. Пробы отбирались при различных температурах через оторстки на четырех участках в равном расстоянии от верхнего уровня суспензии (100—75 см; 75—50 см; 50—20 см; 25—0 см). Результаты наблюдений, частично приведенные в табл. 12, показали, что скорость осаждения в нижних слоях даже более замедлена.

Таблица 12

Осаждение суспензии на различных участках столба жидкости

Начальная концентрация, в %	Температура опыта	Высота отбора пробы, в см	Время отстаива- ния, в часах	Конечная концентра- ция, в %
30	20—25	100—75	25	27.1
		75—50		29.1
		50—25		30.0
		25—0		32.6
30	20—25	100—75	3	26.2
		75—50		28.4
		50—25		29.4
		25—0		33.0
35	20—25	100—75	96	31.5
		75—50		34.0
		50—25		35.1
		25—0		38.5
35	50—60	100—75	3	32.1
		75—50		33.7
		50—25		33.7
		25—0		37.5
40	20—25	100—75	96	37.5
		75—50		38.6
		50—25		39.0
		25—0		41.6
40	50—60	100—75	3	38.0
		75—50		39.6
		50—25		39.8
		25—0		41.7

чем в верхних, а в средней части сохраняется долгое время равновесие. Замедление скорости в нижних слоях легко объясняется повышением

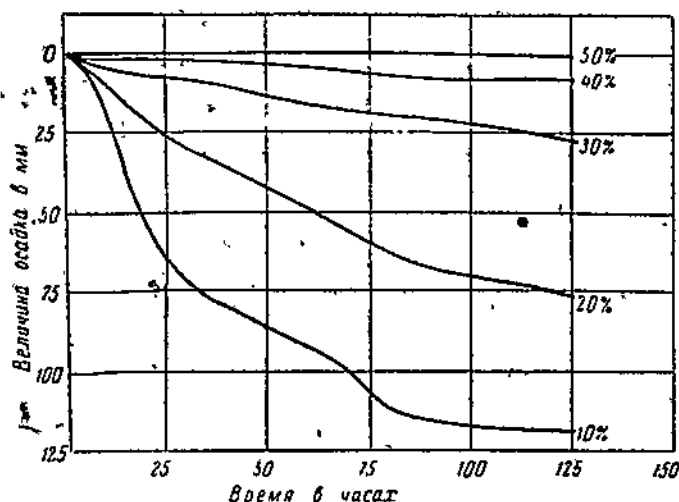


Рис. 7. Кривые оседания верхнего слоя суспензии в зависимости от процентного содержания угля

концентрации суспензии у дна сосуда. На основе наблюдений считаем правильным отбор пробы на глубине 2 см от поверхности суспензии, так как можно полагать, что осадок на дне сосуда получится не больше, чем будет потеряно в верхнем слое.

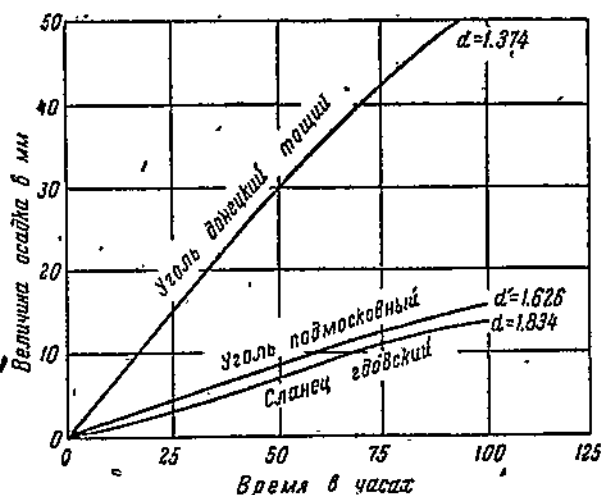


Рис. 8. Влияние плотности твердого компонента на скорость образования осадка; d — плотность

в этих значениях теряется. На рис. 8 приведены кривые скорости оседания материалов различной плотности в одной и той же среде при одном и том же помоле. Кривые оседания показывают противоречие с положением Стокса.

ТЕКУЧЕСТЬ СУСПЕНЗИЙ

Исследование текучести суспензий высокой концентрации в технике использования их имеет весьма серьезное значение для решения вопроса о выборе диаметра трубопроводов, системы насосов и вообще при конструировании системы передачи суспензий по трубам. Однако

эти исследования являются весьма затруднительными потому, что в зависимости от концентрации твердой фазы, температуры, свойств исходных материалов суспензии резко меняют свои свойства: при слабых концентрациях твердой фазы суспензии обладают текучестью, близкой к текучести жидкого компонента; при повышении концентрации текучесть суспензии меняется и переходит при высоких концентрациях в область «пластического истечения», т. е. такого, когда количество протекающей жидкости перестает быть пропорциональным приложенному давлению. При этом следует также учитывать некоторое определенное давление, при котором начинается передвижение суспензии. При повышении концентрации твердой фазы текучесть понижается и обычно при концентрации около 50% при обыкновенной температуре стремится к нулю.

При этом необходимо также иметь в виду структуру системы, так как «степень заполнения» твердой фазой зависит от дисперсности частиц и их формы, а также от их коллоиднохимических свойств.

Эйнштейн в своих работах по математическому обоснованию вязкости дисперсных систем рассматривал суспензию состоящей из твердых шаров и вязкой жидкости (11) и вывел следующее уравнение:

$$\eta_s = \eta(1 + 2.5 \varphi),$$

где η_s — вязкость суспензии,

η — вязкость дисперсной среды,

φ — общий объем суспензии.

Следует обратить внимание на то, что радиусы частиц им не учитывались.

При дальнейшем накоплении экспериментального материала обратили внимание на гидратацию (12) и на агрегацию частиц (13).

Истечение нормальных однородных жидкостей подчиняется уравнению Ньютона:

$$F = \eta S \frac{dV}{dr},$$

где S — поверхность трения,

dV — градиент скорости по направлению, перпендикулярному поверхности трения,

η — коэффициент трения.

Это уравнение может быть представлено в ином виде в случае протекания такой жидкости в капиллярной трубке длиной L под давлением P при радиусе трубки R (формула Пуазейля)

$$V = \frac{\pi P R^4}{4 \eta L},$$

где V — объем жидкости, вытекающей в единицу времени.

В случае чистых жидкостей должно сохраняться отношение между давлением, под которым вытекает жидкость, и количеством ее в единицу времени.

$$V = \frac{Q}{t}.$$

Однако суспензии уже при малых концентрациях показывают аномальную вязкость, т. е. указанная пропорциональность в этом случае не соблюдается, и вязкость изменяется с градиентом скорости (14).

Изменение пропорциональности Бингем объясняет явлением «напряжения сдвига». В этом случае уравнение Ньютона должно быть преобразовано в уравнение следующего вида:

$$\eta \frac{dV}{dr} = \frac{F}{S} = f,$$

где f — напряжение сдвига.

Форроу, Лау и Нил (15) для аномальных жидкостей предложили следующее уравнение с двумя константами:

$$F^N = \eta' \frac{dV}{dy}.$$

Графически они выражают зависимость логарифма напряжения от логарифма скорости.

Бингем на основе измененного уравнения Ньютона вместо формулы Пуазейля получил следующую:

$$V = \frac{\pi R^4}{4L\eta'} \left(P - \frac{\gamma L}{3R} f + \frac{16 L^3 f^3}{3R^4 p^3} \right).$$

Мазуты как смесь углеродистых соединений, в том числе и довольно высокополимеризованных, в настоящее время в отношении вязкости еще далеко не изучены. Тем более еще не изучены новые месторождения нефтей при новых методах переработки их с получением высоковязких крекинговых мазутов. В том же случае, когда мы имеем смеси этих мазутов с угольным порошком, а иногда и с различными добав-

ками, изучение явлений текучести без предварительной методической проработки вопроса может оказаться невозможным. Метод определения вязкости — текучести углемазутных смесей и рассмотрение различных приборов для определения вязкости описаны в следующей главе.

С фиксатором вязкости углемазутных смесей связаны почти все другие факторы, влияющие на стойкость суспензий (к интересующему нас вопросу ближе всего стоят по своей структуре системы, образуемые типографскими красками). Изучению вопроса подвижности топливных суспензий посвящено до сих пор еще очень мало работ. Все сложные явления, недостаточно выясненные еще в чистых жидкостях или коллоидных растворах и описанные у Гатчека и Бингема (16—17), а также в работах наших ученых [Воларовича и др. (18)], повторяются особенно редко в практике применения углемазутных смесей (19) и должны рассматриваться в особом отделе коллоидной химии — в учении о структурах. К явлениям, затрудняющим изучение подобного рода систем, следует отнести явления тиксотропии, растворимости и набухания, ста-

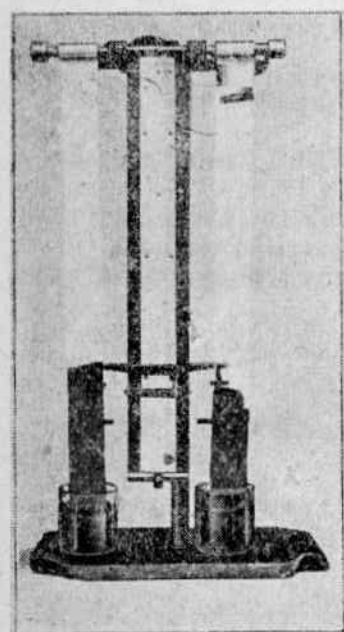


Рис. 9. Прибор Шеппарда

рения и полимеризации компонентов, составляющих смесь, явления на поверхностях твердой фазы и др.

По вискозиметрии углемазутных смесей, применяемых в качестве топлива, первой работой можно считать материалы, приведенные в статье Шеппарда (20). Он же предложил прибор по сравнительному измерению капиллярных свойств мазута и суспензии (рис. 9)¹. Шеппард при обсуждении вопроса вязкости суспензии учитывает «пластическое истечение» по Бингему. Работы Шеппарда являются самым первым приближением при ознакомлении с этим вопросом.

Более детальные работы были проведены Топливной станцией департамента по топливу (21), но они чисто технического порядка

¹ Описание прибора приводится в гл. IV.

и были поставлены с целью характеристики пригодности мазутов для изготовления стабильных суспензий.

Как мы отмечали, чисто эмпирически было найдено, что наиболее пригодным мазутом в отношении получения стойких суспензий является крекинг-мазут.

Парафинистый мазут, обладающий значительной вязкостью, все-таки не пригоден для изготовления углемазутных смесей, как и всякий мазут прямой гонки. Исключением может быть мазут ароматических, высоковязких нефтей, для которых следует учесть их химический состав и основные характеристики. В Англии определяют в течение нескольких дней особым прибором относительную вязкость одной и той же пробы и отмечают: сохраняется ли вязкость неизменной все время

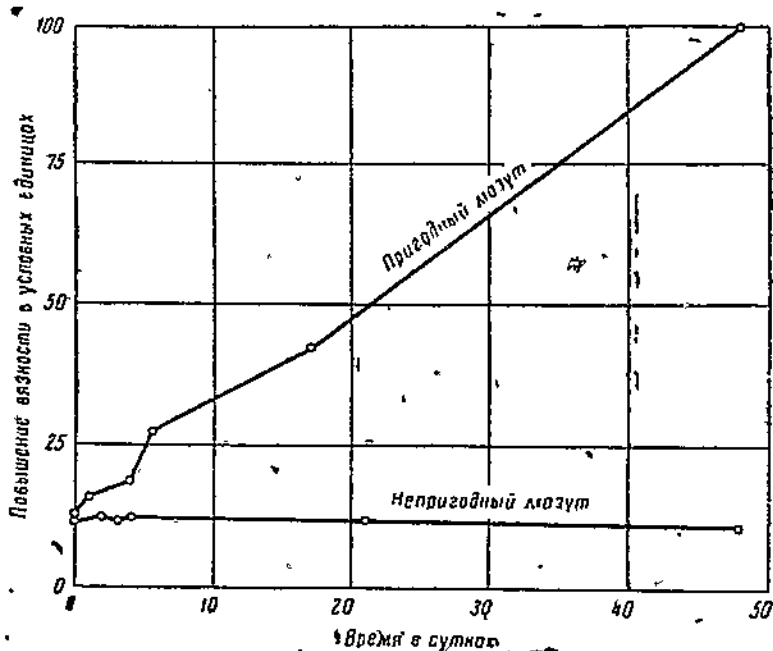


Рис. 10. Характеристика пригодности мазута

или заметно повышается; в том случае, когда вязкость не изменяется, мазут признается непригодным для изготовления стойких углемазутных смесей; в том же случае, когда вязкость постепенно повышается, мазут признается пригодным (рис. 10). Никаких объяснений этому явлению не дается, хотя такое объяснение дать нетрудно, особенно если принять во внимание, что пригодным мазутом является крекинг-мазут: крекинг-мазут содержит много ненасыщенных соединений и асфальтенов, полимеризующихся со временем и тем самым образующих более вязкие растворы. Вязкость суспензии, как и вязкость входящего в ее состав мазута, изменяется прежде всего в зависимости от температуры; при этом скорость падения вязкости суспензии значительно быстрее, чем падает вязкость мазута, так что при некоторой более или менее высокой температуре (например, около 80—100°) разница в вязкости мазута и суспензии практически не является очень резкой. Для примера мы приведем из наших работ кривые мазута и суспензии концентрации 30% (рис. 11). Для смеси взят уголь марки «Т» (просев через сито № 70); поведение менее концентрированных суспензий характеризуется кривыми (рис. 12). На только что приведенном рисунке

можно заметить еще одну особенность смесей: с повышением концентрации при низких температурах значительно возрастает вязкость.

Согласно этому наблюдению нами были проведены многочисленные специальные опыты с углями различной дисперсности и

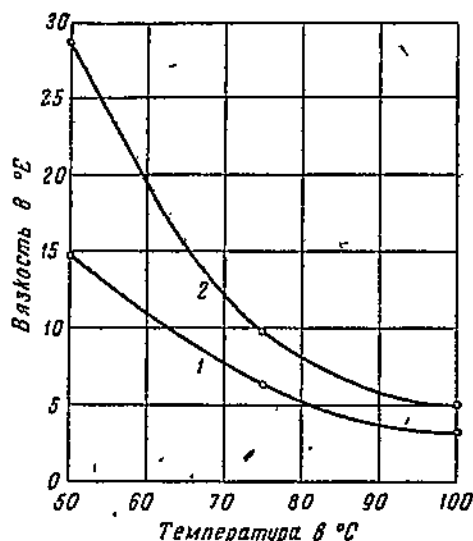


Рис. 11. Кривые вязкости мазута и суспензии концентрации 30% в зависимости от температуры; 1 — мазут; 2 — суспензия

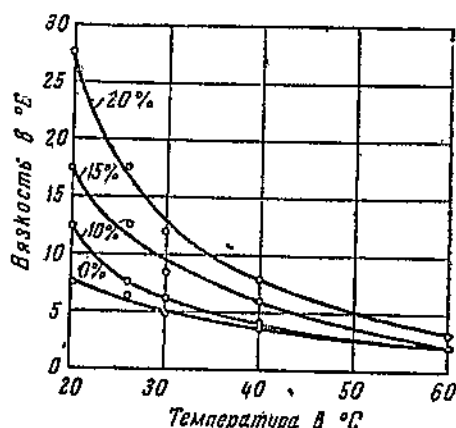


Рис. 12. Кривые вязкости малоконцентрированных суспензий и чистого мазута в зависимости от температуры

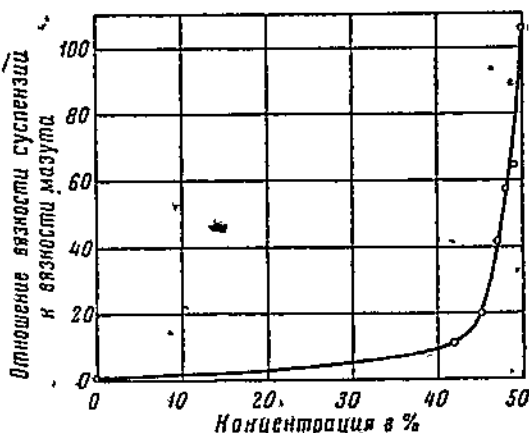


Рис. 13. Относительное повышение вязкости в зависимости от концентрации при 20°C

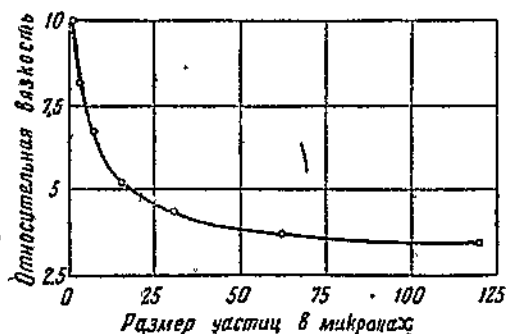


Рис. 14. Зависимость вязкости суспензии от размера частиц угля

различными минеральными маслами, а также с суспензиями, приготовленными на сульфитных щелоках. На основе проведенных опытов нами построена кривая, приведенная на рис. 13. Она показывает относительное повышение вязкости при температуре 20°C с повышением концентрации твердой фазы. В этой кривой особенно интересным является скачок вязкости при приближении концентрации твердой фазы к 50%. Наблюдение «повышения скачка вязкости» согласуется с теорией распределения шаров: при концентрации 50% твердой фазы получаем пластическое тело.

Вязкость очень мало изменяется в зависимости от крупности частиц при обычном техническом помоле, но значительно возрастает при помоле на «микрон-угольный» порошок, что может быть представлено нами в виде кривой (рис. 14), где показано относительное повышение вязкости в зависимости от размера частиц угля. Следует иметь в виду,

что правильнее учитывать не размер частиц, как это обычно принято в технике, а удельную поверхность порошкового топлива.

Вязкость смесей, приготовленных на маловязком мазуте и древесноугольном порошке, незначительно выше вязкости соответствующих концентраций смесей, приготовленных на ископаемых углях; особенно заметно повышение напряжения сдвига θ . На рис. 15 приведена

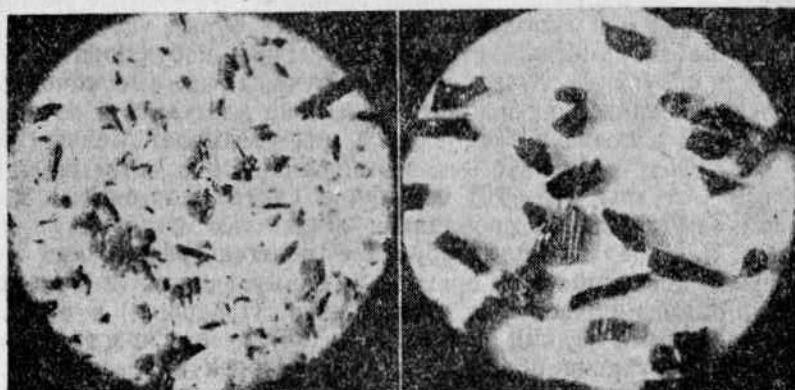


Рис. 15. Микрофотография частиц древесноугольного порошка

микрофотография, показывающая характерную форму частиц древесного угля, а на рис. 16 вязкость смесей при концентрациях твердой фазы в 5, 10, 15 и 20%. Эти измерения производились в обычном вискозиметре Энглера, но капилляр для истечения применялся такого диаметра, что 200 мл суспензии вытекало в 53 секунды (22).

В технике применения углемазутных смесей все условия, которые вызывают быстрое или медленное образование осадка, должны быть тщательно проанализированы, и в их числе вязкость далеко не всегда играет решающую роль. Так, при смешивании одной и той же пробы угольного порошка с минеральными маслами различной вязкости, скорость выпадения не будет уменьшаться в точности обратнопропорционально повышению вязкости. Целый ряд факторов, не учитываемых формулой Стокса, — явления, связанные с структурообразованием систем, явления растворимости и набухания, тиксотропия, влияние добавки стабилизаторов, — заставляет обратить внимание на стойкость углемазутных смесей как на самостоятельное явление, хотя и связанное с процессами внутреннего горения.

После ознакомления с работами по набухаемости порошкового угля в дальнейшем мы перейдем к вопросу скорости осаждения твердой фазы в углемазутных смесях.

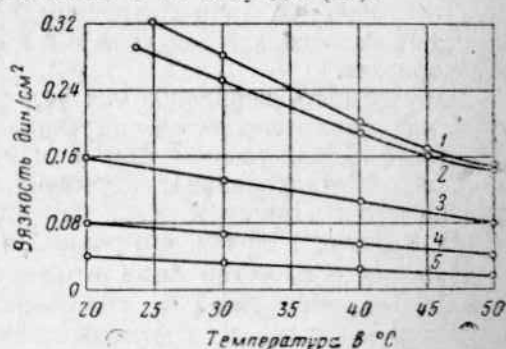


Рис. 16. Вязкость смесей различных концентраций в зависимости от температуры

- 1 — концентрация в 20%
- 2 — " " 15%
- 3 — " " 10%
- 4 — " " 5%
- 5 — чистое масло

Явления набухаемости углей в жидких средах обычно связаны и с вязкостью и со стойкостью систем. Явление набухаемости стоит в связи с коллоидной структурой компонентов угля и их растворимостью в неводных средах и проявляется прежде всего в увеличении объема отдельных частичек, повышении вязкости и, соответственно, изменении стабильности углемазутных систем. Здесь же следует отметить, что все эти явления наиболее заметны при изготовлении углемазутных смесей при использовании молодых бурых углей; чем старше уголь, тем менее заметным становится явление набухания.

Явления набухания лучше всего изучены на высокополимерных органических соединениях и прежде всего на клетчатке и ее производных. Катц (23) в своих исследованиях, как указывает Мейер (24), различал два типа набуханий — интермицеллярное и интрамицеллярное. Еще ранее Оствальд (25—26) набухание считал состоящим из двух процессов осмотического проникания жидкостью коллоида и адсорбции; Марк и Мейер изучали набухание рентгенографическим методом и различают поверхностный процесс и пермутоидный (27); последний, по Катцу, обычно приводит к растворению. Павловым в его работах с активированными углями предложена (28) очень простая методика определения набухания порошковых тел, которая в некоторой степени может быть применена и при определении набухаемости порошковых углей, идущих на изготовление углемазутных смесей. Величину набухания Павлов определяет отношением разности объемов после набухания и до набухания $(h - h_0)$ к объему до набухания:

$$\frac{h - h_0}{h_0}$$

Для углемазутных смесей ввиду непрозрачности мазута метод Павлова не подходит.

Наблюдение за набухаемостью производится в градуированном цилиндре с плоским дном диаметром 7 мм и высотой 150 мм; в такую пробирку берется навеска угля 0,4 г и заливается пятью миллилитрами растворителя.

Набухаемость непорошковых тел измеряется по изменению объема куба или параллелепипеда, вырезанного из куска. Этот метод, предложенный Фридлендером (29) к измерению набухаемости бентонита (коллоидный гидросиликат алюминия вулканического происхождения), был применен Лутсом к эстонским сланцам (30), кусок сланца длиной 68 мм в форме палочки, опущенный в эфир, удлинился до 130 мм.

Набухаемость углей была отмечена в связи с работами по изучению растворения углей и гидрогенизации паст, приготовленных из угольного порошка и каменноугольных масел. Дамис (31) наблюдал набухание различных углей при опытах экстрагирования пиридином различных компонентов углей; Мейер производил обработку пиридином, алкоголем и другими растворителями (32). Обстоятельная работа по исследованию набухаемости угольных порошков, полученных размалыванием на микромельнице (33), проведена в исследовании коллоидной структуры углей. Они приводят в своей статье таблицу, в которой указывают качественное воздействие различных растворителей на угли (табл. 13).

Явления набухания авторы объясняют на основе теории сольватации [образование «сольватной» оболочки (34)] и степень набухания выражают «закону набухания» (35):

$$\lg \left(\frac{a}{a-x} \right) = kt,$$

Набухаемость газовых углей

Таблица 13

Растворитель	Продолжительность, в минутах	Степень набухаемости	Диполь-момент	Диэлектрическая постоянная
Ацетон	72	Очень сильная	2.7	21.5
Пиридин	52	Сильная	2.26	12.4
Нитробензол + пиридин .	43	Умеренная	—	—
Нитробензол	19	Слабая	3.98	36.5
Креозот из букового дегтя	47	"	—	—
Изохлорин	18	"	2.54	9.2

где a — число набухания (насыщение);

x — набухание в процентах, соответствующее

t — времени в минутах;

k — константа.

По наблюдениям авторов, наибольшую набухаемость по степени и скорости показали жирные угли; насыщение было получено полностью через сутки. На втором месте идут газовые угли, у которых набухание начинается с большой скоростью, но оканчивается только через несколько дней.

Тощие угли показали кривые, отличающиеся от жирных и газовых. На основе наших экспериментов по стойкости различных марок углей

указанная характеристика вязкости согласуется со степенью стойкости: наибольшую стойкость показывают бурые угли, затем угли марки «ПЖ», затем марки «Г» и наименьшую стойкость — антрациты; относительно тощих углей следует сказать, что иногда (например, угли со ст. Овраги) они дают стойкие суспензии, но в большинстве приближаются к антрацитам. Представляет интерес наше сопоставление скорости выделения летучих с явлением набухаемости и стойкости смесей (36).

Связь набухаемости бурых углей с одновременным повышением вязкости наблюдалась на дистиллатах сухой перегонки углей. На кривой (рис. 17) приведено повышение вязкости по мере набухания при различных концентрациях буроугольного порошка в смеси с буроугольным дегтем. Характеристики угольного порошка и дегтя следующие.

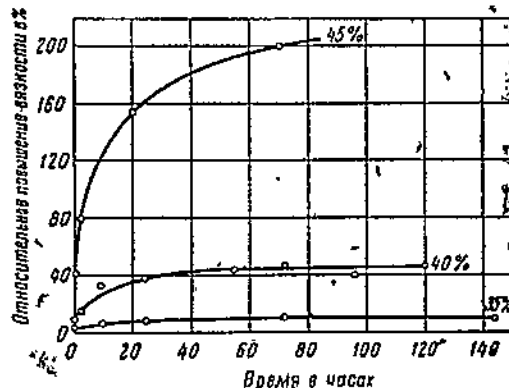


Рис. 17. Изменение вязкости и набухаемости смесей буроугольного порошка с буроугольным дегтем при различных концентрациях

Буроугольный порошок

Остаток на сите № 30	1.40%
№ 70	17.40%
Содержание влаги	12 %
Содержание золы	7.40%

Буроугольный деготь

Удельный вес	0.960—0.990
Вязкость	2.5—3.5°E
Содержание влаги	1—2%

На кривой следует отметить скорость набухания в зависимости от концентрации.

На кривой (рис. 18) приведено изменение вязкости по мере набухания при хранении 35% буроугольного порошка в смеси с буроугольным

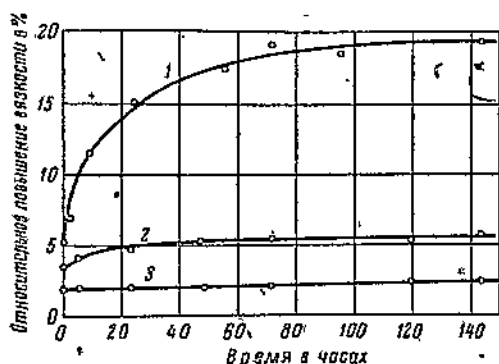


Рис. 18. Изменение вязкости и набухаемости различных смесей при хранении

дегтем (кривая 1), с каменноугольным дегтем (кривая 2), с минеральным маслом (кривая 3). Бухголец объясняет набухаемость комбинарованным воздействием влаги и креозотистых составных частей дегтя.

Приведем наши наблюдения явления скорости набухания порошков гдовского сланца и подмосковного (товарковского) угля; во всех случаях был взят просев через сито № 70 (из одной пробы).

Прежде всего при постановке опытов в приборе Лотермозера мы обратили внимание на скорость набухания, и при этом ока-

залось, что процесс набухания протекает с сланцевым порошком чрезвычайно быстро (3—4 мин.) и еще более быстро с угольным порошком. Рассмотрим отдельные кривые, характеризующие воздействие различных растворителей на сланец и на уголь.

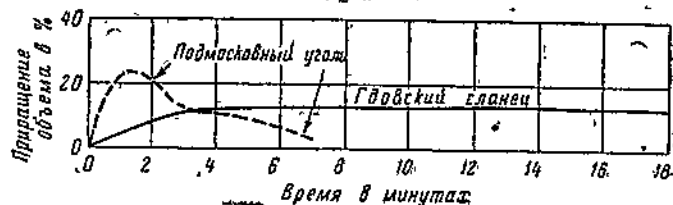


Рис. 19. Набухание подмосковного угля и сланца в спирте

1. Спирт (этанол). Приращение объема сланцевого порошка в спирте не превышает 12%, набухание заканчивается через 3 мин. (рис. 19). Уголь в спирте увеличивает свой объем в течение первой минуты, а затем также быстро уменьшается в объеме почти до нуля (рис. 19). Слабое набухание взятых нами порошков в спирте вполне согласуется с отсутствием восков и смол в угле.

2. Бензол. Кривая набухания сланцевого порошка в бензоле (рис. 20) уже более заметна (увеличение объема на 70%), но тот же растворитель на угольный порошок почти не оказывает никакого

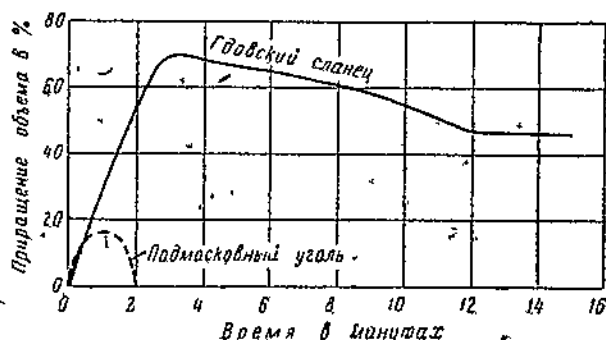


Рис. 20. Набухание подмосковного угля и сланца в бензоле

действия. Если учесть, что бензол растворяет углеводороды, которых в сланцевом порошке достаточное количество, то такое различное отношение взятых порошков к бензолу становится вполне понятным.

3. Спирт-бензол (1:1). Известно, что в том случае, когда отдельные растворители не растворяют или не вызывают набухания

высокополимерных соединений, смеси этих растворителей действуют иногда весьма активно. Характерным, всем известным примером может служить растворимость нитроцеллюлозы: ни в спирте, ни в этиловом эфире в отдельности нитроцеллюлоза не растворима; если же взять смесь их, то она легко переходит в раствор, как всякий коллоид, после некоторого набухания (37). Для приготовления таких смесей (38) необходимо брать растворители различной полярности, что широко используется в лакокрасочной технике.



Рис. 21. Набухание подмосковного угля и сланца в спирто-бензоле

Если обратимся к экспериментальным кривым, то, действительно, можно видеть, что и сланцевый порошок и угольный порошок (рис. 21) дают некоторое постоянное набухание в спирто-бензоле. Следует учесть, что спирто-бензол является хорошим растворителем при экстрагировании углей (39). При экстрагировании углей, как очень сложных коллоидных образований, необходимо подбирать соответствующие смеси растворителей, это же явление следует учесть и при составлении рецептуры стойких смесей.

4. **Петролейный эфир.** Разница в химическом составе компонентов угля и сланца отражается в различном воздействии петролейного эфира на них: в то время как на уголь, в сущности, этот растворитель совершенно не действует при отсутствии в угле углеводородов жирного ряда, на сланец воздействие петролейного эфира оказывается очень сильным и продолжительным (рис. 22).

5. **Пиридин,** как органическое основание, многократно применялся при экстрагировании углей; его воздействие как на угольный порошок, так и на сланцевый порошок (рис. 23) проявляется в достаточно сильной степени.

6. **Этилацетат** в очень слабой степени воздействует на уголь и сравнительно сильно, хотя и неравномерно, на сланец (рис. 24).

Из других растворителей мы укажем заметное воздействие раствора аммиака (25%) на уголь (кривая 1) и тетрахлорметана (кривая 2) и фурфурола (кривая 3) на сланец (рис. 25).

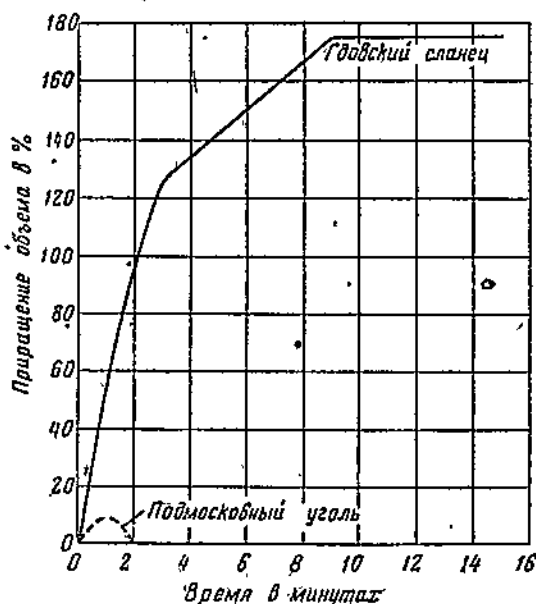


Рис. 22. Набухание подмосковного угля и сланца в петролейном эфире

Перевод углей в растворы. Освобождение массы угля от балласта, каким являются различные минеральные компоненты, составляет проблему, которая волнует умы многих исследователей. Здесь

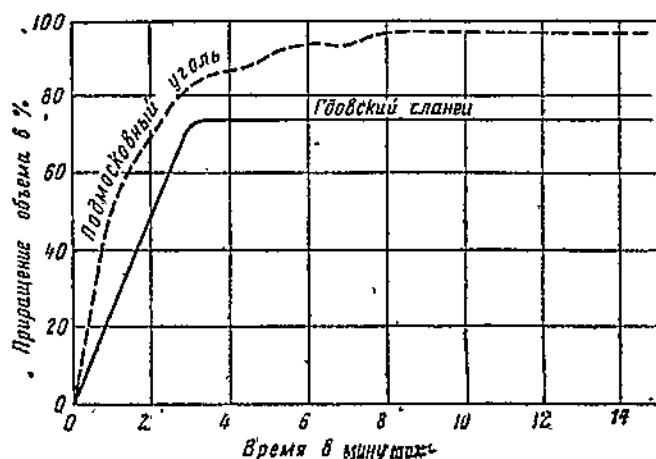


Рис. 23. Набухание подмосковного угля и сланца в пиридине

мы приведем только некоторые работы в связи с затронутым нами вопросом о действии растворителей на угли. Пью и Ватроу (40), обрабатывая угли в течение нескольких часов в аппарате Сокслета отдельными растворителями, получили следующие количества экстрактивных веществ.

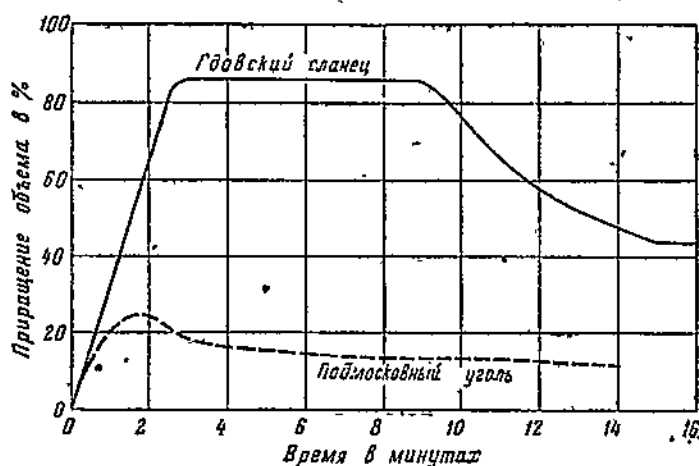


Рис. 24. Набухание подмосковного угля и сланца в этилацетате

Большая работа по изучению коллоидных растворов угля (коллоидное топливо) проведена Пертьерой (41—45). Он брал уголь с содержанием 28,3% летучих и при обработке различными растворителями получил следующие показатели:

Растворитель	Количество содержащихся экстрактивных веществ, в %	Вещество	Растворяет, в %
Пиридин	35	Анилин	41.9
Бензин	0.6	Пиридин	18.2
Мизитилоксид	20.1	Хинолин	47.9
Фурфурол	45.6	Фенол	21.9
Бензальдегид	29.8	Креозол	40.7
Фенол	43.6	α -Нафтол	52.0

Значительно повышается, растворимость при повышенных температурах и давлениях и, особенно, в присутствии азота и водорода. В этих условиях Пертьерра получил растворимость в антраценовом масле до 94,7%.

Из числа других авторов, работавших в этой области, назовем: Потт и Брош (46), Жилле (47), Осбюри (48), Конинкс (49).

Таким образом, принимая во внимание наличие в углях весьма большого количества органических соединений как высокополимеризованных, так и с простыми молекулами, возможно ожидать то или иное воздействие на тонкий угольный порошок некоторых растворителей, входящих в состав мазутов, применяемых при изготовлении углемазутных смесей и коллоидного топлива.

В меньшей степени это воздействие на угли будет при отсутствии ароматики в мазутах, что можно объяснить, согласно приведенным нами материалам, слабым воздействием на угли растворителей жирного ряда. В практике, суспензии, приготовленные на мазутах прямой гонки, не дают достаточно стойких смесей, и всеми работниками по исследованию таких смесей мазуты прямой гонки бракуются; следует отметить, что ни в одной работе, где приводится материал о непригодности мазутов прямой гонки, не производится анализа и не дается объяснения факта малой стойкости. Добавка каменноугольной смолы или крекинг-мазута, содержащих растворители, воздействующие на угли, повышает стойкость таких смесей, замедляя выпадение осадков.

Более молодые угли дают более стойкие суспензии (в крекинг-мазутах), что объясняется опять-таки наибольшим содержанием в них соединений, легко подвергающихся воздействию растворителей; так, например, торфяная мука, как мы увидим дальше, даже может служить «стабилизатором». Однако следует иметь в виду, что ни в коем случае не может служить характеристикой пригодности угля для изготовления углемазутных смесей большое содержание в угле «летучих», как это принято некоторыми, особенно иностранными, исследователями.

Основной характеристикой пригодности углей мы считаем степень их коллоидно-химического старения. Отсутствие органических соединений, способных подвергаться тому или иному воздействию различных растворителей, наличие в углях органических веществ коллоидного характера в сильной стадии старения и смол, «забахелизовавшихся» при каких-либо геохимических процессах, даже при наличии большого количества «летучих», отрицательно влияют на стойкость суспензий, как это и отмечено нашими работами и работами других исследователей.

ПРИМЕНЕНИЕ СТАБИЛИЗАТОРОВ

Мы уже приводили кривые осаждения угольного порошка в вазелиновом масле и позволим себе привести еще несколько кривых из той же группы наших первых опытов.

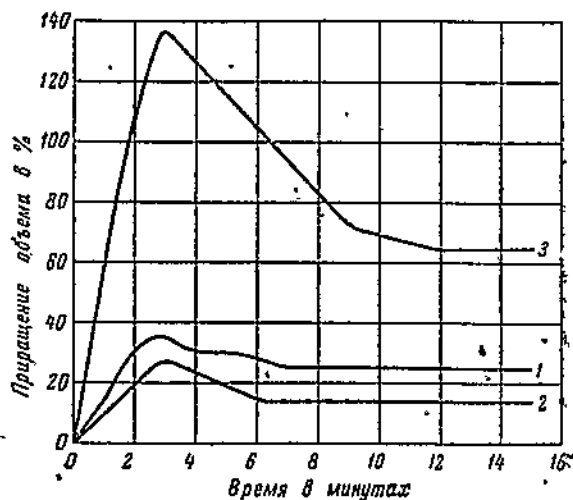


Рис. 25. Набухание подмосковного угля в аммиаке и сланца в тетрахлорметане и в фурфуроле

С целью уменьшения скорости выпадения осадка еще при первых опытах на судне «Джем» вводили защитные коллоиды—«стабилизаторы». В числе таких стабилизаторов были прежде всего смоляные мыла, которые в настоящее время уже более не применяются. Стабилизатор, или фиксатор, изготавливается при 100° из канифоли, машинного

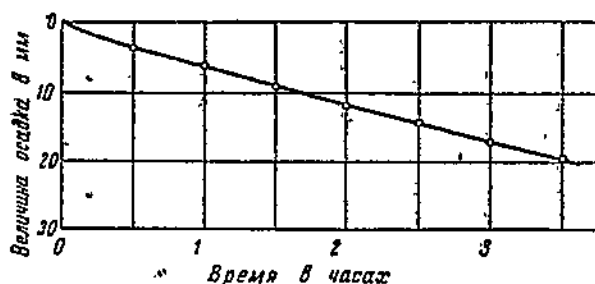


Рис. 26. Образование осадка в присутствии стабилизатора

масла и извести в весовом отношении 10 : 85 : 5. Берут такой фиксатор в количестве 1.5—2%. На рис. 26 приведена кривая осаждения угольного порошка довольно грубого помола (остаток на сите № 70 50%) в суспензии, приготовленной простым перемешиванием, в течение короткого времени, не более 1/2 часа, по следующему рецепту (в процентах):

Вазелиновое масло	68
Фиксатор	2
Угольный порошок	30

Кривая показывает, что, несмотря на добавку стабилизатора, суспензию нельзя назвать стабильной. Дело в том, что стабилизатор дает эффект лучше всего с угольным порошком тонкого помола. Даже лучшие стабилизаторы при грубом помоле проявляют слабый эффект, что видно на кривых рис. 27; в качестве стабилизатора мы брали кау-

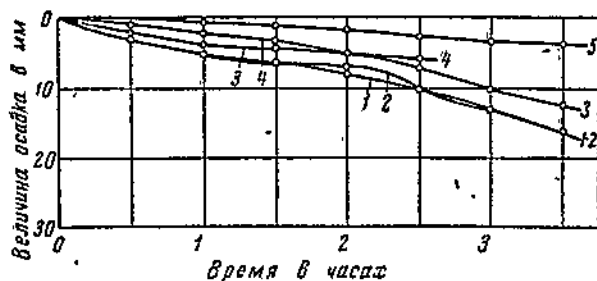


Рис. 27. Влияние добавок каучука на устойчивость смеси

чук в количествах 0.05% (кривая 1), 0.1% (кривая 2) и 0.25% (кривая 3); только на последней кривой 3 заметно некоторое воздействие стабилизатора.

Применение угольного порошка, проходящего через сито № 100, при добавке стабилизатора в количестве 0.5% значительно повышает стабильность (кривая 4), особенно при смешивании угольного порошка и масла в ступке, т. е. легким перетиром (кривая 5).

Мы уже говорили о применении механических стабилизаторов. В качестве таких стабилизаторов применяют легкие материалы, иногда склонные к набуханию в органических растворителях. В ранних опытах нами применялись опилки древесные, высушенные при 150°,

и торфяная мука¹. Суспензия с древесными опилками составлена по рецепту (в процентах):

Угольный порошок, просев через сито № 70	30
Опилки древесные	3
Вазелиновое масло	67

Она очень быстро давала осадок (кривая 1, рис. 28), т. е. в этом случае опилки вели себя, как отрицательный стабилизатор; замена 20/6

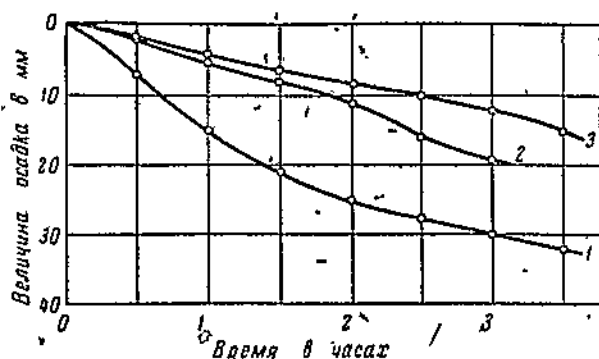


Рис. 28. Влияние различных стабилизаторов на устойчивость суспензий

масла соответственным количеством канифольного мыла не помогла стабилизации (кривая 2, рис. 28) суспензии следующего состава (в процентах):

Угольный порошок	30
Вазелиновое масло	65
Фиксатор	2
Опилки	3

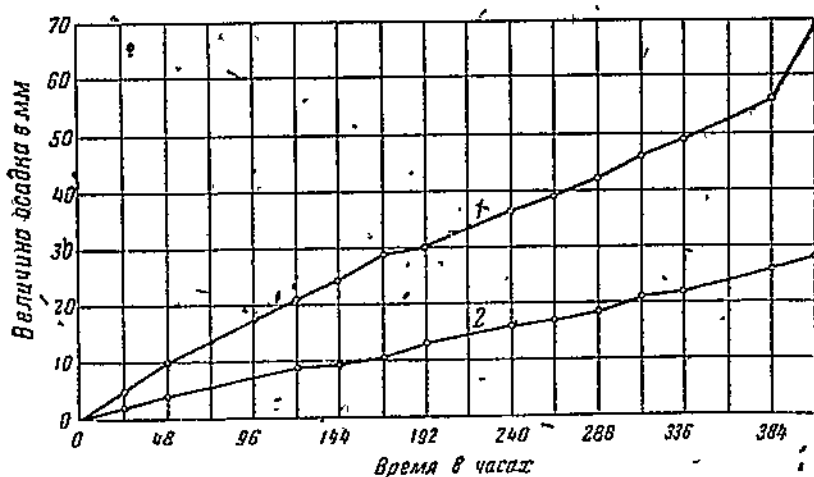


Рис. 29. Влияние торфяной пыли на устойчивость суспензии

1 — образование осадка без добавления торфяной пыли; 2 — образование осадка с добавлением торфяной пыли

Торфяную пыль по многим ее качествам можно считать положительным стабилизатором, что показывает поведение суспензии (кривая 3, рис. 28), в состав которой входят (в процентах):

Угольный порошок	30
Торфяная пыль	8
Вазелиновое масло	67

¹ В мазутах прямой гонки — сланцевый порошок.

Приведенные нами примеры выпадения угольного порошка в смесях, приготовленных на вазелиновом масле, показывают тот метод исследований, который был применен нами в наиболее ранних наших работах, проводившихся совместно с инж. С. Н. Панковым. Целью постановки этих опытов была проработка основных предпосылок для ознакомления с теми явлениями, которые происходят в среде, не поддающейся непосредственному визуальному наблюдению в масле.

Вопрос стабилизации суспензий является основным в рассматриваемой нами проблеме. Мы уже ознакомились с вопросом скорости образования осадка, с влиянием вязкости жидкого компонента и с предпосылками о растворяющем воздействии компонентов жидкой

среды на компоненты твердых угольных частиц.

Таким образом, применение «стабилизатора» наиболее эффективно в том случае, когда учтены различные воздействия на замедленное образование осадка.

В настоящее время еще преждевременно излагать какую-либо теорию стабилизации высококонцентрированных суспензий, состоящих из сравнительно крупных частиц, и мы прежде всего приведем некоторые экспериментальные наблюдения. Обычно принято считать, что порошки очень легких материалов являются «механическими» стабилизаторами (Бэтс, Дени и др.). Добавки торфяной пыли действительно замедляют (кривая 2, рис. 29) образование осадка, но в то же время опыт показывает, что добавлять торфяную пыль возможно в ограни-

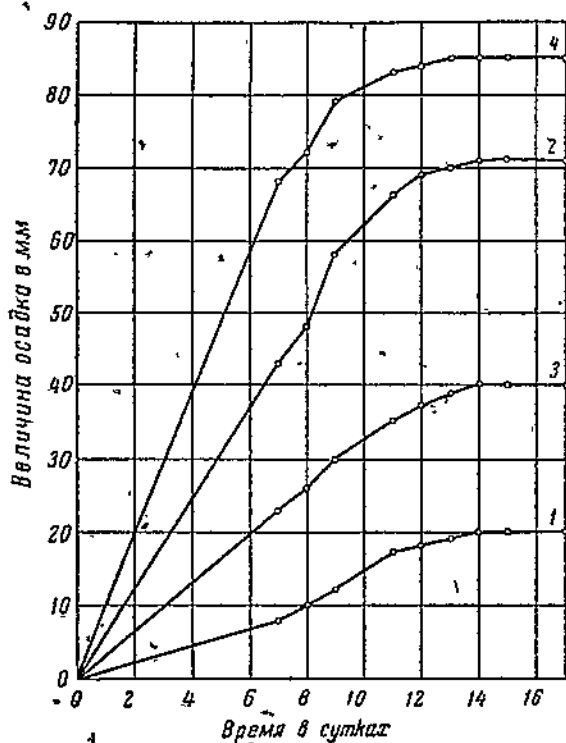


Рис. 30. Влияние различных факторов на стабильность суспензий

ченном количестве (5—10%), так как большее количество значительно повышает вязкость суспензии. Повышение вязкости в этом случае показывает, что добавка легких порошков (обычно весьма пористых) производит эффект стабилизации в основном не в грубо механическом смысле, а главным образом за счет изменения структуры системы; при этом следует учитывать также возможное взаимодействие частиц торфа, бурого угля и др. с некоторыми компонентами жидкой среды. Нами был проведен такой опыт: наблюдали скорость образования осадка из:

1) смеси 70% вазелинового масла и 30% угольного порошка (кривая 2, рис. 30);

2) смеси 70% вазелинового масла (с добавкой канифоли) и 30% угля того же, что и в рецепте 1 (кривая 4, рис. 31). Вазелиновое масло и канифоль были добавлены с таким расчетом, чтобы получить жидкости в том и другом случае одинаковой вязкости; кривые показывают, что добавка канифоли понижает, а не повышает стойкость суспензии. Далее, к тем же суспензиям был добавлен водный рас-

твор ашмака (20%) в количестве 3%, стойкость суспензии при этом в обоих случаях значительно повысилась (кривая 4 перешла в кривую 3 и кривая 2 в кривую 1).

Из приведенного опыта следует, что, кроме механических факторов, необходимо учитывать также и физико-химические, а также и pH среды.

Принимая во внимание сложность состава мазутов, получаемых различными методами перегонки из различных нефтей, можно полагать, что «стабилизирующие» материалы в некоторых случаях могут находиться в числе нормальных компонентов мазута. Английские исследователи, как мы уже указывали, считают непригодными мазуты прямой гонки и установили различные методы определения пригодности. Нами уже указывался метод, по которому отмечалось нарастание вязкости (пригодный мазут) — метод определения кокса (более 6% дают пригодные мазуты). Добавка смол благоприятствует стойкости, но такая добавка не должна превышать некоторого предела, в противном случае стойкость опять начинает понижаться.

Какие же прежде всего компоненты мазутов могут быть стабилизаторами? Отклонение мазутов прямой гонки из числа пригодных, предъявление определенных требований к минимальному количеству кокса в крекинг-мазутах, добавка смол — все это приводит к мысли, что стабилизаторами в мазутах являются смолообразующие и коксообразующие соединения. Из таких соединений асфальтены обладают интересной особенностью: они растворяются в ароматических углеводородах (бензол) и высаживаются другими углеводородами. В присутствии смол или крекинг-мазутов, содержащих ароматические углеводороды, может происходить избирательное смачивание угольных частиц суспензии и адсорбция на них асфальтеновых соединений; асфальтеновая оболочка в таком случае играет роль защитного коллоида и предохраняет угольные частицы от слипания и образования больших комплексов; в высококонцентрированных смесях при этом получается определенная структура, и замедляется образование осадка.

Указанный нами принцип образования определенной структуры в высококонцентрированных смесях может быть применен к «непригодным» мазутам прямой гонки с целью сделать их пригодными: добавка к таким мазутам смол, содержащих асфальтены и ароматические углеводороды, при условии хорошего перетирания смеси и гомогенизации ее, способствует получению стойких смесей. С этой же целью нами предложено применить добавку флотированного горючего сланца к мазутам прямой гонки: сланцевый порошок обладает способностью набухать и значительно растворяться в углеводородах нефти, т. е. сланец в этом случае ведет себя очень сходно с асфальтенами (растворяющимися в ароматических углеводородах) и также образует определенную структуру и содействует стойкости смесей.

В порядке изложения мы уже перешли от стабилизаторов, являю-

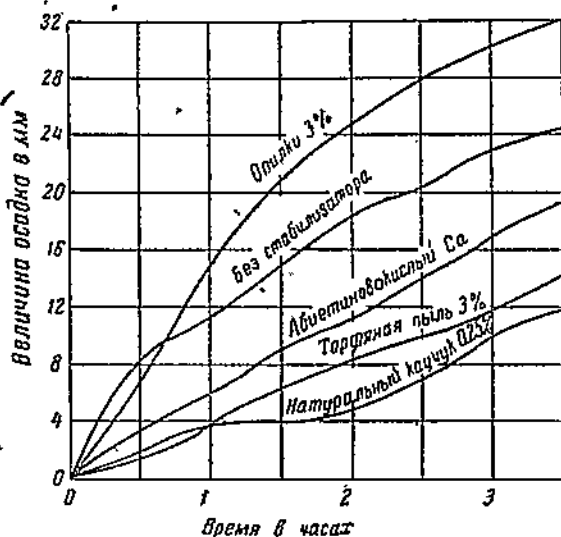


Рис. 31. Влияние различных стабилизаторов на устойчивость суспензий

щихся собственными компонентами жидкой фазы, к специальным добавкам.

В первых опытах, проводившихся на судне «Джем», в качестве стабилизатора была предложена канифоль, нейтрализованная известью (абцетиновокислый кальций); кроме того, применялись различные мыла, крахмал и т. д. (имеются многочисленные патенты).

В настоящее время лучшим стабилизатором считается каучук. На рис. 31 показано сравнительное действие стабилизатора, наблюдавшееся нами в вазелиновом масле визуальным методом. Из приведенных кривых видно, что добавка делает смеси более стойкими. С добавкой каучука приготовляют смеси в Японии, где он был впервые предложен. Для таких добавок может применяться каучук самого низкого качества, а также различные каучуковые отходы. Добавка в количестве 0.25% считается вполне достаточной. Наше указание на то, что каучук является лучшим стабилизатором, должно быть воспринято как желательное направление по подбору материалов, аналогичных каучуку и часто являющихся отбросами производства (например, в производствах синтетического каучука, пластмасс и др.).

ЛИТЕРАТУРА

1. В. Наумов, Химия коллоидов, ОНТИ (1930).
2. А. В. Думанский. Записки С.-х. института, Воронеж, т. XII (1928).
3. А. В. Думанский. Дисперсность и коллоидное состояние вещества (1932).
4. Фигуровский. Методы седиментометрического анализа.
5. К. А. Путилов. Сборник „Исследование по физико-химии технических суспензий“, стр. 60 (1935).
6. Sven Oden. Alexanders colloid chemistry (1926).
7. Svedberg. Colloid chemistry.
8. ГАН Дисперсионный анализ, ГНТИ (1940).
9. Fuel Economist, p. 177 (1937).
10. А. И. Дворецкий и В. И. Лебедев. Сжигание грубых суспензий в топке парового котла. Рукопись ВТИ.
11. Ann. d. Physik (4), 19, 289 (1909).
12. Biochem. J. (8), 261 (1914).
13. J. Physik Chem. (50), 239 (1926).
14. Proceed. Physic. Soc. (London), 274 (1916).
15. Гатчек. Вязкость.
16. Wiedemann. Annal, 14, 1 (1881).
17. E. G. Bingham. Fluidity & Plasticity.
18. Труды Института прикладной минералогии, в. 66. (1934).
19. В. Кустов и Л. Хотунцев. — Изучение текучести углемазутных смесей. Известия ЭНИН АНССР (1940).
20. J. Ind. chemistry, 13, 37 (1921).
21. Ann. Rep. of the Fuel Research Board 31 — 111, 1932, 1933 — 1934, 1935.
22. Det Kongelige Norske Videnskabers Selskab Forhandl., 42, 1.
23. Naturwissenschaft (3), 315 (1924); 4, 154 (1925).
24. Kurt Meyer. u Mark. Der Aufbau der hochpolymeren org. Naturstoffe.
25. Kolloid Zeitschr., 25, 68 (1918).
26. Kolloid Zeitschr., 24, 7 (1919).
27. Zeits. für physik. Ch., 2, 115 (1932).
28. Kolloid Zeitschr., 45, 112 (1927).
29. Rev. prod. chem., 32, 325 (1929).
30. Brennstoffchemie, „11“, 148 (1930).
31. Brenn. Ch., „10“, 65 (1920).
32. E. Meyer. Dissertation. Freinerg (1928).
33. Brenn. Chemie, „16“, 364 (1932).

34. А. Н. Рабинерсон. Проблемы коллоидной химии, ОНТИ (1937).
35. Zeit. für physik. Ch., 145, 186 (1929).
36. Работы ВТИ. В. Кустов и М. Шифрин. Скорость выделения летучих (1937).
37. J. Chem. Soc., 1409 (1912).
38. Дерренс. Растворители. ГНТИ (1936).
39. Стадников. Химия угля (1932).
40. Fuel in Sc. & Pract, 14, (1931).
41. Anal. de la Sociedad Espanola de fis & quim. 271 (1933).
42. Fuel in Sc. & Pract (1932).
43. Chaleur et Ind., 442 (1934).
44. Congr. de chaleur et Ind. à Bruxelles, 377 (1935).
45. Anal. Soc. sp. fis & quimice, 500 (1935).
46. Glückauf, 903 (1935).
47. Bull. Soc. Chim. p Belg. 1 (1934).
48. Ind. Ing. Chem., 301, 301 (1934).
49. Fuel in Sc. Pract., 160 (1935).

ГЛАВА IV

ЛАБОРАТОРНЫЕ МЕТОДЫ ОПРЕДЕЛЕНИЯ СВОЙСТВ СУСПЕНЗИЙ

Суспензии, как смеси твердых и жидких компонентов, обладают свойствами, которые необходимо учитывать в технологии приготовления и использования таких смесей. Свойства суспензий изменяются за время существования их непрерывно, а скорость изменения свойств зависит от внешних условий и от взаимодействия компонентов смеси между собой.

Вследствие непрерывного изменения свойств суспензий та или иная характеристика их относится к определенному моменту «жизни» суспензии, определенному возрасту ее с момента приготовления, с учетом всех тех внешних воздействий, которым подвергалась суспензия.

В настоящей главе дается обзор различных методов исследования рабочих смесей, т. е. таких, которые используются или должны быть использованы в практических условиях.

При исследовании рабочих смесей следует учитывать и характеристику отдельных компонентов смеси: тонкость размолла твердой фазы, ее поверхностную и коллоидно-химическую активность, свойства жидкой фазы, возможность ее влияния на поведение отдельных частиц твердой фазы и т. д. К сожалению, еще до сих пор нет хорошего метода, быстро констатирующего состояние суспензии и прежде всего скорость образования осадка, в особенности это относится к стойким суспензиям со скоростью образования осадка до 0.2 мм в сутки.

Стойкость смеси и ее текучесть являются основными качествами суспензий, определяющими технологические способы хранения их, транспорта и использования, и потому определению этих показателей должно быть посвящено максимум внимания.

Стойкость смеси определяет, так сказать, жизнеспособность суспензии: концентрация суспензии с течением времени изменяется, определенное количество твердой фазы выпадает в осадок, т. е. суспензия с течением времени «стареет». Продолжительность протекания этого процесса старения мы называем стойкостью, а точное определение стойкости дает возможность предвидеть или опасное образование осадка в хранилищах, или срок использования суспензии. Практически, как мы уже видели, определяют суспензии стойкие и малостойкие. Продолжительность жизни суспензий может быть продлена или путем добавок стабилизаторов и соответствующим подбором компонентов смеси в момент их изготовления, или во время хранения их методом перемешивания, барботажом воздухом, а при использовании очень малостойких суспензий, передаваемых на короткие расстояния, применением сотрясательных шлангов.

Однако могут быть случаи, когда смеси при хранении не понижают свою концентрацию, а сохраняют ее весьма продолжительное время,

но текучесть их при этом понижается: наблюдается застуднение смесей. Такие явления могут происходить при использовании на изготовление смесей крекинг-мазатов и смол с большим содержанием непредельных соединений. Аналогичные явления происходят при спокойном хранении суспензий, при наличии большого количества очень мелких частиц; в этом случае застуднение может быть нарушено, и механически смесь опять становится легкотекучей; это относится к группе явлений, называемых «тиксотропией» [изотермическое превращение золя в гель (1)].

Проблема тиксотропии до сих пор еще не разрешена, и в технологических производствах это явление иногда причиняет большие неприятности. Объяснять это явление можно медленной коагуляцией растворимых коллоидов с образованием студней, «склеивающих» частицы суспензии. При использовании обычных углемазутных смесей без добавки стабилизаторов эти явления происходят значительно реже. В дополнение следует указать, что случаи образования «пробок» в трубопроводах для углемазутного топлива наблюдались тогда, когда делали попытки продвигать эти трубопроводы открытым паром. Этого делать не рекомендуется; обогрев труб допускается только снаружи, а промывка внутри — чистым мазутом.

Стойкость смеси прежде всего можно характеризовать двумя путями: или по изменению концентрации в верхнем слое смеси, или по образованию осадка на дне сосуда. Каждому количественному определению стойкости должна предшествовать качественная проба; здесь приведено описание тех приемов, которые применяются в лаборатории для предварительной качественной характеристики суспензий по осадку, который она образует.

КАЧЕСТВЕННАЯ ПРОБА

Для характеристики углемазутных смесей, а также и других видов суспензий при проведении массовых опробований применяется следующий метод. В фарфоровую чашку диаметром 10 см наливается суспензия на высоту 20 мм. Обычно для каждой суспензии следует отобрать от 3 до 6 чашек и после того, как будет налита в них суспензия и вложены стеклянные палочки, все чашки ставят одновременно в термостат, подогретый до 75 или до 100°. Через каждый час снимают одну чашку, верхний слой суспензии декантируют после некоторого остывания на край чашки и стеклянной палочкой пробуют образовавшийся осадок. Качественная характеристика осадка может быть следующая: легкий налет, очень тонкий слой, легкий мазеобразный осадок, значительный мазеобразный осадок и большой рыхлый или плотный осадок. Стойкость суспензий, характеризуемая образованием легкого налета или очень тонкого слоя в течение четырех часов при 75° или в течение двух часов при 100°, показывает достаточно удовлетворительное качество ее для применения на стационарных установках. Эта же проба может быть проведена при обыкновенной температуре, но более продолжительном сроке (сутки или несколько суток).

КОЛИЧЕСТВЕННОЕ ОПРЕДЕЛЕНИЕ СТОЙКОСТИ СУСПЕНЗИЙ

Определение стойкости суспензий методом взвешивания (определение концентрации). Для определения количества взвешенного угля (концентрации) суспензии необходимо отобрать небольшую пробу, взвесить ее, отмыть каким-либо растворителем жидкую часть суспензии и по остатку провести подсчет твердого компонента.

При практическом проведении этого принципа мы наталкиваемся на ряд вопросов: с какой глубины и каким образом отобрать пробу

для навески, как и чем провести промывание и т. д. Прежде всего, каким образом должна быть взята навеска? Следует иметь в виду, что в производственных условиях образование осадка высотой 2 см может быть во многих случаях препятствием к использованию суспензий. Поэтому после многочисленных экспериментов и наблюдений за осаждением суспензии в специальных приборах мы остановились на методе отбора пробы с глубины 2 см от уровня суспензии.

Проба отбирается пипеткой емкостью 2 мл с отрезанным у самого расширения кончиком (или с коротким, загнутым в сторону кончиком). Ввиду того что всасывание продолжится весьма короткое время, нет особой надобности устраивать какие-либо приспособления, но при желании возможно применить отсасывающий прибор, состоящий из склянки Тищенко и стеклянного тройника с краном (для пуска воздуха), присоединенных к водоструйному насосу. Взятая проба из пипетки переносится на взвешенное часовое стекло или в специальную пробирку («собачку»). После взвешивания навеска сливается на взвешенный сухой фильтр, смывается бензолом и промывается им до исчезновения пробы на масляное пятно на фильтровальной бумажке; фильтр переносится в бюкс вместе с угольным порошком и подсушивается при 105° до постоянного веса. Содержание угольного порошка рассчитывается в весовых процентах.

При этом определении мы остановились на промывке бензолом, так как промывка бензином проходит очень медленно.

Отбор проб можно варьировать таким образом, что всасывание производится непосредственно «собачкой» (короткая пробирка на ножке, окончивающаяся вместо дойшика приподнятой вверх трубкой). Ввиду того что весьма важно провести отбор пробы с постоянной глубины, мы более рекомендуем «пипеточный» способ, так как пипетку опустить на определенную глубину удобнее, чем указанную «собачку». Количество суспензии должно быть взято не более 1—2 мл, так как иначе усложняется промывка.

Определение стойкости суспензии по высоте образовавшегося осадка (прямое измерение). Как мы уже указали, высота осадка, образующегося при отстаивании суспензий, в технике использования их играет даже большую роль, чем концентрация суспензий, и самое определение концентраций суспензий служит, главным образом, показателем возможного образования осадка на дне сосуда. В то же время необходимо иметь в виду, что прямое и точное определение такого осадка представляет чрезвычайные трудности и до сих пор, несмотря на то, что в иностранной литературе часто приводится осаждение суспензии в миллиметрах, удовлетворительного метода такого определения не существует. Прямое измерение образования осадка при отстаивании суспензий затруднительно также вследствие недостаточно резкого перехода между сгущенной у дна сосуда суспензией и самым осадком; также играет роль и характер осадка: иногда образуется очень рыхлый илистый осадок, так что трудно определить, где оканчивается высококонцентрированная суспензия и где следует считать осадок, а в других случаях образуется плотный «цементированный» осадок.

Инж. И. Я. Лаврушин применял метод «кольцевой» пробы, который состоял в следующем. Суспензия, подлежащая измерению на скорость осаждения при определенной температуре, наливалась в плоскодонные пробирки высотой 25 см. После отстаивания при подотреве или на холоду в течение определенного времени производилось определение высоты осадка очень осторожным опусканием алюминиевой палочки (из проволоки диаметром около 1 мм), оканчивающейся внизу кольцом по диаметру трубки. Разность между замеренной предварительно высотой суспензии и глубиной опускания алюминиевой палочки показывает ве-

личину образовавшегося осадка за соответствующий промежуток времени.

Достоинством этого метода следует признать возможность непосредственного определения, значительную упрощенность и скорость проведения, а недостатком — сомнительную точность в случае анализа более или менее стойких смесей.

Следующим прямым методом определения высоты осадка можно указать метод декантации. По этому методу отстаивание суспензии производится в бюксах диаметром 6—7 см и высотой не менее 10 см. После отстаивания суспензия быстро, но без сотрясения, декантируется, а довольно плотный осадок измеряется прокалыванием деревянной палочкой (спичкой). При применении этого метода возможно наблюдение и определение характеристики образовавшегося осадка. Метод декантации можно признать удобным также и в том отношении, что в технике имеет значение образование несмывающегося осадка.

Определение стойкости суспензий методом маятника. В Англии проработан метод, позволяющий следить за «жизнью» суспензии в течение продолжительного времени, не изменяя ее состава каким-либо отбором пробы, а при спокойном стоянии ее в пробирных цилиндрах (2). Прибор, применяемый для этой цели, состоит из подвески (рис. 32),

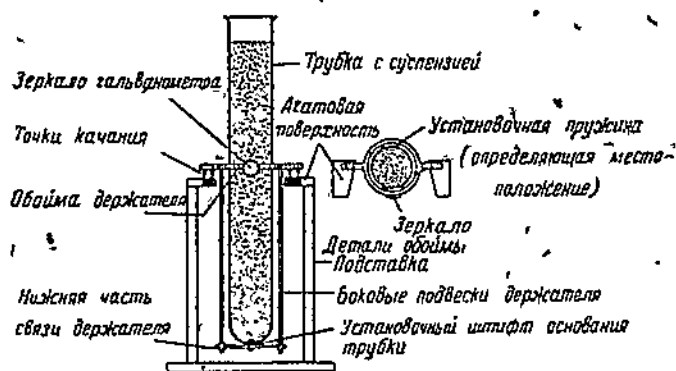


Рис. 32. Пробирка-маятник для определения и измерения осадков в суспензиях

устанавливаемой посредством закрепленных на ней двух стальных иглолок на очаговых пластинках; в подвеску ставится пробирный цилиндр с суспензией. Наблюдение производится после того, как подвеска приведена в качание, по «зайчику», отбрасываемому зеркальцем, прикрепленным на шейке подвески. По мере оседания суспензии центр тяжести перемещается, и соответственно изменяется период колебания подвески (3). Детального описания аппарата, а также добавочных к нему приспособлений не имеется, и нет также объяснений работы с ним и соответствующих расчетов. Инж. К. С. Емцов провел математическую обработку вероятного процесса и установил определение необходимых расчетных показателей.

Наши предварительные экспериментальные наблюдения совместно с инж. К. С. Емцовым показали, что для большей точности определения периода качания пробирки маятника необходимо каждый раз проведение большого числа качаний пробирного цилиндра, для чего требуется специальное приспособление. Результаты выражаются кривой, где по оси абсцисс наносят продолжительность отстаивания суспензии при соответствующей постоянной температуре, а по оси ординат — время в секундах в момент наблюдения определенного числа качаний. Чувствительность прибора тем больше, чем ближе центр тяжести пробирки к состоянию неустойчивого равновесия; точная установка про-

изводится микровинтом. По нашим наблюдениям, начальный период колебаний должен быть равен 2,6 сек. угол наклона для пуска не должен превышать 30°. Длина пробирки должна быть не менее 20 см; возможно, в Англии применяют пробирку длиной 50 см; увеличение пробирки дает возможность наблюдать большее число качаний. Точная засечка времени (желательно автоматическая, при использовании луча, отброшенного зеркальцем на фотоэлемент) и применение счетчика-автомата повышают точность наблюдения.

ОПРЕДЕЛЕНИЕ КОНЦЕНТРАЦИИ ПО ПЛОТНОСТИ

Изменение концентрации суспензии, определяемое по изменению плотности, казалось бы, могло найти применение как наиболее простой и удобный метод в производственных условиях; с этой целью достаточно было бы опустить ареометр в отобранную пробу, отметить удельный вес и по изменению удельного веса, по предварительно составленной кривой определить концентрацию. Конечно, можно полагать, что, несмотря на некоторую грубость, этот метод найдет применение в производственной практике, и потому мы считаем целесообразным остановиться на нем более внимательно.

Метод определения концентрации по плотности применим более или менее в том случае, когда известна плотность компонентов, и применение его, следовательно, возможно только тогда, когда плотность угля и мазута в процессе изготовления, хранения и использования суспензии остается постоянной. На деле, конечно, этого почти никогда не бывает, даже в том случае, когда идет угольный порошок, а также мазут постоянного состава; приходится учитывать разнородность угольного порошка, где полидисперсность и наличие в нем примесей значительной плотности, выпадающих при хранении быстрее угольных частиц.

Также следует учесть возможность некоторого сжатия, т. е. уменьшения суммарного объема мазута и угля, различного при различных нефтях и угольных порошках (4—5).

В 1903 г. П. Холодным было предложено (6) следующее уравнение, связывающее плотность жидкой среды, твердого компонента и всей системы с концентрацией в 1 мл диспергированного материала:

$$d_s = d + c - \frac{cd}{d_k},$$

где d_s — плотность системы,

d — плотность среды,

d_k — плотность порошка,

c — концентрация порошка в 1 мл.

В том случае, когда необходимо определить концентрацию, указанное уравнение необходимо преобразовать, и значение концентрации будет представлено в следующем виде:

$$c = \frac{(d_s - d) d_k}{d_k - d}.$$

Нами было проведено измерение концентрации по этой формуле, и дальше мы приводим некоторые материалы. Затруднением при этом методе является определение истинного удельного веса угольного порошка, если к тому же примириться со «средней» пробой, которую также не легко отобрать.

Истинный удельный вес, т. е. вес 1 мл угольного порошка (без пор), определяют прямым взвешиванием навески его в пикнометре с какой-либо жидкостью. В качестве жидкости, согласно работам Гонича (7) с активированным углем, наименее пригодна вода. В порошках из ка-

менного угля много хлопот причиняет удаление адсорбированных газов, так как кипятить угли в растворителях неудобно вследствие явления набухания и растворения. Определение производилось нами следующим образом: навеска угля около 2 г точно взвешивалась в пикнометре емкостью 25 мл, вес которого предварительно определялся. Затем прибавляют этилового спирта с известным удельным весом, оставляют стоять на сутки, доводят жидкость до метки при 20° и взвешивают. Расчет производят по следующим формулам.

Расчет объема угольного порошка:

$$W = P_2 + m - P_1,$$

где W — объем угольного порошка,

P_2 — вес жидкости,

P_1 — вес жидкости + уголь,

m — вес угля.

Расчет истинного удельного веса:

$$d_k = \frac{d \cdot m}{W},$$

где d_k — плотность порошка, m — вес его,

W — объем его, d_k — плотность жидкости.

В табл. 14 мы приводим определенные таким образом плотности порошков тощего угля и московского, товарковского угля.

Таблица 14
Концентрации угольного порошка, определенные по формуле П. Холодного

№ п/п	М а т е р и а л	Содержание угля по весу, в %	Содержание угля по фор- муле Холод- ного, в % от веса	Плотность, определенная эксперимен- тально	Плотность по формуле Холодного
1	Уголь тощий	—	—	1.424	—
2	московский	—	—	1.717	—
3	Мазут M_{10}	—	—	0.937	—
4	M_{20}	—	—	0.965	—
5	M_{40}	—	—	0.988	—
С м е с и:					
6	Уголь московский + ма- зут M_{10}	20	20.1	1.028	1.037
7	То же	30	31.2	1.080	1.077
8	То же	40	40.6	1.120	1.119
9	Уголь тощий + мазут M_{10}	20	17.9	0.999	1.005
10	То же	30	26.3	1.034	1.041
11	То же	40	38.1	1.068	1.075
12	Уголь московский + ма- зут M_{10}	20	20.5	1.056	1.054

Плотности мазутов вязкостью по Энглеру 10, 20 и 40° были определены также методом пикнометра. Определение смесей мазута и угольного порошка методом пикнометра представило некоторые трудности вследствие значительной вязкости их.

Из сравнения данных, полученных экспериментальным путем, с данными расчета можно заметить, что только при очень аккуратной работе для вязких мазутов формула Холодного может быть применена для подсчета концентрации; во всяком случае необходимо определять плотности до четвертого знака после запятой, что в производственных условиях при контроле ареометром затруднительно. Ареометрическое определение может служить только для приблизительной ориентировки¹.

¹ Экспериментальная часть проведена совместно с В. Н. Фетисовой.

Применение весов Вестфalia может быть более пригодно, чем ареометр.

Метод Шеппарда (8). Шеппард для изучения суспензий применял прибор, приведенный на рис. 9. Определение стойкости этим прибором основано на сравнении капиллярной смачиваемости мазута и суспензии. Прибор состоит из стойки со шкалой и роликом для двух полосок бумаги, опускаемых: одна — в стаканчик с мазутом, другая — в стаканчик с суспензией; передвижной указатель показывает высоту поднятия слоя той и другой жидкости. Прибор этот может служить в основном для качественного сравнительного контроля при большом производстве, а не количественного определения.

Весовой метод. Стойкость смеси может быть характеризована количеством угольного порошка в единице объема, т. е. концентрацией или изменением концентрации в определенных условиях.

Метод определения концентрации суспензии отличается от метода определения стойкости до концентрации только порядком отбора пробы. При отборе навески для определений концентрации средняя проба хорошо взбалтывается, и тотчас берется небольшая порция в «собачку», и дальше производится определение так, как это было указано выше.

ОПРЕДЕЛЕНИЕ СТЕПЕНИ ДИСПЕРСНОСТИ

Под степенью дисперсности, по предложению В. О. Оствальда (9), называют отношение поверхности дисперсной фазы к величине ее массы. Таким образом, степень дисперсности и величина частиц математически находятся в обратном отношении друг к другу. Форма частиц имеет весьма большое влияние на изменение величины их поверхности, а роль поверхности частиц, как мы уже указывали, проявляется суммарно в свойствах суспензий и прежде всего в их стабильности и явлениях пластичности — вязкости, а также и в процессе сгорания суспензий.

Экспериментальное определение степени дисперсности (по величине поверхности) имеет больше преимуществ перед определением диаметра частиц, так как выявляет значение фактора поверхности. Так, например, при одной и той же характеристике порошков двух углей, одного — марки «ПЖ», а другого — марки «Т», методом определения размера частиц (ситовой анализ) оказалось, что уголь марки «ПЖ» имел более высокую стабильность, чем уголь марки «Т» в одном и том же мазуте; после определения удельной поверхности обоих углей было выяснено, что уголь «ПЖ» имел поверхность, значительно более развитую, чем уголь «Т».

Адсорбционные явления, образование «защитных оболочек», условия текучести и застывания в основном зависят от степени развития поверхности порошкового компонента суспензий. К сожалению, до сих пор нет достаточно проверенного и удобного для массового применения метода определения удельной поверхности; а существующие методы являются косвенными и более или менее условными (10—11).

ОПРЕДЕЛЕНИЕ РАЗМЕРА ЧАСТИЦ

Микроскопическое измерение величины частиц. Этот метод при наличии окулярмикрометра, объективного микрометра и микроскопа является наиболее простым в исполнении и довольно удобным даже в условиях массовых наблюдений.

Мы производили микроскопические измерения при контроле работы мельницы и при сравнительных испытаниях сухого и мокрого помола, пользуясь рисовальной камерой.

Ситовой метод. — Этот метод применяется в основном для характеристики размера частиц порошков и имеет широкое применение в различных отраслях промышленности. Для проведения ситового анализа обычно применяются металлические сита, но возможно применение и шелковых сит, особенно для отсева тонких порошков с диаметром частиц меньше 70 μ . Ситовая ткань должна соответствовать установленным нормам, а характеристика ткани определяется числом отверстий на квадратный сантиметр с учетом толщины нитей или номером, соответствующим числу отверстий на линейный сантиметр.

В табл. 15 нами приведены размеры германских и американских сеток, а на рис. 33 — сравнительная номограмма.

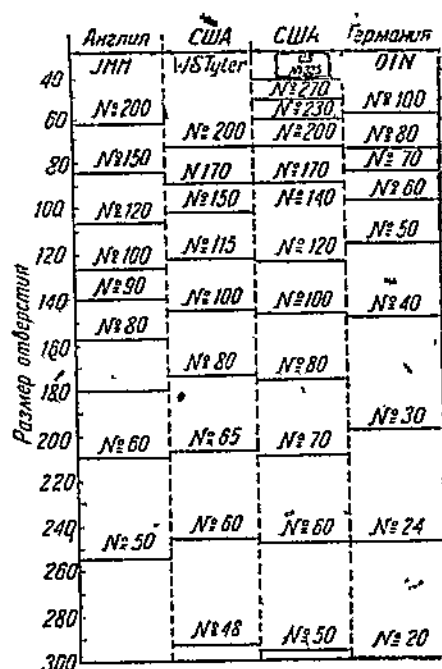


Рис. 33. Номограмма сит

Таблица 15

№ сита (германские нормы)	Количество ячеек, в 1 см²	Расстояние между ячейками, в мм	Число меш американских сеток	№ сита (германские нормы)	Количество ячеек, в 1 см²	Расстояние между ячейками, в мм	Число меш американских сеток
4	16	1.5	11	24	576	0.250	65
5	25	1.2	13.5	30	900	0.200	81
6	36	1.02	16	40	1600	0.150	110
8	64	0.75	22	50	2500	0.120	135
10	100	0.60	27	60	3600	0.102	160
11	121	0.54	30	70	4900	0.088	190
12	144	0.49	32	80	6400	0.075	220
14	196	0.43	38	100	10000	0.060	270
16	256	0.385	44	130	16000	0.044	
20	400	0.300	54				

Проведение ситового анализа должно быть выполнено по определенным нормам. Ситовый анализ далеко не является идеальным методом анализа, и потому проведение его регулируется чисто условными нормами. К числу ошибок при ситовом анализе следует отнести: ошибки от формы частиц, механическое измельчение в процессе просева и образование комков в случае недостаточно сухого материала.

Ситовый анализ может быть применен не только при испытании порошковых материалов, но также и при испытании суспензий; в этом случае необходимо подобрать растворитель, удаляющий жидкий компонент смеси и не оказывающий растворяющего воздействия на твердый компонент. При анализе суспензий по этому методу лучше всего применять специально изготовленный набор небольших сит, достаточно плотно входящих одно в другое.

Седиментационный метод. Этот метод основан на практическом применении закона Стокса; при этом следует учитывать следующие

условия применимости закона Стокса: жидкость должна быть несжимаемой и вязкой в гидродинамическом смысле, движение должно быть медленным; жидкая среда, в которой происходит падение частиц, должна быть неограниченной (надо пользоваться достаточно широким цилиндром, чтобы исключить взаимное влияние падающих частиц); падение частиц не должно носить характер ускоренного; форма частиц должна приближаться к шарообразной. Таким образом, для проведения седиментометрического анализа необходимо создать соответствующие условия, и тогда этот метод можно признать во многих случаях наиболее приемлемым. В нашей лаборатории этот метод проработан специально к условиям определения размеров частиц углей, при консультации доктора-профессора Н. А. Фигуровского.

ОПРЕДЕЛЕНИЕ ГОМОГЕННОСТИ СМЕСИ

Как было указано в главе III, однородность смеси, отсутствие особо крупных частиц являются необходимым условием устойчивости системы, так как падение тяжелых частиц может вызвать более ускоренное образование осадка. При существующих методах помола трудно получить идеальный порошок, но во всяком случае необходимо стремиться к уменьшению особо крупных частиц (свыше 150 μ), и очень важно иметь все твердые частицы покрытыми и пленкой мазута и изолированными друг от друга, так как комплексы частиц (сгустки), хотя бы и очень малых размеров, вызывают слабую устойчивость смесей; конечно, наличие волокон, кусочков угля и вообще инородных тел недопустимо. Указанное двоякое понимание гомогенности в техническом смысле приводит практически к одинаковому экспериментальному определению гомогенности.

Следует учесть, что частицы угля, в том случае, когда они не полностью смочены мазутом, могут находиться в суспензии только в виде комплексов, равноценных в наиболее благоприятном случае по величине самым крупным частицам, случайно оказавшимся в суспензии. При неправильном ведении технологического процесса, без применения гомогенизаторов, в суспензии могут находиться комплексы, состоящие из сотен частичек угля, а при особо неблагоприятных условиях подготовки смесей эти комплексы могут быть и очень больших размеров. В основу предложенного нами метода мы взяли принцип: каждая частица угля должна быть смочена мазутом. Недооценка принципов гомогенизации приводит к «открытию» «явления вторичного пыления». Все дело в том, что даже после продолжительного смешения угольного порошка с мазутом в шаровой мельнице комплексы угольной пыли не разрушаются; разрушить эти комплексы можно только на дисковых гомогенизаторах, что всегда с успехом и проводится нами. Таким образом, гомогенность смеси (не в смысле количественного состава) нами определяется по отсутствию особо крупных частиц и комплексов частиц. Оценка гомогенности (качественно) может быть проведена следующими методами.

а) Если опустить в исследуемую суспензию стеклянную палочку и затем приподнять ее над суспензией, то в случае наличия крупных частиц (или комплексов) на гладкой поверхности стекающей суспензии появятся штрихи.

б) Такое же наблюдение может быть с большим успехом проведено, если дать стекать суспензии по стеклянной пластинке.

в) Возможно также применить метод, предложенный Гарднером для пигментов (12).

.... Проба пигмента намазывается пальцем поперечно к бороздам графитовой пластинки, и затем поверхность наблюдают под микроскопом. На пластинке спиральные борозды находятся на расстоянии $1/8$ мм одна от другой.

Бороздки имеют в среднем глубину 0,025 мм.¹ Для микроскопического исследования лучше всего пользоваться объективом с фокусным расстоянием в 32 мм и окуляром с увеличением в 12 1/2 раз... Лучше всего наблюдать пластинку в наклонном положении, чтобы в глаз попадал прямо отраженный свет. Тепловые лучи источника должны быть удалены посредством поставленного рядом плоскопараллельного сосуда, наполненного водой...

ОПРЕДЕЛЕНИЕ ТЕКУЧЕСТИ (ВЯЗКОСТИ)

Текучестью (ψ) называется величина, обратная вязкости η , согласно формуле:

$$\psi\eta = 1.$$

В системе CGS единица текучности, называемая «ре», имеет следующие соотношения:

$$1 \text{ ре} = 1 \text{ см/сек} = 1 \text{ см}^2 (\text{дина} \cdot \text{сек} = 980.665 \text{ см}^2) \text{ г} \cdot \text{сек}.$$

Для практического понимания следует иметь в виду, что 100 единиц текучности соответствуют одному сантипуазу, т. е. вязкости воды при 20°.

Термин «текучесть» в технике до сих пор не привился, и обычно пользуются термином «вязкость». Вязкость (13) редко выражают в динамических единицах — пуазах; чаще употребляют выражение кинематической вязкости (стоксы); в технике вязкость выражается в относительных единицах (у нас в градусах Энглера). Определение вязкости (текучности) суспензии может представлять некоторые затруднения в отношении выбора аппаратуры: вискозиметром Энглера вязкость возможно определять только в тех случаях, когда суспензия имеет очень тонкие частицы (не больше 60 м).

Кроме того, стандартный, общепринятый у нас вискозиметр Энглера для определения вязкости углемазутных смесей не подходит ввиду того, что осаждение угольных частиц на стенках и дне вискозиметра, а тем более заторможение в капиллярах при истечении, искажает истинный результат. По этой же причине приходится забраковать и капиллярные вискозиметры с узкими трубками. Применение различного рода шариковых вискозиметров из-за прилипания угольных частиц к шарiku и вследствие сложности процесса также непригодно. Конечно, для грубых экспресс-методов возможно применение любого вискозиметра; так, например, нами применялся сконструированный в нашей лаборатории вискозиметр, аналогичный применяемому в красочном производстве мобилометру Гарднера-Паркса.

Этот прибор не отличается особой точностью, но он может быть применен для быстрых определений и для контрольных испытаний. Аппарат, несколько видоизмененный инж. С. Н. Панковым (рис. 34),

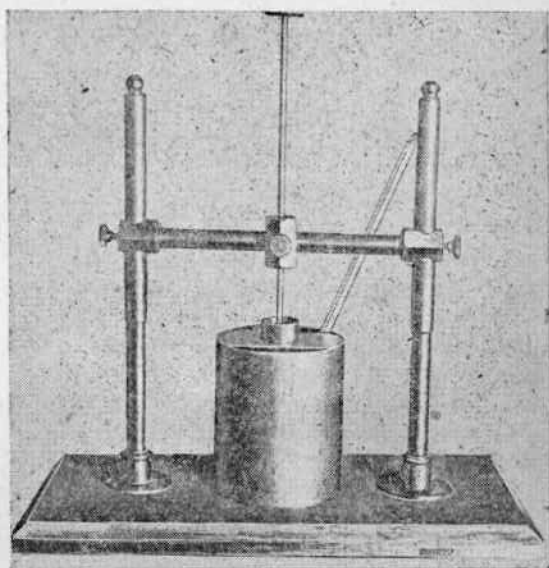


Рис. 34. Мобилометр

¹ Рекомендуется измерить.

состоит из латунного цилиндра, вставленного в другой цилиндр, служащий в качестве ванны для поддержания соответствующей температуры. В узкий цилиндр на 20 см его глубины входит стержень, на конце которого прикреплен диск (продырявленный или целый) диаметром, равным диаметру цилиндра; на стержне нанесены две метки на расстоянии 20 см одна от другой. При измерении вязкости диск устанавливается в цилиндре, куда по метке налита суспензия таким образом, чтобы его поверхность была покрыта суспензией, затем дают стержню свободно погружаться и засекают время погружения от одной до другой черты.

Нами применялся для определения текучести суспензии вискозиметр типа Коха (14—16), к описанию которого мы и переходим.

Определение текучести углемазутных смесей и мазутов при помощи капиллярного вискозиметра типа Коха

Описание аппарата Коха. Капиллярный вискозиметр типа Коха (рис. 35) состоит из двух одинаковых цилиндрических сосудов,

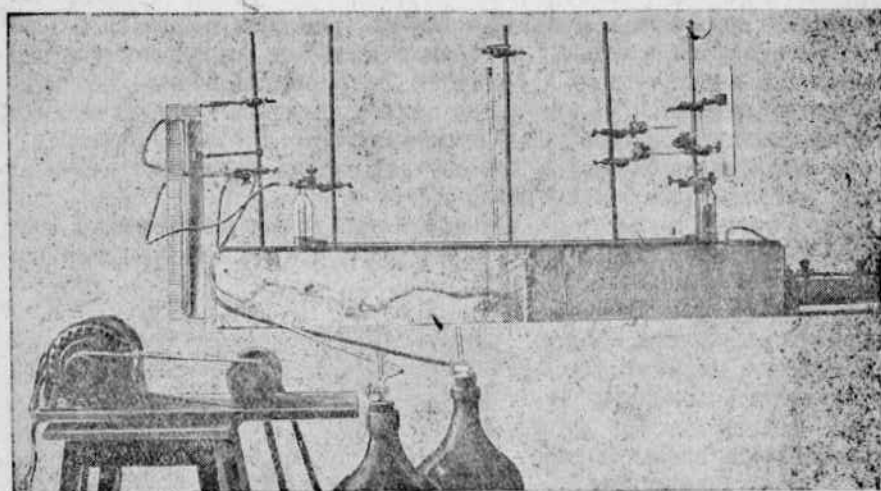


Рис. 35. Прибор Коха

соединенных между собой стеклянной трубкой. Рабочая емкость каждого из сосудов, между соответствующими чертами, нанесенными на поверхности цилиндров, равна 100 см^3 ; оба сосуда имеют деления, соответствующие емкости 25 см^3 . Левый сосуд вискозиметра при помощи трехходового крана сообщается с двумя стеклянными бутылками, емкостью каждая около 30 л. Эти бутылки служат маностатами для повышенного давления и вакуума. Давление воздуха и вакуума получают лабораторной воздушной подушкой, обеспечивающей давление и разрежение до 300 мм рт. ст.

Замер уровня жидкости в сосудах вискозиметра производится при помощи пробкового поплавка, помещенного в правом сосуде прибора. Этот поплавок состоит из пробкового шарика небольших размеров ($d = 27 \text{ мм}$) и тонкого стерженька из стальной проволоки, вставленного одним концом в пробковый шарик. Стальной стержень поплавка проходит в направляющих из двух стеклянных колец небольшого диаметра, находящихся друг над другом. При помощи шкалы, укрепленной на штативе около стержня поплавка, можно точно замерять момент истечения определенного объема углемазутной смеси, не наблюдая непосредственно за движением уровня жидкости в сосуде.

Термостатом для вискозиметра служит металлический ящик длиной 140 см, шириной 22 см и высотой 20 см, закрывающийся крышкой с отверстиями для сосудов и термометра. Ящик покрыт теплоизоляционным слоем (из листов асбеста). Для нагревания воды электротокотом в термостате по всей длине его проложены две стеклянных трубки с намотанной на них фехрелевой проволокой. Для регулирования температуры в термостате электронагреватели включаются в цепь через реостаты.

Вискозиметр легко разбирается на части, причем перед сборкой все его части должны быть тщательно промыты бензином и спирто-эфиром, после чего сосуды должны быть высушены в термостате при 105° , а стеклянные трубки после промывки их должны быть высушены при помощи продувания в течение некоторого времени воздухом из воздуходувки до полного их просушивания.

Температура воды в термостате измеряется при помощи термометра с ценою деления в 0.1° С, который подвешивается на штативе и опускается в термостат через отверстие в кранике термостата.

Выполнение анализа. Прежде всего при помощи электронагревателей нужно установить необходимую температуру воды в термостате. После этого исследуемая жидкость (углемазутная суспензия) вводится в правый сосуд вискозиметра в количестве 300 мл и при помощи воздуходувки переводится под вакуумом в левый сосуд вискозиметра таким образом, чтобы указатель поплавка опустился несколько ниже нулевой точки шкалы. Это необходимо для того, чтобы обеспечить пространство для свободного движения поплавка до момента установления постоянного режима движения жидкости при данном давлении или вакууме (до момента отсчета). После этого нужно установить необходимое давление при помощи воздуходувки с проверкой по ртутному манометру и поддерживать это давление в течение определенного промежутка времени (20 мин.). Затем открывают кран левого сосуда и наблюдают перетекание жидкости из левого сосуда в правый, а в момент, когда конец поплавка достигнет нулевой точки, пускают в ход секундомер и делают отсчет. Когда конец поплавка достигнет отметки «100», отсчет заканчивается. Затем левый сосуд прибора соединяют с вакуумом и таким же образом замеряют время перетекания 100-мл исследуемой жидкости от отметки «100» до отметки «0».

При последовательных замерах времени истечения при различных давлениях и вакууме получают ряд цифр, необходимых для расчета величины текучести исследуемой жидкости (табл. 16).

Таблица 16

Измерение вязкости на вискозиметре Коха (диаметр трубки 0.8 см)

Объект исследования	№ замеров	Влияние давления в начале наблюдения P_1	Влияние давления в конце наблюдения P_2	Средняя величина давления $P_{ср}$	Время, в сек	Температура, в $^{\circ}$ С	Q см ³ /сек
Мазут товарный, проба № 1	1	100	100	100	32.6	50	3.0675
	2	109	109	109	39.8	50	3.3557
	3	123	123	123	25.4	50	3.937
	4	129	129	129	25.0	50	4.060
	5	142	142	142	23.0	50	4.3478
	6	150	150	150	21.3	50	4.6978

В таблице Q обозначает секундный расход, получаемый от давления 100 мм за время его перетекания в трубке вискозиметра, например:
 $\frac{100}{3.26} = 3.0675$ (см. 1-е наблюдение).

Техника обработки экспериментальных данных

Вычисление величины текучести углемазутных суспензий производится по следующим формулам:

$$\left. \begin{aligned} \eta &= k_1 a, \\ k &= \frac{\pi d^4 \gamma g}{10 \cdot 128 l} \end{aligned} \right\} \quad (1)$$

где η — вязкость углемазутной суспензии,

k_1 — коэффициент, зависящий от размеров прибора,

d — диаметр стеклянной трубки,

γ — удельный вес ртути,

g — ускорение свободного падения,

l — длина трубки в сантиметрах;

$$a = \frac{\frac{\sum_{i=1}^n p_i - \sum_{i=1}^m p_i}{n}}{\frac{\sum_{i=1}^n Q_i - \sum_{i=1}^m Q_i}{m}}, \quad (2)$$

где p — давление в миллиметрах ртутного столба,

Q — секундный расход в кубических сантиметрах,

$n=2m$ — четное число экспериментальных точек кривой,

Σ — знак суммирования.

Произведем примерный расчет величины η на основании вышеуказанных формул:

Пусть $d = 0.8$ см, $\gamma = 13.6$, $l = 100$ см. Тогда $\eta = 0.1345$ а

$$k_1 = \frac{\pi g^4 \gamma}{10 \cdot 128 f} = \frac{3.14 \cdot 0.8^4 \cdot 13.6 \cdot 981}{10 \cdot 128 \cdot 100} = 0.1345.$$

Для расчета величины a [уравнение (2)].

В заключение этой главы следует сказать, что методика контроля при изготовлении и хранении топливных смесей, ввиду того что использование их пока не приняло широкого масштаба, не является установившейся.

В зависимости от методов производства и изготовления смесей при наличии рационализаторских предложений будут сконструированы соответствующие приборы и найдены быстрые и надежные экспресс-методы характеристики смесей.

ЛИТЕРАТУРА

1. Фрейндлих. Тиксотропия, ГНТИ (1939).
 2. Ann. Rep. Fuel Res. Board, p. 151 — 157 (1936).
 3. Engineer, vol. 161, p. 220 (1936).
 4. Kolloid Beitr., „4“, 202 (1912).
 5. Koll. Zeitschr., „7“, 23 (1910).
 6. Ann. d. Physik (4), 19, 289 (1905).
 7. Kolloid Beitr., „22“, 345 (1926).
 8. Journ. Ind. Eng. Chem., p. 37 (1921).
 9. W. Ostwald, Grundriss der Kolloidchemie (1919).
 10. Ф. Кржижль. Исследование и оценка технических адсорбционных веществ (1933).
 11. Ф. В. Гап. Дисперсионный анализ (1940).
 12. Гарднер. Физико-химические исследования лаков и красок, стр. 80 (1931).
 13. М. М. Кусаков. Метод определения физико-химических характеристик нефтяных продуктов (1936).
 14. Koch Wiedemann Ann., 14, 1 (1881).
-

ГЛАВА V

ПРИГОТОВЛЕНИЕ ТОПЛИВНЫХ СУСПЕНЗИЙ

ПРИГОТОВЛЕНИЕ СУСПЕНЗИЙ ЗА ГРАНИЦЕЙ

Нами указывалось об опытах, проведенных в Америке, по сжиганию углемазутной смеси на судне «Джем» в 1918 г. Организатором этих работ был инж. Бэтс, которым было взято несколько патентов (1—6). Углемазутная смесь для испытаний на судне «Джем» готовилась на установке, построенной по схеме, изображенной на рис. 36.

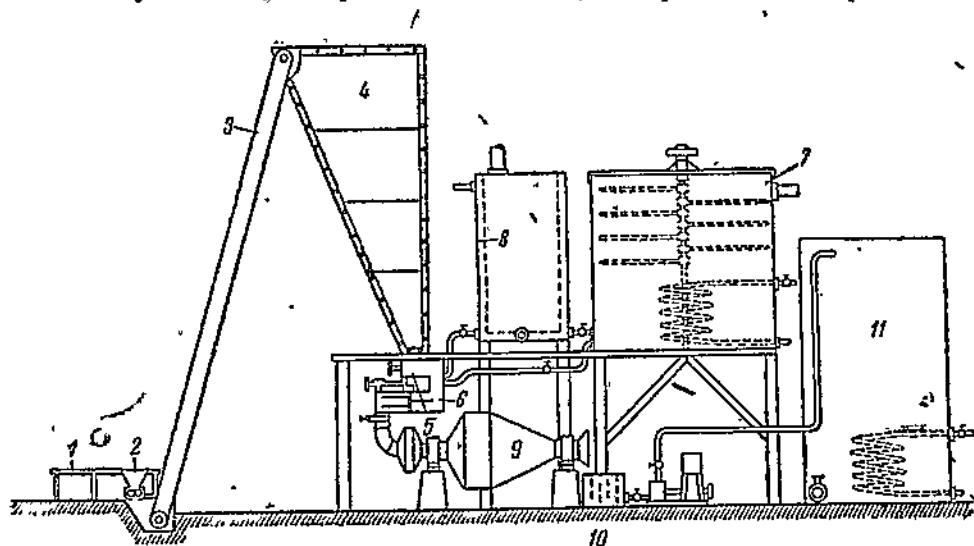


Рис. 36. Схема приготовления смеси по патенту Бэтса

Согласно этой схеме, уголь с площадки 1 подается в дробилку 2, затем подъемником 3 поднимается в бункер 4, а оттуда винтовым шнеком 5 передается в предварительный смеситель 6 вместе с мазутом, который подается из большого бака 7 и эмульгатором из малого бака 8; после предварительного смешивания смесь поступает на «мокрый» размол в шаровую мельницу 9, а оттуда в бачок 10 для отстаивания от тяжелых и очень крупных частиц; из отстойного бака смесь передается в питательный бак 11.

Использование многозольных углей для приготовления смеси может быть только после удаления излишних минеральных примесей. Удаление таких примесей, согласно патенту Бэтса (7—8), может быть проведено на следующей установке. Уголь, масло и эмульгатор (например, креозот) поступают в мельницу (рис. 37), снабженную паровой рубаш-

кой для подогрева 1; из мельницы смесь поступает во флотатор, где мешалка 2 и воздух, подаваемый снизу по трубке 3, образуют сильную пену с водой, подаваемой через трубку 4. Пена проходит над делителем 5, а вода и часть минеральных примесей выпадают в воронку 6 (остальные минеральные примеси оседают на дно); пена из угля и масла спускается по желобу 7, подогреваемому снизу, в то время как сверху по трубке 8 подают мазут, и все поступает в бак 9, где еще добавляется мазут по трубке 10.

Установка Виндгем, пригодная для небольших промышленных хозяйств, отличается оригинальной конструкцией и широко опубликована в ряде журналов (9—10).

Процесс приготовления смеси на установке Виндгем заключается в том, что просеянная промытая угольная мелочь пропускается в миксер

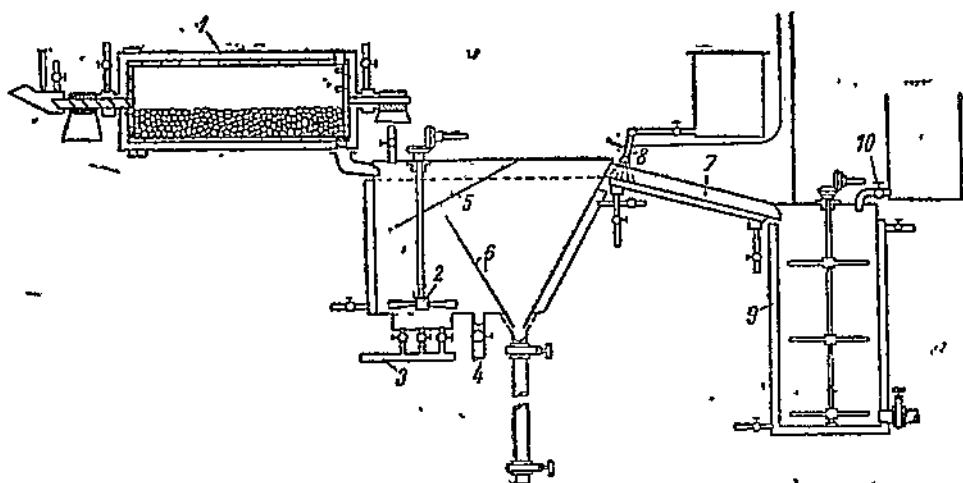


Рис. 37. Схема приготовления смесей из многозольных углей по патенту Бэтса

(рис. 38—39) с нефтетопливом, причем уголь и нефть подаются в заранее установленном соотношении. Из миксера смесь проходит через шесть мельниц, из которых выходит обработанным продуктом. Размер взятого угля рассчитан для прохождения через сито в 10 меш, а к моменту выхода из второй мельницы частицы угля в 100% количестве должны будут проходить через стандартное сито в 60 меш. Затем смесь подается насосом к четырем другим мельницам сверхмелкого помола, где частицы угля измельчаются до тонины 90% прохождения через отверстие в 200 меш. Каждая мельница имеет два вала длиной в 3 фута, диаметром 6", причем один валок вращается в пять раз быстрее другого, со скоростью от 600 до 700 об/мин. Более быстро вращающийся валок имеет также неглубокую спиральную нарезку, идущую в косом направлении. Промежуток между валками в первой мельнице равен 0.08", во второй мельнице он уменьшается до 0.04", а в последних четырех мельницах для сверхтонкого помола промежуток устанавливается в 0.03". Процентное соотношение угля к нефти может быть изменено, но компания нашла, что наиболее подходящая смесь для обычного применения состоит из 50% угля и 50% нефти. Если для смесительной камеры необходимо бывает прекратить работу установки, то с помощью одного выключателя останавливается подача угля и нефти, и машина вновь может быть пущена в ход без нарушения процентного соотношения угля и нефти.

Чтобы использовать топливо, его необходимо нагреть до температуры 93°. Это делается пропусканьем топлива через нагревательную

камеру, установленную на пути к форсунке. Смесь подается под давлением $1-1.3 \text{ кг/см}^2$, воздух же — под давлением 0.13 кг/см^2 . В связи

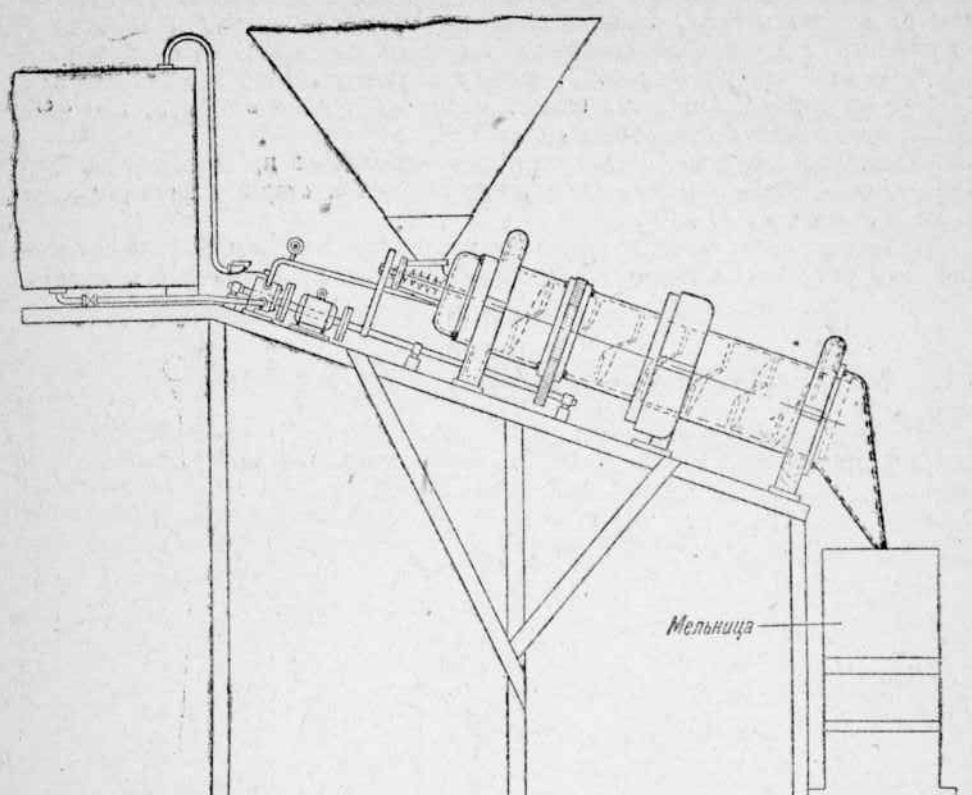


Рис. 38. Схема приготовления смеси на установке Виндгема

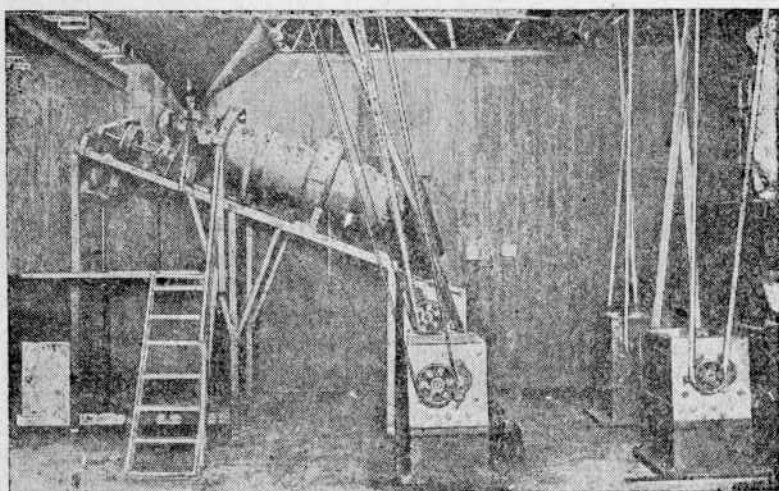


Рис. 39. Общий вид установки Виндгема

с наличием такой установки компания имеет для сбыта горелки для коллоидного топлива, сконструированные таким образом, чтобы у наконечника горелки предствращалось спекание. Горелка представлена

на рис. 40—41, где дано также сопло горелки в увеличенном виде. Устройство горелки таково, что поперечные струи первичного воздуха выходят одна на другую как раз перед соплом; это производит действие распыления топлива, и в то же время горелка остается в холодной зоне, вследствие чего предотвращается спекание. Вторичный воздух также подогревается при его прохождении через кольцеобразную насадку. Потребление энергии установкой составляет 20 kWh на тонну.

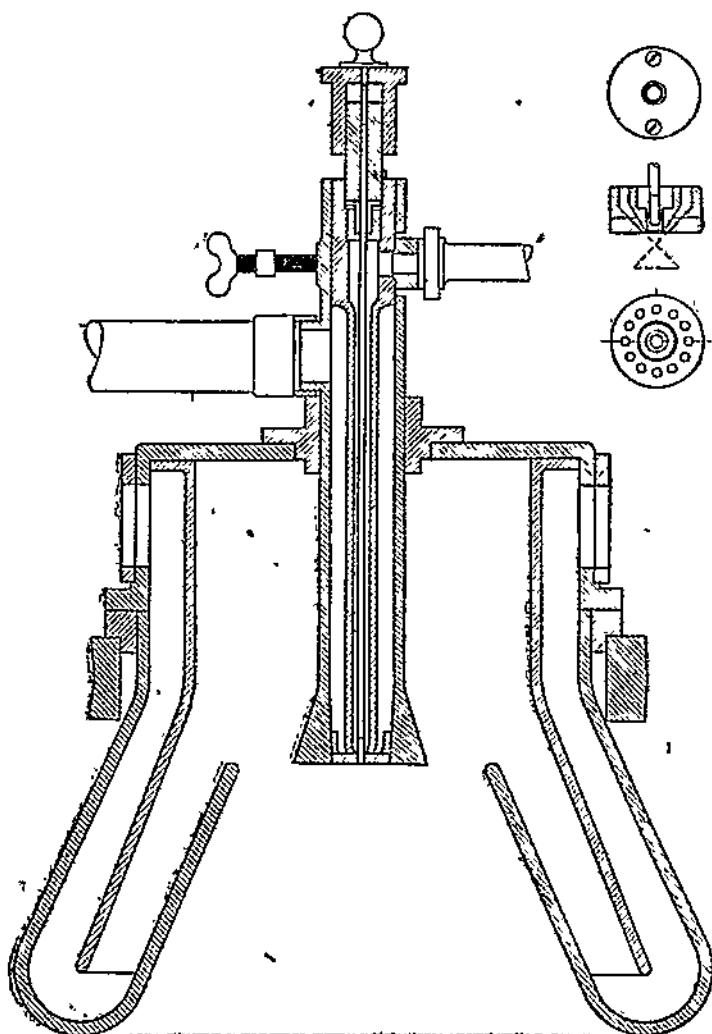


Рис. 40 — 41. Форсунка Виндгема (сопло, горелка—в увеличенном виде)

Установка фирмы Виндгем рассчитана на приготовление 100 т смеси в неделю (2 т в час); Дж. Стривенс (11, 12, 13) приводит, правда, недостаточно ясное, описание установки производительностью 300 т в сутки.

После того как выбран подходящий уголь и решен вопрос относительно стабилизатора, изготовление коллоидного топлива является уже сравнительно простым делом. Если берется уголь сухого помола, который потом должен будет диспергироваться в масле, то стабилизатор смешивается, как можно лучше, с маслом до смешивания его с углем. Если же уголь перемалывается вместе с маслом, то стабилизатор может быть введен в смесь. В любом случае уголь должен быть перемолот до такой тонкости, чтобы $96\frac{2}{3}\%$ проходило через сито в 200 меш.

При мокром помоле продукт может быть пропущен через последнюю диспергирующую мельницу (так называемую коллоидную мельницу) для того, чтобы совершенно диспергировать и «увлажнять» частицы и разбить те комплексы, которые могли образоваться.

При сухом помоле угля следует прежде всего отделять продукт, 85% которого проходит через сито № 100, а продукт с частицами большего размера можно соединить затем со свежим углем и перемалывать до тех пор, пока конечный продукт не будет иметь указанную тонкость помола. При этой системе необходимо иметь весьма эффективные пылеугольные мельницы стандартного типа со вспомогательной циклонной классификацией и пылеотделением. Более крупный материал,

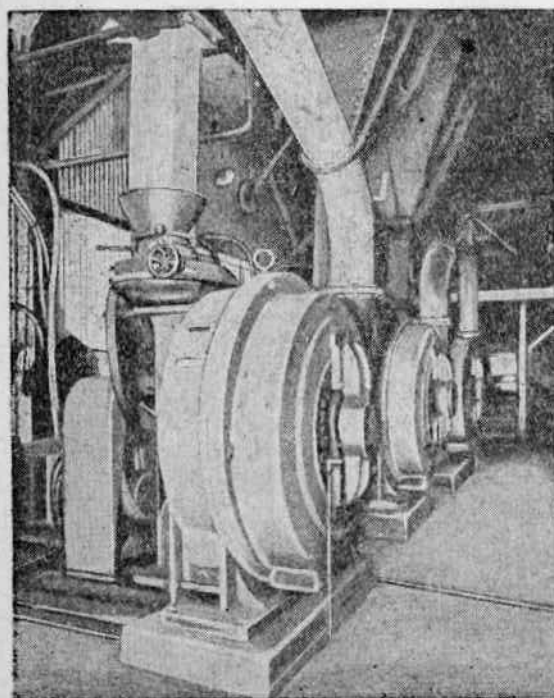


Рис. 42. Группа мельниц Стривенса

прошедший через циклон, можно собрать отдельно от пыли сепараторов для вторичного пропуска его через систему; пыль можно подвергнуть обработке с определенными маслами и стабилизатором и приготовить коллоидное топливо, годное для применения в дизелях. Некоторые компании по сбыту пылеугольных мельниц в своих схемах для приготовления коллоидного топлива имеют большое количество дополнительного оборудования для сепарации и классификации и почти все компании дают спецификацию для конечной коллоидной мельницы, выпускающей хорошо обработанный продукт.

На рис. 42 представлена группа мельниц с циклонной классификацией и пылеотделителями; из последних выходит продукт, 85% которого проходит че-

рез сито № 100. Пылевидное топливо транспортируется механическими конвейерами в главный бункер, а оттуда к миксерам (рис. 43). Мазут подается к миксерам из питательных баков, находящихся вверху, а уголь в надлежащем количестве автоматически вводится в мазут и тщательно перемешивается в течение приблизительно 20 мин., пока не будет равномерного распределения частиц. Эта установка может доставлять около 300 т коллоидного топлива в день. Так как продукт должен использоваться в качестве полуфабриката, а не для замены топливного масла, то стойкость его меньше (дает такие частицы угля, из которых 85% проходит через сито № 100).

Там, где желательно получить продукт тонкого помола и полное смешение, предпочтительным является мокрый помол, но там, где существенным является большой пропуск материала, лучше делать сухой помол с классификацией и последующим мокрым переводом в коллоидное состояние.

Имеется много стандартных типов мельниц с хорошими системами классификации и пылеотделения, которые могут легко давать продукт, годный для изготовления коллоидного топлива. При наличии какой-

либо установки с пылеотделением (с отделителями и сепараторами пыли) на приготовление коллоидного топлива может быть использована мелкая пыль (отход). Как показывает ситовой анализ, такая пыль имеет более благоприятную характеристику в сравнении с пылью из мельниц, но обычно содержит большое количество золы.

Для использования суспензий во флоте к ним предъявляются более жесткие требования, чем к топливу для стационарных установок; такие же жесткие требования предъявляются к дизельному топливу. В таком случае имеет большое значение скорость образования осадка, а замедлить его образование возможно, как мы уже упоминали, добавкой стабилизаторов. Лучшим стабилизатором являются отходы каучука. Возможно применение также некоторых отходов, получаемых при производстве синтетического каучука. О каучуке как стабилизаторе Стривенс сообщает:

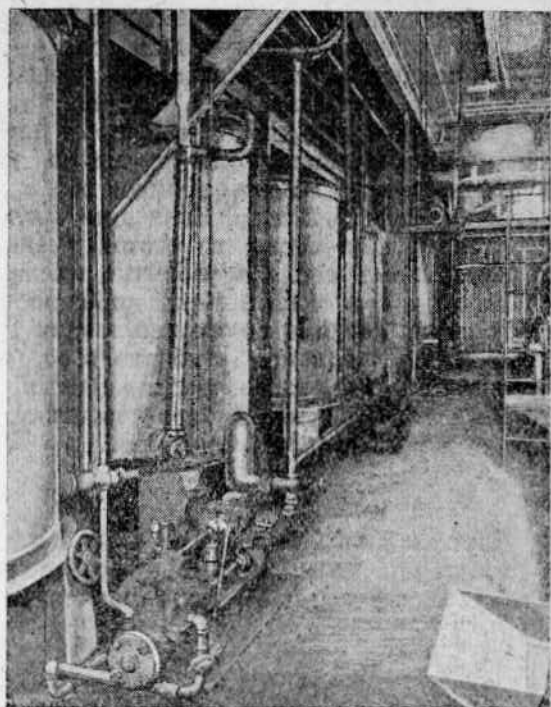


Рис. 43. Смеситель Стривенса

„Вопрос о каучуке как стабилизаторе был решен после того, как этот материал был исследован в сравнении с крахмалом и мылами. Наиболее подходящим был найден стандарт старого второсортного крепа“.

Повышения вязкости заметны тогда, когда применяют уже малые количества каучука, растворенного в минеральных маслах. Такие повышения вязкости хорошо поддерживаются при температурах от обычной до 100° . Так, если взять нормальный легкий мазут, имеющий вязкости 1.8°E , при 15°C , и добавить свежий каучуковый креп в количестве 0.5, 1, 1.5 и 2%, то вязкость соответственно увеличивается на 75, 150, 250 и 400% . Чем старше каучук, тем увеличения вязкости больше. Добавление каучука делает топливное масло более однородным, уменьшая его статический коэффициент трения. Так, статический коэффициент трения дизельного масла, равный 0.142, при введении 1 и 2% каучука уменьшается соответственно до 0.135 и 0.127.

В настоящее время каучук дорог, но вполне удовлетворительно можно применять дешевые сорта и отбросный продукт. Если говорить о приготовлении дизельного коллоидного топлива, то разница в цене на топливо все же привлекает внимание к каучуку.

Для приготовления коллоидного топлива в качестве стандартов были взяты три сорта мазута, отличающиеся по составу и по вязкости. Эти мазуты применялись отдельно и в соединении с угольно-масляными продуктами. Было приготовлено приблизительно 40 категорий различных смесей при различных условиях помола и от времени до времени делались внимательные наблюдения для определения стойкости и эффекта оседания. Те группы, которые оказались удовлетворительными, подвергались испытанию под котлом или разбавлялись соответствующим дизельным маслом для испытания в дизеле.

Применение угольных масел отдельно или в смеси с нефтяными маслами можно рекомендовать тогда, когда теплотворная способность по экономическим соображениям не имеет первостепенного значения. В этом случае следует внимательно следить за тем, чтобы продукты угля были тщательно перемешаны с продуктами нефти и чтобы при долгом стоянии не получалось осадка. Отстой в коллоидном топливе имеет тенденцию обволакивать частицы угля тяжелой пленкой материала, похожего на смолу; частицы затем соединяются и нарушают стойкость. Найдено, что в некоторых случаях может быть использована низкотемпературная смола, а именно тогда, когда она смешивается с нефтяными остатками, в смеси же с другими типами масел она совершенно неэффективна. Если для получения смеси с продуктами угля берутся крекинг-масла, то отстой уменьшается до минимума, так как крекированные масла и угольные масла легко смешиваются.

Когда в коллоидные смеси добавляют в той или иной форме каменноугольные масла в целях пептизации и увеличения стойкости за счет уменьшения процента стабилизатора, то руководствуются большей частью экономическими соображениями.

Далее мы приведем характеристику сырья и полученных из него смесей по материалам Стривенса.

Угли

Битуминозный коксующийся уголь, Тинсли Парк (Tinsley Park Co). Твердый, в виде мелочи; зольность 5%; влажность 1%; удельный вес 1.25; теплотворная способность 7 900 кал/кг.

Ситовой анализ

Остаток на сите в 20 меш.	4.8
" " " 30 "	8.0
" " " 80 "	31.4
" " " 100 "	2.4
Просев через сито 100	53.4

Полуантрацитовая дробленая угольная мелочь. Пауэл Доффрин (Powell Duffrin). Зольность 3.5%; влажность 0.86%; теплотворная способность 8 000 кал/кг; удельный вес 1.3; некоксующаяся, с низким содержанием летучих, умеренно твердая.

Ситовой анализ, в %

Остаток на сите в 10 меш.	40.20 ⁰
" " " 10—20 меш.	29.8
" " " 20—40 "	12.2
" " " 40—60 "	2.9
" " " 60—100 "	3.8
" " " 100—150 "	2.6
" " " 150—200 "	1.2
Просев через сито в 200	7.3
	100.0

Масла

Англоамериканский мазут сорт «В». Американский низковязкий мазут со смешанным основанием; удельный вес 0.875—0.877; вязкость 1.5° Е при 38° С, теплотворная способность 10 680 кал/кг; зольность 0.001%.

Степень дистилляции, в %

До 250°	14
От 250 до 300°	33
От 300 до 350°	24
Выше 350°	27
Потери при дистилляции	2
	100

Мытый креозот. Удельный вес при температуре 15° 1.01; содержание серы 1⁰/₆; точка воспламенения (в закрытом сосуде) 65°; вязкость 1.2° Е при 38° С; теплотворная способность 9 160 кал/кг; зольность 0.1⁰/₆; кислотность 0; смоляные кислоты и фенолы 5⁰/₆; степень дестилляции 97⁰/₆ при кипении ниже 380°.

Сырой креозот. Удельный вес при 15° 1.015; содержание серы 1.2⁰/₆; точка воспламенения (в закрытом сосуде) 65°; вязкость 1.3° Е при 38° С; теплотворная способность 8 900 кал/кг; зольность 0.1⁰/₆; кислотность 0; смоляные кислоты и фенолы 20⁰/₆; степень дестилляции фактически та же, что и для мытого креозота.

Низкотемпературная смола (Coalit Plant South, Metropolitan Gas Co). Удельный вес 1.032; теплотворная способность 9240 кал/кг; влажность 2.5⁰/₆; вязкость 1.4° Е при 38° С; точка воспламенения (в закрытом сосуде) 46°; содержание серы 1⁰/₆; зольность 0.02⁰/₆; смоляные кислоты и фенолы 40⁰/₆.

Тяжелые нефтяные остатки (после отстоя). Shall Co Britoleum. Удельный вес 0.950; вязкость 6.5° Е при 38° С; теплотворная способность 10 550 кал/кг; зольность 1.05⁰/₆; степень дестилляции не указана.

Англо-персидский мазут. Тяжелые остатки иранской нефти. Удельный вес при 15° 0.920; теплотворная способность 10 540 кал/кг; вязкость 6.3° Е при 38° С; содержание серы 0.80⁰/₆; большое содержание ароматических веществ; степень дестилляции не указана.

Легкий промытый креозот для нефтяного двигателя на тяжелых маслах. Удельный вес 0.879; точка воспламенения (в закрытом сосуде) 85°; самовоспламенение (кислород) 300°; отстой углерода 0.231⁰/₆; зольность 0.006; влажность 0.02⁰/₆; содержание серы 1.7⁰/₆; вязкость 1.3° Е при 2° С; теплотворная способность 10 450 кал/кг.

Степень дестилляции, в %

До 150° С	11
От 150 до 200°	12
От 200 до 250°	38.5
От 250 до 300°	32.5
Осадок и потери	6.0
	100.0

Смеси. а) Смесь англо-американского мазута, сорт «В», с углем Тинсли Парк в пропорции 1:1. Удельный вес при 15° 1.065; вязкость 37° Е при 38° С; зольность 2.7⁰/₆; теплотворная способность 9 300 кал/кг.

Размеры частиц угля:

Минимальный	0.0015 мм (1.5 м)
Максимальный	0.15 (150 м)
Большая часть от 0.02 до 0.05 мм	(2—060 м)

Частицы были достаточно хорошо рассортированы.

Эта смесь обнаружила слабую стойкость (менее одной недели до полного разделения), но стойкость увеличилась до одного месяца после введения 0.33⁰/₆ каучука.

б) Смесь угля Тинсли Парк с маслом Шелл Брайтолеум в пропорции 1:1. Удельный вес при 15° С 1.1; вязкость 180° Е при 38° С; содержание золы 2.4⁰/₆; теплотворная способность 9 163 кал/кг.

Размер частиц угля такой же, как для смеси «а». Эта смесь обнаружила гораздо большую стойкость (три недели до разделения) и при центрифугировании в течение 2½ час. при 1 400 об/мин имела еще один процент по весу от угля в верхнем слое. Стойкость увеличилась до трех месяцев после введения 0.33⁰/₆ каучукового стабилизатора.

с) Смесь англо-персидского мазута с полуантрацитом Поуэль Доффрин в пропорции 1:1 с 0.25⁰/₆ стабилизатора из старого каучукового

крепа. Удельный вес при 15° 1.107; вязкость 242^а Е при 38° С; влажность 0,30%; содержание золы 2^а/о; теплотворная способность 9 400 кал/кг.

Размеры частиц угля:

Минимальный	0.003 мм	(3 м)
Максимальный	0.15 "	(150 м)

В смеси в свежем виде:

Большая часть	от 0.02 до 0.04 мм	(20—40 м)
Около 20%	0.04 , 0.07 "	(40—70 м)
То же	0.003 , 0.02 "	(3—20 м)
Через сито в 100 меш.		100.0%
" " 150 "		99.7
" " 200 "		98.7

После испытания на стойкость в 6 мес. и отмучивания продукта;

Через сито в 240 меш.		95.0%
" " 300 "		93.9
" " 350 "		88.2
" " 680 "		74.0

Это топливо имело хорошую стойкость в течение года. Влияние только 0.25% каучукового стабилизатора сказалось на увеличении на 40% вязкости продукта, приготовленного из мазутов приблизительно такой же степени вязкости. При испытаниях на сжигание со смесями «b» и «с» работать было легко. Большой опытный завод в Биллинге, перерабатывающий ежедневно до 4 000 т угля на жидкое топливо, изготавливает смеси при концентрации угля 50%/д, являющиеся полуфабрикатом при гидрогенизационном процессе. В других случаях суспензии большей или меньшей концентрации изготавливают с целью их полукоксования или коксования и при этом получают различные виды моторных топлив, а в остатке или тяжелое котельное (печное) топливо, или кокс (метод получения кокса из некоксуемых углей). Описание этих установок мы дадим в VIII главе, а теперь перейдем к описанию установок, построенных в СССР.

УСТАНОВКИ В СССР

В Институте им. Плеханова (Москва) удалось приготовить суспензию в количестве, достаточном для кратковременного сжигания под котлом при использовании обычных форсунок для жидкого топлива, применяя коллоидную мельницу Плаусона. Работа эта была проведена дипломантами Института: И. Я. Лаврушиным и П. И. Вишневым под руководством проф. В. Р. Вильямса.

В 1937 г. на металлургическом заводе ордена Ленина «Серп и молот» (Москва) была поставлена временная установка для изготовления углемазутного топлива по методу автора, на которой было изготовлено около 8 т суспензии.

В 1938—39 г. эта работа была продолжена; для приготовления смеси была спроектирована инж. М. Голиковой установка на значительную производительность (~ 4 т. в час); эта установка была построена в 1939 г. с некоторыми изменениями, сделанными заводом по указаниям бригады работников Академии Наук СССР. К описанию ее мы и переходим.

Характеристика исходного материала

В качестве компонентов смеси нами были выбраны тощий уголь и крекинговый мазут, обычно поступающий на завод «Серп и молот».

Рядовой уголь поступал на склады завода «Серп и молот», где хранился в штабелях на открытом воздухе. По крупности рядовой

уголь имел в своем составе большое количество мелочи порядка 50—12 мм. Максимальный размер кусков рядового угля доходил до 130 мм; количество их было незначительно.

По внешнему виду уголь блестящий, местами переходящий в матовый цвет, слоистого строения, с редким раковистым изломом, с включением тонких полос фюзеновых образований и небольших вакуольных включений породы.

Отдельные куски окружающих пласт горных пород состояли, главным образом, из глинистого сланца с тонким включением сернистых соединений (пирита).

Прочность угля при изломе его кусков от руки оказалась средней и ниже средней; такой слабой прочностью объясняется наличие большого количества мелких классов в рядовом угле (см. табл. 17).

Таблица 17

Выход фракций от рядовой пробы угля

№ проб	Размер зерен, в мм	Выход, в %	Суммарный выход
1	100	6.9	6.9
2	— 100+40	8.5	15.4
3	— 40+25	6.2	21.6
4	— 25+12	15.1	36.7
5	— 12+ 6	15.1	51.7
6	— 6+ 3	14.7	66.5
7	— 3+ 0	33.5	100.0
	100— 0	100.0	100.0

По внешнему виду и наощупь уголь был достаточно сухим.

Рядовой уголь из штабеля автотранспортом доставлялся на Люберецкий завод с.-х. машиностроения, где отгружался на колосниковую решетку с размером отверстий 500 мм. Предварительное дробление угля на существующих на заводе дробилках Блока и гладких валках не производилось, так как потребовало бы больших затрат по очистке склада на заводе и прокладке специального подъезда автотранспорта к дробильному помещению (за исключением ручного дробления на указанной выше колосниковой решетке). Следовательно, исходным материалом для шаровой мельницы являлся уголь крупностью 50+0 мм, что отражалось на производительности углеразмольного агрегата.

Размол угля производился в шаровой мельнице Гумбольдта размером D. L. = 1920 × 3000. Производительность ее при данной крупности исходного материала Q = 1.0—1.2 т/ч.

Готовый угольный порошок из расходного бункера насыпался в мешки по 40—50 кг и автотранспортом доставлялся на экспериментальную установку завода «Серп и молот», где хранился иногда в закрытом помещении, а чаще под открытым небом.

Контроль тонины помола угля перед поступлением его на смешение производился на Люберецком заводе при подаче его в погрузочный бункер и, кроме того, на заводе «Серп и молот» путем отбора пробы

от каждой поступившей партии порошка и просева ее через сито 4900 отв./см². Порошок признавался годным при остатке на сите не более 5%. В практике остаток колебался от 0.8 до 3.4%. Ситовая характеристика дана в таблице 18.

Таблица 18

Ситовая характеристика угольного порошка

№ п/п.	Дата отбора проб	Остаток на сите № 70, в %	№ п/п.	Дата отбора проб	Остаток на сите № 70, в %
1	23/IV	2.0	6	27/V	2.0
2	25/IV	1.0	7	28/V	2.6
3	28/IV	0.8	8	1/IV	2.0
4	9/V	2.5	9	2/IV	3.4
5	20/V	2.0			

Ситовой анализ порошка производился в лаборатории диспергированных топлив ЭНИНа АН СССР на грохоте Ротап. Выходы отдельных фракций колебались в пределах, указанных в следующей таблице.

Таблица 19

№ п/п.	Размер зерен, в микронах	Максимальное колебание выхода, в %	Средний выход, в %	Суммарный выход, в %
1	120	0.6—2.5	1.05	1.05
2	—120+86	1.8—3.0	2.4	3.45
3	—86+75	3.8—5.4	4.6	8.05
4	—75+60	11.4—16.2	3.8	21.85
5	—60+44	18.6—21.4	20.0	41.85
6	—44+0	63.8—42.5	58.15	100.00
	120+0		100.0	

При приготовлении суспензии отбиралась также проба угольного порошка для полного элементарного и технического анализа. Анализ дал результаты, показанные в табл. 20.

Из таблицы видно, что содержание золы в угольной пыли доходило до 8%, а серы до 1.4%. Удельный вес угольного порошка был равен 1.4.

Мазут на станцию приготовления углемазутной смеси подавался из меховых баков из очередных партий мазута, получаемых заводом.

Характеристикой мазута, поступающего в мартеновские и другие печи, лаборатория завода не занимается и никаких требований со стороны цеха к качеству мазута, за исключением требования к минимальному содержанию серы и теплосодержанию, не предъявляются.

Пробы мазута, отобранные при проведении балансных плавков и исследованные в лаборатории ЭНИНа, показали, что вязкость мазута, пошедшего на балансные плавки, колебалась от 10 до 46° Е.

Содержание золы в мазутах доходило до 0.175%, а серы до 0.29%.

Таблица 20

Анализ угля, употребленного для приготовления углемазутной смеси

	А н а л и з							
	1	2	3	4	5	6	7	8
Влага	1.89	1.18	1.15	0.92	1.37	1.4	1.56	1.24
Зола	8.94	6.19	6.65	6.73	6.30	8.17	6.01	8.76
Сера	—	1.36	1.33	1.42	1.40	1.59	1.28	1.84
Летучие	7.71	—	—	—	—	16.05	16.04	13.94
Углерод	—	—	—	80.56	80.77	—	—	—
Водород	—	—	—	4.71	4.47	—	—	—
Кислород {	—	—	—	6.59	6.06	—	—	—
Азот {	—	—	—	—	—	—	—	—

Описание процесса изготовления суспензии

Технологический процесс приготовления углемазутных смесей состоял из следующих операций:

1. Дробление рядового угля перед измельчением.
2. Измельчение угля.
3. Дозировка угольного порошка и мазута.
4. Смешение угольного порошка с мазутом.
5. Гомогенизация смеси.

Дробление и измельчение угля производилось на углеразмольной установке завода с.-х. машиностроения в Люберцах, откуда на экспериментальную установку завода «Серп и молот» доставлялась готовая угольная пыль.

Угольный порошок поднимали лебедкой в мешках при помощи блока на верхнюю площадку установки в помещение третьего этажа, где он взвешивался и затем загружался в приемный бункер через съемное сито 1 (см. рис. 43), установленное в загрузочном люке бункера 2.

Сетка необходима для отделения посторонних предметов, которые могли попасть в порошок при его засыпке в мешки на заводе и вызвать поломку аппаратов в процессе смешения и транспортировки смеси.

Из приемного бункера угольная пыль через дисковый питатель 3 по желобу 5 подавалась в мешалку 18. Дисковый питатель по проекту предназначался как дозатор угольной пыли. Практика его применения как дозатора себя не оправдала. Тонко измельченный сухой угольный порошок очень подвижен в своей массе, что влечет к пересыпанию его через подающий нож. Попытка отрегулировать конус порошка на диске питателя шиберным затвором также не увенчалась успехом, так как при малой щели порошок часто задерживается и не поступает на диск.

К числу указанных недостатков в работе питателя следует отнести невозможность герметизации как самого питателя, так в равной мере и шиберов, что влечет к значительному проходу пыли и загрязняет помещение и воздух.

В дальнейшем от дискового питателя отказались и заменили его другим видом питания.

Для осуществления правильного отбора средней пробы пыли для анализов при проведении балансовых плавок в желобе 3 имелось окно 6, через которое систематически отбирались порции пыли в пробу.

Топочный мазут на установку подавался из баков цехового нефтехранилища по специальному трубопроводу.

На смесительной станции мазут принимался в мерные баки 7 закрытого типа, установленные на третьем этаже станции. Каждый мерник снабжен вентилями на подающей и выпускной линии.

Для подогрева мазута мерники оборудованы змеевиками 8. Мерные баки наполнялись поочередно. В то время как в один из баков производилось наполнение и подогрев мазута, из второго питалась мешалка. Количество поступающего на смешение мазута определяется положением груза 11, соединенного поплавком 9 гибкой связью. Положение груза, а, следовательно, и уровня мазута в мерном баке фиксируется на рейке 10.

Во избежание переполнения баков последние оборудованы сливными трубками, по которым избыток мазута может сливаться в сливную яму 30. Момент переполнения можно видеть в сливной воронке 12, расположенной во втором этаже здания.

Температура поступающего в мешалку мазута определялась термометром 7, установленным на трубопроводе, идущем от мерника к мешалке.

Такой метод дозирования и подогрева мазута вполне оправдал себя в практике работы экспериментальной установки. За все время работы станции не было поломок, остановок или неправильного показания.

В промышленных установках следует производить дозировку путем включения в подающую линию мазутопровода указывающего нефтемера, а подогрев мазута производить в отдельных баках, расположенных вне смесительной установки. Проба мазута для химического анализа во время опытных плавок отбиралась перед мешалкой с помощью крана (16). Для удобства обслуживания все устройства по управлению дозировкой компонентов, наполнение мерных баков, управление паром, места отбора проб и замера температуры расположены на площадке второго этажа здания.

Смешение мазута с угольной пылью производилось в два приема. Предварительное смешение производилось в мешалке, состоящей из цилиндрического бака, снабженного вертикальным валом, укрепленным в подшипнике без подпятника.

Полное смешение и гомогенизация производились в диспергаторе (см. ниже).

Мешалка состоит из цилиндрического бака, снабженного вертикальным валом, подвешенным в подшипнике и крышке мешалки.

На вертикальном валу укреплены в два ряда лопасти, на различной глубине цилиндрического бака. Каждый ряд состоит из двух лопастей, поставленных с наклоном в 30° . Мешалка приводится в движение конической зубчатой передачей от горизонтального вала, приводимого в движение мотором через редуктор.

В связи с чрезвычайно плохой работой данного типа мешалки, в дальнейшем к ней были добавлены еще две лопасти с гребенками, а также были добавлены неподвижные гребенки, закрепленные на самом корпусе цилиндрического бака мешалки в целях лучшего перемешивания углемазутной смеси.

Мешалка по проекту делала до 35 об/мин, что было недостаточно для хорошего смешивания.

Для лучшей работы агрегатов процесс приготовления суспензии должен быть непрерывным.

Такое приготовление дает возможность равномерной нагрузки аппаратов, меньшей затраты рабочей силы, энергии и дает лучшее качество смешения. В указанном типе мешалки мы этого достигнуть не могли. Смешение шло отдельными порциями в следующем порядке.

Мешалка пускалась в ход, затем в нее наливался мазут, подогретый до 40—60° С, в количестве 100 кг, после чего в мешалку подавалось через питатель и желоб отвешенное количество угольного порошка. Загрузка угольного порошка производилась равномерно, что достигалось непрерывными ударами деревянного молота по бункеру при небольшом открытии шиберного затвора. Одновременно заливалось необходимое количество мазута с таким расчетом, чтобы после подачи всего количества угольного порошка оставалось еще залить 50 кг мазута в целях лучшего смачивания и перемешивания угольной корки, образующейся на поверхности смеси.

Этот метод смешения оказался наиболее целесообразным. Общая загрузка мешалки равнялась в среднем 600 кг; продолжительность смешения одной загрузки равнялась 8—12 мин.

Назначение мешалки в технологической схеме приготовления суспензии — это произвести предварительное грубое смешение компонентов так, чтобы не иметь больших комьев угольного порошка и равномерно распределить уголь в массе мазута.

Практика применения мешалки указанного типа с малой скоростью не оправдала своего назначения: на дне и внутренней поверхности бака мешалки образуется толстый слой пасты. Отдельные комья угольного порошка, смоченные мазутом только с поверхности, а также куски пасты, отвалившиеся с боковых стенок мешалки, довольно продолжительное время не подвергаются разрушению лопастями и, следовательно, не дают возможности получения суспензии с равномерным распределением твердого компонента.

Вначале углемазутная суспензия составлялась смешиванием угольного порошка в количестве 30% и мазута 70% (по весу), а затем на две весовых части мазута давалась одна часть угольного порошка. Температура смеси после мешалки замерялась термометром (19). Гомогенизация производилась в дисковом диспергаторе.

После обработки в мешалке смесь поступала в диспергатор конструкции инж. В. А. Гольдштейна и Л. Л. Хотунцева (рис. 44).

Основная цель диспергатора заключалась в гомогенизации полученной в мешалке грубой смеси угольного порошка с мазутом. Это достигалось путем однократного пропускa углемазутной смеси, получаемой в мешалке, через диспергатор на зазоре 0.5 мм при числе оборотов вала электромотора 1 400 об/мин.

Рабочая часть многодискового диспергатора состоит из четырех¹ конических дисков, укрепленных на горизонтальном валу на разном расстоянии друг от друга. К каждому диску подходит статор, имеющий коническую выемку, соответствующую конусу диска ротора. Статор может перемещаться по кожуху машины вдоль оси вала при помощи завинчивания или отвинчивания колец, находящихся с торцевых сторон диспергатора. Этим достигается установка нужного зазора между дисками статора и ротора.

Углемазутная смесь из мешалки поступает в диспергатор по двум отверстиям, так что каждое отверстие питает смесью два конуса. Выход готовой суспензии из диспергатора происходит через одно отверстие в нижней части кожуха диспергатора.

При расчетной производительности диспергатора 10 т/час по воде он на специальном испытании показал производительность на углемазутной смеси 6 т/час, при средней вязкости смеси 140° Е при 50° С.

Диспергатор приводился в движение от электромотора мощностью 14.5 kW, расположенного на одной оси при числе оборотов 1 400 в минуту.

¹ Возможно применение и двухдискового диспергатора.

Разрез по А-В

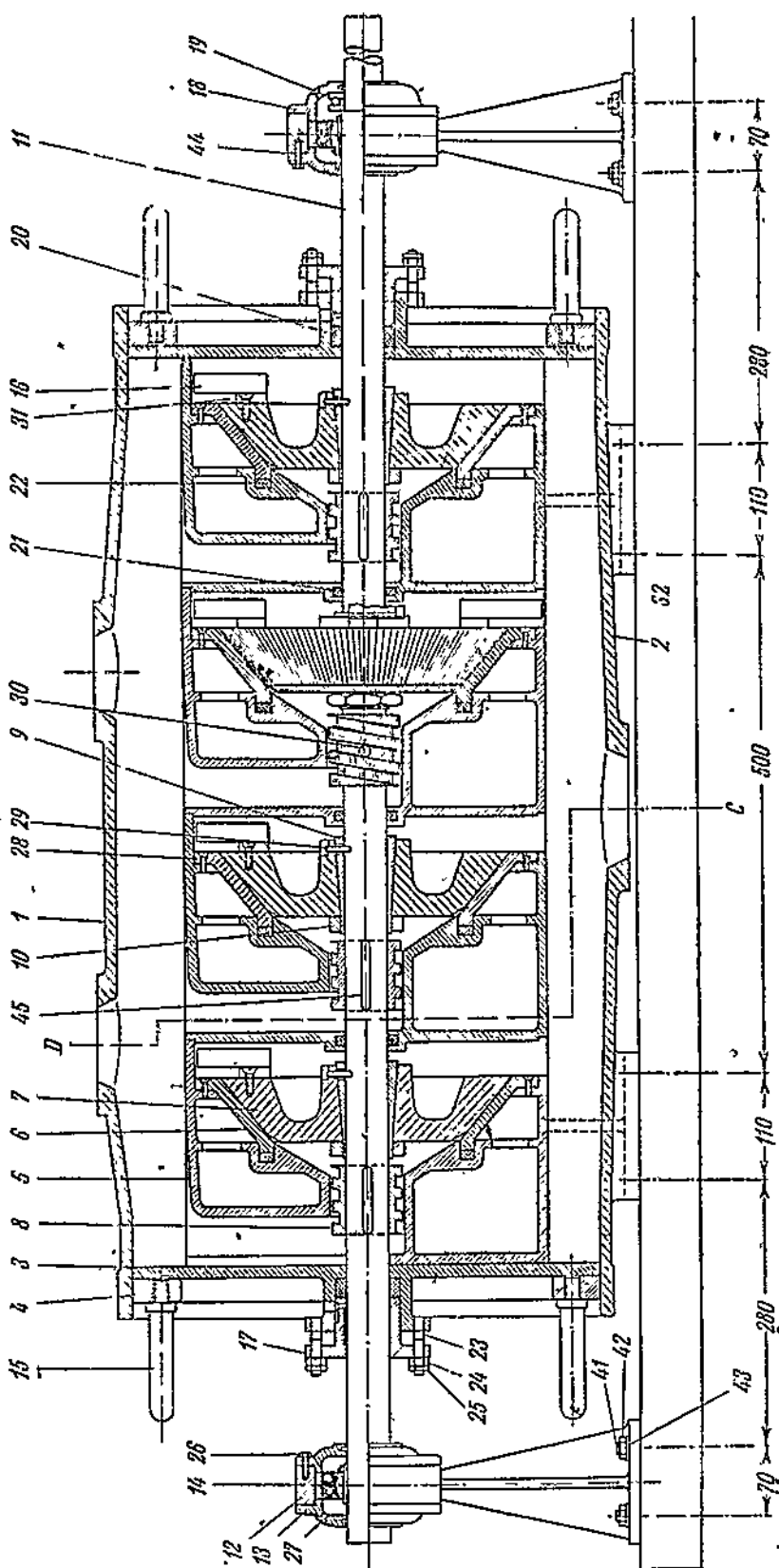


Рис. 44 Диспергатор Хотунцева-Гольдштейна

Расход энергии на диспергатор характеризуется следующими цифрами при производительности 6 т/час.

На 1 мотор 1.68 kW
 На холостой ход агрегата 2.82 ,
 При работе агрегата 2.40 ,

№ детали	Наименование детали	Количество	Материал
1	2	3	4
1	Корпус (верхняя часть)	1	чугун СЧ 36—44
2	Корпус (нижняя часть)	1	
3	Крышка	2	чугун ОСТ 8827 НКТ 2178
4	Кольцо	2	ст. 2
5	Статор	4	чугун ОСТ 8827 2178
6	Втулка	4	ст.
7	Конус	4	ст.
8	Винт	8	ст. 5
9	Втулка	4	ст. 5
10	Гайка	4	ст. 2
11	Вал	1	ст. 5
12	Стойка	2	чугун СУ 36—44 ОСТ 8827
13	Крышка	3	чугун НКТ 2178
14	Шариковый подшипник	2	ОСТ/ВКС 3734
15	Ручка	8	ст. 2
16	Лопатки	16	ст. 2
17	Сальник	2	чугун СУ 32—44 ОСТ 8827
18	Крышка	1	чугун НКТ 2178
19	Шариковый подшипник	1	ОСТ/ВКС 3734
20	Войлочное кольцо	2	войлок
21	Войлочное кольцо	3	войлок
22	Войлочное кольцо	4	войлок
23	Шпилька с 10×60	4	ст. 2
24	Гайка	4	ст. 2
25	Контргайка	4	ст. 2
26	Болт м 8×20	16	ст. 4
27	Винт	4	ст. 2
28	Винт м 8×15	24	ст. 2
29	Винт упорный м 8×22	4	ст. 2
30	Винт упорный м 8×10	8	ст. 2
31	Винт м 8×26	32	ст. 2
32	Основание	2	швелл. 10
33	Поперечник	4	швелл. 10
34	Болт м 12×35	8	ст. 2
35	Гайка	8	ст. 2
36	Шайба	8	ст. 2
37	Шпонка	4	ст. 5
38	Болт м 10×45	14	ст. 2
39	Гайка	14	ст. 2
40	Прокладка	1	резина
41	Болт м 12×35	8	ст. 2
42	Гайка	8	ст. 3
43	Шайба	8	ст. 2
44	Прокладка	4	бумага
45	Шпонка	4	ст. 5

Потери оцениваются в 2 kW. Таким образом полный расход энергии на 1 т смеси:

С потерями	1.4 kW
За вычетом потерь	1.07

За все время работы диспергатора на установке (март — август) были два случая его остановки и разбора по следующим причинам:

1) в диспергатор попали шайба и куски железа, которые частью остались в мазутных баках и мешалке после монтажа их и частично попали при доставке вместе с пылью;

2) вследствие аварии мешалки (поломка лопастей) диспергатор оказался забитым угольной пылью.

Применение диспергатора-гомогенизатора в практике приготовления углемазутной суспензии вполне себя оправдало.

Диспергатор является довольно компактной установкой, занимает небольшую площадь в здании установки, не требует большого ухода и регулировки во время работы. Будучи поставлен на прочном фундаменте, работает совершенно бесшумно и без вибрации, дает большую производительность при малой затрате энергии и при хорошем качестве смешения.

При несовершенной работе мешалки в диспергатор поступала смесь с большим количеством комьев угольной пыли и пасты. Такая грубая смесь при выходе из диспергатора становилась совершенно однородной. Каждая отдельная частица угольного порошка в процессе перетирания в мазуте обволакивалась последним, вследствие чего в готовой суспензии отсутствовали комплексы угольных частиц.

Готовая углемазутная суспензия из диспергатора самотеком по трубопроводу сливалась в приемный бак 25, оборудованный змеевиками 28 для подогрева, и термометром 26 для измерения температуры смеси перед пуском насоса.

За весь период работы установки с 6 марта по 30 июля было изготовлено 346 кг углемазутной смеси, на что было израсходовано мазута 245 кг и угольной пыли 101 кг. За этот период диспергатор работал всего 178 часов.

Характеристика применяемых углемазутных смесей

Углемазутная суспензия как заменитель жидкого топлива должна обладать всеми свойствами последнего, в том числе и транспортабельностью, т. е. обладать достаточной текучестью.

Порошок угля должен достаточный период времени находиться во взвешенном состоянии.

Практически в заводских условиях образование осадка происходило довольно медленно. Даже при долгодневном стоянии суспензии в цеховом, расходном баке при неоднократном подогреве смеси от 40 до 70° отмечено только некоторое повышение концентрации на дне бака. Так, в одном случае проба, взятая со дна бака после 22 дней хранения, имела 34% твердых частиц при средней концентрации суспензии, находившейся в баке, в 25%.

При хранении суспензии вязкостью 115° Е при 50° С, при концентрации твердых частиц 27.5%, в условиях комнатной температуры (18—20°) через 131 день отстоя в осадок выпало 2% твердых частиц, общий же текучий осадок составил 4% от общего веса пробы.

Концентрация смеси зависела в основном от вязкости исходного жидкого компонента — мазута. При получении более вязких мазутов необходимо было понижать концентрацию смеси, чтобы сохранить ее текучесть.

Концентрация смеси в балансовых плавках колебалась в пределах 26—30%, а в отдельных плавках доходила до 35%.

В общем даже при мазутах вязкостью до 80° Е при 50° С при достаточном подогреве перед сжиганием возможно иметь смесь с концентрацией в 30%.

Вязкость смесей балансовых плавков колебалась от 60 до 230° Е при 50° С, а в небалансовых даже и выше. Такая повышенная вязкость требовала при подаче в форсунку подогрева не менее 90° С, что почти никогда не наблюдалось, за исключением некоторых из последних плавков.

На основе работы этой установки были спроектированы в 1940 г. Энергочерметом под руководством инж. Г. М. Чиликина две станции.

Приведем краткое описание одной из установок по этим проектам

Мельничное отделение. К установке принята одна паровая мельница типа Ш-3, в изготовлении Таганрогского котельного завода; производительность мельницы ожидается 8.0 т/час (по сырому стандартному углю марки «Т») при тонине помола — 2% остатка на сите № 70. Привод мельницы осуществляется от электромотора мощностью 250 квт через редуктор.

Сушка угля происходит непосредственно в барабане мельницы.

Сушильным агентом служат отходящие дымовые газы от котлов Кестнер. В летнее время, в период малых нагрузок котельной, для обеспечения мощности в дымовых газах в котельной устанавливается дополнительная индивидуальная антрацитовая топка.

Эта топка снабжена простой горизонтальной колосниковой решеткой ручного обслуживания для сжигания антрацита марки АРШ.

Схема пылеприготовления запроектирована по разомкнутому циклу. Угольная пыль, осаждаемая в циклоне и мультициклонах, поступает в пылевой бункер.

Отработанный сушильный агент выбрасывается или полностью в атмосферу, в случае подачи в мельницы угля с влажностью выше 8—10%, или частично, в случае поступления более сухого угля.

При этом часть отработанного сушильного агента может быть направлена в газопровод до мельницы для охлаждения сушильного агента или после мельницы для обеспечения пневмотранспорта пыли.

Указанное использование сброса сушильного агента позволяет уменьшить потери пыли в атмосферу с отработанным агентом. Окончательная очистка сушильного агента, выбрасываемого в атмосферу, производится в масляном фильтре типа «электропром», при этом вместо масла для очистки фильтрующих панелей проектом предусмотрен мазут, поступающий непрерывно в фильтр.

Сброс загрязненного мазута производится в баки готовой углемазутной смеси.

Аппаратура для получения углемазутной смеси состоит:

а) из двух смесительных шнеков для предварительного получения углемазутной смеси (конструкция шнеков разрабатывается при рабочем проектировании);

б) из четырех диспергаторов, т. е. аппаратов для окончательного получения углемазутной смеси. Производительность диспергаторов 6.0 т/час.

Насосное хозяйство для перекачки углемазутной смеси, полученной на станции (для промышленных целей последняя подается в промежуточную расходную станцию помощью поршневых насосов).

Проектом предусмотрена установка двух насосов, из коих один поршневой, вертикальный насос типа «Триплекс», производительностью 20 м³/час. Привод осуществляется от электромотора мощностью 19.7 квт.

Второй насос паровой, производительностью 11—22 м³/час, специально предназначенный для перекачки вязких жидкостей.

Расходная станция. Как уже указывалось выше, углемазутная смесь (УМС) предварительно поступает в расходную станцию, располагаемую около стены мартеновского цеха № 1.

Расходная станция оборудуется:

- а) двумя баками емкостью 20 м³;
- б) двумя поршневыми насосами производительностью приводной 10 м³/час, а поршневым в 11—22 м³/час.

Указанные насосы подают углемазутную смесь непосредственно в печи. Трубопроводы к печам-потребителям запроектированы по схеме, предусматривающей обязательный возврат части (до 15—20%) углемазутного топлива из цеха обратно на расходную станцию, циркулирующую в системе, во избежание закупорки отдельных участков трубопроводов. Все трубопроводы, как внешние, так и внутрицеховые, обогреваются от специального паропровода.

Подогрев углемазутной смеси перед печами производится в специальных подогревателях, устанавливаемых индивидуально для каждой печи.

В 1940 г. начала работать опытная установка, построенная при ТЭЦ Всесоюзного теплотехнического института им. Ф. Э. Дзержинского. Эта установка в принципе построена по схеме Бэтса, но значительно усложнена по сравнению с ней, с целью проведения различных экспериментов; имеются еще мельницы системы Фуллер и шаровая мельница Гумбольдта (14).

Производство суспензии на экспериментальном заводе осуществлено различными способами, позволяющими применительно к заданным целям обоснованно выбрать наиболее эффективный и экономичный, а именно:

1. «Сухой» способ приготовления суспензии, при котором полученная пыль механически перемешивается с мазутом или с маслом.

2. «Мокрый» способ приготовления суспензии, при котором уголь, дробленый до 2 мм, одновременно размалывается и перемешивается в одном аппарате.

3. Комбинированный способ приготовления, при котором сначала по схеме первого способа получают грубую суспензию из грубой пыли, типа энергетической, а затем грубая суспензия дорабатывается догонкой по схеме «мокрого» способа.

Производительность установки составляет 3 т в смену, при концентрации угля 30%. Основной задачей этой установки было изготовление углемазутной смеси необходимого качества в достаточном количестве для питания печи при постановке опытных сжиганий.

Отсутствие гомогенизационных аппаратов на установке ВТИ значительно затруднило работу и понизило качество продукции.

В 1940 г. была испытана бригадой работников Академии Наук СССР, совместно с работниками одного из заводов мельница «Кек» для выяснения возможности использования ее при изготовлении углемазутных смесей.

Эти испытания показали, что при наличии мельницы «Кек» возможно спроектировать и построить установку очень компактную и транспортабельную, производительностью до 1.3 т/час суспензии, пригодной для сжигания на судах.

Успехи, достигнутые в получении пыли на пароструйных и пневматических агрегатах, позволяют полагать, что на небольших установках возможно будет поставить пылеприготовление без шаровых мельниц. Это значительно упростит приготовление и использование углемазутных смесей. Для мягких углей (древесный и др.) возможно применение бегунов и других истирающих механизмов.

По приготовлению различного вида топливных суспензий выдано в различных государствах довольно много патентов. Здесь мы приведем часть, относящуюся к приготовлению устойчивых суспензий; патенты, относящиеся к получению коллоидного топлива термическими методами, будут рассмотрены нами в главе VIII.

Приводимые патенты в подавляющем большинстве взяты в Англии, что вполне понятно, так как Великобритания на своих европейских островах не имеет нефтяных месторождений и весь английский флот и промышленность снабжаются привозными своими колониальными или иностранными продуктами. Такое отсутствие нефтяной производственной базы на островах метрополии уже давно, как мы указывали, вызвало стремление у английских инженеров и химиков найти заменители нефти.

В 1912 г. Кельвертом был взят патент на стабилизаторы суспензий, который, по нашему мнению, имеет значение и до настоящего времени; по патенту добавка щелочей и клееобразных материалов давала возможность получать стабильные суспензии (В. Р. 14656—1912 г.).

Плаусону в 1915 г. выдан патент на его метод измельчения в коллоидной мельнице (В. Р. 17729—1913 г.).

С 1921 г. Бэтс, фамилию которого мы уже упоминали, получает патенты целыми пачками: патенты В. Р. 149306, В. Р. 165418 (1922), В. Р. 165419, В. Р. 165425 — определяют применение известковых мыл, смоляных кислот в качестве стабилизаторов; патенты В. Р. 154605, В. Р. 155209, В. Р. 160754, В. Р. 165422 указывают на методы удаления посторонних минералов золаобразователей, с целью повышения качества топлива; различные методы повышения устойчивости смесей приведены в патентах: В. Р. 165423 (указывают на применение смолы нефтяных остатков), В. Р. 159173 (используют фактор замораживания), В. Р. 161929 (применение размол в жидкой нефтяной среде), В. Р. 165420 и В. Р. 165421 (использование включенного воздуха). Простейший способ борьбы с образованием осадка путем применения циркуляции указан в патентах: В. Р. 163797 и В. Р. 165524, выданных Кольверту. В том же 1922 г. выданы патенты: В. Р. 179567 и В. Р. 180081 по изготовлению суспензии с добавкой стабилизаторов в воде солей жирных кислот.

За 1923 г. отметим патенты Ледбитера (В. Р. 191201) по использованию коллоидных мельниц и Берла (В. Р. 195408) по применению различных стабилизаторов.

В 1925 г. выдан патент на приготовление суспензий с антраценовым маслом (В. Р. 237959). В. Р. 270702 выдан на смеси для двигателей внутреннего сгорания. Суспензия на легких маслах готовится согласно патенту В. Р. 277659; топливо получают нагреванием каменного угля и жидких углеводородов до температуры размягчения угля под давлением, достаточным для воспрепятствования превращения в парообразное состояние. Например: 1 фунт угля, измельченного до 500—1000 меш, и два фунта бензола или нефтяного масла нагревают от $\frac{1}{4}$ до нескольких часов при температуре около 400° под давлением в перегонном аппарате, снабженном мешалкой, для лучшего перевода угольных частиц в дисперсное состояние; применимы также спирты и другие растворители. По патенту 281240 Бэтс описывает аппарат и метод обработки суспензии водородом при давлении 10 атмосфер.

Для получения стабильных гелей добавляют соли по патенту В. Р. 286260 (1923).

В продолжение патентов, выданных Бэтсу еще в 1922 г., по патенту В. Р. 2192673 вязкость жидкой среды достигается окислением при про-

дувке воздухом; дополнительный аналогичный патент этой же компании выдан в 1930 г. (В. Р. 332343).

Патент В. Р. 317981 описывает вальцы для получения суспензий.

Одним из более ранних патентов на размол углей в водной среде в присутствии защитных коллоидов является В. Р. 366128 (1932). Пароходная компания Кэнар в патентах В. Р. 396432 и 409422 указывает на применение мазутов, дающих определенный остаток кокса; эта фирма использует патенты, выданные Бэтсу в 1921 г.

Смеси твердых порошковых топлив с жидким за короткое время носили самые разнообразные названия, особенно после того, как физико-химики опротестовали термин «коллоидальное топливо». В практике морских пароходных фирм с 1932 г. прививается термин «комполит»; под этим термином в 1932 г. Тод получил патент В. Р. 401820 на способ получения топлива композит, состоящий в том, что уголь или кокс смешивается с нефтью в такой пропорции, чтобы удельный вес смеси был больше удельного веса соленой воды (морской), но не больше 1.10.

Некоторые затруднения в смешивании порошковых топлив с жидкими еще и до сих пор привлекают внимание изобретателей; в 1934 г. выданы патенты на смесители: В. Р. 406675 и 408684, в настоящее время не имеющие особого интереса.

На стабилизаторы выдан ряд патентов: В. Р. 406467; 408951; 417352 (1933); 426732 (1933).

Патенты 406467 и 417352 выданы Радио-химическому исследовательскому институту по применению солей олеиновой, стеариновой и пальмитиновой кислот, стеарина и других материалов, желатинизирующих спирт или нефть, также вазелинов с добавкой или без добавки аммиака при продувке воздухом, азотом или аммиачным газом; уголь должен проходить через сито № 70.

По патенту 408951, выданному Робертсу, в качестве стабилизаторов применяют крахмал и ускорители сгорания с добавкой воды. Оригинальный метод Виндгема охраняется патентом В. Р. 410883.

Стривенс и Гадфильд в патенте В. Р. 426732 указывают на применение резины (вулканизированной и невулканизированной) в качестве стабилизатора.

Получение суспензий с тонким зерном охраняется патентом, выданным Бристову и Полу, В. Р. 422628 (1935).

Робертс в 1934 г. получил следующие три патента: В. Р. 433348. По этому патенту жидкое топливо, как, например, нефть или углемазутная смесь, стабилизируется крахмалом или казеином, как материалами, не растворимыми ни в воде, ни в нефти с добавкой 10% воды. В углемазутных смесях угольная суспензия стабилизируется также крахмалом или казеином с добавкой хлористого натрия с целью облегчения зажигания угольных частиц; добавляется также нафталин, и смешивание проводят на быстроходной мельнице; добавками, влияющими на горение, являются: соединение бора с вольфрамом, боросиликаты, кальциевые и алюминиевые соединения бора, окислы железа, хлористый алюминий, никкель и кобальт. Как пример приводится: 40 фунтов угля, не дающего остатка на сите 200 меш, смешиваются с 55 фунтами нефтяного масла и с 0.2 г казеина в 90 г воды с добавкой 1% боросиликата, также добавляют 0.25—0.975% хлористого натрия.

По патенту 434180 к углемазутной смеси добавляют нерастворимые в воде соединения бора с целью повлиять на сгорание и повысить температуры за счет эффективности сгорания; также может быть добавлено 10% воды, а с целью понижения вязкости — нафталин, и все смешивают на быстроходной мельнице; добавляют также стабилизаторы по патенту 438351, кроме добавки борнокислых солей, добавляют эмульгаторы: желатин, битумы, нафтенаты. Наличие воды в суспензии повышает ее вязкость, а также устойчивость, особенно в присутствии щело-

чей, и хотя этот факт отмечен уже давно, тем не менее, патенты аналогичного характера продолжают получать.

По патенту В. Р. 454796 (1935) устойчивые суспензии получают при наличии воды 2—15% и жидкого стекла.

Патент В. Р. 487929 (1938) выдан на смеситель, а В. Р. 493480 на измельчение в жидкостях.

Американские патенты. Уже в 1904 г. был выдан патент 776365 на приготовление смеси угольного порошка, черной патоки и спирта.

Патенты, выданные Гранстриту, указывают на значение продувки воздухом: 1431225 (1922), 12321178 (1922), 1623241 (1922).

По патенту 1681335 применяют щелочи. Вальтер Трент имеет также американские патенты 1838884.

Пропускание нагретых смесей через коллоидную мельницу указано в патенте 1899811. Патенты 1899981 и 19005060 используют методы химической обработки.

Патент Куперов 1925005 (1924) защищает растворяющее действие гудрона. По патенту 1995911 добавляют нитроклетчатку к топливу.

Германские патенты. Мы здесь приведем патенты, не указанные в числе вышеприведенных и наиболее интересные. В Германии углемазутные смеси готовят преимущественно с использованием бурых углей, и потому патентные заявки носят несколько своеобразный характер, где подчеркивается роль набухания углей и значение гуминовых соединений; в германских патентах чаще, чем в других, указывается на использование для приготовления смесей каменноугольных масел.

В патенте, выданном Карплусу, № 400062 указано на применение в качестве защитных коллоидов алюминиевых или железных солей гуминовых кислот и, как пример, приводится следующий рецепт:

- 9 кг алюминиевой соли гуминовой кислоты,
- 108 > каменноугольного масла,
- 18 > каменноугольного пека,
- 80 > угольной пыли.

Сименс и Гальске в патенте 415170 используют метод измельчения выпуском смеси из сосуда под высоким давлением.

Фирма Рибен в 1925 и 1928 гг. получила патенты 444420 и 453465, где придается значение фенолам и фенолятам, а также азотным соединениям.

Гильдебрандт получил в 1930 г. патент 490273 кл. 12-е на аппарат для помола до коллоидного состояния.

Патент 5033331 кл. 23 г 4 предусматривает получение суспензий угольного порошка в спирте с добавкой минеральных и органических оснований. По патенту 551708 предлагается смешивать уголь сначала с растительным маслом, особенно гидрованным, а потом с минеральным.

Машиностроительный завод Балке по патенту 574381 использует применение коллоидной мельницы (745506).

Купперс по патенту 579033 диспергирует уголь в маслах, содержащих серу и конденсирующие агенты (хлористый цинк). Следует заметить, что сернистые соединения часто указываются в патентах, как играющие роль стабилизатора. В наших работах нами отмечено, что крекированные ишимбаевские мазуты дают весьма стойкие суспензии.

Павликовскому выдан патент 620259 кл. 25 (1932) на приготовление смесей для двигателей внутреннего сгорания. Патент 648760 указывает метод приготовления смеси из угольного порошка, воды и смол.

Плаусон в 1938 г. получил новый патент 664915 кл. 50 с. на коллоидную мельницу.

Патент 669864 кл. 12 с предлагают для сохранения гомогенности малоустойчивых суспензий специальный аппарат.

Методы получения малозольных суспензий указаны в ряде патентов: 676045 кл. 1 с гр. 3; 686980 10 а; 690811 1 с (1936); 692683 1 с.

Французские патенты. В большинстве принадлежат перечисленным нами иностранным фирмам, и мы их не повторяем.

Патент 792874 предусматривает изготовление дисперсии добавкой резината кальция в присутствии смоляных известковых мыл и при дальнейшей добавке хлористого кальция.

Получение суспензии с использованием центрофуг описано в патенте 843688 (1938).

ЛИТЕРАТУРА

1. J. Soc. Chem. Ind., № 39, стр. 395, 413 (1920).
 2. Chem. Age, № 3, стр. 558 (1920).
 3. В. Р. 153209 (1922).
 4. В. Р. 161919 (1922).
 5. Dunn J. T. Pulverized Fuel, Colloidal Fuel (1924).
 6. Hawey L. C. Pulverized Fuel, Colloidal Fuel (1924).
 7. В. Р. 154605.
 8. В. Р. 160754.
 9. Steam Engineer, март, № 6, стр. 248 (1935).
 10. В. Р. 410883.
 11. Colliery Engineering, стр. 124 (1936).
 12. " " " " стр. 200 (1936).
 13. " " " " стр. 275 (1936).
 14. Известия ВТИ, № 5 (1940).
-

ГЛАВА VI

ИСПОЛЬЗОВАНИЕ УГЛЕМАЗУТНЫХ СМЕСЕЙ В КОТЕЛЬНЫХ И ПЕЧНЫХ АГГРЕГАТАХ

ТРАНСПОРТ УГЛЕМАЗУТНЫХ СМЕСЕЙ

Раньше мы уже указывали, что вязкость углемазутных смесей зависит от их концентрации и при концентрации 30% превышает вязкость входящего в них мазута в 4—5 раз (при той же температуре), а при концентрации 40% — в 8—10 раз. В то же время при подогреве смесей вязкость стремительно падает. Для перекачки углемазутных смесей насосом при передаче их по трубам требуется подогрев их.

На близком расстоянии от питающего бака углемазутные смеси при соответствующем подогреве могут передаваться самотеком, а на более значительные расстояния надо подбирать соответствующий насос.

При постановке нами опытов по применению углемазутных смесей в мартеновских печах на заводе «Серп и молот» А. К. Скрябиным было тщательно изучено поведение суспензий в трубах и работа насосов.

Опыты по перекачке углемазутной смеси на установке завода «Серп и молот» имели целью:

а) Получение гидравлических характеристик трубопровода при разной температуре суспензии, т. е. установление зависимости между потерей напора в трубопроводе и средней скоростью течения суспензии в трубе.

Перепад давления в зависимости от секундного расхода определялся посредством ртутных дифманометров, оборудованных железными уравнительными сосудами цилиндрической формы (рис. 45). Назначение этих сосудов состояло в том, чтобы устранить возможность попадания суспензии в подводу к дифманометрам. Для регулировки положения поверхности раздела суспензии и воды в уравнительном сосуде последний был снабжен сверху и снизу кранами.

Секундный расход суспензии и скорость регулировались вентилем, установленным на трубопроводе перед мерными баками. Измерение расхода производилось посредством мерных баков, оборудованных

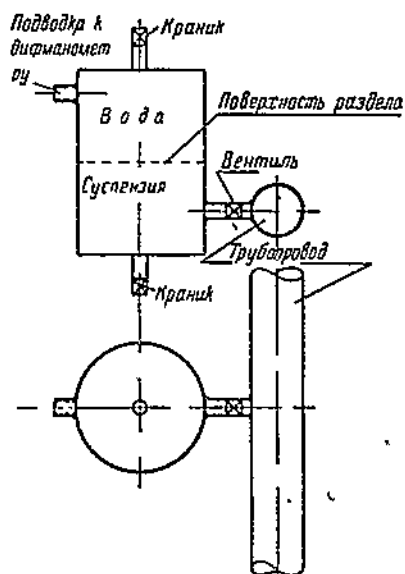


Рис. 45. Схема уравнительного сосуда

поплавками, и посредством острой диафрагмы, предварительно протарированной на суспензии.

Во избежание толчков от насоса в начале трубопровода стоял большой ресивер с перегородкой. Ресивер показал высокие качества работы.

б) Получение гидравлических характеристик фитингов (кран, тройник и угольник). Применяемая аппаратура при этом была та же самая, что и при получении характеристик трубопровода. Только дифманометры были залиты не ртутью и водой, а керосином и водой, и позднее керосин был заменен четыреххлористым углеродом. Это обеспечивало требуемую точность измерения.

в) Получение гидравлических характеристик поршневого насоса при разной концентрации и температуре суспензии. Насосы были обычного типа — Вартингтон. Давление после насосов измерялось пружинными манометрами Бурдона.

г) Измерение температурного поля, скоростного и поля концентраций в трубопроводе. Для измерения температурного поля была изготовлена комбинированная термопара на 9 точек сечения трубы; термоэлементы были медно-константановые. Каждый термоэлемент был протарирован. Трубки Пито применялись для измерения скоростного поля и для отбора пробы суспензии на предмет определения концентрации по сечению трубы. В последнем отношении они вполне себя оправдали, но в отношении определения скоростного поля они не дали положительного результата, что объясняется незначительными скоростями в трубопроводе (не выше 0,5 м/сек.).

д) Изучение осаждаемости угольной пыли в трубопроводе. Для этой цели в определенных пунктах трубопровода, преимущественно около фитингов, в местах сопротивления, были установлены стационарные пробоотборники, представляющие собой приваренные муфты с кранами.

е) Измерение средней температуры по длине трубы. Для этой цели в соответствующих точках трубопровода были поставлены гильзы для термометров. Эти гильзы опускались на глубину 2/3 диаметра трубы и таким образом обеспечивали измерение средней температуры в данном сечении. Во время опытов в гильзы наливалось небольшое количество масла.

Описание экспериментальной трассы по изучению транспорта углемазутной смеси. Производственная и экспериментальная трасса по перекачке углемазутной смеси состояла из труб диаметром 2 1/2" и 3".

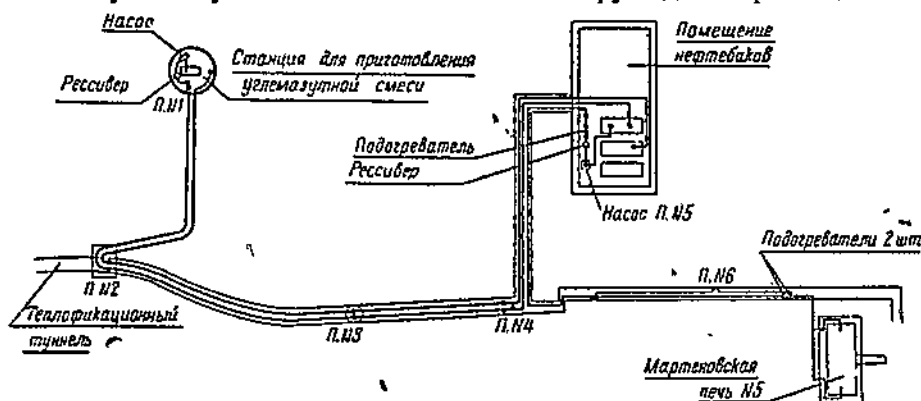


Рис. 46. Схема трассы передачи углемазутной смеси

проложенных по туннелю и отчасти непосредственно в грунте. Все трубы были покрыты теплоизоляционным слоем. Расположение трубопроводов и измерительной аппаратуры изображено на рис. 46.

На трассе было 6 наблюдательных пунктов, оборудованных аппаратурой.

От п. № 1 до п. № 4 трубы диаметром $2\frac{1}{2}$ " были проложены в две нитки. По первой трубе велась перекачка мазута из мазутного нефтебака на станцию по приготовлению углемазутной смеси, по второй трубе диаметром $2\frac{1}{2}$ " углемазутная смесь перекачивалась из п. № 1 через п. № 5 в нефтебаки.

От нефтебаков (п. № 5) до п. № 6 в мартеновской печи труба диаметром 3" была проложена в одну нитку. По этой трубе производилась перекачка углемазутной смеси из п. № 5 в мартеновскую печь.

Часть трассы от п. № 1 до п. № 2 была проложена непосредственно в грунте и обогревалась специальным паропроводом диаметром $1\frac{1}{2}$ ". Трубопровод диаметром $2\frac{1}{2}$ " и паропровод диаметром $1\frac{1}{2}$ " были изолированы одним общим теплоизоляционным слоем.

Начиная от п. № 2 и кончая п. № 4, трасса проходила по обогреваемому теплофикационными трубами туннелю. Трубы в этой части были также покрыты теплоизоляцией.

Что касается трубы диаметром 3" от п. № 3 и до п. № 6, то она проходила по необогреваемой части канала, поэтому для обогрева нефтепровода параллельно ей пришлось проложить паропровод диаметром $1\frac{1}{2}$ ". Паропровод диаметром $\frac{1}{2}$ " и нефтепровод диаметром 3" были покрыты общим слоем теплоизоляции.

Основным наблюдательным и рабочим пунктом являлся п. № 1. В этом пункте были установлены два поршневых насоса типа Вортингтона: один — рабочий, другой — запасной, приводимые в действие паром. Во избежание толчков и вибраций в показании приборов один насос оборудован воздушным колпаком (рессивером) в виде цилиндра. Рессивер был изготовлен с перегородкой, назначение которой состояло в том, чтобы непосредственно принимать на себя толчки, идущие от поршней насоса. До и после колпака были установлены манометры.

В п. № 1 производилось измерение перепадов давления в трех фитингах (колено, тройник, кран) и в диафрагме. Дифманометры, которыми производилось измерение перепада, оборудованы разделительными сосудами. Присоединение сосудов к трубопроводу осуществлялось посредством вентилей и боковых штуцеров.

Кроме диафрагмы, измерение расхода могло производиться объемным способом посредством мерных баков. В п. № 1 имелись гильзы для установки термометров, измерявших температуру углемазутной смеси после насосов и до насосов в приемном баке.

Другим важным наблюдательным пунктом являлся п. № 2, представляющий собой колодец. В этом колодце имеется следующая измерительная аппаратура:

а) два дифманометра для измерения перепада давления на прямолинейных участках труб диаметром $2\frac{1}{2}$ " от п. № 2 до п. № 3; эти дифманометры, как и все другие, оборудованы разделительными сосудами.

б) один манометр для измерения давления;

в) термopapa, комбинированная для измерения температурного поля по сечению трубы;

г) трубка Пито с микродифманометром для измерения поля скоростей; эта же трубка служила для отбора проб на концентрацию углемазутной смеси по сечению трубы с целью измерения поля плотностей;

д) две гильзы термометров для измерения средней температуры по сечению трубы;

е) один пробоотборник по изучению угольного осадка в трубах.

В п. № 3 была установлена следующая измерительная аппаратура:

а) один дифманометр, предназначенный для измерения перепада давления на мазутопроводе;

- б) три гильзы для термометров для измерения средней температуры в трубах;
- в) два манометра;
- г) пробоотборник для улавливания осадка угля в перемычке между мазутопроводом и смесепроводом.

Примечание. Перемычка устанавливается для той цели, чтобы иметь возможность вести перекачку по замкнутому трубопроводу через пп. № 1, 1а, 2, 3 и 1.

При пользовании перемычкой дифманометры в п. № 2 соответственно переключаются, и определение потери напора на прямолинейных участках труб производится по разности перепадов между двумя дифманометрами, один из которых показывал местное сопротивление в перемычке, а второй — полное сопротивление во всем экспериментальном U-образном участке.

В п. № 5 установлен поршневой насос типа Вортингтона, предназначенный для подачи углемазутной смеси в мартеновскую печь. Насос оборудован воздушным колпаком. До колпака и после него установлены манометры.

Методика экспериментирования. Опыты по излучению перекачки обычно велись на нормальной суспензии, предназначенной для сжигания в мартеновской печи и приготовленной накануне опытов. Схематическое изображение главной части экспериментальной трасы дано на рис. 47. Как видно, опытная установка по перекачке состоит из цирку-

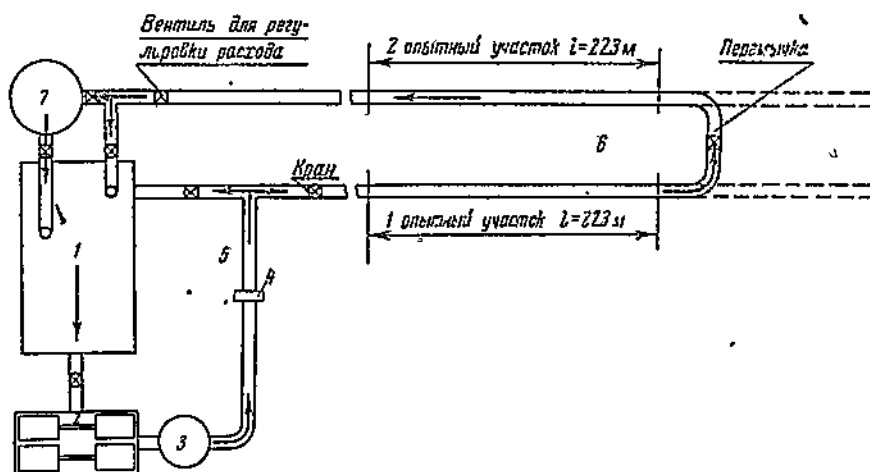


Рис. 47. Схема установки по изучению перекачки углемазутной смеси

ляционного бака 1, поршневого насоса 2, ресивера 3, диафрагмы 4, короткого замкнутого трубопровода 5, длинного рабочего замкнутого трубопровода 6 и мерного бака 7.

После пуска поршневого насоса перед началом опытов перекачка велась в круговую по короткому замкнутому трубопроводу. Это делалось с той целью, чтобы привести углемазутную смесь в однородное состояние и выравнять температуру в циркуляционном баке. По выполнении этой операции открывался кран в длинный замкнутый рабочий трубопровод, а короткая перепускная линия постепенно выключалась.

Углемазутная смесь направлялась по главному рабочему трубопроводу до перемычки, от перемычки возвращалась по мазутопроводу и, по мере надобности, стекала либо в циркуляционный бак, либо направлялась в мерное устройство.

Измерительная аппаратура на опытных участках трубопровода не выключалась до тех пор, пока не наступал в трубопроводе стационарный режим. После наступления стационарного режима вентили, ведущие к измерительной аппаратуре, открывались, и делалась проверка правильности показания дифманометров на нулевом расходе. Затем вентиль, регулирующий расход, открывался полностью, и, по достижении стационарного режима, начинались опыты, обычно с максимального расхода.

Запись показания приборов производилась по сигналу одновременно во всех наблюдательных пунктах. Для получения гидравлической характеристики трубопровода или насоса обычно делалось от 8 до 10 замеров, при разных скоростях в трубопроводе. Скорость регулировалась посредством вентиль, расположенного перед циркуляционным баком, либо краном в начале трубопровода.

Перед каждым отдельным замером выжидался стационарный режим и проверялась температура суспензии. Иногда, при получении характеристики насоса, им пользовались короткой перепускной линией, что позволяло иметь, вследствие небольшого сопротивления, весьма большие расходы.

Измерение расхода углемазутной смеси по трубопроводу велось одновременно с записью показания приборов на трубопроводе. При измерении расхода мерными баками, в связи с длительностью замера, на приборах, измеряющих давление, делалось по несколько записей, и от этих нескольких показаний, в случае колебания, бралось среднее арифметическое значение.

Благодаря строго выдержанному стационарному режиму, эти колебания либо совсем отсутствовали, либо были весьма незначительными.

Результаты измерения температуры суспензии по длине опытных участков трубопровода привели к убеждению, что благодаря теплоизоляции трубопровода и высокой температуре канала, движение углемазутной смеси на опытном участке было почти изотермическое. Разница в показаниях термометров в начале опытного участка и в конце не превышала 1° .

К тому же самому заключению можно было прийти и по наблюдению температурного профиля в трубе, который указывал на весьма незначительный перепад лишь вблизи стенки трубы. Это убеждает в том, что условия течения были близки к изотермическим.

Поэтому, при обработке экспериментального материала и при вычислении физических констант суспензии было использовано уравнение асимптоты бингамовской кривой, а именно:

$$P = \frac{32 l \eta}{d^3} v + P_0,$$

$$P_0 = \frac{16 l \theta_0}{3d},$$

где P — перепад давления в кг/м^2 , l — длина трубопровода в м , d — диаметр трубы в м , v — средняя скорость в м/сек , η — вязкость суспензии в технической системе единиц кг сек/м^2 , P_0 — начальное давление сдвига в кг/м^2 , θ_0 — начальное напряжение сдвига в кг/м^2 .

Следовательно, в основу дальнейших расчетов целесообразно положить формулу:

$$P = \frac{32 l \eta}{d^3} v + \frac{16 l \theta_0}{3d}.$$

Принимая во внимание, что

$$\eta = \frac{C_1}{\left(\frac{v}{100}\right)^{3.5}},$$

$$\theta = \frac{C_2}{\left(\frac{t}{100}\right)^{3.5}},$$

основная расчетная формула переписывается так:

$$P = \frac{32}{d^3} l \eta v \left(1 + \frac{C_2 d}{C_1 v}\right).$$

По данным опытов, проведенных в 1938 г. во ВТИ (работ Скрябина А. К. и Дворецкого А. И.), коэффициенты C_1 и C_2 соответственно равняются:

$$C_1 = 1.005 \text{ и } C_2 = 5.85,$$

поэтому расчетная формула примет следующий удобный для подсчета вид:

$$P = \frac{32}{d^3} l \eta v \left(1 + 0.97 \frac{d}{v}\right).$$

В практических расчетах коэффициент 0.97 можно заменить единицей.

Пример подсчета. Предположим, что вязкость суспензии при $t = 50^\circ \text{C}$ равняется $\eta = 7.66$ пуаз или

$$\eta = \frac{7.66}{98.1} = 0.0784 \text{ кг/сек/м}^2.$$

Часовая производительность $Q = 2000$ кг/час, удельный вес $\gamma = 1048$, длина трубы $l = 300$ м, диаметр трубы $d = 0.067$ м (2.5"), средняя скорость течения при температуре $t = 50^\circ \text{C}$ равняется:

$$v = \frac{4Q}{\pi d^2 \gamma} = \frac{4 \cdot 2000}{3600 \cdot 3.14 \cdot 0.067^2 \cdot 1.048} = 0.15 \text{ м/сек.}$$

В результате подстановки в последнюю формулу, после вычисления получается следующий перепад давления:

$$P = \frac{32 \cdot 300 \cdot 0.0784 \cdot 0.15}{0.067^3} \left(1 + 0.97 \frac{0.067}{0.15}\right).$$

$$P = 2.5 \cdot 10^4 \left(1 + 0.44\right) \text{ кг/м}^2,$$

или:

$$P = 2.5 (1 + 0.44) = 3.6 \text{ кг/см}^2.$$

Касаясь методики измерения температуры суспензии, следует сказать, что запись показаний гальванометра, при включении его на каждую из 9 точек термопары, производилась обычно при стационарном режиме. В случаях нестационарного режима переключение от одной точки на другую делалось настолько быстро, что за промежуток времени, соответствующий записи, температура практически оставалась неизменной.

Большая чувствительность комбинированной термопары, благодаря малой инерционности термоэлементов, обеспечивала быстроту переключения с одной точки на другую. При измерении температуры по длине рабочего участка посредством термометров, погруженных в гильзы, приходилось следить за тем, чтобы уровень масла в гильзе не превышал длины ртутного пузырька термометра.

Что касается вопроса об изучении осадков угольной пыли в трубопроводе, то отбор проб из пробоотборников производился обычно либо по прошествии двух шестидневок, либо после длительной остановки работы станции.

где S — безразмерный параметр,
 Q — секундный расход, в $\text{м}^3/\text{сек}$,
 P — перепад давления, в $\text{кг}/\text{м}^2$,
 l — длина трубопровода, в м ,
 d — диаметр трубопровода, в м ,
 η — вязкость суспензий в начале трубопровода, в $\text{кг сек}/\text{м}^2$,
 θ — предельное напряжение сдвига суспензии в начале трубопровода, в $\text{кг}/\text{м}^2$,

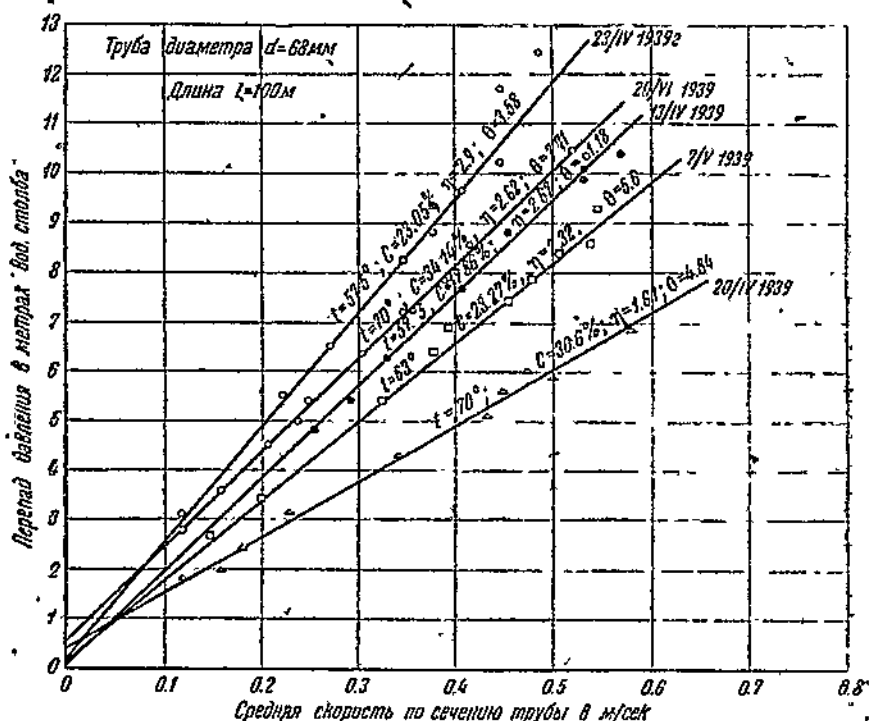


Рис. 49. Гидравлические характеристики трубопроводов при пересчете на 100 м длины

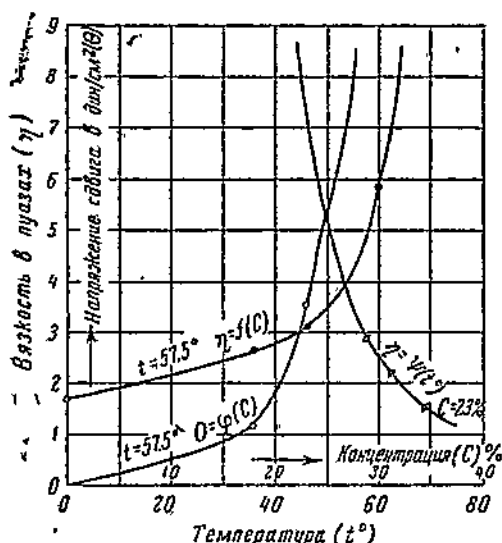


Рис. 50. Зависимость η и θ от температуры и концентрации суспензии

γ — удельный вес суспензии, в $\text{кг}/\text{м}^3$,
 t_0 — начальная температура суспензии, в градусах Цельсия,
 t_c — температура среды, в градусах Цельсия,
 k — коэффициент теплопередачи от суспензий к окружающей трубопровод среде, в $\text{кал}/\text{м}^2 \text{ } ^\circ\text{C час}$.
 c — теплоемкость суспензии, в $\text{кал}/\text{кг } ^\circ\text{C}$,
 n — показатель степени, в эмпирических формулах

$$Q = \frac{C_1}{\left(\frac{l}{100}\right)^n} \quad Q = \frac{C_2}{\left(\frac{l}{100}\right)^n}$$

определяющих зависимость вязкости и предельного напряжения сдвига от температуры; в пределах температуры от 50° до 90° С. эти показатели имеют значения, равные 3.5.

Гидравлические характеристики насосов и фитингов. Паровой прямодействующий насос типа Вортингтон на углемазутной смеси работал три месяца. За этот период времени ни одной поломки не было. Гидравлические характеристики этого насоса иногда получались одновременно с характеристиками трубопровода.

Из-за большого сопротивления в рабочем трубопроводе и незначительного давления пара в насосе, производительности выше 7 м³/час, нам не удавалось иметь. Однако в тех случаях, когда перекачка велась по короткому замкнутому трубопроводу, мы достигали производительности до 10 м³/час, несмотря на то, что давление пара было от 2 до 3.5 ата. Тяжелые производственные условия не позволили нам организовать съемку индикаторных диаграмм насоса. По этой же причине нам не удалось произвести измерение расхода пара.

Опытные данные по изучению работы поршневого насоса приведены в табл. 21 и 22.

Данные по изучению сопротивления в фитингах приводятся в табл. 23. Табл. 21, 22 и 23 настолько просты, что не нуждаются в каких-либо пояснениях. На рис. 51 построены характеристики двух фитингов, а именно крана диаметром 2" и тройника диаметром 2". Опытов с угольником не удалось провести.

Таблица 21

Опыт 13/IV 1939 г. Характеристика насоса Q—H. Вязкость $\eta=1.3$
Концентрация C=15.48%. Давление пара 2.3 ата

№	Температура углемазутной смеси, в °С	Перепад давления на диафрагме, в мм рт. ст.	Секундный расход, в л	Давление углемазутной смеси после насоса, в кг/см²
1	58	700	3.14	1.0
2	74	740	3.24	1.0
4	74	640	3.07	1.2
4	74	485	2.62	1.5
5	74	425	2.45	1.7
6	74	310	2.16	1.9
7	74	168	1.54	2.2
8	74	74	1.03	2.5
9	74	90	1.13	2.45
10	74	110	1.245	2.3
11	74	58	0.904	2.5
12	74	0	0	3.0
13	74	21	0.58	2.6

Таблица 22

Опыт 20/IV 1939 г. Характеристика насоса Q — H. Концентрация C = 24.14%
Вязкость $\eta = 1.82$ пуаза.

№	Температура, °C	Перепад на диафрагму, в мм рт. ст.	Секундный расход, в л	Давление, в кг/см ²	Давление пара, в ата
1	63	545	2.77	0.8	1.9
2	65	600	2.92	0.9	2.0
3	65	635	2.76	1.0	2.0
4	65	543	2.77	1.0	—
5	65	595	2.79	1.1	2.1
6	65	479	2.61	1.2	2.1
7	65	499	2.55	1.1	2.1
8	65	385	2.33	1.09	2.0
9	65	280	2.00	1.1	2.0
10	65	290	2.03	1.3	1.9
11	65	285	1.01	1.1	1.9
12	65	194	1.66	1.3	1.9
13	65	178	1.59	1.3	1.9
14	65	115	1.28	1.4	1.9
15	65	66	0.667	1.5	1.9

Таблица 23

Опыт 31/X 1939 г. Вязкость $\eta = 3.14$ пуаза. Концентрация C = 27.1%

№ п/п.	Температура, °C	Перепад на диафрагме, в мм рт. ст.	Перепад дав- ления на за- дающие	Секундный расход, в л	Перепад дав- ления на кра- ние, в мм вод. ст.	Перепад дав- ления в трой- нике, в мм вод. ст.	Давление пара, в ата	Давление на- соса, в ата	Скорость, в м/сек
1	58	120	11.0	1.3	0.21	0.138	3.8	4.0	0.66
2	58	138	11.8	1.4	0.22	—	4.0	4.4	0.71
3	58	198	14.1	1.67	—	—	4.6	5.2	0.86
4	58	238	15.5	1.84	0.30	—	4.8	5.5	0.94
5	58	195	14.0	1.66	0.30	0.170	5.0	4.4	0.84
6	58	170	13.0	1.54	0.26	—	4.4	4.9	0.78
7	59	132	11.5	1.36	0.24	—	3.7	4.3	0.69
8	59	112	10.6	1.26	—	—	3.8	4.6	0.64
9	59	95	9.7	1.15	0.205	0.120	3.8	4.6	0.58
10	59	85	9.2	1.09	0.20	—	3.6	4.3	0.55
11	59	57	7.55	0.89	0.15	0.078	3.6	4.4	0.45
12	60	15	3.87	0.46	0.09	0.048	3.9	4.8	0.23
13	60	150	12.3	1.46	—	—	3.5	3.8	0.74
14	60	120	11.0	1.3	—	—	3.0	3.4	0.66
15	61	105	10.5	1.24	0.196	—	3.1	3.2	0.63
16	61	132	11.5	1.35	0.24	—	3.6	4.0	0.69
17	61	75	8.65	1.02	0.18	—	3.8	4.6	0.52
18	61	25	5.0	0.89	0.10	0.058	4.3	5.5	0.30
19	61	260	6.2	1.92	0.31	0.195	4.6	5.1	0.97
20	61	140	11.8	1.4	—	—	4.7	5.7	0.71
21	61	80	8.9	1.05	—	—	4.3	5.3	0.53

Как видно, характеристики фитингов, представляют собой прямые, проходящие через начало координат, т. е. у них отрезок H_0 равен нулю, что вполне естественно, так как отрезок пропорционален расстоянию между точками отбора давления. Расстояние это для фитингов настолько незначительно, что величину отрезка H_0 возможно выявить, и она практически равна нулю.

Ввиду того, что давление пара в заводских условиях в течение рабочего дня все время менялось, выявить количественно влияние концентрации и вязкости на характеристики насоса было невозможно.

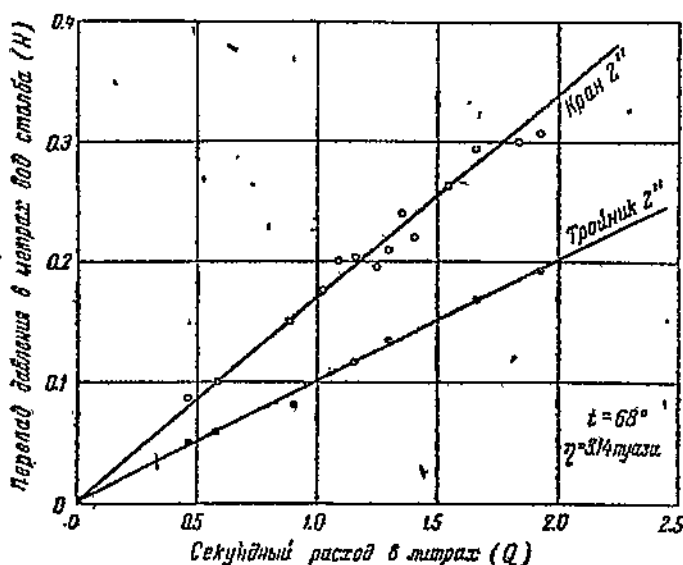


Рис. 51. Гидравлические характеристики

Чтобы иметь все-таки некоторое представление о влиянии этих факторов на к. п. д. насосов, ниже приводятся характеристики центробежного и червячного насоса, установленные в результате опытов, проведенных во ВТИ.

На рис. 52 изображены графики мощности потребляемой центробежным насосом, в зависимости от секундного расхода, для опытов на воде, чистом мазуте и на суспензии 28% концентрации, при разной температуре и вязкости последней.

Соответствующие кривые к. п. д. изображены на рис. 53.

На основании приведенных кривых можно прийти к заключению, что с увеличением вязкости к. п. д. насосов весьма понижается. Но это, повидимому, справедливо лишь по отношению к центробежному и червячному насосам. Что касается поршневого насоса, то это менее заметно. В этом можно убедиться, из сопоставления характеристик $Q-H$ поршневого центробежного и червячного насосов (рис. 54).

Характеристики $Q-H$ центробежного насоса, полученные на воде и мазуте, по своей форме не отличаются от характеристик поршневого насоса, полученных на суспензии.

Однако, если обратиться к сравнению характеристик центробежного насоса, полученных на углемазутной смеси, с теми же характеристиками поршневого насоса, то разница огромная. В случае центробежного насоса давление с увеличением производительности очень резко падает, в то время как на поршневом насосе это очень мало заметно.

Несомненно, что поршневой насос для перекачки углемазутной смеси является экономически наиболее выгодным. На протяжении трех

месяцев никакого ухудшения в работе не было заметно, в то время как при работе на центробежном насосе во ВТИ были случаи забивания каналов рабочего колеса угольной пылью.

Температурное поле, поле концентрации по сечению трубы и вопрос об осаждаемости в трубопроводе. Трубопровод, по которому велась перекачка, был покрыт теплоизоляцией. Результаты опытов по изучению температурного поля и поля концентраций по сечению трубопровода приведены в табл. 24.

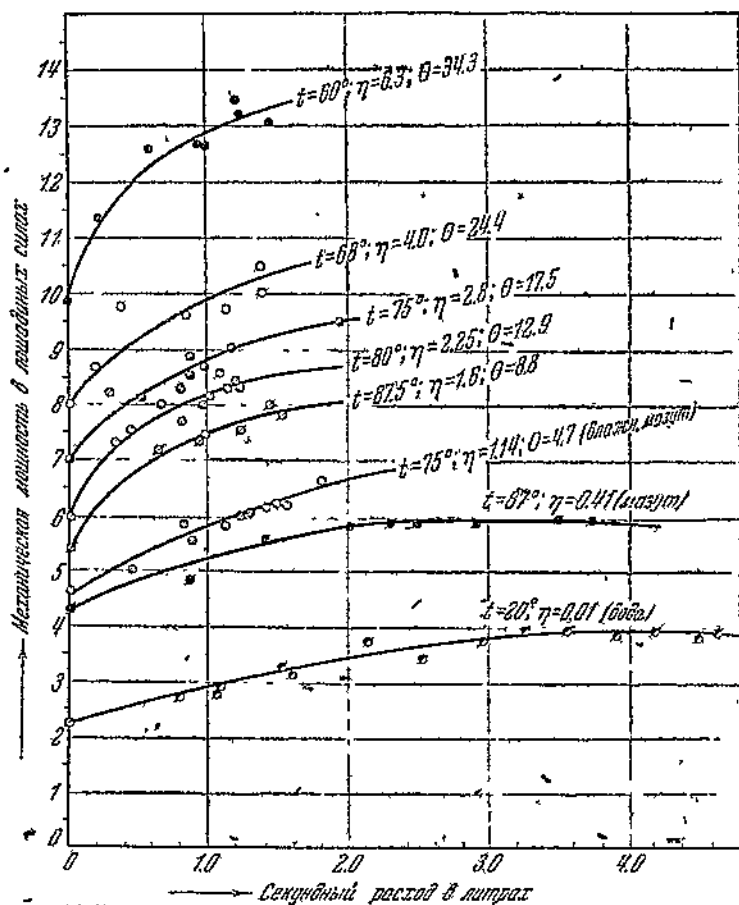


Рис. 52. Графики мощности насоса в зависимости от расхода суспензии

Из таблицы видно, что величина концентрации изменяется по сечению трубы от 25 до 40%, причем наибольшее изменение падает на нижнюю четверть диаметра трубы.

Это указывает на наличие слоя суспензии на дне трубы с концентрацией до 40%. Принимая во внимание, что до начала опытов суспензия в трубопроводе находилась в состоянии неподвижности в течение 5 дней, такой перепад концентрации не является значительным. В полном соответствии с профилем концентрации после пуска суспензии по трубопроводу изменялся профиль температуры. В первые моменты после пуска температура суспензии на дне трубы была значительно ниже, чем в средней части трубы. Такая заниженность температуры была заметна в течение 20—30 мин. после начала перекачки.

Очевидно вследствие повышенной концентрации скорость течения суспензии в нижней части сечения трубы была значительно ниже, чем

в центре. Поэтому смена холодных слоев суспензии в нижней части сечения трубы протекала медленнее, чем это было в средней и верхней

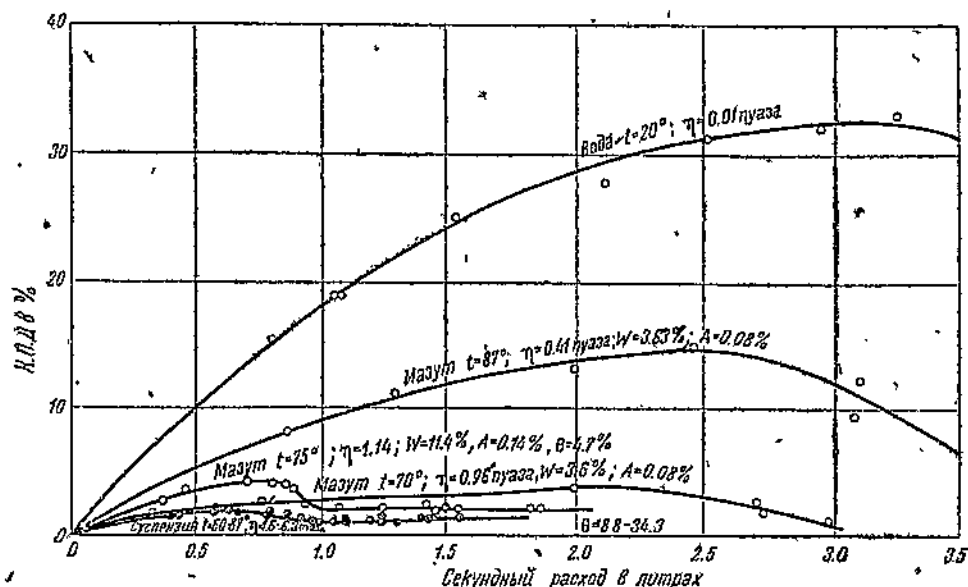


Рис.53. Кривые к. п. д. насоса в зависимости от расхода суспензий

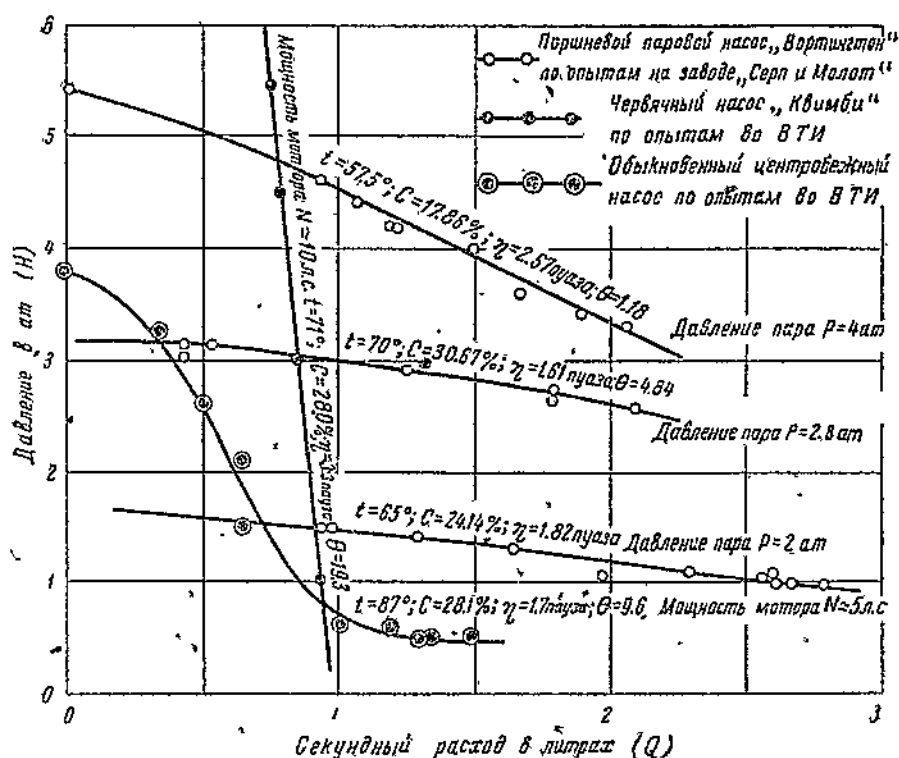


Рис. 54. Характеристики насосов

части. Кроме того, меньшая теплопроводность угольного порошка, повидимому, также способствовала замедленному росту температуры.

Однако по прошествии 40—60 мин. после начала перекачки про-

филь температуры становился симметричным, и перепада температуры почти не было заметно. То же самое обнаруживалось по отношению к профилю концентрации, т. е. перепад концентрации после достаточно длительного промежутка перекачки совершенно исчезал.

Таким образом, можно прийти к выводу, что с течением времени перекачки концентрированный слой суспензии на дне трубы постепенно исчезает. Поток углемазутной смеси становится выравненным не только по концентрации, но и по температуре, что, очевидно, одно с другим является в какой-то мере связанным.

Измерение температуры и концентрации по длине трубы не показало заметного изменения. Что касается вопроса об осадках угольного порошка на участках местного сопротивления, то сказать, что там никакого осадка нет, нельзя.

Для этого следовало бы разобрать трубопровод, что в заводских условиях сделать невозможно. Но тот факт, что трубопровод в течение трех месяцев работал нормально и не было заметного увеличения сопротивления с течением времени, говорит о том, что перекачивать углемазутную смесь по трубопроводам можно. Само собой разумеется, что трубопроводы должны прокладываться по возможности по прямой линии, без наличия мертвых зон, а на участках местного сопротивления должны предусматриваться отверстия на предмет очистки в случае засорения.

На основании проведенных испытаний по транспорту углемазутной смеси по трубопроводам на установке завода «Серп и молот» получены следующие результаты.

1. Опытами по перекачке, проведенными на установке завода «Серп и молот» доказано, что формула (1), по которой в настоящее время ведется расчет для условий изотермических и близких к изотермическим, в качестве первого приближения вполне применима.

2. В результате опытов, проведенных в производственных условиях, получены данные, необходимые для проектирования установок по транспорту углемазутной смеси.

3. Получены гидравлические характеристики трубопроводов для различной температуры и концентрации суспензии. Эти гидравлические характеристики указывают на наличие у суспензии свойства упругости, твердого тела, что характеризуется существованием отрезка, отсекаемого прямыми из оси координат.

4. На основании гидравлических характеристик трубопровода установлены физические характеристики суспензий, представляющие собой зависимость физических констант вязкости и начального напряжения сдвига от температуры и концентрации суспензии.

5. Опыты по перекачке на протяжении трех месяцев работы показали, что каких-либо осадков пыли в трубопроводе, мешающих вести перекачку суспензии, не было. Трубопровод работал безотказно. Во время длительных остановок работы трубопровода (3—6 дней) на дне трубопровода появилась незначительно концентрированная суспензия (до 40%), которая при дальнейшей работе выравнивалась, по видимому, смываясь вновь транспортируемой горячей суспензией, и трубопровод имел нормальное сопротивление. Однако в случае длительной остановки работы трубопровода последний должен продуваться воздухом или паром.

6. Получены гидравлические характеристики поршневого насоса типа Вортингтона, как при разной температуре и концентрации суспензии, так и при различном рабочем давлении пара.

7. Сравнение характеристик поршневого насоса с характеристиками центробежного и червячного насоса, полученными во ВТИ, указывает на лучшую экономичность поршневого насоса.

В случае более концентрированной суспензии характеристики $Q - H$

поршневого насоса несколько ухудшаются и имеют более пологую форму.

8. Паровой прямодействующий поршневой насос типа Вортингтон показал себя как вполне пригодный для перекачки углемазутной суспензии. На протяжении всего периода работы он действовал безотказно, и никаких поломок не было.

9. Получены гидравлические характеристики двух видов фитингов (кран и тройник 2").

10. Произведено измерение температурного поля по сечению трубопровода.

В начале пуска по сечению трубопровода имеется значительный, несимметричный перепад температуры, который с течением времени спадает до минимальной величины (2—4°); при этом профиль температуры становится симметричным.

11. Произведено измерение поля концентрации в статическом состоянии суспензии в трубопроводе.

УСЛОВИЯ СГОРАНИЯ СМЕСЕЙ В ТОПКАХ

При использовании углемазутных смесей в качестве топлива следует учитывать не только характер сгорания отдельных компонентов смеси, но также и взаимное влияние друг на друга этих компонентов.

Ввиду того что скорость сгорания жидкой фазы, переходящей при высоких температурах в парообразное состояние, сомнений не вызывает, внимание привлекают к себе угольный порошок и твердые компоненты мазута.

Скорость сгорания — окисления комплекса углеродистых соединений, обычно называемых углем, зависит как от характера и физико-химических свойств этих соединений, так и от величины поверхности, на которой происходят окислительные процессы, т. е. степень дисперсности угольного порошка.

Таким образом, при изучении процессов сгорания топливных суспензий прежде всего необходимо обратить внимание на факторы, влияющие на скорость сгорания угольного порошка. Первым основным фактором, влияющим на скорость реакции сгорания комплекса углеродистых соединений, называемого углем, следует считать химический состав этих соединений. От химического состава углей прежде всего зависит начальная стадия процесса — зажигание топлива: наличие в углях соединений водорода в достаточном количестве является признаком возможного быстрого загорания топлива. Таким образом, более молодые по химическому возрасту угли более склонны к воспламенению. В то же время физико-химическое состояние углей, и прежде всего коллоидное состояние углей среднего и старого возрастов, более определяет их сгорание, чем зажигание: угли среднего возраста содержат еще достаточное количество химических соединений, переходящих при температурах не выше 380° в плавкое состояние, т. е. коллоидов еще не в окончательной стадии полимеризации (например, угли «ПЖ»), а более старые угли содержат таких соединений незначительное количество. В процессе сгорания такое различие в химическом возрасте углей отражается в тех метаморфозах, которые происходят с частичкой угля. Например, частичка угля типа «ПЖ» (рис. 55) в топке прежде всего испаряет с поверхности газы и легко летучие углеродистые соединения, затем частица начинает плавиться (рис. 56), принимает сферическую форму (рис. 57); в этот момент внутри сферической частицы развивается большое давление, так что пары и газы из нее прорывают сферу, а дальше происходит догорание частицы с образованием тонкостенного шарика из золы угля (рис. 58). На таких шариках возможно наблюдать отверстия, из которых прорывались газы. Более старые

угли — тощие, антрациты — не дают такой четкой картины и более склонны при недостаточной величине поверхности давать недожоги; в этих углях петрографические разности сгорают с различной скоростью.

Фактором, благоприятствующим сгоранию кокса, образовавшегося на поверхности сферы в процессе набухания, кроме развитой поверх-



Рис. 55. Сгорание угля 1-й стадии



Рис. 56. Сгорание угля 2-й стадии

ности сгорания, возможно считать и влияние зольных элементов; в то же время сгорание частичек угля, менее склонных к набуханию, происходит аналогично кусковому сжиганию с меньшей скоростью.

Вопросу тонкости размол и соответственно скорости сгорания частиц угля посвящено достаточно много статей. Классическими работами



Рис. 57. Сгорание угля 3-й стадии

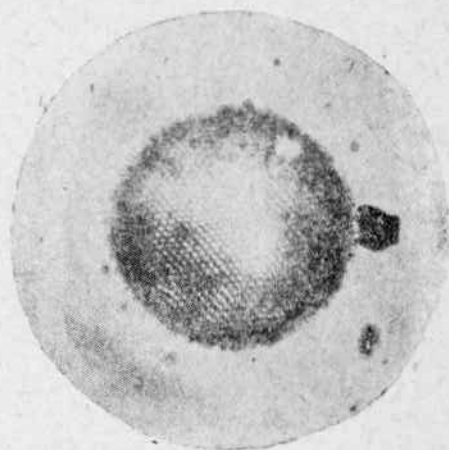


Рис. 58. Сгорание угля 4-й стадии

в этом направлении следует считать работы Розина: у нас этими вопросами занимались Г. Ф. Кнорре, Блинов и др. Основной задачей техники размол является повышение качества помола, как в отношении повышения значений удельной поверхности порошка, так и в отношении его однородности (1).

При использовании углемазутых смесей экономический фактор тонкости помола угольного порошка, ввиду того, что смеси являются заме-

нителями жидкого топлива, имеет меньшее значение, чем при изготовлении чистого порошка на электростанциях, что экономически допускает соответственно улучшение качества помола.

Мы в работах, проводимых по сжиганию углемазутных смесей, стремились к повышению дисперсности, как по условиям повышения устойчивости смеси, так и с целью ускорения процесса горения. Принятый нами помол при остатке на сите № 70 в количестве не более 6% для тощего угля, оказался приемлемым и в отношении сгорания порошка на тех установках, где мы это проводили.

К сожалению, следует отметить, что теплотехническая сторона применения суспензий под котлами (работа горелок, напряжение факела, лучшее использование топочной камеры, явления радиации и др.) еще очень слабо освещена как в иностранной, так и в нашей литературе.

При подаче смесей в форсунку с целью наилучшего распыления, необходимо снижение вязкости смеси, что достигается подогревом смеси. Подогрев смесей осуществляется в подогревателях, применяемых для особо вязких мазутов, а степень подогрева зависит от тожкости помола угольного порошка.

ОПЫТЫ ПО СЖИГАНИЮ СМЕСЕЙ ПОД КОТЛАМИ ЗА ГРАНИЦЕЙ

В исторической части мы уже сообщали о сжиганиях смесей, проведенных в 1918—1920 гг. Результаты наблюдений фирмы Кэнар не опубликованы, а единственное подробное описание опытного сжигания приведено Шультесом (2).

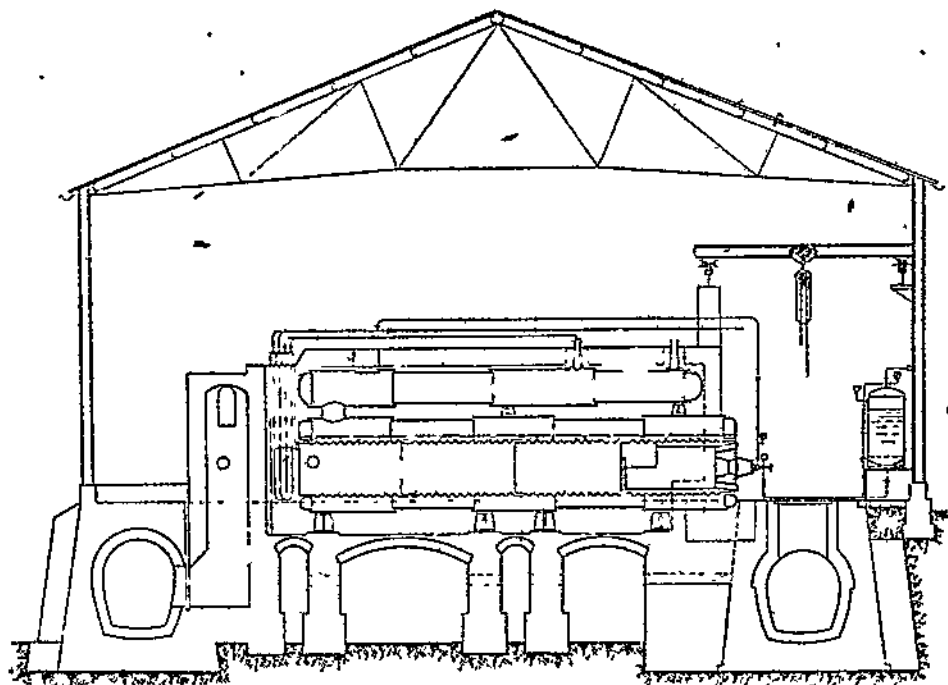


Рис. 59. Общий вид установки (схема)

Нижеприведенные испытания по сжиганию топливной суспензии производились на котле с жаровой трубой фирмы Silmer & Jamart, изготовленном в 1908 г.; наивысшее допустимое давление пара составляло 10 атм; поверхность нагрева котла — 101.26 м², поверхность пароперегревателя — 37.2 м², объем топочного пространства 1.95 м³. Поверхность нагрева была уменьшена перед опытами до 91.98 м², так как

была наложена предохранительная футеровка жаровой трубы; потребовалось также поставить нефтяную форсунку (обычно этот котел работал на газе). Конструкция горелки не приведена (Bauart Moll). На

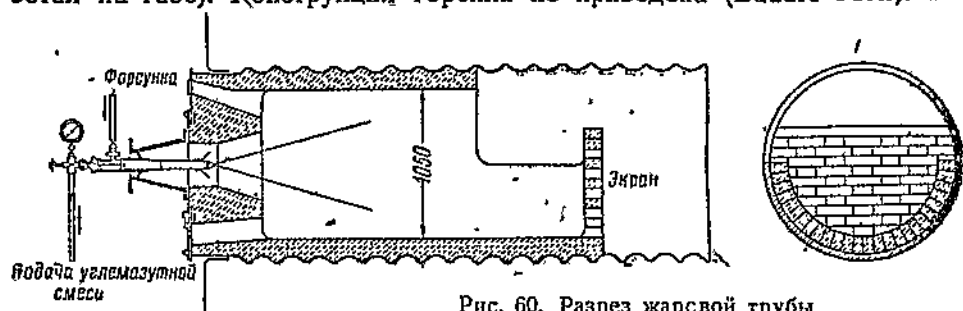


Рис. 60. Разрез жаровой трубы

рис. 59 и 60 приведен вид установки (схематично) и разрез жаровой трубы. Суспензия подавалась сжатым воздухом во взвешенном состоянии.

Результаты соответствующих замеров (средние) при испытании приведены в табл. 24.

Таблица 24

Испытание топливной суспензии под котлом с жаровой трубой с подачей через форсунку

Номер опыта	1.	2
Дата	14/I 1932 г.	15/I 1932 г.
Продолжительность испытания в часах	6	6
Поверхность нагрева котла, м ²	101.26	91.98
сухопарника, м ²		37.2
Топочное пространство, м ³		1.95
Род топлива	Суспензия (антраценовое масло + угольный порошок)	
Всего сожжено, кг	1652.4	1800.6
Теплотворная способность низшая, кал/кг	8 217	
высшая, кал/кг	8 525	
Напряжение топки, кал/м ³	1 092 000	1 270 000
П и т а т е л ь н а я в о д а		
Общее количество пара, кг	14 272	15 122
На 1 м ² поверхности нагрева	23.49, 25.86,	24.89, 27.40
Температура воды при входе в котел, в °C	48	41
П а р		
Давление в котле	9.7	9.4
Температура при выходе из сухопарника, в °C	278	312
Теплосодержание, кал/кг	658	692.7
Т о п о ч н ы е г а з ы		
Температура топки, в °C	1434	1470
газов в конце жаровой трубы, в °C	616	711
Температура газов за котлом, в °C	195	247
Содержание CO ₂ в конце трубы	15.7	13.7
O ₂	2.8	5.2
CO ₂ за котлом	9.7	10.7
O ₂	9.8	8.7
Кратность избытка воздуха	1.854	1.700
Разрежение в топочном пространстве, в мм вод. ст.	6.2	5.0
Разрежение за котлом, в мм вод. ст.	10.0	10.6
Температура подаваемого в топки воздуха, в °C	14.7	15.0
Парообразование (1 кг горючего испаряет воды)	9.19	8.36
В ы в о д ы		
Производительность 1 кг горючего, в кг	9.59	9.05
1 м ² поверхности нагрева, в кг	24.52 (26.99)	26.94 (29.66)

Тепловой баланс								
Наименование	ккал.	к. п. д., в %	ккал.	к. п. д., в %	ккал.	к. п. д., в %	ккал.	к. п. д., в %
1. Полезное								
по котлу	5651	68.77	5651	66.29	5197	63.25	5197	60.96
по сухопарнику	488	5.94	488	5.72	594	7.23	594	6.97
Сумма	6139	74.71	6139	72.01	5791	70.48	5791	67.93
2. Потери тепла								
а) с отходящими газами .	1006	12.24	1314	15.42	1176	14.31	1484	17.14
б) недожога и др.	1072	13.15	1072	12.57	1250	15.21	1250	14.66
Сумма	2078	25.29	2386	27.99	2426	29.52	2734	32.07
Итого получено тепла	8217	100	8525	100	8217	100	8525	100

Перед сжиганием были взяты пробы топливных суспензий из середины и со дна контейнера, из которого подавалась суспензия. В пробах определялся элементарный анализ, теплотворная способность, бохумская тигельная проба; кроме того, анализировался уголь, израсходованный на изготовление суспензии, угольный порошок, выделенный из суспензии и промытый ксилолом. Результаты анализов представлены на табл. 25, 26, 27.

Таблица 25
Элементарный анализ материалов опытов Балке

Элементы	Суспензия	Угольный порошок до смешивания	Угольный порошок, выделенный из суспензии
Вода	1.80	—	0.62
Зола	3.48	6.60	5.96
Углерод	84.17	82.49	81.98
Водород	5.55	4.59	4.56
Сера	0.64	1.04	1.08
Кислород + а от .	4.36	5.88	5.85
	100.00	100.00	100.00

Таблица 26

Коксовый королек	Блестящий спеклообразный твердый	Блестящий спеклообразный твердый	Черный неспеклообразный рыхлый
Высшая теплотворная способность	8525	8060	8010
Низшая теплотворная способность	8217	7813	7760

Ситовой анализ образцов испытаний Балке

Наименование	Остаток на сите, в %			
	№ 100	№ 80	№ 70	№ 50
Угольный порошок до смешения	10.32	1.12	0.52	0.12
Угольный порошок, выделенный из суспензии	12.00	—	—	—

Топливная суспензия легко загоралась и давала светящийся, добела накалившийся прозрачный факел.

После испытаний исследовалась обмуровка котла, которая оказалась в хорошей состоянии и лишь с черноватой глазурью от вплавленных частичек угля и золы. На жаровой трубе находился слой толщиной в 1 мм легучей золы, в нижней части черноватого цвета, а сверху светлогорючего; нижняя часть содержала 54% горючей массы. В дымоходе обнаружен такой же слой в 50 мм высоты. Какая часть золы образовалась во время опыта и какая раньше, не установлено. Во время опыта суспензия подавалась по дюймовой трубе, и никаких застопориваний не происходило. Форсунка работала нормально, и после исследований в ней не было обнаружено отложений и коррозионных воздействий. В общем считают, что работа на суспензии не отличается от работы на мазуте; при сжигании суспензии практически не образуется дыма.

Приведем выдержку из доклада Маннинга о сжигании углемазутных смесей, называемых им коллоидным топливом (3):

...Результаты испытаний в полном объеме, которые были проведены с коллоидным топливом, показывают, что это топливо может быть сожжено вполне удовлетворительно в соответствующих типах оборудования. Наблюдение за пламенем, получаемым при этих типах топлива, показывает, что обе составляющих горят более или менее независимо: первой — нефть, а затем — уголь. Поэтому необходимо, как при сжигании пылевидного топлива, предусмотреть достаточное пространство для полного сгорания медленно горящих твердых частиц, прежде чем пламя ударится о трубы котла, или, по крайней мере, предусмотреть, чтобы при соответствующем устройстве воздух, подаваемый в топку, давал возможность сгореть ранее, при прохождении их через камеру сгорания, иначе трубки котла покроются налетом не полностью сгоревших материалов. Более того, так же как при сжигании пылевидного топлива, желательно, чтобы сжигание так регулировалось, чтобы избежать шлакообразования золы; конечно, должно быть сделано приспособление для удаления золы.

Сгорание улучшается, если небольшое количество (около 3%) воды добавить в топливо как раз перед тем, как оно достигнет топки. Пароход „Скифия“ был оборудован шотландскими морскими котлами, тип которых замечательно подходил для отопления коллоидальным топливом. Нашли, что нет необходимости в каких-либо изменениях оборудования, уже устроенного для нефтяного топлива, но в приготовленном для этого испытания топливе уголь был размельчен, чтобы полностью мог просеяться через 200 меш. — степень размельчения значительно выше, чем это необходимо для обеспечения устойчивости топлива. Это было сделано, чтобы уменьшить, насколько это было возможно, засорение отверстий форсунок. Ясно, что со специально сконструированными отверстиями форсунок мог бы быть сожжен более грубо размельченный уголь. Трудности обращения с коллоидным топливом в обычном оборудовании для сжигания нефтей не должны казаться сколько-нибудь значительными. Германские опыты показали, как, может быть, и следовало ожидать, что коллоидное топливо может быть удовлетворительно сожжено в корнуоллийских котлах. Для этих опытов был использован для приготовления топлива гудрон, и смесь этого типа, несомненно, сгорела не с большими трудностями, чем смесь топлива на основе нефтей.

Коллоидное топливо было бы, вероятно, совершенно неподходящим для сжигания в трехбарабанном котле типа, широко применяющегося в военном флоте, ибо камера сгорания слишком ограничена, и зола и не полностью сгоревшее топливо собирались бы в узком пространстве между водяными трубами. При этом в топках, специально сконструированных для беззольных топлив, вводимых с большой скоростью, топливо встречалось бы со слишком высокой температурой, и частицы расплавленной золы уносились бы вперед, охлаждаясь и оставаясь затем на трубах, и причиняли бы беспокойство.

Стривенс в своей статье также приводит свои наблюдения по сжиганию углемазутных топлив (4).

Ввиду того большого значения, какое имеет коллоидное топливо для флота, были проведены опыты сжигания различных сортов этого топлива под котлами и в топках. Некоторые результаты этих опытов приведены в этой книге. Сжигание коллоидного топлива очень выгодно сравнительно с сжиганием стандартных нефтяных масел. При условии выбора подходящих углей почти устраняются трудности, связанные с летучей золой. Результаты опытов показали очень большое содержание CO_2 , высокий общий к. п. д. и высокую температуру пламени. Необходимо отрегулировать насос, ввиду того что это топливо имеет большую вязкость в сравнении со стандартными топливными маслами, и чаще менять горелки и сопла. Подачу воздуха следует регулировать таким образом, чтобы мелкие частицы угля, которые загораются медленнее, чем масло, сгорали у входа в топку — в противном случае несгоревший материал может давать осаждение на водяных трубах; в последнем случае, однако, многое зависит от сорта угля и смеси.

Обычно горение улучшается, если уголь, взятый для приготовления топлива, слегка влажен. Нет необходимости иметь специальное оборудование для сжигания коллоидного топлива при обычных условиях, но применение для горелок сопел с такими отверстиями, через которые могли бы проходить более крупные частицы, давало благоприятные результаты.

Там, где зола приносит несомненный вред, это топливо применяться не может. Примером могут служить некоторые печи для термической обработки. Но в большинстве случаев в стекольной, керамической и металлургической промышленности это топливо находит применение.

Опыты сжигания. Тип котла: котел с двумя жаровыми трубами фирмы Адамсон. Паросъем — 3200 кг/час (колебание нагрузки 1600—4800 кг). Давление 6 атм. Использованное топливо: 45% мазута вязкостью в 20°E ; 4,7% смолы, полученной при низкотемпературной перегонке; 0,3% каучукового стабилизатора; 50% короткопламенного угля Варнслей. Количество сожженного топлива — 360 кг. Система для сжигания: система сопел для большого диапазона давления, со специальными горелками (отверстия которых больше нормальных).

Топливо воспламеняется легко. Во время сжигания установлено было наблюдение за горелками, и никаких признаков засорения или коксования на соплах не наблюдалось. Давление пара колебалось в пределах 5—7 атм. Производительность котла контролировалась в периоды малой нагрузки выключением одной горелки. Установлено, что на коллоидном топливе нагрузка котла поддерживалась одной горелкой несколько лучше, чем на стандартном топочном масле, и расход топлива был нормальным.

Были произведены повторный опыт на топливе, приготовленном из высоковязкого мазута. За время опыта израсходована 1 т угля.

Давление в насосе для перекачки топлива было 10—12 атм. Противодавление $1.77 = 2.3$ атм. Температура масла $115\text{—}120^\circ$. Температура в насосе $105\text{—}108^\circ$. Тяга — 100 мм вод. ст. Среднее содержание CO_2 11,5%. Паропроизводительность 1 кг, топлива 12 кг.

Опыт показал следующее:

1. Соответствующим подбором компонентов можно получить вполне стабильную систему при условии включения до $\frac{1}{2}$ твердого горючего.

2. Чем больше времени подвергается уголь помолу, тем устойчивее получается система.

3. Чем вязче жидкая фаза, тем более устойчивой является система.

4. Температура застывания и плавления полученных систем обычно ниже температур вязких жидких компонентов.

5. Некоторые особо вязкие мазуты давали застывающую при обыкновенной температуре систему, при нагревании до 50° переходящую в подвижную без всякого расслаивания.

После работы, проведенной в Институте народного хозяйства им. Плеханова, интерес к топливным суспензиям не проявлялся в течение ряда лет, и только в последние годы проведена интересная работа в Кораблестроительном институте; кроме того, топливные суспензии сжигались под котлами на электрической станции гидрогенизационного завода¹.

Подготовительные работы и опыты по сжиганию смеси мазута с угольной пылью производились в I и II кварталах 1936 г.

В качестве исходных составляющих топлива служили:

а) мазут марок «В» и «Г», вязкостью по Энглеру от 6.5° до 18° (при 50°C), поступивший на завод в обычном порядке для сжигания под котлами. Содержание воды в мазуте колебалось в пределах от 3 до 5.

Применялся угольный порошок донецких антрацитов («АС» и «АН») с зольностью 10—12.5% и содержанием влаги до 11.3%. Необходимо отметить, что определение элементарного состава мазута и угля на заводе не производилось. Определялась только теплотворная способность при помощи калориметрической бомбы.

Размол угля для производственных опытов

Размол угля производился в небольшой шаровой мельнице и в шмотодробилке, совершенно не приспособленных для непрерывного получения пыли. В установке отсутствовали сепаратор и отсос готовой пыли. Полученный угольный порошок был довольно неоднородный по размеру отдельных частиц.

Проба угольной пыли, для ее характеристики, была пропущена последовательно через два сита, причем на сите № 60 остаток составлял 65%, на сите № 30 — 0.5%. Более подробный ситовой анализ не производился из-за отсутствия соответствующего набора сит.

Зольность угля колебалась в пределах от 10 до 12.5%. Влажность — 11.2%, теплотворная способность — 6500 кал/кг.

Приготовление смеси. Приготовление смеси из мазута с угольной пылью производилось вручную одним рабочим непосредственно перед сжиганием и во время такового в баке, емкостью около 2.5 м³.

Сначала в бак наливался мазут в количестве 1500—1700 кг, затем в мешках приносилась пыль и постепенно насыпалась в бак.

Пропорция смеси составлялась в пределах отношения 1:3, 1:3.35 (вес угольного порошка к весу мазута).

Перемешивание производилось в течение 30—35 минут вешлом, при подогреве смеси открытым паром в баке. Температура смеси колебалась в пределах от 50 до 60°C .

Теплотворная способность полученной смеси колебалась от 8400 до 8700 кал/кг, зольность от 4 до 5%, содержание влаги около 5—6%.

¹ Работы эти описаны членом нашей бригады А. Н. Евсеевым в отчете об использовании топливных суспензий в мартеновских печах.

Никакого технического контроля за однородностью полученной смеси не производилось (за исключением определения в лаборатории вязкости смеси).

Транспортировка готовой смеси. Полученная смесь из смесительного бачка ведрами подавалась в напорный бачок, установленный на высоте 2,3 м от оси форсунок и на расстоянии около 17 м от таковых.

Из напорного бака емкостью около 2 м³ смесь самотеком поступала к паровым форсункам по трубам 1½" и ¾".

Мазутопровод от бака до форсунки имел три колена из сваренных под прямым углом трубок, один двухходовой кран диаметром ¾" и один нормальный вентиль ¾". В напорном баке поддерживалась температура смеси в пределах от 56 до 60° С.

Необходимо отметить, что при проведении всех опытов не было ни одного случая засорения трубопроводов или форсунок отложениями угольной пыли, хотя было три случая засорения арматуры и форсунок волокнами пакли и рогожи, случайно попавшими в напорный бачок.

Сжигание. Полученная смесь сжигалась в обычной нефтяной топке горизонтального водотрубного котла системы Штейнмюллера (старого типа), поверхностью нагрева в 208 м², работающего с давлением в 8 атм. и температурой перегрева пара до 250° С.

При топке котла, состоящей из двух половин, установлено было две форсунки: системы Шухова и системы Данилина (опыты производились с обоими типами форсунок), производительностью 350 кг/час каждая.

Давление пара, идущего на распыл перед форсункой, 8 ата. Температура питательной воды 20°. Средняя производительность котла во время опытов 20—22 кг/м² час., почти такая же, как и при работе на нормальном мазуте. Коэффициент полезного действия котла 0,74, тот же, что и при работе на мазуте.

Горение в топке было устойчивое, без пульсации факела. Видимая часть факела была несколько короче, чем при работе на мазуте, а сам факел прозрачный, позволяющий видеть заднюю стенку топки.

Температура в топке, замеренная оптическим пирометром, колебалась в ядре факела в пределах 1400—1420° и 1080° у верхнего края факела.

На мазуте, при тех же форсунках и тех же условиях распыливания, ядро факела имело температуру 1480—1500° и верхний край факела 1250—1500°.

Следов шлакообразования на стенках топки и на передних рядах кипящих труб при продолжительности отдельных опытов 5—6 час. не наблюдалось.

На поде топки выпадающие частицы шлака и несгоревшие частицы угля давали наросты буроватого цвета. Наблюдалось выпадение из 2-й трети факела раскаленных частичек угля (наиболее крупных, попавших в смесь благодаря грубому помолу и отсутствию должной сепарации).

Анализиров шлаков и летучей золы не производилось. Анализ продуктов горения (отходящих газов) производился прибором ОРСа.

Содержание СО₂ за котлом во время опытов колебалось от 10 до 17%, при горении с легким сероватым дымком, шедшим из трубы. СО₂ + НО₂ колебалось в пределах от 18 до 23%.

Для более полного представления приводится таблица анализа продуктов горения за время одного из опытов (взято из журнала лаборатории ТЭЦ) (табл. 28).

Результаты испытаний

1. Сжигание смеси протекало вполне нормально. Полученный паросъем и к. п. д. котла являются вполне нормальными для котлов старого типа системы Штейнмюллера. Необходимо отметить, что режим

Таблица 28

Время	CO ₂ , %	CO ₂ + O ₂ , %	Примечания
14 час. 00 мин.	10.2	20.2	
14 „ 15 „	10.2	22.0	
14 „ 35 „	15.0	23.8	
15 „ 00 „	12.2	21.2	
15 „ 00 „	12.4	19.0	
15 „ 20 „	10.6	21.0	
15 „ 40 „	11.2	18.0	
16 „ 12 „	10.4	21.4	
16 „ 24 „	16.4	26.4	Присос воздуха
16 „ 35 „	10.4	20.8	
17 „ 00 „	17.2	21.0	
17 „ 10 „	20.2	25.0	Присос воздуха
17 „ 50 „	14.4	—	Испортился крайник

работы котла во время опытов поддерживался нормальный, без форсировок.

Отсутствие следов шлакообразования на стенках топки и на кипящих трубках является весьма положительным моментом в деле применения углемазутных смесей для отопления паровых котлов.

Температуры в топке, полученные при сжигании смеси, близко приближаются к температурам, полученным на мазуте, что позволяет предполагать возможность достижения более высоких температур при применении для смеси менее зольного и лучше измельченного угля. Выпадение из факела отдельных частичек угля объясняется исключительно грубым помолом и формой факела. Можно предполагать что при тонком помоле выпадение несгоревших частиц угля из факела будет практически очень незначительное.

2. Из-за неполноты теплотехнических наблюдений за время опыта теплового баланса установки составлено не было.

3. Установленные во время опытов паровые форсунки системы Шухова и системы Данилина вели себя вполне удовлетворительно, что позволяет предполагать возможность использования для сжигания углемазутных смесей форсунок, применяемых для вязких мазутов.

Таким образом, несмотря на некоторую примитивность в работе, сжигание суспензий, проводившееся на заводе «Саломас», имеет некоторый технический опыт; является ценным указанием на отсутствие шлакообразования.

Инж. Дворецким совместно с инж. Либеровым в 1937 г. были поставлены опыты сжигания углемазутных смесей в котельной ВТИ. Смеси эти были приготовлены с порошками очень малой дисперсности (иногда утрированно грубыми) и названы А. И. Дворецким грубыми суспензиями¹.

Сжигание грубых суспензий

1. При работе на грубых суспензиях основные затруднения возникают в связи с высокой вязкостью их. И в первой и в данной сериях опытов было трудно добиться больших производительностей на четы-

¹ Эта очень интересная работа полностью не опубликована, и мы направляем интересующихся непосредственно к автору, а здесь приведем те выводы, к которым пришел А. И. Дворецкий.

рех установленных в топке котла форсунках. Это затруднение наблюдалось и при высоком перегреве топлива и при подаче его к форсункам от насоса. Можно полагать, что замена обычных регулирующих вентилях игольчатыми в значительной мере облегчит получение и большей производительности и более равной работы форсунок. В обычном регулирующем вентиле проходное сечение представляет собой кольцевую щель с малой высотой. Поэтому такое проходное сечение легко забивается твердыми частицами, содержащимися в суспензии. Эти местные пробки легко разрушаются от сотрясений и других случайных причин. Благодаря этому меняется проходное сечение вентиля и, следовательно, «самопроизвольно» меняется производительность форсунки. В игольчатом вентиле проходные сечения имеют более свободную конфигурацию, а потому они менее подвержены забиванию случайными пробками и меньше «дергают» производительность форсунок.

2. Как при работе на вязких мазутах, так и при работе на грубых суспензиях очень полезно иметь регулирующие вентили с застопоренными крышками. Это предохраняет от случайных вывертываний крышек, что всегда бывает сопряжено с опасностью аварий.

3. Из опробованных паровых форсунок вполне пригодными для работы на грубых суспензиях оказались форсунки Шухова.

Форсунки «Котлотурбины» оказались непригодными, так как между-трубное пространство их через несколько часов работы плотно забивается угольной пылью.

Выходное сопло паровой форсунки Бабкок-Вилькокс так быстро истирается струей топлива, уносимого паром, что через несколько часов работы нарушается правильное действие всей форсунки.

4. При работе на грубых суспензиях особенно тщательно нужно следить за правильной установкой форсунок. Даже небольшое задевание факела за края форсуночного окна, которое при работе на мазуте могло бы пройти незамеченным, при работе на грубых суспензиях дает быстрое и интенсивное образование кокса. При правильной же установке форсунок ни в топке, ни на самой форсунке кокс не откладывается.

5. По своему виду факел горящей грубой суспензии не отличается почти от обычного мазутного факела. Расстройство топочного режима сопровождается при сжигании грубых суспензий таким же энергичным давлением, как и при сжигании обычных мазутов.

6. Регулирование топочного процесса при сжигании грубых суспензий производилось совершенно так же, как и при сжигании обычных мазутов.

7. Вполне понятно, что при работе на грубых суспензиях очень большое значение имеет температура продукта на отдельных участках топливного тракта и особенно у самых форсунок. Недостаточно высокая температура суспензии затрудняет поступление ее к форсункам, вызывает перебои в работе форсунок и расстраивает топочный процесс. В проведенных опытах температура топлива у форсунок держалась в большинстве случаев около 90°C , но ни в одном опыте температура топлива перед форсунками не держалась ниже 70°C .

Необходимость держать у форсунок высокую температуру топлива заставляет принимать специальные меры, во-первых, для обеспечения надлежащего подогрева продукта и, во-вторых, для предохранения топлива от остывания в трубопроводе.

8. Даже в холодной топке грубые суспензии легко загораются от обычного тряпичного факела и устойчиво горят даже при малой производительности форсунок.

9. Растопка котла на грубых суспензиях производится так же, как и на мазуте.

10. В топочной камере зола, содержащаяся в грубых суспензиях,

почти не оседает. После непрерывной работы в течение нескольких часов (5—6) на грубых суспензиях в топочной камере нельзя было заметить даже местных скоплений шлака или золы. Поверхность футеровки имела характерный для мазутной топки вид. Под топочной камеры также совершенно не страдал от каких-либо образований шлака. Следует напомнить, что форсунки были установлены вертикально к поду топки.

11. Поверхности нагрева закосятся, хотя и не очень интенсивно, летучей золой и сажей. После группы опытов производилась обдувка поверхностей нагрева. В результате этой обдувки довольно значительное количество золы собиралось в золовых бункерах котла.

12. После каждого опыта по сжиганию грубых суспензий, некоторое, иногда довольно значительное, количество летучей золы собиралось в золовых бункерах под дымоходами котла. Поэтому, подготавливая котел к переходу с мазута на коллоидное топливо, нужно предусмотреть и устройства для удаления золы из дымоходов котла.

13. Во время опытов к форсункам подавались и довольно стойкие и весьма мало устойчивые при данной температуре (90°C) грубые суспензии. Несмотря на то, что скорости продукта в топливопроводе, имевшем диаметр 50 мм, не превышали 0.2 м/сек. и поток был заведомо лиминарным, забивания линий осевшим угольным порошком не замечалось.

14. Перед и после опытов продуктопроводы обычно продувались паром. Несмотря на то, что грубые суспензии успевали к моменту продувки принять в трубопроводах температуру, близкую к температуре воздуха в котельной (20°C), продувки паром даже довольно длинных трубопроводов (60 мм) осуществлялись без всяких затруднений.

Выводы

Основные результаты проведенной по грубым суспензиям работы можно сформулировать следующим образом.

1. Для приготовления грубых суспензий могут быть использованы обычные топочные мазуты с вязкостью до $40\text{--}50^{\circ}\text{E}$.

2. Тонкость помола пыли тощего угля, применяемой для приготовления грубых суспензий, должна удовлетворять, по возможности, нормам: остаток на сите № 70 не выше $R_{70} = 8\text{--}10\%$.

3. Наиболее выгодной концентрацией угольной пыли в суспензии является $30\text{--}35\%$. Большая концентрация резко ухудшает условия сжигания этого топлива при помощи паровых форсунок.

Меньшая концентрация невыгодна, так как сокращает экономно мазута.

4. Регулирование топочного процесса при сжигании грубых суспензий с помощью паровых форсунок должно осуществляться теми же приемами, что и при работе на обычных мазутах. Особое внимание должно быть уделено распределению топлива по форсункам.

5. При сжигании грубых суспензий особое значение приобретает соблюдение правил рационального ведения топочного процесса и исправное состояние форсунок и правильная их установка. Неправильное ведение топочного процесса, неверное положение форсунки в амбразуре и т. п. могут вызвать при работе на грубых суспензиях огромные топливные потери.

6. При сжигании грубых суспензий температуру топлива перед паровыми форсунками можно держать в пределах $75\text{--}95^{\circ}\text{C}$. Для облегчения условий подачи суспензии к форсункам желательно эту температуру держать ближе к верхнему пределу.

7. При сжигании грубых суспензий при помощи паровых форсунок наиболее благоприятные результаты в отношении суммы потерь от ме-

ханического и химического недожога получаются при избытке воздуха в топке порядка $\alpha_T = 1,2$.

8. Для получения хороших результатов при сжигании грубых суспензий на паровых форсунках расход форсуночного пара нужно держать повышенным, порядка $w_{cp} = 0,4 \text{ кг/кг}$.

9. Грубые суспензии могут сжигаться при напряжениях топочного пространства, характерных для мазутных топок. При напряжениях, меньших $Q/vT = 200\,000 \text{ кал/м}^3 \text{ час}$, сгорание грубых суспензий протекает весьма благоприятно. Большие тепловые напряжения топочного пространства сильно затрудняют протекание процесса горения грубых суспензий. Однако сжигание можно вести так, что и при напряжениях порядка $Q/vT = 250\,000—325\,000 \text{ кал/м}^3 \text{ час}$, потери и от химического, и от механического недожогов будут невелики.

10. Содержащаяся в грубых суспензиях зола, если и оказывает каталитическое воздействие на процесс горения, то воздействие это, судя по результатам опытов, таково, что не может гарантировать ни от появления дыма, ни от появления даже значительных потерь от химической и механической неполноты горения при отклонениях от оптимального топочного режима.

11. При сжигании с помощью паровых форсунок грубых суспензий в мазутных топках отрегулированием топочного процесса можно довести потери от механического и химического недожога даже в условиях не вполне разогретой топочной камеры до следующих величин:

а) потерю от химической неполноты горения до $q_3 = 1\%$ теплового баланса;

б) потерю от механического недожога до $q_4 = 10—15\%$ от теплотворной способности содержащегося в суспензии твердого компонента.

Несоблюдение требований правильного для данных условий ведения топочного режима, даже частичное, может довести потерю от химической неполноты горения до $q_3 = 5\%$ теплового баланса, а потерю от механического недожога до $q_4 = 50\%$ от теплотворной способности содержащегося в суспензии угольного порошка.

12. Условия сгорания при несении равной, мало колеблющейся нагрузки более благоприятны, чем при несении «пиковой», колеблющейся нагрузки. Поэтому можно полагать, что при сжигании грубых суспензий в топках паровых котлов, несущих основную ровную нагрузку, показатели, характеризующие эффективность сгорания топлива, будут выше полученных при сжигании грубых суспензий в топке котла, несущего колеблющуюся нагрузку.

13. Удовлетворительные результаты при сжигании грубых суспензий показал форсунки Шухова; форсунки «Котлотурбины» и Бабкок-Вилькоккс для работы на грубых суспензиях оказались непригодными.

14. При переводе мазутных котлов на это топливо необходимо учитывать, что около 70—95% золы, содержащейся в грубых суспензиях, будет выноситься в дымовую трубу.

15. Небольшая часть золы, содержащейся в грубых суспензиях, оседает в дымоходах котла. Организуя перевод котла с мазута на грубые суспензии, необходимо предусмотреть удаление скапливающейся в дымоходах котла летучей золы.

16. При работе на грубых суспензиях резкого загрязнения котельных поверхностей нагрева не наблюдается. Однако регулярная обдувка поверхностей нагрева котельного агрегата от оседающих на них летучей золы и сажи производиться должна.

17. Во время опытов, при проведении которых было сожжено в общей сложности более 50 т грубых суспензий, шлакования стенок топочной камеры или первого ряда кипятильных труб замечено не было.

18. Чтобы с исчерпывающей полнотой и надежностью установить поведение в топке и дымоходах котла содержащейся в суспензии золы,

должны быть проведены наблюдения за длительной (многосуточной) непрерывной эксплуатационной работой котельного агрегата на коллоидном топливе, приготовленном на заданном сорте угля.

19. Наиболее удобно грубые суспензии к паровым форсункам подавать самотеком. В случае надобности грубые суспензии могут подаваться к форсункам и насосом.

20. Расходные баки, предназначенные к работе на грубых суспензиях, должны быть снабжены приспособлениями, препятствующими выпадению угольной пыли из суспензий и способными поднять со дна и смешать с мазутом уже осевшую почему-либо в баках угольную пыль.

21. Для замены грубыми суспензиями топочных мазутов, сжигаемых в топках паровых котлов, обычно нужны будут некоторые переделки по приспособлению оборудования к новому виду топлива. Однако переделки эти сравнительно невелики, и главная часть их падает на топливоподготовительные и топливоподающие элементы установки (обеспечение нужной температуры и давления продукта перед форсунками, установка в баках приспособлений, предупреждающих выпадение угля из суспензии и т. п.). В отношении самого работающего на мазуте котла подготовительные работы будут заключаться в основном в организации регулярных обдувок и в устройстве приспособлений для удаления летучей золы.

22. Результаты проведенной работы могут быть использованы для предварительного подсчета некоторых статей теплового баланса котельного агрегата, характеризующих технико-экономическую эффективность эксплуатации его на грубых суспензиях.

Следует иметь в виду, что они относятся к определенным условиям топочного процесса (распыливание паром, отсутствие воздушного дутья и подогрева воздуха, неэкранирования и приготовления суспензии тощего угля, невысокая температура топлива у форсунок).

Можно ожидать, что выбор оптимальных условий сжигания грубых суспензий, которому посвящен ряд проводимых и намеренных к проведению дальнейших исследований, позволит существенно повысить показатели, характеризующие использование этого топлива.

23. Результаты проведенных опытов позволяют сделать вывод, что применение в качестве котельного топлива взамен мазута грубых топливных суспензий, приготовленных смешением обычных (Δ_{50} до 40—50) топочных мазутов с пылью тощего угля нормального помола ($R_{70} = 8—10\%$) и содержащих этой угольной пыли до 30—35%, возможно и вместе с тем позволит осуществить значительную экономию мазута в котельных, употребляющих жидкое топливо для растопки котлов и отопления эпизодически работающих резервных котлов.

Замена грубыми суспензиями мазутов, сжигаемых в топках непрерывно работающих котлов, должна быть более эффективна, так как сгорание в случае непрерывной работы котла протекает в более благоприятных условиях, чем в случаях эпизодической работы котла.

На одной московской электростанции при сжигании кускового топлива — антрацита — в боровых накапливается большое количество уноса с значительным содержанием угольных частиц; унос вывозится с территории станции как балласт. Этот унос нами смешивался с мазутом после предварительного размола до остатка на сите № 70 в количестве 3—5% и сжигался взамен мазута¹.

Приготовленная суспензия из расходного бака, расположенного на высоте 6 м от уровня пола котельной, при температуре 60° подавалась самотеком по нефтепроводу диаметром 75 мм к центробежному насосу и этим последним — к форсункам котла. Давление суспензии за насосом было 1.4 атм., давление распыливающего пара перед форсун-

¹ Работа проведена вместе с работниками станции.

ками 5.8 атм. Сжигание суспензии производилось под котлом системы Бабкок-Вилькокс со следующей технической характеристикой.

Тип котла	горизонтально-водотрубный морской
Нормальная производительность котла	10/8 т/час
Рабочее давление пара	18 атм
Поверхность нагрева котла	304 м ²
Поверхность нагрева пароперегревателя	140 м ²
Объем топочного пространства	40 м ³
Тип форсунок: паровые системы Бабкок-Вилькокс	
Производительность форсунок	125 кг/час
Число форсунок	9

Перед сжиганием суспензии котел в течение 1 часа 10 мин. работал на мазуте. Сравнительные результаты испытания характеризуются следующими данными.

Таблица 29

	Опыт № 1 топливо—мазут	Опыт № 2 топливо—суспензия
Продолжительность опыта	1 час 10 мин.	8 часа 00 мин.
Расход топлива за опыт, кг	1200	3000
Температура топлива в расходном баке, 0° С	42	60
Давление топлива за насосом, атм	1.4	1.4
Давление пара у форсунок, атм	6.3	5.8
Количество работавших форсунок	9	9
Температура перегретого пара, 0° С	358	378
Давление пара в котле, атм	13.0	13.0
Температура газов в топке, 0° С	1107	1088
Температура газов за котлом, 0° С	320	315
Содержание CO ₂ в газах за котлом, %	11.7	10.7
Содержание CO ₂ + O ₂ в газах за котлом, %	18.1	18.5
Разрежение в топке, мм вод. ст.	0.4	0.3
" за котлом, мм вод. ст.	21.6	21.1
" у основания дымовой трубы, мм вод. ст.	27.4	26.9

Анализ результатов опыта и выводы

1. Топочный процесс. Горение суспензии в топке во время опыта проходило достаточно устойчиво. Вследствие малого диаметра проходного сечения форсунок наблюдались лишь незначительные пульсации факела у отдельных форсунок. В дальнейшем при сжигании суспензии можно будет перейти на форсунки системы Шухова, зарекомендовавшие себя вполне удовлетворительно в опытах с коллоидным топливом.

При переходе на работу топки с чистого мазута на суспензию было отмечено незначительное увеличение дымления трубы, что может быть объяснено не вполне удачным устройством подвода воздуха в топку данного котла. Параметры пара на котле во время опыта лежали в пределах, обычных для данного котла при работе его на мазуте.

2) Транспорт мазута от расходного бака до форсунок. Каких-либо затруднений при подаче суспензии из расходного бака к форсункам котла по обычному эксплуатационному нефтепроводу котельной во время опыта не встречалось. Центробежный нефтя-

ной насос работал вполне устойчиво. В дальнейшем при переходе на постоянное сжигание суспензии необходимо предусмотреть устройство паровой продувки нефтепровода для очистки нефтепровода в необходимых случаях.

В Кораблестроительном институте в 1937 г. было проведено опытное сжигание смесей, приготовленных А. М. Смирновым; эти опыты показали вполне удовлетворительный результат.

В 1940 г. НКМФ проводил сжигание углемазутного топлива на судне «Марат» во время сильного шторма. Топливо было приготовлено в количестве 50 т на станции ВТИ (Москва) и доставлено в Баку по железной дороге в цистернах.

СЖИГАНИЕ УГЛЕМАЗУТНЫХ СМЕСЕЙ В МЕТАЛЛУРГИЧЕСКИХ ПЕЧАХ ЗАВОДОВ

В 1937 г. нами было намечено поставить опыты использования суспензий в печах Мартена при выплавке стали. Работники маргеновских цехов неохотно соглашались на использование «высоковязких мазутов»; такими высоковязкими мазутами в то время они считали мазуты вязкостью 15—20° Е при температуре 50°. Серы в топливе допускалось не более 0,5%. Предложение использовать в мартенах смеси мазута $M=20$ с угольным порошком, содержащим 1,5—1,8% серы, при высокой вязкости смеси (выше 60°), конечно, не могло встретить горячего сочувствия, кроме нескольких энтузиастов. Работы все-таки были нами поставлены при содействии ГУМПИ¹.

Нами ставились следующие задачи:

1. Выяснить возможность сжигания углемазутной смеси в мартеновской печи, возможность получения требуемых температур и ведения процесса мартенования.

2. Выявить условия подачи (транспортировки) суспензии к форсункам.

3. Получить характеристику горения углемазутной смеси и работы мартеновской печи на этом топливе.

4. Установить влияние углемазутной смеси на качество выплавляемого металла, в частности, в отношении перехода серы и газов в металл.

5. Дать сравнительную оценку работы мартеновской печи на мазуте и на углемазутной смеси.

6. Общие выводы об углемазутной смеси.

В мартеновской печи «М» производится преимущественно углеродистая сталь и марганцевая сталь Гадфильда для фасонного литья. Исходя из этого и было намечено провести четыре опытных плавки, из которых две плавки на сталь 35 для фасонного литья и две плавки марганцевой стали Гадфильда.

С целью получения от опытных плавки сравнительных данных, характеризующих углемазутную смесь как топливо для мартеновских печей, планом работ предусматривалось, что на каждую марку стали производится одна плавка на обыкновенном мазуте, на котором работает печь и одна плавка — на суспензии.

Плавки производились обычным порядком под руководством цехового персонала. Никаких изменений установленного порядка при производстве плавки на суспензии не было. Следует лишь только отметить, что для обеспечения более или менее одинаковых условий для плавки на одну и ту же марку стали в состав шихты назначалось одно и то же количество передельного чугуна и железа — стального лома.

Всего было произведено 7 опытных плавки, из которых три плав-

¹ Активно содействовал инженер Г. М. Чиликин.

ки — на обыкновенном мазуте и четыре плавки — на мазутной суспензии.

Характеристика плавов по маркам стали и виду использованного топлива приведена в табл. 30.

Таблица 30

Марки и химический состав сталей, выплавленных на обыкновенном мазуте и на смеси

Дата	№ плавов	Марка стали	Мазут	Химический состав, в %				
				C	Si	Mn	P	S
4/VI	M-989	Ст. 35 фасонная	Обыкновенный	0.32	0.29	0.71	0.058	0.033
14/VII	M-1008	„ 35 „	„	0.34	0.47	0.75	0.052	0.037
14/VII	M-1009	Марганцевая фасонная	„	1.40	0.44	15.19	0.098	0.027
15/VII	M-1013	„ „ „	Суспензия	Брак металла по разливке				
16/VII	M-1014	„ „ „	„	1.44	0.61	15.30	0.071	0.014
11/VII	M-1015	Ст. 35 фасонная	„	0.31	0.35	1.06	0.042	0.032
17/VII	M-1022	Ст. 10 фасонная	„	0.10	0.18	0.57	0.031	0.037

При проведении опытных плавов производились следующие измерения и определения.

1. Температура факела и пламени.
2. Температура жидкого металла.
3. Состав продуктов сгорания в головках.
4. Давление в головках.
5. Состав продуктов сгорания в клапане.
6. Температура продуктов сгорания в клапане.
7. Давление.
8. Расход топлива в клапане.
9. Температура топлива.
10. Расход сжатого воздуха на распыление.
11. Давление.

По ходу плавов отбирались пробы металла и шлака для химического анализа.

Опытные плавки на суспензии производились в основной мартеновской печи «М». Мартеновская печь «М» характеризуется следующими данными.

Номинальный тоннаж	4 т
Площадь пода	4.57 м ²
Длина пода	3.04 м
Высота свода под порогами	1.1 м
Объем насадки регенератора	9.2 м ³
Высота дымовой трубы	18.7 м

Печь отапливается мазутом. Распыление мазута производится сжатым воздухом под давлением 4.5—5 атм. Форсунки установлены на своде по одной с каждой стороны. Конструкция форсунки простая, составленная из двух газовых трубок (рис. 61). Внутренний диаметр нефтяной трубки 1/2", диаметр наружной (воздушной трубки) 1 1/2".

Во время опытов питание печи топливом производилось от напорного бака, расположенного на высоте 0.9 м над горизонтом форсунок (рис. 62). От напорного бака топливо поступало к форсункам по нефтепроводам диаметром 2 и 1 1/2", общей протяженностью около 25 м.

Форсунки соединены с нефтепроводом посредством гибкого стального шланга с внутренним диаметром $\frac{3}{4}$ ".

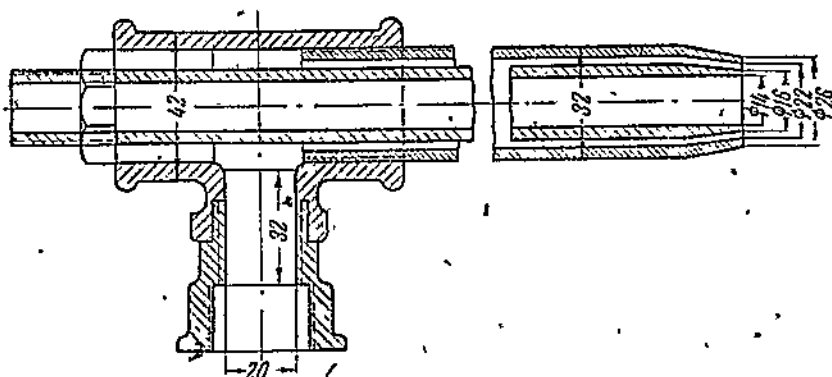


Рис. 61. Форсунки мартеновской печи

Для подогрева мазута в баке имеется змеевик, по которому пропускается пар. Мазутная линия также обогревается паром.

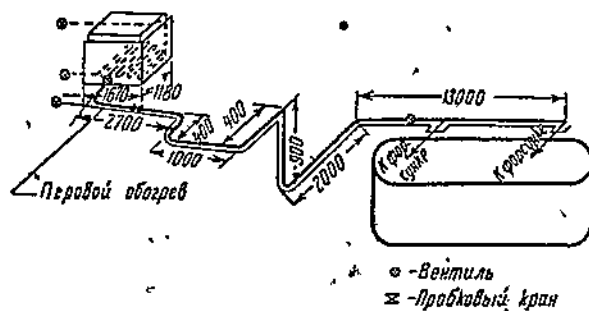


Рис. 62. Схема нефтеснабжения мартена № 7 (старый фасонолитейный цех)

Описание опытных плавов

Состав шихты и расход добавочных и правочных материалов. Шихта для опытных плавов назначалась такого же состава, как и для обычных заводских плавов. В состав шихты входили передельный коксовый чугун, отходы прокатного цеха и известь.

Для большинства плавов в передел поступал чугун одного и того же химического состава. Отходы прокатного цеха представляли собой обрезки квадратной и листовой заготовки.

В завалку для всех плавов, как обычно, давалась известь в количестве 8—10 лопат.

С целью получения сравнительной характеристики мазутной суспензии как топлива и для обеспечения одинаковых условий процесса плавов в состав шихты для плавов на одну и ту же марку стали давалось одинаковое количество чугуна и отходов прокатного цеха.

Продолжительность плавов. Поскольку шихта на одну и ту же марку стали как для плавов на обыкновенном мазуте, так и для плавов на суспензии была одинаковая, а плавки производились в течение короткого времени, так что работа печи не могла значительно отразиться на процессе плавов, то длительность отдельных периодов плавов и продолжительность плавов в целом являются характерными величинами, на которые при прочих равных условиях не могло не оказать влияние качество сжигаемого в печи топлива.

Для того чтобы получить более или менее правильное представление о продолжительности отдельных плавов на обыкновенном мазуте и мазутной суспензии, необходимо рассмотреть, какая существует связь отдельных периодов плавки между собой и с продолжительностью плавки в целом.

Продолжительности плавов на обыкновенном мазуте и мазутной суспензии

№ плавов	Марка стали	Мазут	Завалка	Плавление	Кипение
М-989	Ст. 35 фасонная	Обыкновенный	1 час 10 мин.	1 час 47 мин.	1 час 39 мин.
М-1008	" 35 "	"	1 " 10 "	1 " 06 "	2 " 09 "
М-1009	Марганцевая фасонная	"	1 " 00 "	1 " 17 "	2 " 30 "
М-1013	" " "	Суспензия	— 51 "	1 " 19 "	1 " 51 "
М-1014	" " "	"	— 40 "	1 " 25 "	1 " 02 "
М-1015	Ст. 35 фасонная	"	1 " 10 "	1 " 13 "	1 " 08 "
М-1022	Ст. 10 фасонная	"	1 " 12 "	1 " 01 "	1 " 17 "

Завалка. Шихта для всех плавов заваливалась вручную. Длительность завалки колебалась в пределах от 40 мин. до 1 часа 18 мин. Наименьшая длительность завалки относится к плавкам марганцевой стали, так как вес шихты, идущей в завалку, несколько меньше по сравнению с весом шихты для плавов углеродистой стали.

Длительность завалки влияет на продолжительность плавки: с увеличением длительности завалки увеличивается продолжительность плавки.

Плавление. Длительность плавления шихты при прочих равных условиях зависит как от длительности завалки, так и от работы мартеновской печи. Влияние длительности завалки, как показывает практика, в общем значительно, так что длительность плавления шихты, главным образом, зависит от работы мартеновской печи.

С увеличением длительности плавления увеличивается и общая продолжительность плавки.

Кипение. Длительность кипения металла зависит как от работы мартеновской печи, так и от состава металла, полученного к моменту полного расплавления шихты. С увеличением длительности периода кипения увеличивается продолжительность плавки в целом. Таким образом, общая продолжительность плавки складывается из длительности отдельных периодов, зависящих от различных факторов.

Сравнение продолжительности плавов на обыкновенном мазуте и на суспензии

Опытные плавки, за исключением плавки М-989, были произведены в короткий срок. Следовательно, работа печи, зависящая от кампании печи, не могла отразиться на продолжительности плавов.

Плавка № М-989 произведена до ремонта печи, а остальные плавки — после ремонта печи, который заключается в смене свода и насадок регенераторов.

Ввиду того что плавки производились на сталь различного химического состава, сравнение продолжительности плавов произведено по отдельным маркам выплавленной стали.

Плавки марганцевой стали Гадфильда. На марганцевую сталь Гадфильда было сделано три плавки: М-1009, М-1013 и М-1014.

Плавка М-1009 на обыкновенном мазуте имеет общую продолжительность 4 часа 47 мин., а плавка М-1013 на мазутной суспензии —

4 часа 0.1 мин. Увеличение общей продолжительности плавки на обыкновенном мазуте по сравнению с плавкой на мазутной суспензии составляет 19%. Длительность завалки в плавке М-1009 больше на 9 мин. по сравнению с плавкой М-1013, однако это не могло оказать большое влияние как на длительность плавления, так и на общую продолжительность плавки, что и подтверждается данными, приведенными в таблице; длительность плавления шихты для плавки М-1009 составляет 1 час. 17 мин., а для плавки М-1013 на коллоидном мазуте — 1 час. 19 мин.

Продолжительность кипения для этих плавков весьма различна, если для плавки М-1009 на обыкновенном мазуте она составляет 2 часа 50 мин., то для плавки М-1013 на коллоидном мазуте — 1 час 50 мин. Длительный период кипения и служит объяснением большой продолжительности плавки М-1009.

Если сравнить условия периода кипения для этих двух плавков, то все они подтверждают преимущество плавки М-1013 на мазутной суспензии.

В плавке М-1009 после полного расплавления шихты металл содержал 0.13% углерода (экспресс-анализ — 0.36% углерода), а в плавке М-1013 на мазутной суспензии — 0.69% углерода (экспресс-анализ — 0.77% углерода).

Следовательно, в плавке М-1013 на мазутной суспензии металл по расплавлению содержал значительно больше углерода, чем в плавке М-1009 на обыкновенном мазуте.

Исходя из этого, следовало бы ожидать удлиненного периода кипения плавки М-1013 на суспензии; в действительности же период кипения этой плавки оказался менее продолжительным.

Если обратиться к температурным условиям плавков, то можно видеть, что температура пламени в плавке М-1013 на мазутной суспензии очень мало отличалась от температуры пламени в плавке М-1009 на обыкновенном мазуте, тем не менее температура металла плавки М-1013 на суспензии была значительно выше температуры металла плавки М-1009 на обыкновенном мазуте. К тому же необходимо добавить, что в период кипения плавки М-1013 на суспензии было дано в ванну 93 кг железной руды в то время, как в плавку М-1009 на обыкновенном мазуте железная руда не давалась.

Из этого можно сделать вывод, что мартеновская печь при работе на углемазутной суспензии обеспечивала более быстрый и высокий нагрев металла, чем при работе на обыкновенном мазуте. Благоприятные температурные условия плавки, как видно, дали возможность форсировать период кипения и тем самым уменьшить его длительность.

Подтверждением всех вышеприведенных рассуждений могут также служить данные, характеризующие продолжительность плавки М-1014, проведенной на мазутной суспензии. Плавка эта отличается сравнительно коротким периодом завалки и удлиненным периодом плавления. Металл по расплавлению содержал 0.11% углерода, что и послужило причиной значительному уменьшению длительности кипения.

Несмотря на весьма низкий процент углерода в металле, по расплавлению плавка была продолжена по назначению и доведена до конца. В сравнительно короткий период кипения металл был нагрет до необходимой температуры, и разливка протекала вполне нормально.

Плавка стали-35 для фасонного литья. На углеродистую сталь-35 для фасонного литья было произведено три плавки М-989, М-1008 и М-1015, из которых первые две на обыкновенном мазуте и последняя на углемазутной смеси.

Плавка М-989 была произведена до ремонта печи, поэтому она может характеризовать лишь работу мартеновской печи к концу кампании.

Таблица 32
Изменение температуры факела пламени в процессе плавок на обыкновенном надуе и надутой смеси

М-989 Ст.-35			М-1013 Ст.-35			М-1009 Марганцевая			М-1013 Марганцевая			М-1014 Марганцевая			М-1015 Ст.-35			М-1022 Ст.-10		
обычн. надув			обычн. надув			обычн. надув			сусуеппия			сусуеппия			сусуеппия			сусуеппия		
время	темпе- ратура		время	темпе- ратура		время	темпе- ратура		время	темпе- ратура		время	темпе- ратура		время	темпе- ратура		время	темпе- ратура	
час. мин.			час. мин.			час. мин.			час. мин.			час. мин.			час. мин.			час. мин.		
13 00	1500		12 32	1620		13 45	1585		10 40	1650		11 00	1590		14 30	1590		13 05	1570	
13 15	1590		12 35	1660		15 30	1590		11 00	1710		11 30	1600		15 00	1580		13 30	1580	
13 30	1580		13 10	1640		16 00	1595		11 15	1620		11 45	1605		15 15	1590		14 05	1590	
13 47	1600		13 30	1700		16 15	1625		11 30	1610		12 00	1620		15 30	1600		14 30	1660	
14 00	1640		13 46	1710		16 30	1650		11 35	1620		12 15	1660		15 45	1610		14 48	1655	
14 15	1640		14 00	1730		16 45	1660		12 10	1630		12 30	1670		16 00	1680		15 15	1695	
14 45	1640		14 15	1730		17 00	1660		12 25	1650		12 45	1685		16 15	1700		15 30	1750	
15 00	1660		14 30	1740		17 15	1670		12 40	1680		13 00	1710		16 46	1720		15 45	1760	
15 30	1670		14 40	1750		17 30	1680		12 56	1710		13 15	1740		17 00	1750		15 52	1780	
—	—		—	—		17 46	1710		13 10	1710		13 30	1745		17 25	1775		16 03	1780	
—	—		—	—		18 00	1750		13 25	1710		13 47	1765		—	—		—	—	
—	—		—	—		18 15	1740		13 40	1740		—	—		—	—		—	—	
—	—		—	—		18 30	1770		14 05	1730		—	—		—	—		—	—	
—	—		—	—		18 45	1780		14 20	1750		—	—		—	—		—	—	
—	—		—	—		19 01	1780		14 31	1760		—	—		—	—		—	—	
—	—		—	—		19 31	1780		—	—		—	—		—	—		—	—	

Плавки М1008 на обыкновенном мазуте и М-1015 на суспензии по длительности завалки и плавления шихты почти не отличаются одна от другой. Следует лишь отметить, что плавка М-1015 имеет сравнительно большую длительность плавления (на 7 минут).

Точно так же мало отличаются плавки и содержанием углерода в металле по расплавлению: металл плавки М-1008 по расплавлению содержал 1.10% углерода, а металл плавки М-1015 на суспензии — немного более, а именно 1.2% углерода. Содержание марганца в первых пробах металла также не показывает значительной разницы. Что же касается длительности периодов кипения, температурных и других условий, плавки показывают весьма характерные и различные результаты.

При почти одном и том же содержании углерода в металле по расплавлению в период кипения плавки М-1008 на обыкновенном мазуте для форсирования хода плавки было использовано 122 кг железной руды, тогда как по ходу плавки М-1015, несмотря на сравнительно более высокое содержание углерода в металле, железная руда совершенно не расходовалась.

Несмотря на форсирование процесса, период кипения металла плавки М-1008 продолжался 2 часа 09 мин., тогда как в плавке М-1015 на мазутной суспензии длительность периода кипения составила 1 час 06 мин.

Различная длительность периодов кипения отразилась и на общей продолжительности плавки. Продолжительность плавки М-1008 на обыкновенном мазуте составила 4 часа 25 мин., а плавки М-1015 на мазутной суспензии — 3 часа 29 мин. Следовательно, при производстве углеродистой стали увеличение продолжительности плавки на обыкновенном мазуте, по сравнению с продолжительностью плавки на суспензии, составляет 26.8%.

Плавка М-1015 на углемазутной смеси характерна весьма большой скоростью окисления углерода. Если в плавке М-1008 средняя скорость окисления углерода составляет 0.0075% в минуту, то в плавке М-1015 она достигает 0.017. Такая скорость окисления углерода весьма высока, тем более что плавка протекала без присадки железной руды.

Большей скорости окисления углерода в плавке М-1015 на суспензии способствовали более активные и железистые шлаки по сравнению со шлаками плавки М-1008, а также очень высокая температура металла. Приблизительно такие же результаты, как и плавка М-1015, дала плавка М-1022, тоже проведенная на суспензии.

Плавка М-1022 была проведена на более мягкую сталь (сталь-10) для того, чтобы полнее выявить температурные условия плавки на суспензии.

Продолжительность плавки М-1022 составила 3 часа 36 мин. Увеличение продолжительности плавки М-1008 на обыкновенном мазуте, по сравнению с плавкой М-1022 на суспензии, составляет 22.7%.

Металл плавки М-1022 по расплавлению содержал 1.04% углерода. Средняя скорость окисления углерода составляет 0.014% при использовании 60 кг железной руды.

Сравнительный обзор продолжительности плавки на обыкновенном мазуте и углемазутной смеси показывает, что плавки на смеси имели меньшую продолжительность по сравнению с плавками на обычном мазуте. Экономия времени составляет 19% плавки марганцевистой стали и 22.7—26.8% для плавки углеродистой стали. Уменьшение продолжительности плавки на смеси происходило, главным образом, за счет сокращения периода кипения, вследствие интенсивного хода окислительных реакций и сравнительно быстрого и высокого подъема температуры металла.

Температурные условия плавки. При производстве опытных плавки производились замеры температуры факела пламени и температуры металла. Замер температур производился оптическим пирометром «Пиропто». Температура факела пламени замерялась через каждые 15—20 мин., преимущественно через среднее окно, а в отдельных случаях, когда мешал дым, и через крайние завалочные окна. Температура металла измерялась в ложке при взятии проб.

Рассмотрение данных таблицы показывает, что температура факела пламени как для плавки на обычном мазуте, так и для плавки на суспензии колебалась в широких пределах и в отдельных плавках к концу процесса достигала одного и того же значения.

Однако кривые совершенно отчетливо выявляют более резкое повышение температуры факела пламени в плавкости на суспензии; этим особенно отличается плавка М-1022 на сталь-10 и плавка М-1015 на сталь-35.

Плавки М-1015 и М-1014 марганцевой стали* на суспензии по характеру подъема температуры факела пламени очень сходны с плавками М-1008 и М-1009 на обыкновенном мазуте. При этом следует отметить следующее обстоятельство: плавка М-1008 была проведена на сталь-35, и поэтому ее сравнивать с плавками марганцевой стали полностью нельзя, так как плавки марганцевой стали к концу процесса идут несколько пониженной тепловой мощности мартеновской печи. Плавка М-989 на сталь-35 выделяется особь, так как она была произведена до ремонта.

При разборе температурных условий плавки, на основании результатов измерения температуры факела пламени следует, однако, отметить, что замеры производились в различных условиях и вследствие этого в измерениях возможны неточности, которые могли произойти вследствие влияния дыма, стен печи и, наконец, потому, что измерение могло производиться не всегда в одном и том же месте факела пламени.

Чтобы яснее и полнее выявить влияние топлива на температурные условия плавки, в табл. 33 приведены данные, характеризующие подъем температуры факела пламени на промежуток времени в одну минуту.

Таблица 33

Повышение температуры факела пламени в одну минуту в плавках на обыкновенном и коллоидном мазуте

№ плавки	Марка стали	Мазут	Повышение температуры в град/мин.
М- 989	Ст. 35 фасонная	Обыкновенный	0.60
М-1008	„ 35 „	„	0.72
М-1009	Марганцевая фасонная	„	0.97
М-1013	„ „	Мазутная суспензия	0.42
М-1014	„ „	„	1.05
М-1015	Ст. 35 фасонная	„	1.06
М-1023	„ 35 „	„	1.17

Примечание. В плавке М-989 исключен из подсчетов первый замер температуры как маловероятный.

Из данных, приведенных в табл. 33, видно, что при сжигании мазутной суспензии в мартеновской печи температура факела пламени возрастала быстрее, чем при сжигании обычного мазута.

Более быстрое возрастание температуры факела пламени при суспензии, вполне понятно, не могло не отразиться на нагреве металла. Как и следовало ожидать, температура металла плавков на суспензии возрастала сравнительно быстрее, чем температура металла плавков на обыкновенном мазуте. На рис. 63 представлены кривые, характеризую-

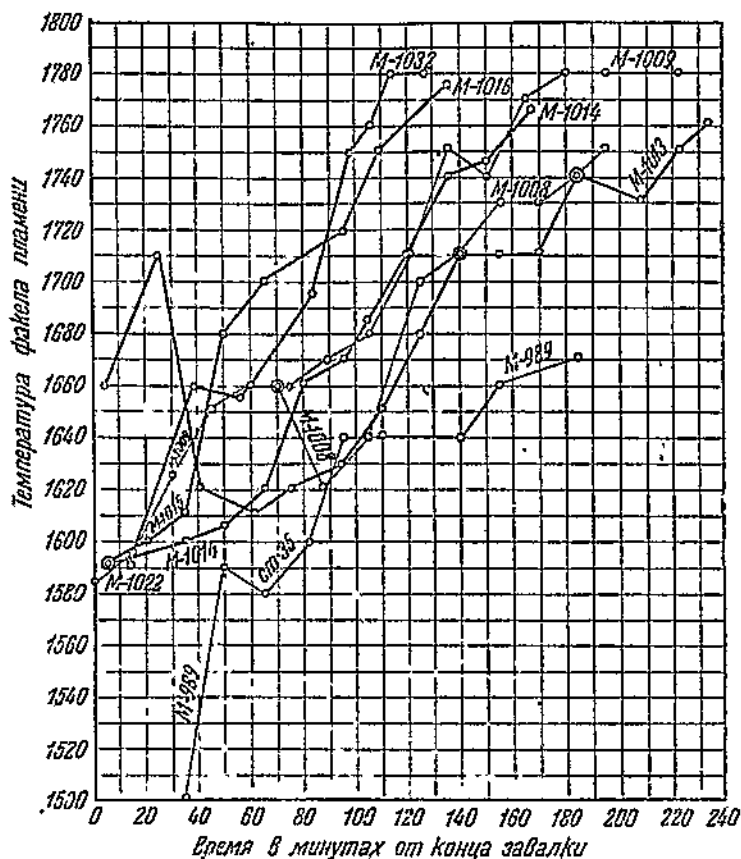


Рис. 63. Изменение температуры факела пламени

щие изменение температуры факела пламени в процессе плавки на обыкновенном мазуте и на суспензии. Как изменялась температура металла в зависимости от температуры факела пламени по отдельным плавкам, видно на рис. 64.

Однако такое сравнение температурных условий плавки не является достаточно убедительным, так как плавки производились на различные марки стали.

Для того чтобы выявить разницу в температурных условиях плавки на обыкновенном мазуте и на смеси, произведем сравнение плавки, проведенных на одну и ту же марку стали.

На рис. 65 представлена диаграмма, показывающая, как изменялась температура металла и факела пламени при производстве стали-35 на обыкновенном мазуте и на суспензии. Из этой диаграммы совершенно ясно видно, что за один и тот же промежуток времени от начала заливки температура металла и факела пламени в плавке M-1015 на смеси была значительно выше, чем в плавке M-1008 на обыкновен-

ном мазуте. Такие же результаты изменения температурных условий дает диаграмма для плавки М-989 на обыкновенном мазуте и М-1022 на суспензии. Следует, однако, отметить, что плавка М-1022 проводилась на сталь-10, тогда как плавка М-989 — на сталь-35.

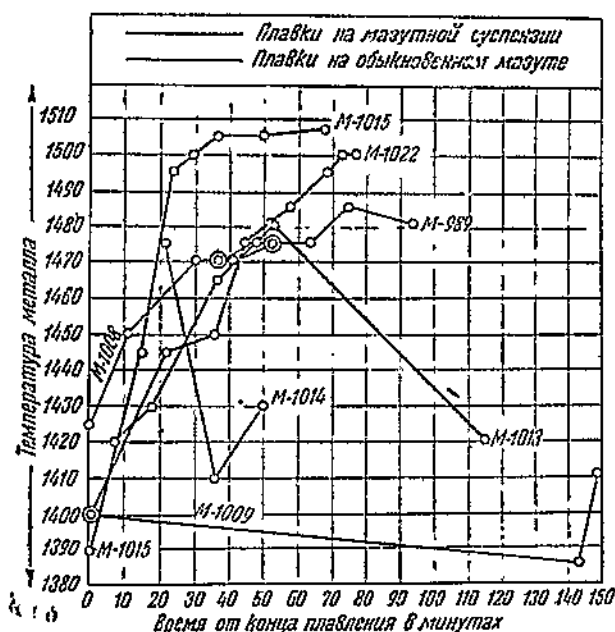


Рис. 64. Изменение температуры металла

Из обзора температурных условий плавки можно установить, что плавки на углемазутной смеси, по сравнению с плавками на обыкновенном мазуте, отличаются более высокой температурой металла и факела пламени, а также более резким повышением температуры металла и факела пламени в процессе плавки.

Причину получения более высоких температур металла и факела пламени, а также более резкого повышения этих температур в про-

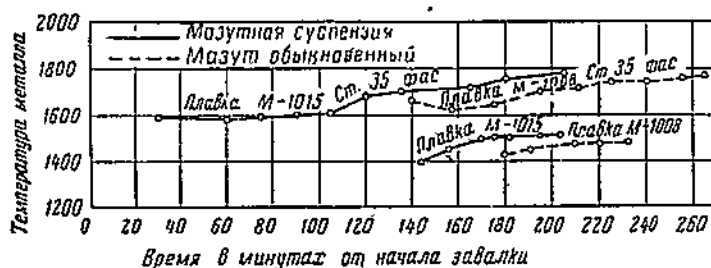


Рис. 65. Температуры плавки стали-35 на мазуте и суспензии

цессе плавки стали на углемазутной смеси, следует искать в свойствах этого топлива. Надо полагать, что наличие значительного количества твердых частиц угля в мазуте увеличивает светимость пламени при сжигании мазута в мартеновской печи, в результате этого возрастает отдача тепла излучением, что, со своей стороны, обеспечивает лучшие условия для нагрева металла.

Расход топлива. Кроме продолжительности плавки, от величины которой зависит производительность печи, наиболее важным по-

казателем является удельный расход топлива, характеризующий при равных условиях эффективность сжигания топлива.

В табл. 34 приведены удельные расходы топлива, выраженные в единицах условного топлива и в калориях.

Таблица 34

№ плавки	Марка стали	Продолжительность плавки	Род топлива	Удельные расходы			Расход сжатого воздуха, в кг/кг
				в усл. топливе	в кал/кг	только мазута в усл.	
М-1008	Ст. 35	4.25	Мазут	0.196	1376	0.196	—
М-1009	Марганц.	4.47	"	0.185	1300	0.185	2.526
М-1013	"	4.01	Суспензия	0.161	1122	0.113	2.69
М-1014	"	3.07	"	0.113	792	0.087	2.277
М-1015	Ст. 35	3.29	"	0.132	928	0.102	2.316
М-1032	Ст. 10	3.36	"	0.139	975	0.1023	2.09

Вследствие того, что вылущенный металл не подвергался взвешиванию, выход годного в проведенных плавках не определялся. Удельные расходы топлива отнесены поэтому к жидкой стали (на поду печи).

Сопоставляя удельные расходы по одинаковым маркам, мы видим следующее. В плавке М-1008 на сталь-35 на обычном мазуте удельный расход топлива равен 0.196 в условном выражении, или 1576 кал/кг. В плавке М-1015 на аналогичной марке стали, но при работе на суспензии удельный расход получился равным 0.132 в условных тоннах, или 928 кал/кг, т. е. ниже на 32.6%.

По марганцевой стали. Плавка М-1009 на мазуте имеет удельный расход 0.185 в условных тоннах, или 1300 кал/кг, а плавка М-1013 на суспензии показала удельный расход, равный 0.161 в условном выражении, или 1.122 кал/кг, т. е. меньше, чем в плавке М-1009 на 13%.

Если обратимся к плавке М-1014, проведенной также на суспензии, то ее удельный расход топлива еще ниже, а именно: 0.113 в условном выражении, или 792 кал/кг, т. е. ниже, чем в плавке М-1009 на 38.9%.

Исключительно низкий удельный расход топлива в плавке М-1014 обусловлен быстрым попаданием в анализ и малой продолжительностью плавки (3 часа 07 мин.).

Плавка М-1022 на сталь-10 проведена на суспензии и показала также низкий удельный расход топлива, а именно: 0.139 в условном выражении, или 975 кал/кг.

Разобранные данные позволяют сделать следующий вывод: на всех марках сталей, выплавленных во время опытов, удельные расходы топлива при работе на углемазутной смеси значительно ниже, чем на обыкновенном мазуте, в общем на 13—38.9%.

Расход сжатого воздуха. Расход сжатого воздуха на распыление при работе на мазуте оказался равным 2.526 кг на килограмм распыленного топлива. В плавке М-1008 расход не измерялся. При работе на суспензии мы имеем в плавке М-1013 расход, равный 2.69 кг/кг, т. е. более высокий, чем в плавке М-1009 на мазуте. На всех же остальных плавках расход сжатого воздуха несколько ниже: от 2.316 до 2.09.

Все приведенные здесь расходы сжатого воздуха на мазуте и на мазутной суспензии признаны повышенными. В условиях работы они не являются характерными для испытываемых топлив, так как расход сжатого воздуха регулируется сталеваром на-глаз и не всегда устанавливается в соответствии с поступлением мазута через форсунки.

Тепловые балансы. По каждой плавке составлены материальный и тепловой балансы.

Низкие удельные расходы топлива, полученные на мазутной суспензии, находят свое отражение в соответствующих статьях тепловых балансов. Мы видим резкую разницу коэффициентов полезного действия, получающихся на обоих видах топлива. Так, к. п. д. печи при работе на мазуте получился в пределах 13.4—16.4%, тогда как при работе на суспензии — от 20.1 до 25.2%.

При сопоставлении по одинаковым маркам имеем следующее: по марганцевой стали в плавке М-1009 на мазуте к. п. д. 13.4%, а в плавках М-1015 и М-1014, соответственно, 21.1 и 25.2%, т. е. значительно более высокие.

Аналогичную картину имеем по стали-35. В плавке М-1008 на мазуте к. п. д. равен 16.4%, а в плавке М-1015 на суспензии к. п. д. равен 20.1%.

К. п. д. в плавке М-1022 на сталь-10 равен 22.7% и должен быть признан также высоким.

То обстоятельство, что более высокий к. п. д. печи получается буквально на всех плавках, проведенных на суспензии, свидетельствует о том, что это явление не случайное и целиком должно быть отнесено к достоинствам углемазутной смеси.

По другим статьям балансов имеем следующее: потери тепла с охлаждающей водой, при относительном постоянстве температуры воды на входе и выходе, практически зависят почти целиком от продолжительности плавки. Поэтому по абсолютной величине эти потери у всех плавов, проведенных на суспензии, получились ниже, чем у плавов на мазуте.

Потери тепла с выбиванием пламени, вследствие малой достоверности существующих методов подсчета и отсутствия непосредственных измерений, оценены приблизительно. Принято, что путем выбивания через окна и щели теряется около 10% от общего количества газов, образовавшихся при сгорании топлива.

Потери тепла с дымовыми газами определены на основе измерения температуры последних в воздушном клапане. Средние температуры отходящих газов колеблются во всех плавках в пределах 415—480°, причем по одинаковым маркам температуры газов на суспензии на 30—45° ниже, чем на мазуте, что находится в известной зависимости от расхода топлива и степени использования тепла в рабочем пространстве печи.

Влияние углемазутной смеси на качество стали

При выплавке стали на коллоидном топливе можно было предполагать о возможности увеличения количества серы в металле, вследствие более высокого содержания серы в мазутной суспензии.

В состав углемазутной смеси входила угольная пыль в количестве 30%, причем мазут, который был использован для образования суспензии, содержал 0.53% серы, а угольная пыль 4.13% серы.

Суспензия содержала 0.71% серы. По сравнению с бакинским мазутом, который обычно содержит 0.20—0.40% серы, мазутная суспензия при проведении опытных плавов, как видно, отличалась более высоким содержанием серы.

К другим факторам, которые могли оказать влияние на качество

стали, можно отнести температурные условия плавки на мазутные суспензии.

Химический состав металла и шлака. При производстве опытных плавки, как выше уже указывалось, производился отбор проб металла и шлака для химического анализа. Кроме того, в процессе плавки отбирались пробы металла для экспресс-анализа.

Изменения химического состава металла в процессе плавки показывают, что выделение серы из металла в шлак в плавках углеродистой стали как на обыкновенном мазуте, так и на углемазутной смеси происходило в незначительной степени. В плавке М-1008 на обыкновенном мазуте можно даже отметить небольшое увеличение серы в металле.

Несколько лучшие результаты по удалению серы из металла дают плавки марганцевой стали. При этом следует отметить, что в плавках М-1015 и М-1014 на мазутной суспензии удаление серы из металла происходило в большей степени, чем в плавке М-1009 на обыкновенном мазуте.

Лучшее удаление серы из металла в плавках марганцевой стали объясняется высоким содержанием марганца в металле.

Если бы в плавках на суспензии имел место значительный переход серы из дымовых газов в металл, то это отразилось бы как на составе металла, так и шлака. Шлаки плавки на обыкновенном мазуте, содержали от 0.056% до 0.14% серы, а шлаки плавки на углемазутной смеси — от следов до 0.108% серы.

На основании изменений состава металла и шлака в процессе плавки можно сделать заключение, что при использовании суспензии с содержанием до 0.71% серы заметного перехода серы из дымовых газов в металл не происходит. Следовательно, углемазутная смесь как топливо вполне может быть пригодна для производства качественных сталей.

В связи с рассмотрением возможности перехода серы из дымовых газов в металл, необходимо установить, какое при этом значение имели шлаки опытных плавки.

Шлаки всех опытных плавки по своему химическому составу не были нормальными. Шлаки характерны весьма низкой основностью и весьма высоким содержанием окислов магния.

На основании наблюдений за плавками можно сказать, что все плавки без исключения протекали под густыми шлаками. В период кипения вместо извести для наводки шлака приходилось расходовать значительное количество шамотного боя и песка. Образование таких ненормальных шлаков по составу и по консистенции объясняется малой дозой извести и небрежной заправкой печи.

Совершенно ясно, что такие шлаки не могли способствовать удалению серы из металла, и если бы в плавках на суспензии имел место переход значительных количеств серы из дымовых газов, то это неизбежно отразилось бы на содержании серы в металле.

При нормальном составе шлаков можно было бы удалить более значительное количество серы в шлаках и получить металл с меньшим количеством серы.

Ухудшение качества стали, в зависимости от температурных условий плавки, можно бы было ожидать в тех случаях, когда топливо, сжигаемое в мартеновской печи, не обеспечивает горячий ход плавки и нагрев металла до необходимой температуры. В этих случаях плавки характерны затяжным и вялым кипением металла и плохой его дегазацией.

При рассмотрении температурных условий опытных плавки было установлено, что плавки на суспензии, при прочих равных условиях, отличаются более высоким подъемом температуры пламени и металла.

Сравнение продолжительности опытных плавов также показывает, что плавки на суспензии отличаются быстрым и энергичным кипением металла.

Из этого можно сделать заключение, что мазутная суспензия, обеспечивая более высокие температуры в процессе плавки тем самым создает необходимые условия для улучшения качества стали.

Выводы

Наблюдения и количественные показатели, полученные при проведении опытных плавов на мазуте и на углемазутной смеси, позволяют сделать следующие выводы.

1. Углемазутная смесь оказалась пригодной в качестве топлива для мартеновской печи и обеспечила требуемые температурные условия для всех марок выплавленной стали: сталь Гадфильда (марганцевая), сталь-35 и сталь-10.

2. Факел пламени смеси обладает большей яркостью, чем у мазута.

3. При работе на углемазутной смеси продолжительность плавки сокращается в сравнении с мазутом по углеродистой стали на 22.7% и 26.8%, по стали марганцевой на 19%.

4. Плавки на углемазутной смеси характерны весьма большой скоростью выгорания углерода. Сокращение продолжительности плавки идет, главным образом, за счет периода кипения.

5. Горение углемазутной смеси характерно более быстрым подъемом температуры, чем на мазуте.

6. В периоды завалки и плавления при горении смеси в полости рабочего пространства над факелом образуется непрозрачный, мутный слой, состоящий, по видимому, из продуктов незавершенных реакций горения и взвешенных частиц золы. В период кипения мутный слой исчезает.

7. Сколько-нибудь значительных перебоев с поступлением углемазута к форсункам не наблюдалось. В отдельных случаях при переключении форсунок наблюдалось замедленное поступление мазута. В периоды завалки и плавления работа форсунок проходила при полном открытии регулирующих вентилях.

8. Плавки на углемазутной смеси показали более низкие удельные расходы, чем при работе на мазуте: по стали-35 на 32.6%, по стали Гадфильда (марганцевой) на 13% и в одном случае на 38.9%.

9. При работе на углемазутной смеси к. п. д. печи получается значительно выше, чем на обыкновенном мазуте.

10. На качестве металла работа углемазутной смеси не отразилась. Перехода серы из газов в металл не отмечено.

11. В целях выявления всех сторон работы мартеновской печи на углемазутной смеси и, в частности, выяснения вопроса о стойкости печи и засорении регенеративных насадок, необходима постановка исследовательских работ в условиях длительной эксплуатации. Равным образом, процессы горения смеси, процесс теплоотдачи факела, вопросы транспортировки суспензии, распыления и пр. должны явиться предметом специальных исследований¹.

Выводы заводских работников являются весьма определенными и в дальнейшей характеристике не нуждаются. Несмотря на указания некоторых авторов (например, Стривенса), что углемазутные смеси можно сжигать в печах, в литературе до сих пор не было ни конкретных указаний, ни описаний подобного рода использования углемазутных смесей. Таким образом, в мировой практике такое использование

¹ Приведенные опыты описаны в сокращенной форме в "Известиях Академии Наук" по разделу технического отделения за 1938—1939 гг. (8).

углемазутных смесей в печах зафиксировано впервые; следует также иметь в виду, что при этом выплавлена высококачественная сталь.

Продолжительность плавки на суспензии во всех случаях меньшая, чем на мазуте, и обращает внимание, как это уже указывалось, короткое кипение; к. п. д. печи возрастает по сравнению с мазутом, общий удельный расход падает, и расход мазута сокращается до 54% при содержании угольного порошка около 30%.

Опыты 1939 г. Ввиду полученных положительных результатов опыты по сжиганию углемазутных смесей предложено было повторить в большом масштабе. С этой целью была построена установка для изготовления смесей и поставлено сжигание в 30-тонной мартеновской печи завода «Серп и молот» (Москва).

Характеристика мартеновской печи

1. Площадь пода, по Павлову	15.2 м ²
2. по ГУМП	12.0 .
3. Длина печи на уровне садочных окон	5.2 м
4. Ширина печи на уровне садочных окон	2.4 .
5. Глубина ванны в середине уровня садочных окон	0.70 .
6. Уровень стояния спокойной ванны выше металлического порога	0.30 .
7. Высота свода над уровнем металлического порога	2.15 .
8. Угол наклона передней стены	10°
9. Размеры воздушной насадки (кладка системы Сименса)	
длина	4.0 м
ширина	3.3 .
высота	3.43 .
10. Перекидной клапан системы „Симплекс“	
11. Объем воздушной насадки	46 м ³
12. Основные размеры дымовой трубы:	
высота	40 м
диаметр нижний	2.0 .
„ верхний	1.4 .
13. Объем насадки на 1 м ² площади пода	3.8 м ³
14. Объем насадок на 1 т	1.6 .

Порядок проведения опытных плавки. Опытные плавки проводились в обычных производственных условиях¹ с полным хронометражем процесса заправки, плавки и разливки стали.

Во время опытных плавки производились замеры температуры факела пламени, задней стенки и металла. Замер температуры задней стенки производился во время перекидки клапанов через среднее окно. Температура металла измерялась при взятии проб металла в ложке после сдвигивания шлака, а также при выпуске металла из печи и во время разливки по отдельным сифонам. Температуры измерялись опытными пирометристами оптическим пирометром «Пиропто».

По ходу плавки отбирались пробы металла и шлака для химического анализа. Отбор проб металла и шлака производился следующим порядком:

- 1-я проба—после полного расплавления шихты
- 2-я . —после смачивания шлака
- 3-я . —в середине периода кипения
- 4-я . —перед предварительным раскислением
- 5-я . —перед выпуском

Пробы металла, как правило, раскислялись алюминием.

Чугун для отдельных опытных плавки подавался по паспорту заводов-поставщиков. Для значительной части опытных плавки отбирались

¹ Ответственным за плавку оставался сталевар.

пробы чугуна, железной руды, известняка, извести и ферросплавов для химического анализа.

Шихтовка плавов производилась обычным цеховым порядком. Никаких особых условий для опытных плавов, помимо установленных наблюдений, не создавалось.

Металлическая шихта перед подачей на площадку печи подвергалась взвешиванию. Расход железной руды и флюсов определялся мульдами и лопатами.

Завалка шихты производилась завалочной машиной мостового типа.

Количество опытных плавов и марки выплавленной стали

Всего было сделано 30 опытных плавов, которые по маркам стали подразделяются следующим порядком (табл. 35).

Т а б л и ц а 35

Марка стали	Количество плавов		
	с применением углемазутной смеси	с применением обычного мазута	всего
Ст.-10—20	9	5	14
Ст.-35—45	7	6	13
Железо-армко . .	2	1	3
	18	12	30

Календарь производства опытных плавов с указанием номеров плавов порядковых, по насадкам и по своду приведен в табл. 36.

Первая опытная плавка № 5218 на обычном мазуте была сделана 12/III. К этому времени печь № 5 по насадкам и по своду сделала 117 плавов.

В течение производства опытных плавов печь сделала по насадкам и по своду 277 плавов. Последняя опытная плавка № 5374 была сделана на углемазутной смеси 25/IV за три плавки до остановки печи.

26/IV печь № 5 была остановлена на ремонт верха и частично низа. Во время ремонта было обнаружено, что в правой части обрушился свод регенератора и вертикальный канал.

После этого ремонта печь вновь пущена и проработала до 26/VI, сделав по насадкам еще 167 плавов.

Следует отметить, что после апрельского ремонта мартеновская печь стала работать заметно хуже вследствие ухудшения тяги.

В первую кампанию мартеновской печи № 5 с 6/II по 26/IV 1939 г. было проведено 16 опытных плавов (табл. 37).

За время с 26/IV по 28/VI 1939 г. было произведено четыре опытных плавки на углемазутной смеси (табл. 38).

Первая опытная плавка № 5397 была сделана 8/V. К этому времени печь сделала 297 плавов по насадкам и 20 плавов по своду.

Последняя опытная плавка № 5461 была сделана 28/V. Печь к этому времени сделала 360 плавов по насадкам и 83 плавки по своду.

Всего за время с 6/II по 28/VI мартеновская печь сделала по насадкам 444 плавки. За это время было сменено два главных свода, из которых первый выдержал 277 плавов и второй 167 плавов.

Опытные плавки, проведенные на обыкновенном мазуте и на углемазутной смеси

№ п.п.	Дата	№ плавки от начала года	№ плавки от начала кампании	№ плавки по своду	Марка стали	Топливо
1	2	3	4	5	6	7
1	12/III	5218	118	118	Ст.-46	мазут
2	12/III	5219	119	119	Ст.-45	углемазут
3	14/III	5230	130	130	Ст.-40	"
4	22/III	5265	165	165	Ст.-45	"
5	6/IV	5314	214	214	Ст.-45	"
6	6/IV	5315	215	215	Ст.-45	"
7	8/IV	5321	221	221	Ст.-40	мазут
8	12/IV	5334	234	234	Ст.-45	"
9	12/IV	5335	235	235	Ст.-35	"
10	14/IV	5341	241	241	Ст.-40	углемазут
11	15/IV	5345	245*	245	Ст.-20	мазут
12	18/IV	5352	252	252	Ст.-20	"
13	18/IV	5353	253	253	Ст.-20	"
14	20/IV	5359	259	259	Ст.-15	"
15	24/IV	5370	270	270	Ст.-20	углемазут
16	25/IV	5374	274**	274	Ст.-20	"
17	8/V	5397	297	20	Ст.-10	"
18	27/V	5458	358	81	Ст.-20	"
19	28/V	5460	360	83	Железо-армко	"
20	29/V	5461	361***	84	Ст.-10	"
21	26/VII	5508	64	64	Сталь-армко	"
22	27/VII	5611	67	67	Ст.-15	"
23	27/VII	5612	68	68	Ст.-20	"
24	28/VII	5615	71	71	Ст.-25	"
25	28/VII	5616	72	72	Ст.-40	"
26	29/VII	5620	76	76	Ст.-20	"
27	5/VIII	5643	99	99	Ст.-15	мазут
28	5/VIII	5644	100	100	Ст.-35	"
29	6/VIII	5645	101	101	Сталь-армко	"
30	6/VIII	5646	102****	102	Ст.-45	"

* Печь № 5 была остановлена с 16 час. 16/IV до 10 час. 17/IV на ремонт арок. Первые плавки после остановки, 5352 и 5353 на обыкновенном мазуте, были проведены с уменьшенной садкой в 25 т вместо установленных 28 т.

** После опытной плавки № 5374 печь сделала еще 3 плавки и была остановлена на ремонт верха и ремонт свода и вертикального канала правого регенератора.

*** После опытной плавки № 5461 печь сделала 83 плавки и была остановлена на капитальный ремонт верха и низа.

**** После опытной плавки № 5646 печь сделала 176 плавки и была остановлена на капитальный ремонт верха и низа.

За эту кампанию мартеновская печь сделала 20 опытных плавки и около 50 обычных плавки на углемазутной смеси.

Остальные 10 опытных плавки были проведены в следующую кампанию печи с 28/VI по 28/IX, 1939 г. (табл. 39).

Таблица 37

Марка стали	Количество плавков		
	углемазутная смесь	обычный мазут	всего
Ст-10—20	2	4	6
Ст-35—45	6	4	10
Всего	8	8	16

Таблица 38

Марка стали	Количество плавков		
	углемазутная смесь	обычный мазут	всего
Ст-10—20	3	—	3
Железо-армко	1	—	1
Всего	4	—	4

Таблица 39

Марка стали	Количество плавков		
	углемазутная смесь	обычный мазут	всего
Ст-10—20	4	1	5
Ст-35—45	1	2	3
Железо-армко	1	1	2
Всего	6	4	10

Первая опытная плавка № 5609 была сделана 26/VII. К этому времени печь № 5 от начала кампании сделала 63 плавки по насадкам и по своду. Последняя опытная плавка № 5646 была сделана 6/VIII по насадкам и по своду 102 плавки.

Всего печь № 5 сделала в эту кампанию по насадкам и по своду 248 плавков, после чего была остановлена на капитальный ремонт.

Шихтовка плавков и состав шихты. Плавки, как уже указывалось выше, шихтовались обычным порядком. В состав шихты назначались стандартный переделный чугуны, покупной железо-стальной лом и отходы своего производства.

Нормально вес садки находился в пределах 28—29 т для стали, 10—20 и 35—45 и 26.5—26.7 т для плавков железа-армко. Плавки

№ 6252, 5358 и 5843 на обычном мазуте производились с уменьшением садкой — 25.28, 25.0 и 27.36 т соответственно.

Количество чугуна в шихте было различным, в зависимости от качества железо-стального лома.

Содержание чугуна в шихте для плавки на углемазутной смеси колебалось в пределах от 28.42% до 35.95%, а для плавок на обычном мазуте от 27.7% до 35.91%.

Непостоянство состава шихты, как это будет указано ниже, влияло как на продолжительность заварки, так и на продолжительность периода кипения вследствие различного содержания углерода в ванне по расплавлению.

Вес и состав шихты для опытных плавок приведен в следующей таблице (табл. 40).

Таблица 40

Вес и состав шихты. Химический состав металла по расплавлению. Опытные плавки, проведенные на обыкновенном мазуте и углемазутной смеси

№ плавки	Марка стали	№ плавки	Топливо	Вес шихты, в кг	% чугуна	% скрапа и лома	Химический состав металла по расплавлению			
							C	Mn	P	S
5218	Ст.-45	M-1	мазут	28390	30.82	69.18	1.10	0.39	0.059	0.030
5219	Ст.-45	K-2	углемазут	29080	31.29	68.71	1.27	0.42	0.058	0.029
5230	Ст.-40	K-3	"	28500	29.82	70.18	1.41	0.38	0.055	0.037
5265	Ст.-45	K-4	"	28680	29.85	70.15	1.25	0.39	0.067	0.037
5314	Ст.-45	K-5	"	29100	31.06	68.94	1.31	0.65	0.082	0.049
5315	Ст.-45	K-6	"	28710	29.81	70.19	1.49	0.22	0.082	0.050
5321	Ст.-40	M-7	мазут	28840	29.47	70.53	1.33	0.44	0.078	0.038
5334	Ст.-45	M-8	"	28280	32.24	67.76	1.28	0.43	0.060	0.033
5335	Ст.-35	M-9	"	29650	32.25	67.75	1.45	0.65	0.065	0.033
5341	Ст.-40	K-10	углемазут	28110	32.23	67.77	1.39	0.80	0.072	0.040
5345	Ст.-20	M-11	мазут	27970	29.82	70.18	0.89	0.26	0.049	0.048
5352	Ст.-20	M-12	"	26280	27.76	72.24	1.36	0.54	0.089	0.028
5353	Ст.-20	M-13	"	25070	31.88	68.12	0.88	0.47	0.034	0.036
5359	Ст.-15	M-14	"	28000	28.57	71.43	1.12	0.41	0.072	0.039
5370	Ст.-20	K-15	углемазут	28040	35.73	64.27	1.04	0.25	0.037	0.042
5374	Ст.-20	K-16	"	28070	28.57	71.43	1.03	0.25	0.070	0.041
5397	Ст.-10	K-17	"	28170	32.23	67.77	1.04	0.20	0.035	0.064
5458	Ст.-20	K-18	"	28260	35.95	64.05	1.05	0.29	0.050	0.063
5460	Железо-армко	K-19	"	26520	34.01	65.99	1.12	0.49	0.068	0.033
5461	Ст.-10	K-20	"	28000	35.71	64.29	1.43	0.45	0.075	0.042
5608	Сталь-армко	K-21	"	26720	32.63	67.37	1.19	0.19	0.017	0.026
5611	Ст.-15	K-22	"	28100	31.33	68.67	0.20	0.23	0.035	0.036
5612	Ст.-25	K-23	"	28100	28.50	71.50	1.85	0.54	0.11	0.038
5615	Ст.-20	K-24	"	28330	32.89	67.11	1.29	0.43	0.098	0.041
5616	Ст.-40	K-25	"	28150	28.42	71.58	0.94	0.20	0.069	0.089
5620	Ст.-20	K-26	"	2800	28.92	71.08	1.44	0.34	0.085	0.052
5643	Ст.-15	M-27	мазут	27360	29.23	70.77	0.83	0.27	0.085	0.043
5644	Ст.-35	M-28	"	28480	35.11	64.89	1.11	0.50	0.116	0.041
5646	Сталь-армко	M-29	"	26500	37.81	62.19	1.34	0.68	0.072	0.024
5646	Ст.-45	M-30	"	28400	35.91	64.09	1.14	0.46	0.087	0.046

Результаты опытных плавов

1. Продолжительность плавов. Продолжительность плавов, как известно, складывается из длительности отдельных периодов: завалки, плавления и кипения, которые между собой в нормальных условиях имеют незначительную связь. В нормальных условиях увеличение одного из периодов вызывает увеличение длительности всей плавки.

а) Завалка шихты. Этот период плавки не зависит в какой-либо степени от качества применяемого топлива. Нормально продолжительность завалки 28—29 т шихты должна колебаться в пределах от 1 часа 30 мин. до 1 часа 50 мин.

В среднем плавки на углемазутной смеси заваливались быстрее, чем плавки на обыкновенном мазуте. Средняя продолжительность завалки: плавки на углемазутной смеси — 1 час 35 мин., плавки на обычном мазуте — 1 час. 51 мин.

Количество чугуна и железо-стального лома в шихте колебалось в следующих пределах:

Топливо	Количество мульд в среднем	Пределы коле- баний колич. мульд
Углемазут . .	37.5	28—51
Мазут	36.3	28—50

Количество чугуна в шихте колебалось в пределах 6—7 мульд для всех опытных плавов.

б) Плавление. При нормальной деятельности завалки и при прочих равных условиях продолжительность плавления может характеризовать термическую мощность печи и топлива (табл. 41).

Таблица 41

Средняя производительность плавления шихты при производстве опытных плавов

Время работы мар- теповской печи	с 12/III по 25/IV 1939 г.		с 26/VII по 6/VIII 1939 г.	
Вид топлива	углемазутная смесь	обыкновен- ный мазут	углемазут- ная смесь	обыкновен- ный мазут
Количество плавов	8	8	5	3
Средняя продолжи- тельность плавления	1 час. 34 мин.	1 час. 38 мин.	1 час. 38 мин.	1 час. 57 мин.

В означенный расчет средней продолжительности плавления не вошли плавки железа-армко и три плавки № 5397, 5458 и 5461, так как в этот период сравнительных плавов на обыкновенном мазуте не производилось.

Если сравнить эти плавки с плавками, произведенным несколько спустя, получают следующие результаты (табл. 42).

Приведенные выше данные без учета длительности завалки показывают, что плавки на углемазутной смеси характерны сравнительно меньшей продолжительностью плавления во всех случаях.

Таблица 42

Средняя продолжительность плавления шихты

№ плавки	Количество плавки	Топливо	Средняя продолжит. плавления
5397, 5458 и 5461	3	углемазут	2 часа 44 мин.
5483—5488 вкл.	6	обыкновенный мазут	3 „ 08 „

в) К и п е н и е. Продолжительность кипения зависит как от термической мощности печи, так и от содержания углерода в ванне по расплавлению. Продолжительность опытных плавки приведена в табл. 43.

Таблица 43

№ плавки	—	Марка	Топливо	Завалка	Плавление	Кипение	Общая продолжительность
5218	M-1	Ст.-45	мазут	1 час. 51 мин.	1 час. 07 мин.	1 час. 43 мин.	4 час. 41 мин.
5219	K-2	Ст.-45	углемазут	1 „ 15 „	1 „ 27 „	2 „ 06 „	4 „ 48 „
5230	K-3	Ст.-40	„	1 „ 41 „	1 „ 18 „	1 „ 36 „	4 „ 35 „
5265	K-4	Ст.-45	„	1 „ 42 „	1 „ 28 „	2 „ 03 „	5 „ 13 „
5314	K-5	Ст.-45	„	2 „ 37 „	1 „ 20 „	2 „ 21 „	6 „ 18 „
5315	K-6	Ст.-45	„	1 „ 30 „	1 „ 48 „	2 „ 03 „	5 „ 21 „
5321	K-7	Ст.-40	мазут	1 „ 41 „	1 „ 23 „	1 „ 47 „	4 „ 51 „
5334	M-8	Ст.-45	„	1 „ 50 „	1 „ 24 „	1 „ 32 „	4 „ 46 „
5335	M-9	Ст.-35	„	1 „ 54 „	1 „ 36 „	2 „ 28 „	5 „ 53 „
5341	K-10	Ст.-45	углемазут	2 „ 10 „	1 „ 30 „	2 „ 25 „	6 „ 05 „
5345	M-11	Ст.-15	мазут	1 „ 15 „	2 „ 22 „	1 „ 34 „	5 „ 11 „
5352	M-12	Ст.-20	„	2 „ 35 „	1 „ 30 „	2 „ 40 „	6 „ 45 „
5355	M-13	Ст.-15	„	1 „ 51 „	2 „ 22 „	1 „ 34 „	6 „ 07 „
5359	M-14	Ст.-15	„	2 „ 35 „	1 „ 10 „	2 „ 35 „	6 „ 20 „
5370	K-15	Ст.-20	углемазут	2 „ 03 „	2 „ 12 „	2 „ 10 „	6 „ 25 „
5374	K-16	Ст.-20	„	1 „ 58 „	1 „ 33 „	2 „ 40 „	6 „ 11 „
5397	K-17	Ст.-15	„	1 „ 34 „	2 „ 52 „	3 „ 23 „	7 „ 49 „
5458	K-18	Ст.-10	„	1 „ 30 „	2 „ 40 „	3 „ 59 „	7 „ 29 „
5460	K-19	Железо-армко	„	1 „ 45 „	2 „ 52 „	4 „ 40 „	9 „ 17 „
5471	K-20	Ст.-10	„	1 „ 50 „	2 „ 40 „	3 „ 11 „	7 „ 41 „
5608	K-21	Ст.-армко	„	1 „ 16 „	1 „ 28 „	4 „ 44 „	7 „ 28 „
5611	K-22	Ст.-15	„	2 „ 55 „	2 „ 20 „	1 „ 12 „	6 „ 27 „
5612	K-23	Ст.-45	„	1 „ 20 „	1 „ 15 „	2 „ 17 „	4 „ 52 „
5615	K-24	Ст.-15	„	1 „ 32 „	1 „ 25 „	2 „ 41 „	5 „ 38 „
5616	K-25	Ст.-45	„	1 „ 17 „	1 „ 45 „	3 „ 02 „	4 „ 50 „
5620	K-26	Ст.-15	„	1 „ 17 „	1 „ 45 „	3 „ 02 „	6 „ 04 „
5643	M-27	Ст.-15	мазут	1 „ 40 „	1 „ 45 „	1 „ 32 „	4 „ 57 „
5644	M-28	Ст.-35	„	1 „ 20 „	2 „ 10 „	1 „ 50 „	5 „ 20 „
5645	M-29	Ст.-армко	„	1 „ 30 „	1 „ 27 „	5 „ 38 „	8 „ 35 „
5646	M-30	Ст.-45	„	1 „ 50 „	1 „ 55 „	1 „ 50 „	5 „ 35 „

* Заправка длилась 19 мин. Во время заправки дана мутьда железа и 750 кг извести.

Содержание углерода в ванне по расплавлению по отдельным опытным плавкам было приведено ранее.

Среднее содержание углерода в ванне по расплавлению характеризуется табл. 44.

Таблица 44
Среднее содержание углерода в ванне
по расплавлению, в ‰

Марка стали	Топливо	
	углемазут	обычный мазут
Ст.-10—20	1.23	0.96
Ст.-35—45	1.31	1.25

Среднее значение, углерода в ванне по расплавлению показывает, что плавки на углемазутной смеси имели в шихте большее количество углерода. Этим особенно отличались плавки стали-10—20. В числе плавков следует отметить следующие плавки, имеющие по расплавлению высокий процент углерода:

№ плавки и марка стали Содержание углерода, в ‰

5461, ст.-10	1.42
5612, ст.-25	1.58
5620, ст.-20	1.36

Удаление значительного избытка углерода требовало времени, что вызывало увеличение длительности кипения и увеличение продолжительности плавки в целом.

Это подтверждается данными, характеризующими среднюю продолжительность кипения и общую среднюю продолжительность плавки (табл. 45 и 46).

Таблица 45

Средняя продолжительность кипения опытных плавки

Период работы	с 12 по 25/IV—1939 г.		с 26/VII по 6/VIII—1939	
Вид топлива	углемазут	обычный мазут	углемазут	обычный мазут
Количество плавки	8	8	5	3
Средняя продолжительность кипения	1 час. 12 мин.	1 час. 59 мин.	2 часа 04 мин.	1 час. 44 мин.

Таблица 46

Топливо	с 12/III по 25/IV 1939 г.				с 26/VII по 6/VIII 1939 г.			
	Завалка	Плавление	Кипение	Общ. продолжит.	Завалка	Плавление	Кипение	Общ. продолжит.
Углемазут	1 ч. 42 м.	1 ч. 34 м.	2 ч. 11 м.	5 ч. 37 м.	1 ч. 52 м.	1 ч. 57 м.	3 ч. 04 м.	5 ч. 34 м.
Обычный мазут	1 ч. 55 м.	1 ч. 38 м.	1 ч. 59 м.	5 ч. 24 м.	1 ч. 37 м.	1 ч. 57 м.	1 ч. 44 м.	5 ч. 14 м.

Как видно, плавки на углемазутной смеси имеют увеличение продолжительности плавки только за счет увеличения длительности завалки и кипения, т. е. за счет тех периодов, которые в меньшей степени зависят от топлива. Наиболее же характерный период плавки — плавление шихты, как видно, имеет меньшее значение для плавки на углемазутной смеси в обеих кампаниях печи.

В интересах выявления действительной сравнительной характеристики углемазутной смеси и обычного мазута необходимо принять во внимание простои во время завалки шихты и отклонения во время периода кипения вследствие повышенного углерода в ванне по расплавлению.

Данные приведенного расчета дают следующие результаты для длительности плавки и отдельных периодов (табл. 47).

Таблица 47

Период работы		С 12/III по 25/IV 1939 г.		С 26/VII по 6/VIII 1939 г.	
Топливо		углемазут	обыкновенный мазут	углемазут	обыкновенный мазут
Средняя продолжительность	завалка	1 час 42 мин.	1 час 50 мин.	1 час 28 мин.	1 час 37 мин.
	плавление	1 . 30 .	1 . 34 .	1 . 27 .	1 . 57 .
	кипение	1 . 25 .	1 . 23 .	1 . 21 .	1 . 49 .
Общая продолжительность . . .		4 . 37 .	4 . 49 .	4 . 16 .	5 . 23 .

Расчет приведенной продолжительности плавки производился следующим образом. Нормальный избыток углерода в ванне по расплавлению принимался равным 0.60%.

Увеличение периода кипения по отдельным плавкам находилось как частное от деления избытка углерода в ванне на среднюю скорость выгорания углерода для каждой плавки. Продолжительность плавления взята фактическая, и из продолжительности завалки выброшены зафиксированные простои, и то только в том случае, когда эта продолжительность выходила из рамок нормальной продолжительности завалки.

В означенный расчет не вошли плавки железа-армко и плавки, имевшие пониженный углерод (плавка № 5345, имевшая по расплавлению 0.59% углерода, и плавка № 5611, имевшая по расплавлению 0.22% углерода).

Приведенные выше данные показывают, что плавки на углемазутной смеси как в первую, так и во вторую кампанию печи имели сравнительно более короткий период плавления шихты.

При одинаковом содержании углерода в ванне по расплавлению плавки на углемазутной смеси могли иметь меньшую общую продолжительность, по сравнению с плавками на обычном мазуте, вследствие более короткого периода завалки и плавления.

Для большей убедительности сравним продолжительность плавки, проведенных на углемазутной смеси за время с 12/III по 23/IV 1939 г., с обычными плавками, проведенными примерно в таких же условиях во время других кампаний печи.

Углемазутные плавки, как уже известно, проводились, когда печь сделала по насадкам и по своду 118—274 плавки (табл. 48).

Ниже также приводим сравнение углемазутных плавки с обычными плавками, которые проводились одновременно с углемазутными плавками на печи № 5 (табл. 49).

Средняя продолжительность плавков

Наименование плавков	Количество плавков	Время кампании печи	Количество плавков от начала кампании		Продолжительность плавков			
			по насадкам	по своду	завалка	плавление	кипение	общая продолжительность
Углемазутная плавка, ст.-10—20 и 35—45	16	с 12/III по 25/IV 1939 г.	118—274	118—274	1 ч. 52 м.	1 ч. 34 м.	1 ч. 11 м.	5 ч. 31 м.
Обычные плавки, ст.-35—45	18	с 2/VIII по 30/X 1938 г.	250—270	150—270	1 ч. 29 м.	1 ч. 41 м.	2 ч. 09 м.	5 ч. 39 м.
Обычные плавки, ст.-35—45	16	с 28/VI по 28/IX 1939 г.	164—236	164—236	1 ч. 49 м.	1 ч. 58 м.	1 ч. 58 м.	5 ч. 45 м.
Обычные плавки, ст.-35—45	20	с 13/I по 6/II 1939 г.	248—290	14—56	2 ч. 07 м.	2 ч. 02 м.	2 ч. 10 м.	6 ч. 19 м.
Обычные плавки, ст.-35—45	10	до 29/I 1938 г.	154—247	154—247	1 ч. 52 м.	2 ч. 18 м.	2 ч. 46 м.	6 ч. 56 м.

Таблица 49

Средняя продолжительность плавков

Наименование плавков	№ плавков	Количество плавков	Продолжительность плавков			
			завалка	плавление	кипение	общая продолжит.
Углемазутные плавки Ст.-35—45	5218—5374	6	1 час 49 мин.	1 час 29 мин.	2 часа 6 мин.	5 час. 24 мин.
Обычные плавки Ст.-35—45	5300—5374	18	1 ч. 40 м.	1 ч. 34 м.	2 ч. 1 м.	5 ч. 15 м.

Из приведенных данных можно видеть, что углемазутные плавки отличаются сравнительно коротким периодом плавления шихты, несмотря на меньшую продолжительность завалки.

Скорость выгорания углерода

По скоростям выгорания углерода опытные плавки на углемазутной смеси и на обычном мазуте не показывают значительной разницы. В тех и других плавках имелись плавки с большими средними скоростями обезуглероживания.

Скорости выгорания углерода в опытных плавках приведены в табл. 50.

Средняя скорость выгорания углерода в плавках железа-армко колебалась на углемазутной смеси от 0.0040 до 0.0042% в минуту, а на обычном мазуте составляла 0.0041% в минуту (табл. 51).

Таблица 50
Значение средних скоростей выгорания углерода
Ст.10—20 и 35—45

П л а в к и	Скорость выгорания углерода, в % в минуту	
	во время ска- чивания плака	средняя за плавку
Углемазут	0.0082	0.0074
Обыкновенный мазут	0.0089	0.0074

Таблица 51
Скорости выгорания углерода. Опытные плавки, проведенные на обыкновенном
мазуте и на углемазутной смеси

№ плавки	Марка стали	Топливо	Скорость выгорания углерода			
			во время ска- чивания плака	в первый период кипения	во второй период кипения	средняя за плавку
5218	Ст.-45	мазут	0.0059	0.0120	0.0053	0.0063
5219	Ст.-45	углемазут	0.0068	0.0075	0.0053	0.0064
5230	Ст.-40	"	0.0126	—	0.0060	0.0100
5265	Ст.-45	"	0.0085	0.0082	0.0060	0.0078
5314	Ст.-45	"	0.0075	0.0100	0.0040	0.0065
5315	Ст.-45	"	0.0115	0.0053	0.0086	0.0110
5321	Ст.-40	мазут	0.0090	0.0090	—	0.0090
5334	Ст.-45	"	0.0109	0.0113	0.0070	0.0100
5335	Ст.-35	"	0.0065	0.0078	0.0077	0.0080
5341	Ст.-45	углемазут	0.0080	0.0065	0.0084	0.0076
5345	Ст.-15	мазут	—	0.0050	0.0053	0.0046
5352	Ст.-20	"	0.0100	0.0047	0.0061	0.0078
5353	Ст.-15	"	0.0070	0.0075	0.0063	0.0068
5359	Ст.-15	"	0.0077	0.0070	0.0064	0.0071
5370	Ст.-20	углемазут	0.0058	0.0058	0.0055	0.0073
5374	Ст.-15	"	0.0066	0.0072	0.0060	0.0066
5397	Ст.-15	"	0.0064	0.0032	0.0051	0.0049
5458	Ст.-10	"	0.0078	0.0053	0.0080	0.0056
5460	Железо- армко	"	—	—	—	0.0040
5461	Ст.-10	"	0.0066	0.0076	0.0060	0.0060
5608	Сталь-армко	"	—	—	—	0.0042
5611	Ст.-15	"	С посадкой зеркального чугуна	—	—	—
5612	Ст.-25	"	0.0088	0.0074	—	0.0084
5615	Ст.-20	"	0.0075	0.0076	—	0.0076
5616	Ст.-40	"	0.0100	0.0050	—	0.0076
5620	Ст.-20	"	0.0080	0.0064	—	0.0070
5643	Ст.-15	мазут	0.0095	0.0034	—	0.0077
5644	Ст.-35	"	0.0110	0.0045	—	0.0073
5645	Сталь-армко	"	—	—	—	0.0041
5646	Ст.-45	"	0.3100	0.0045	—	0.0058

Дефосфоризация металла

Удаление фосфора при производстве плавок на углемазутной смеси производилось таким же порядком, как и в плавках на обыкновенном мазуте. По содержанию фосфора в готовом металле плавки не имеют различия (табл. 52 и 53).

Таблица 52

Среднее содержание фосфора в готовом металле

Марка стали	Содержание фосфора, в ‰	
	углемазут	обычный мазут
Ст.-10—20	0.082	0.082
Ст.-35—45	0.080	0.080

Таблица 53

Средняя степень удаления фосфора, в ‰

Плавки	Степень удаления фосфора	Предельные колебания степени удаления фосфора
Углемазут	56.47	42.0—45.5
Обычный мазут	61.05	52.64—63.26

В означенный расчет не вошли плавки № 5370, 5611, 5345 и 5353.

Содержание фосфора в ванне по расплавлению и в конечном металле и степень удаления фосфора по отдельным опытным плавкам приведены в табл. 54.

Таблица 54

Дефосфоризация металла. Опытные плавки, проведенные на обыкновенном мазуте и углемазутной смеси

№ плавки	Марка стали	Топливо	Фосфор в металле по расплавлению	Фосфор в готовом металле	Степень удаления фосфора, в ‰	Примечания
5218 М-1	Ст.-45	мазут	0.059	0.028	52.54	Руда не давалась, шлак скачивался
5219 К-2	Ст.-45	углемазут	0.053	0.028	47.57	
5230 К-3	Ст.-40	"	0.055	0.023	58.18	
5265 К-4	Ст.-45	"	0.057	0.034	49.29	
5314 К-5	Ст.-45	"	0.086	0.025	70.93	
5315 К-6	Ст.-45	"	0.082	0.033	59.75	
5321 М-7	Ст.-40	мазут	0.078	0.028	64.10	
5334 М-8	Ст.-45	"	0.060	0.026	56.65	
5335 М-9	Ст.-35	"	0.065	0.026	60.00	
5341 К-10	Ст.-45	углемазут	0.072	0.036	50.00	
5345 М-11	Ст.-15	мазут	0.049	0.040	18.37	
5352 М-12	Ст.-20	"	0.039	0.042	52.80	
5353 М-13	Ст.-15	"	0.034	0.028	17.65	Плавка прошла без руды и без скачивания шлака
5359 М-14	Ст.-15	"	0.072	0.025	65.27	
5370 К-15	Ст.-20	углемазут	0.037	0.038	+2.70	
5374 К-16	Ст.-15	"	0.070	0.038	45.71	
5397 К-17	Ст.-10	"	0.055	0.029	47.27	
5458 К-18	Ст.-10	"	0.050	0.029	42.00	
5460 К-19	Железо-армко	"	0.068	0.016	85.30	
5461 К-20	Ст.-10	"	0.075	0.034	54.66	
5608 К-21	Сталь-армко	"	0.017	0.013	23.53	
5611 К-22	Ст.-15	"	0.035	0.042	+20.00	
5612 К-23	Ст.-25	углемазут	0.110	0.030	68.63	
5615 К-24	Ст.-20	"	0.098	0.024	75.50	
5616 К-25	Ст.-40	"	0.069	0.034	50.72	
5620 К-26	Ст.-20	"	0.083	0.029	65.888	
5643 М-27	Ст.-15	мазут	0.085	0.027	68.23	
5644 М-28	Ст.-35	"	0.115	0.040	65.51	
5645 М-29	Сталь-армко	"	0.072	0.015	78.88	
5746 М-30	Ст.-45	"	0.087	0.031	64.36	

Десульфурация металла

Содержание серы в металле по расплавлению и в готовом металле и степень десульфурации по отдельным опытным плавкам приведены в табл. 55 и 56.

Таблица 55

Опытные плавки, проведенные на обыкновенном мазуте и на углемазутной смеси

№ плавки	Марка стали	Топливо	Сера в металле по расплавлению	Сера в готовом металле	Степень удаления серы, в %
5218 М-1	Ст.-45	мазут	0.030	0.023	23.33
5219 К-2	Ст.-45	углемазут	0.029	0.023	20.69
5230 К-3	Ст.-40	"	0.037	0.030	18.90
5265 К-4	Ст.-45	"	0.037	0.034	8.11
5314 К-5	Ст.-45	"	0.049	0.027	44.90
5315 К-6	Ст.-45	"	0.050	0.036	28.00
5321 М-7	Ст.-40	мазут	0.038	0.029	23.68
5334 М-8	Ст.-45	"	0.033	0.033	0.00
5335 М-9	Ст.-35	"	0.033	0.020	39.40
5341 К-10	Ст.-45	углемазут	0.040	0.032	20.00
5345 М-11	Ст.-45	мазут	0.048	0.030	37.50
5352 М-12	Ст.-20	"	0.028	0.029	+8.57
5353 М-13	Ст.-15	"	0.036	0.025	30.55
5359 М-14	Ст.-15	"	0.039	0.028	28.20
5370 К-15	Ст.-20	углемазут	0.042	0.031	26.19
5374 К-16	Ст.-45	"	0.041	0.032	21.95
5397 К-17	Ст.-45	"	0.064	0.040	37.50
5458 К-18	Ст.-10	"	0.063	0.031	50.79
5460 К-19	Железо-армко	"	0.033	0.012	63.63
5461 К-20	Ст.-10	"	0.042	0.030	28.57
5608 К-21	Сталь-армко	"	0.026	0.022	15.38
5611 К-22	Ст.-15	"	0.036	0.037	+2.77
5615 К-23	Ст.-20	"	0.041	0.037	9.75
5612 К-24	Ст.-25	"	0.058	0.050	21.05
5616 К-25	Ст.-40	"	0.039	0.040	+2.56
5620 К-26	Ст.-20	"	0.052	0.032	33.46
5643 М-27	Ст.-15	мазут	0.043	0.028	34.88
5644 М-28	Ст.-35	"	0.041	0.028	31.70
5645 М-29	Сталь-армко	"	0.024	0.014	41.46
5646 М-30	Ст.-45	"	0.046	0.032	30.43

5611—шлаки густоваты, повыш. MgO 12.4—13.85%

5615—густые шлаки к концу плавки—повыш. MgO, поведимому, срыв наварки.

5616—шлак пониженной основности—конечный 1.9

Средняя степень удаления серы

Плавки на углемазутной смеси 29.75, за исключением плавки 5265, 5615, 5616 и 5611.

Плавки на обыкновенном мазуте 31.07, за исключением 5334, 5352.
 Пределы углемазута 18.90—50.79%.
 Пределы мазута 23.33—39.40%.

Таблица 56

Среднее содержание серы в металле по расплавлению

Марка стали	Содержание серы, в %	
	углемазут	обычный мазут
Ст.-10—20	0.046	0.041
Ст.-35—45	0.041	0.038

Содержание серы в металле по расплавлению колебалось в следующих пределах:

а) плавки на обычном мазуте

Ст.-10—20 0.023—0.048%

Ст.-35—45 0.030—0.046%

б) плавки на углемазутной смеси

Ст.-10—20 0.041—0.064%

Ст.-35—45 0.039—0.050%

Из этих данных следует, что плавки на углемазутной смеси в среднем имели повышенное содержание серы в металле по расплавлению на 0.003—0.006%.

Это незначительное повышение серы следует объяснить влиянием газовой фазы при сжигании углемазутной смеси.

Повышенным содержанием серы также отличаются и шлаки по расплавлению от плавки на углемазутной смеси (табл. 57).

Таблица 57

Среднее содержание серы в шлаках по расплавлению

Марка стали	Содержание серы, в %	
	углемазут	обычный мазут
Ст.-10—20	0.17	0.16
Ст.-35—45	0.23	0.15

Повышение содержания серы в шлаках по расплавлению в плавках на углемазутной смеси в среднем составляет 0.01—0.08%.

На содержание серы в металле и шлаке по распределению могла влиять разнородность химического состава шихтовых материалов. Тем не менее следует считать, что поглощение серы в плавках на углемазутной смеси имеет большое значение по сравнению с плавками на обыкновенном мазуте (табл. 58).

Плавки на углемазутной смеси отличаются несколько повышенным содержанием серы. Повышение серы в среднем составляет 0.004—0.005% (табл. 59).

Таблица 58

Среднее содержание серы в готовом металле

Марка стали	Содержание серы, в ‰	
	углемазут	обыкновен. мазут
Ст.-10—20	0.033	0.028
Ст.-35—45	0.032	0.028

Таблица 59

Среднее содержание серы в конечном (выпускном) шлаке

Марки стали	Содержание серы, в ‰	
	углемазут	обыкновен. мазут
Ст.-10—20	0.20	0.18
Ст.-35—45	0.21	0.20

Повышенное содержание серы в выпускном шлаке в плавках на углемазутной смеси в среднем составляет 0.01—0.2‰. Эти данные показывают, что конечные шлаки по содержанию серы очень мало отличаются между собой.

На основании вышеприведенных данных, можно сделать выводы, что незначительное поглощение серы в плавках на углемазутной смеси имеет место, главным образом, во время завалки и плавления шихты.

После удаления плавильного шлака, как это делается обычным порядком, заметного перехода серы из газовой фазы не наблюдается.

Эти результаты показывают, что на углемазутной смеси можно производить плавки качественной и высококачественной стали.

Таблица 60

Средняя основность шлака по расплавлению

Марка стали	Т о л и н о		Колебания основности шлака	
	углемазут	обыкновен. мазут	углемазут	обыкновенный мазут
Ст.-10—20	1.49	1.30	1.04—2.00	0.75—2.06
Ст.-35—45	1.10	1.19	0.90—1.42	0.71—1.64

Химические составы выпускных шлаков приведены в табл. 63.

Основность конечных шлаков в опытных плавках на углемазутной смеси колебалась в пределах от 2.2 до 3.5; а для плавки на обычном мазуте от 2.0 до 3.9.

При проведении опытных плавки предполагалось, что плавки на углемазутной смеси будут отличаться от плавки на обычном мазуте пониженным содержанием окислов железа в конечных шлаках. Это предположение основывалось на возможности менее окислительной атмосферы в мартеновской печи при сжигании углемазутной смеси.

Исследование выпускных шлаков не подтвердило это предположение. Шлаки от углемазутной плавки отличаются повышенным содержанием окислов железа (табл. 61).

Таблица 61

Среднее содержание окислов железа в выпускных шлаках

Марка стали	Углемазут Fe_2O_3		Обыкновен. мазут Fe_2O_3 FeO	
Ст.-10—20	2.38	13.12	1.31	12.98
Ст.-35—45	2.00	12.97	1.04	11.61
Железо-армко	12.93	27.06	16.11	30.38

Химический состав шлаков по расплавлению. Опытные плавки на обыкновенном мазуте и на углемазутной смеси

№ плавки	Марка стали	Топливо	Химический состав										Отношение Ca:SiO ₂
			SiO ₂	P ₂ O ₅	Al ₂ O ₃	Fe ₂ O ₃	FeO	MnO	CaO	MgO	Cr ₂ O ₃	S	
5218	Ст-45	мазут	26.46	0.44	2.48	0.27	8.16	25.12	29.88	6.48	0.37	0.11	1.13
5219	Ст-45	углемазут	28.00	0.57	2.48	0.35	8.94	25.24	26.42	7.68	0.61	0.24	0.90
5230	Ст-40	"	20.92	1.94	2.01	1.02	11.97	23.00	30.82	7.08	1.00	0.21	1.42
5265	Ст-45	"	20.20	1.04	4.58	нет	12.93	31.07	21.75	6.57	1.46	0.18	1.07
5314	Ст-45	"	27.16	1.60	1.49	1.30	5.86	22.00	31.32	8.73	0.26	0.23	1.11
5315	Ст-45	"	22.60	2.50	2.90	0.12	14.79	21.16	25.78	7.30	2.15	0.35	1.14
5321	Ст-40	мазут	18.28	1.23	1.80	2.30	16.16	28.56	23.60	6.50	1.14	0.18	1.29
5334	Ст-45	"	20.19	0.87	0.55	1.76	15.68	26.30	24.20	8.52	1.20	0.16	1.20
5335	Ст-35	"	18.62	1.33	2.98	1.88	11.25	27.21	30.50	5.68	0.93	0.19	1.64
5341	Ст-40	углемазут	23.92	1.14	4.40	0.27	9.70	26.50	25.21	7.96	—	0.19	1.05
5345	Ст-20	мазут	18.40	1.87	3.82	следы	14.64	18.83	32.36	8.57	1.50	0.14	1.21
5352	Ст-20	"	20.20	0.28	3.06	—	12.90	33.00	15.16	14.50	0.63	0.10	0.75
5353	Ст-20	"	19.00	2.01	1.56	0.23	12.64	18.15	39.21	6.19	0.77	0.24	2.06
5359	Ст-15	"	22.70	0.96	3.71	—	10.64	25.75	25.94	9.45	0.53	0.34	1.14
5370	Ст-20	углемазут	16.92	1.87	3.95	3.53	16.69	15.74	33.60	6.30	1.62	0.18	2.00
5374	Ст-20	"	21.93	2.57	6.69	0.43	11.51	13.00	32.47	10.54	0.63	0.24	1.48
5397	Ст-10	"	25.20	2.66	4.15	1.44	9.64	11.97	33.75	10.70	0.85	0.10	1.33
5458	Ст-20	"	21.60	3.18	3.72	0.26	10.30	12.18	41.03	6.70	0.80	0.13	1.90
5460	Железо-армко	"	28.06	0.87	2.60	0.24	6.04	14.69	37.66	9.40	0.14	0.15	1.34
5461	Ст-10	"	24.82	0.41	4.04	1.10	8.69	22.24	29.90	8.04	0.50	0.19	1.20
5603	Сталь-армко	"	17.46	0.51	3.27	нет	19.33	16.08	28.55	14.27	0.58	следы	1.63
5614	Ст-15	"	16.40	1.85	3.10	0.25	17.82	15.10	30.50	12.40	1.23	0.10	1.85
5615	Ст-20	"	27.29	0.70	4.41	0.80	6.67	19.47	31.53	8.38	0.39	0.16	1.16
5612	Ст-25	"	27.30	0.89	5.24	0.30	6.22	23.16	28.87	8.66	0.23	0.15	1.04
5616	Ст-40	"	26.80	0.15	4.02	0.65	11.80	18.16	27.85	9.0	0.62	0.08	1.03
5620	Ст-20	мазут	21.34	0.60	1.56	0.87	8.63	45.70	40.69	9.41	0.49	0.15	—
5643	Ст-15	"	25.80	0.80	—	3.48	11.31	22.55	18.85	11.30	0.76	0.15	0.71
5644	Ст-35	"	27.20	1.20	1.90	0.27	5.12	13.40	40.93	8.90	0.11	0.38	1.50
5646	Сталь-армко	"	24.12	1.47	0.40	1.47	6.87	16.7	39.29	8.78	0.47	0.082	1.62
5646	Ст-45	"	27.40	0.78	3.43	0.17	6.38	—	32.08	12.86	0.19	0.13	0.17

Таблица 63
Химический состав шлаков перед выпуском. Опытные плавки на обыкновенном мазуте и на углемазутной смеси

№ плавки	Марка стали	Топливо	Химический состав										Отношение	
			SiO ₂	P ₂ O ₅	Al ₂ O ₃	Fe ₂ O ₃	FeO	MnO	CaO	MgO	Cr ₂ O ₃	S	CaO:SiO ₂	
5218	Ст.-45	мазут	13.80	1.05	2.54	1.91	10.32	9.73	53.88	6.15	0.55	0.22	3.9	
5219	Ст.-45	углемазут	13.80	1.00	2.20	3.10	12.70	11.00	46.55	7.50	1.26	0.80	3.5	
5230	Ст.-40	"	14.30	1.51	1.35	2.82	14.82	17.50	39.30	7.08	1.06	-0.21	2.7	
5255	Ст.-45	"	14.20	1.57	2.77	2.88	12.05	17.17	39.03	10.79	1.74	0.19	2.7	
5314	Ст.-45	"	14.76	1.47	3.15	2.30	12.34	10.88	41.59	13.15	0.61	0.23	2.8	
5315	Ст.-45	"	14.60	2.13	0.80	3.33	15.14	11.62	39.24	11.53	2.20	0.13	2.7	
5321	Ст.-40	мазут	14.12	1.51	1.90	2.50	14.00	15.25	38.90	10.51	0.88	0.24	2.7	
5334	Ст.-45	"	13.78	1.46	1.45	0.97	15.25	13.51	39.20	12.54	1.25	0.14	2.8	
5335	Ст.-35	"	13.24	1.11	1.64	1.29	12.05	13.17	42.14	14.08	0.90	0.19	3.2	
5341	Ст.-40	углемазут	12.60	1.33	4.60	1.43	11.18	11.78	38.58	15.72	1.18	0.34	3.0	
5345	Ст.-20	мазут	14.16	1.21	3.37	1.41	12.28	12.43	41.72	11.89	1.04	0.24	2.9	
5352*	Ст.-20	"	13.00	0.69	4.37	1.21	12.08	15.22	32.56	19.81	0.82	0.10	2.5	
5353*	Ст.-20	"	15.60	0.85	3.12	0.94	14.98	12.38	31.81	20.53	1.44	0.19	2.0	
5359	Ст.-15	"	11.60	1.03	3.25	2.76	15.04	9.26	40.84	15.06	0.81	0.33	3.5	
5370	Ст.-20	углемазут	13.20	1.07	1.74	3.94	14.30	12.24	40.97	10.93	1.20	0.37	3.1	
5374	Ст.-20	"	14.49	1.71	3.10	1.71	12.46	9.51	42.45	13.60	0.82	0.15	2.9	
5397	Ст.-10	"	14.98	1.32	1.54	3.40	11.50	8.92	43.80	10.89	1.19	0.29	2.9	
5458	Ст.-20	"	17.48	1.15	2.17	1.02	12.50	9.28	38.70	16.70	0.77	0.14	2.2	
5460	Железо-армко	"	10.20	0.57	3.33	13.06	23.52	4.28	33.42	11.02	0.40	0.07	3.3	
5461	Ст.-10	"	13.52	0.87	4.93	2.64	13.80	10.59	37.60	14.37	1.47	0.18	2.8	
5508	Сталь-армко	"	9.30	0.84	4.85	12.80	30.61	4.28	27.13	10.28	0.35	следы	3.0	
5611	Ст.-15	"	13.52	1.51	1.69	1.40	16.95	19.95	30.20	13.30	1.17	0.11	2.2	
5615	Ст.-20	"	14.10	1.41	1.52	0.11	12.66	11.97	40.82	15.77	1.12	0.20	2.9	
5612	Ст.-25	"	14.20	1.65	4.76	0.66	12.53	16.20	39.50	10.17	1.10	0.17	2.8	
5616	Ст.-40	"	20.80	0.17	3.89	3.44	9.48	14.63	39.18	7.44	0.56	0.10	1.9	
5620	Ст.-20	"	15.40	1.95	0.84	2.84	10.71	9.89	46.35	11.16	0.64	0.22	3.0	
5643	Ст.-15	мазут	14.92	1.81	1.07	1.98	12.65	13.76	44.80	7.90	0.76	0.25	3.0	
5644	Ст.-35	"	17.40	1.40	2.05	0.90	8.44	8.90	48.64	10.28	1.28	0.23	2.8	
5645	Сталь-армко	"	11.20	0.79	5.14	16.41	30.38	4.99	22.93	8.9	0.54	0.03	2.1	
5646	Ст.-45	"	14.04	1.46	4.24	0.67	9.62	9.13	46.71	13.75	0.28	0.19	3.3	

* Плавки после ремонта.

Несмотря на получение таких результатов по химическому составу выпускных шлаков, можно все-таки предполагать, что при сжигании в мартеновской печи углемазутных смесей легче будет создать менее окислительную атмосферу, которая обеспечит меньшее содержание окислов железа в шлаке.

Температурные условия опытных плавов

В табл. 64 и 65 приведены температуры металлов после полного расплавления шихты, перед выпуском и во время выпуска.

Таблица 64
Средние температуры металла

П л а в к и	Ст.-10—20			Ст.-35—45		
	по рас- плавлению	перед пуском	во время вы- пуска	по рас- плавлению	перед выпуском	во время вы- пуска
На углемазутной смеси	1433	1507	1516	1426	1498	1506
На обычном ма- зуте	1425	1505	1515	1426	1502	1515

Таблица 65
Средние температуры металла во время разливки

П л а в к и	Железо-армко		Ст.-10—20		Ст.-35—45	
	начало разливки	конец разливки	начало разливки	конец разливки	начало разливки	конец разливки
На углемазутной смеси	1475	1475	1471	1465	1459	1451
На обычном мазуте .	1475	1465	1467	1463	1465	1460

Сравнение средних температур металла показывает, что углемазутная смесь при сжигании в мартеновской печи обеспечивала такую же температуру металла, как и обычный мазут (табл. 66).

Химический состав выплавленной стали

Химический состав выплавленной стали при производстве опытных плавов приведен в табл. 67.

Составы сталей по содержанию вредных примесей фосфора и серы удовлетворяют требованиям, предъявляемым к качественным сталям.

Влияние углемазутной смеси на стойкость мартеновской печи

При сжигании углемазутных смесей, содержащих в мартеновских печах вместо обычного мазута до 30% угольной пыли и 8% золы, может возникнуть вопрос о стойкости мартеновской печи в отношении продолжительности службы насадок регенеративных камер. Другого какого-либо влияния углемазутных смесей на стойкость мартеновской печи предполагать нет никаких оснований. Так оно фактически и получилось. При производстве опытных плавов, как указывалось выше,

Таблица 66

Температурные условия плавки, проведенных на обыкновенном мазуте и на углемазутной смеси

№ плавки	Марка стали	Топливо	Температура металла по Пиронто без поправки			Повышение температуры металла (в градусах в минуту)
			по рас-плавлению	перед выпуском	по время выпуска	
5218	Ст.-45	мазут	1410	1500	1510	0.97
5219	Ст.-45	углемазут	1420	1490	1520	0.79
5230	Ст.-40	"	1405*	1495	1500	0.99
5265	Ст.-45	"	1465	1500	1510	0.50
5314	Ст.-45	"	1425	1500	1500	0.53
5315	Ст.-45	"	1420	1495	1500	0.65
5321	Ст.-40	мазут	1430	1500	1505	0.70
5334	Ст.-45	"	1430	1505	1520	0.97
5335	Ст.-35	"	1430	1500	1520	0.63
5341	Ст.-40	углемазут	1410	1495	1505	0.62
5345	Ст.-20	мазут	1455	1510	1525	0.74
5352	Ст.-20	"	1420	1495	1505	0.53
5358	Ст.-20	"	1400	1515	1520	1.27
5359	Ст.-15	"	1410	1500	1515	0.67
5370	Ст.-20	углемазут	1430	1510	1520	0.69
5374	Ст.-20	"	1400	1490	1515	0.72
5397	Ст.-10	"	1420	1495	1510	0.44
5458	Ст.-10	"	1430	1515	1520	0.38
5460	Железо-армко	"	1430	1485	1495	0.23
5461	Ст.-10	"	1425	1505	1515	0.47
5608	Сталь-армко	**	1480	1506	1510	0.106
5611	Ст.-15	"	1490	1520	1520	0.41
5612	Ст.-25	***	1435	1515	1515	0.65
5615	Ст.-20	"	1450	1500	1515	0.38
5616	Ст.-40	"	1450	1500	1505	0.77
5620	Ст.-20	"	1450	1510	1515	0.33
5643	Ст.-15	мазут	1440	1505	1510	0.73
5644	Ст.-35	"	1410	1505	1520	0.90
5645	Сталь-армко	"	1430	1510	1520	0.23
5646	Ст.-45	"	1450	1505	1515	0.50

возникли, опасения о возможности преждевременного засорения насадок.

В процессе проведения опытных плавки на углемазутной смеси заметно ухудшилась тяга печи, и в связи с этим увеличилась продолжительность плавки к концу кампании печи.

По этим причинам необходимо привести данные о работе мартеновской печи № 5 за несколько кампаний и сделать анализ этой работы. Это необходимо сделать, поскольку ухудшение тяги и увеличение продолжительности плавки были склонны приписать влиянию углемазутной смеси, на которой некоторое время работала печь № 5.

В табл. 68 приводятся данные, характеризующие стойкость мартеновской печи по насадкам за семь кампаний в течение двухлетнего периода работы печи. В этой таблице также указано, во время какой кампании и какое количество плавки было проведено на углемазутной смеси.

* Указана температура 2-й пробы металла.

** Указана температура 3-й пробы металла.

*** Указана температура 2-й пробы металла.

Таблица 67

Химические составы сталей, выплавленной на обыкновенном мазуте и на углемазутной смеси

№ плавки	Марка стали	Топливо	Химический состав, в %						
			C	Si	Mn	P	S	Cr	D ₂
5218	Ст.-45	мазут	0.45	0.33	0.75	0.028	0.025	0.04	
5219	Ст.-45	углемазут	0.45	0.23	0.59	0.028	0.023	0.09	
5230	Ст.-40	"	0.38	0.23	0.62	0.023	0.030	0.05	
5205	Ст.-45	"	0.48	0.30	0.66	0.084	0.034	0.08	
5514	Ст.-45	"	0.49	0.33	0.74	0.025	0.027	0.05	
5315	Ст.-45	"	0.43	0.19	0.58	0.033	0.036	0.03	
3321	Ст.-40	мазут	0.43	0.28	0.59	0.028	0.029	0.04	
5334	Ст.-45	"	0.47	0.21	0.69	0.025	0.033	0.07	
5335	Ст.-35	"	0.39	0.19	0.68	0.025	0.020	0.03	
5341	Ст.-40	углемазут	0.43	0.20	0.67	0.036	0.032	0.07	
5345	Ст.-20	мазут	0.16	0.21	0.55	0.040	0.030	0.08	
5352	Ст.-20	"	0.19	0.28	0.65	0.042	0.029	0.05	
5353	Ст.-20	"	0.18	0.23	0.57	0.028	0.025	0.04	
5359	Ст.-15	"	0.13	0.28	0.47	0.025	0.028	0.03	
5370	Ст.-20	углемазут	0.16	0.32	0.55	0.038	0.031	0.04	
5374	Ст.-20	"	0.15	0.25	0.47	0.038	0.032	0.06	
5397	Ст.-10	"	0.14	0.28	0.46	0.029	0.04	0.06	
5458	Ст.-20	"	0.18	0.28	0.52	0.029	0.031	нет	
5460	Железо-армко	"	0.020	следы	0.85	0.010	0.012	следы	
5461	Ст.-10	"	0.10	0.28	0.49	0.034	0.030	0.12	
5608	Сталь-армко	"	0.023	нет	0.03	0.018	0.022	нет	
5611	Ст.-15	"	0.10	0.28	0.51	0.042	0.037	0.03	0.012
5612	Ст.-25	"	0.25	0.27	0.71	0.080	0.030	0.09	0.012
5615	Ст.-20	"	0.20	0.33	0.53	0.024	0.037	0.06	0.04
5616	Ст.-40	"	0.41	0.30	0.69	0.034	0.040	0.06	
5620	Ст.-20	"	0.17	0.30	0.60	0.029	0.032	0.02	
5643	Ст.-15	мазут	0.15	0.27	0.56	0.027	0.028	0.04	0.035
5644	Ст.-35	"	0.34	0.22	0.58	0.040	0.028	0.08	0.033
5645	Сталь-армко	"	0.023	нет	0.02	0.015	0.014	нет	0.027
5646	Ст.-45	"	0.43	0.22	0.60	0.031	0.032	0.08	

Таблица 68

Стойкость мартеновской печи № 5 (по количеству плавов)

Части печи	До опытных плавов							Во время опытных плавов			
	до 29 I 1938	с 29 I по 2 IV 1938	с 3 IV по 16 V 1938	с 16 V по 2 VII 1938	с 2 VII по 20 X 1938	с 20 X 1938 по 13 II 1939	с 13 II по 6 IV 1939	с 6 IV по 26 IV 1939	с 26 IV по 28 VI 1939	с 28 VI по 28 IX 1939	с 28 IX по 26 XII 1939
	K-93	K-93 K-279	K-279 K-424	K-424 K-537	K-537 K-911	K-911 C-35	C-35 5100	5100 5377	5377 5514	5514 5822	5822 6034
Свод	274	186	331	233	284	234	64	277	167	278	262
Насадки	247	433*	145	378*	284*	234	298	277	444*	278*	262*
Под	247	433	578	811	1095	1329	1393	1670	1837	2115	2377
Количество опытных плавов на углемазутной смеси . . .	—	—	—	—	—	—	—	16*	4	16*	—

* В течение этой кампании было сделано около 50 обычных плавов на углемазутной смеси.

На основании приведенных данных нельзя считать, что ухудшение тяги печи № 5 после 26/IV 1939 г. произошло по причине сжигания углемазутной смеси. Есть все основания предполагать, что тяга печи ухудшилась вследствие аварии в правом регенераторе, с одной стороны, и плохого качества шихтовых материалов — с другой.

Для выяснения вопроса о заносе регенераторов золою угля на углемазутной смеси была проделана следующая работа.

Во время ремонта печи с 27/VI по 7/VII проводилась последовательная разборка регенеративной насадки. При этой разборке отбирались шлаки:

- 1) с различных уровней насадки: а) с верха, б) с середины и в) с низа;
- 2) из-под колосников и
- 3) из дымохода,

Аналогично шлаки были отобраны также еще до пуска печи № 5 на углемазутной смеси, при предыдущем холодном ремонте (6—13/II 1939 г.).

Все пробы шлаков были проанализированы. В табл. 69 даны анализы шлаков из насадок, взятых как в первом, так и во втором случае, и здесь же для сравнения приведены анализы золы угля.

Анализ золы угля показал следующий состав
(в процентах)

	I	II
SiO ₂	38.93	41.06
Al ₂ O ₃	17.49	19.60
Fe ₂ O ₃	23.32	21.43
CaO	8.95	8.05
MgO	0.68	1.49

Как видно из таблиц, нет характерной разницы между анализом шлаков, взятых до работы печи на углемазутной смеси и после работы.

Влияние золы на шлаки можно было бы определить по увеличению содержания Al₂O₃ и CaO в шлаках.

На самом же деле содержание этих соединений в шлаках, взятых в феврале, т. е. до работы печи на углемазутной смеси, больше, чем после кампании, когда печь работала на смеси.

В июньских пробах шлака содержится больше железа, чем в февральских, количество CaO и Al₂O₃, наоборот, больше в февральских.

Среднее содержание золы в угле, использованном на приготовление углемазутной смеси, равно 7.0%.

За все время проведения плавов на углемазутной смеси было дано в печь 101 429 кг угля, с которым в печь было подано 7.1 т золы. Если считать, что только 30% золы было унесено в трубу, то в двух регенераторах осталось только 5 т золы по 2.5 т на каждый регенератор.

За первый и второй периоды проведения испытаний, т. е. по 30/V было подано в печь 91 760 кг угля и, следовательно, золы 6.4 т. Если считать, что 30% пыли было унесено в трубу (против 80% на котельных установках), то в регенераторах могло остаться 4.5 т, или по 2.25 т на один регенератор.

За это же время, т. е. от начала кампании печи до приостановки проведения опытных плавов на углемазутной смеси, т. е. до 30/V, печь дала 361 плавку.

В печь во время этой кампании подавались очень пылеватая руда и совершенно порошкообразная известь (пушонка), которые давали очень большой унос, значительно больший, чем дала зола.

На основании сравнительного анализа данных о составе шлаков как до работы на углемазутной смеси, так и после работы на смеси, а так-

Таблица 69

Сопоставление химических анализов насадочных шлаков мартеновской печи № 5 февральского (до применения коллоидного топлива) и июньского (после применения коллоидного топлива) капитальных ремонтов.

Название мест взятия шлака	SiO ₂	MnO	Al ₂ O ₃	Fe ₂ O ₃	P ₂ O ₅	CaO	MgO	C
Правая насадка								
Верхний ряд: февраль—июль	37.80	0.70	4.10	47.54	0.07	3.50	0.61	0.29
июль	17.60	1.33	4.00	72.04	0.05	3.10	1.30	0.06
Средний ряд: февраль	21.00	2.14	15.60	55.44	0.26	4.02	0.94	0.62
июль	13.05	1.47	4.73	75.55	0.29	3.44	1.11	0.10
Нижний ряд: февраль	17.26	6.60	6.16	51.74	0.80	12.84	3.70	0.17
июль	23.12	2.26	4.86	58.55	0.28	8.30	2.80	0.07
Левая насадка								
Верхний ряд: февраль	51.64	1.21	3.08	33.52	0.30	3.32	0.69	0.16
июль	44.00	1.65	3.00	46.20	0.06	3.02	1.11	0.08
Средний ряд: февраль	23.48	2.27	6.06	61.74	0.05	4.02	0.02	0.25
июль	49.28	3.12	5.58	32.26	0.36	5.01	3.62	0.08
Нижний ряд: февраль	20.30	4.77	6.86	53.20	0.64	10.72	2.78	0.31
июль	30.45	1.03	3.61	56.00	0.15	7.62	1.04	0.08
Правый шлаковик (со стенок кирпичи), февраль	63.70	0.84	3.10	26.44	0.03	2.44	0.37	0.17
Правый большой крепкий кусок, июль	42.70	2.06	4.29	47.20	0.23	2.50	0.92	0.06
Проба из правой насадки, июль	7.52	1.81	6.72	78.30	0.28	3.56	1.16	0.06
Проба из-под правой насадки (под колосниками), июль . .	7.80	1.47	4.14	80.80	0.18	3.82	1.10	0.07
Проба из правого дымохода, июль	3.56	1.80	5.08	73.35	0.13	3.25	1.20	0.55
Левый шлаковик (со стенок кирпичи), февраль	38.08	1.84	5.36	50.14	0.05	2.72	0.68	0.10
Проба из-под левой насадки (под колосниками), июль . .	4.30	1.56	7.78	75.50	0.36	4.00	2.06	0.45
Проба из левого дымохода, июль	5.90	1.50	5.96	74.20	0.33	2.48	1.25	0.26

же по сравнению со шлаковыми отложениями на печи № 6, которая работала исключительно на мазуте, можно с уверенностью сказать, что зола топлива не оказала при данных опытах никакого влияния на насадки регенератора.

Тепловые испытания мартеновской печи

Для проведения тепловых замеров на мартеновской печи, необходимых для составления тепловых балансов, был установлен специальный щит с контрольно-измерительной аппаратурой.

Во время проведения балансовых плавки, кроме замеров по приборам на щите, проводились замеры также и переносными приборами непосредственно у самой печи, в местах измерений и взятия проб. При этом проводились замеры:

1) расхода топлива по рейке на нефтебаке, откуда поступала углемазутная смесь. Бак этот предварительно был протарирован водой посредством отвешивания на весах определенных объемов воды и отметкой объема на рейке;

2) анализ газа проводился аппаратом ОРСА непосредственно у мест забора проб газа, а именно: а) в вертикальных каналах, б) перед клапанами, в) перед шибером. Одновременно отмечалось и давление газа.

Все замеры и отбор проб газа проводились одновременно по сигналу. Во время балансовых плавов отбирались пробы топлива.

Состав газов. Крайне неравномерный избыток воздуха колебался от 1.1 до 3 в течение одной плавки и даже в продолжение отдельных периодов завалки, плавления и кипения.

Давление по системе печи. Правые каналы работали хуже. Перед шибером при работе на левую сторону разрежение всегда меньше, что указывает на меньшее сопротивление левой стороны, чем правой. Правая сторона после капитального ремонта все же продолжала работать хуже левой.

Температуры печи. Температура правой насадки в большинстве выше температуры левой. После холодного ремонта это явление не изменилось. Температура газов после насадки перед клапаном в большей части случаев выше на правой стороне, чем на левой.

Расход топлива. Расход топлива сильно колебался во все периоды (завалки, расплавления и кипения), и выявить какую-нибудь зависимость от каких-либо причин не представлялось возможным. Это вполне понятно, если принять во внимание, что сталевар регулирует топливо на-глаз.

Сталевары не освоили, особенно в первый период опытов, новое топливо. Углемазутная смесь в период завалки и расплавления давала мутноватый факел. Это вызывало у сталеваров впечатление, что мало подается в печь топлива и воздуха. Отсюда стремление открыть как можно больше вентиль на нефтепроводе, что приводило несколько раз к срыву вентилей. Подача вторичного воздуха при этом не регулировалась, и вторичный воздух во всех случаях поступал в печь при полностью открытом шибере.

Количество топлива, расходуемого по периодам, сильно колебалось для различных плавов и также не поддается сопоставлению с отдельными факторами процесса плавки, и вывести какую-либо зависимость от прочих явлений не представляется возможным.

Нагрев топлива, особенно углемазутной смеси, был явно недостаточен. Только на последних десяти плавках (III период), вследствие того что был установлен во время капитального ремонта печи добавочный подогреватель, удавалось иногда поднимать температуру углемазутной смеси до 90°.

Давление сжатого воздуха, которым производилось распыление углемазутной смеси, почти всегда было меньше давления самой углемазутной смеси.

Эти обстоятельства—недостаточный подогрев топлива и недостаточное давление сжатого воздуха—явно оказывали влияние на степень распыления углемазутной смеси, а, следовательно, и на скорость и полноту сгорания.

Удельный расход топлива. Удельный расход топлива на одну тонну металла зависит от целого ряда причин, не относящихся непосредственно к процессу выплавки стали и не зависящих от вида и характера топлива.

Таковыми причинами являются, в первую очередь, те, которые вызывают удлинение продолжительности плавов, а именно:

а) неподготовленность шихты и задержка в загрузке печи;

б) неправильно подготовленная шихта, не соответствующая марке выплавляемой стали, и удлинение в силу этого процесса кипения ванны;

в) неподготовленность канавы к разливке уже готовой стали, что вызывает необходимость искусственно задерживать плавку в печи и

расходовать топливо на поддержание надлежащей температуры, и многое другое, что было освещено выше.

Поэтому в условиях, обычных для данного завода, провести правильное сравнение удельных расходов топлива при работе на углемазутной смеси и на обыкновенном мазуте, в силу уже изложенного, очень затруднительно.

Можно было бы для характеристик тепловой работы топлива отнести удельные расходы к 1 т загружаемой шихты или лучше к металлу на поду.

Для сопоставления удельных расходов условного топлива приводим табл. 70 и 71.

В таблице 70 даются удельные расходы условного топлива на всю плавку, в целом, включая завалку, плавление и кипение, отнесенные к 1 т годного металла и 1 т металла на поду. При этом плавки разбиты по периодам проведения опытных плавов.

Первый период — от начала проведения опытов до остановки печи на ремонт верха печи (с 28/IV по 3/V). За этот период было проведено 16 плавов. В течение этого периода, особенно в первую его половину, новое топливо осваивалось сталеварами.

Второй период — четыре плавки в конце мая. Печь в этот период сильно ухудшила свою тягу, в силу чего было решено прекратить опытные плавки, так как они не могли дать сравнимых результатов.

Третий период — после капитального ремонта печи. Было проведено десять плавов, из которых две плавки на железо-армко.

Второй период плавов, как было пояснено ранее, исключен из общего рассмотрения.

Удельные расходы даны в двух столбцах на 1 т готового годного металла и на 1 т металла на поду, отдельно для углемазутных и мазутных плавов.

В первом периоде, в плавках за март и апрель, удельный расход условного топлива при углемазутных плавках был несколько выше, чем для обыкновенного мазута, а именно: на 1 т готового годного металла на 4.5% выше, на 1 т металла на поду на 5.2% выше.

В третьем периоде в плавках за июль — август положение совершенно изменилось. В этот период удельные расходы условного топлива на углемазутной смеси получились значительно ниже, чем для обыкновенного мазута, а именно: на 1 т готового годного металла на 1.44% ниже, на 1 т металла на поду — на 5.43% ниже, чем для обыкновенного мазута.

За все плавки первого и третьего периодов суммарно удельные веса почти сравнялись. При расчете на 1 т годного металла углемазутная смесь показала сокращение удельного расхода на 2.5%, а на 1 т металла на поду удельный расход оказался выше на 0.8% против мазута, что лежит в пределах ошибок замеров и подсчетов.

В табл. 71 даны удельные расходы условного топлива только за периоды завалки и расплавления. Этим имелось в виду исключить из рассмотрения некоторые факторы, особенно сильно влияющие на увеличение продолжительности плавов, как то: большое содержание углерода в ванне после расплавления, неготовность канавы, непопадание в анализ и т. п., выделить только наиболее теплоемкие процессы завалки и расплавления, когда расходуются наибольшее количество топлива.

В таблице также даются удельные расходы условного топлива в двух столбцах: на 1 т готового годного металла и на 1 т металла на поду, отдельно для мазута и углемазутной смеси.

Из этой таблицы видно, что уже в первом периоде в плавках за март и апрель удельные расходы дают показания, склоняющиеся в пользу углемазутной смеси. Так, удельный расход условного топлива при

Таблица 70
Удельный расход условного топлива на всю плавку в целом (включая заварку, плавление и кипение)

	Дата	Знак плавки	Обозначение плавки	Угнетенная смесь		Дата	Знак плавки	Обозначение плавки	Мазут обыкновенный	
				условн. топливо из 1 т угольной продукции	условн. топливо на 1 т металла				условн. топливо на 1 т металла	условн. топливо на 1 т металла
I период опытных плавки	12/III	5219	K-2	0.221	0.199	За I период	5218	M-1	0.257	0.217
	14/III	5280	K-3	0.181	0.171		5321	M-7	0.198	0.170
	22/III	5265	K-4	0.233	0.210		5334	M-8	0.209	0.186
	6/IV	5814	K-5	0.226	0.206		5385	M-9	0.224	0.212
	6/IV	5315	K-6	0.186	0.172		5345	M-11	0.186	0.173
	14/IV	5341	K-10	0.266	0.229		5352	M-12	0.216	0.189
	24/IV	5370	K-16	0.247	0.219		5353	M-13	0.196	0.179
	25/IV	5374	K-16	0.257	0.227		5359	M-14	0.271	0.223
				0.227	0.204				0.2170	0.1934
				+4.49	+5.2%					
Среднее за I период						Среднее				
Выше мазута										
III период опытных плавки	27/VII	5611	K-22	0.198	0.185	За III период	5643	M-27	0.197	0.176
	27/VII	5612	K-23	0.194	0.184		5644	M-28	0.224	0.180
	28/VII	5615	K-24	0.179	0.162		5645	M-30	0.244	0.196
	28/VII	5616	K-25	0.168	0.148					
	29/VII	5620	K-26	0.210	0.180					
				0.1898	0.174				0.2217	0.184
				14.4%	-5.43%					
				0.2128	0.1925				0.2182	0.191
				2.6%	0.8%					
				0.168	0.148				0.185	0.170
Среднее за III период						Среднее			0.271	0.223
Ниже мазута										
Среднее за все плавки										
Ниже мазута на . . .										
Выше мазута на . . .										
Минимум										
Максимум										

Удельные расходы условного топлива, отнесенные к годовому годовому металлу и металлу и металлургической шихте только за периоды завалки и плавления

Угтемасузная смесь	Обозначения	№ плавков	Дата	Угтемасузная смесь		Дата	№ плавков	Мазут обыкновенный			
				на 1 кг годного металла	на 1 кг металла на поду			на 1 кг годного металла	на 1 кг металла на поду		
I период	K-2	5219	12/III	0.128	—	I период	5218	M-1	0.200	0.189	
	K-3	5220	14/III	0.115	0.110		5321	M-7	0.139	0.119	
	K-4	5265	22/III	0.165	0.149		5334	M-8	0.156	0.139	
	K-5	5314	6/IV	0.165	0.150		5335	M-9	0.147	0.139	
	K-6	5315	6/IV	0.121	0.110		5345	M-11	0.137	0.129	
	K-10	5341	14/IV	0.164	0.141		5362	M-12	0.128	0.102	
	K-15	5370	24/IV	0.159	0.141		5353	M-13	0.143	0.131	
	K-16	5374	25/IV	0.164	0.145		5359	M-14	0.174	0.146	
Среднее за период				0.148	0.135	Среднее за период				0.153	0.137
Меньше мазутных плавков на . . .				3.7%	1.5%						
III период	K-22	5611	27/VII	0.169	0.152	III период		M-27	0.151	0.132	
	K-23	5612	27/VII	0.122	0.111			M-28	0.162	0.129	
	K-24	5615	28/VII	0.116	0.102			M-30	0.174	0.139	
	K-26	5616	28/VII	0.132	0.115						
	K-26	5620	29/VII	0.120	0.107						
Среднее за период				0.132		Среднее за период				0.162	0.134
Меньше мазутных плавков на . . .				18.5%	12.7%						
Среднее за все плавки				0.142	0.18	Среднее за все плавки				0.156	0.136
Удельный расход условного топлива на угтемасузную смесь ниже, чем у мазута на 5.9%											

применение углемазутной смеси ниже, чем для мазута: на 1 т годного металла на 3.7%, на 1 т металла на поду на 1.5%.

В третьем же периоде в плавках за июнь—август это преимущество углемазутных смесей выявилось с полной очевидностью. В этих плавках удельный расход условного топлива для углемазутной смеси ниже, чем для обыкновенного мазута: на 1 т готового годного металла на 18.5%, на 1 т металла на поду на 12.7%.

Такое явное преимущество углемазутной смеси за третий период плавок получилось несмотря на целый ряд неблагоприятных условий, опытов (недостаток подогрева топлива, недостаток воздуха для распыления и сжигания, частая смена сталеваров, не знакомых и не привыкших к новому виду топлива и условиям его сжигания).

Лучшие показатели в третьем периоде объясняются тем, что были приняты меры к лучшему подогреву углемазутной смеси. Был установлен второй подогреватель, что давало возможность довести температуру смеси до 90° С. Кроме того было несколько увеличено давление первичного воздуха для распыления.

Нагрев углемазутной смеси во все время работы был явно недостаточным, так как все время подавалось недостаточно пара низкого давления.

Если для высоковязких мазутов вязкостью в 80—90° по Энглеру (при 50° С) требуется нагрев до 90—95° С, то для употреблявшейся для опытов углемазутной смеси, которая имела вязкость, доходившую в некоторых плавках до 230° по Энглеру (при 50° С), державшейся обычно в пределах 130—160° по Энглеру (50° С), требовался нагрев 90—95° С. Температура нагрева в большинстве случаев во время балансовых плавок была в пределах 60—75° и едва поднималась выше 80°.

К тому же следует отметить, что давление воздуха, идущего на распыление мазута, было совершенно недостаточным для такого вязкого топлива, как углемазутная смесь.

При давлении на форсунке углемазутной смеси от 5 до 6 атм. давление воздуха, как правило, держалось около 4.5 атм. и часто снижалось до 4 атм.

Вследствие недостаточной подачи как первичного воздуха из-за малого давления, так и вторичного через клапан, поступавшего в зависимости от тяги в трубе, горение в печи было недостаточно полным и совершенным, что также отразилось на удельных расходах углемазутной смеси.

Увеличенный подогрев углемазутной смеси в III периоде, улучшенная подача вторичного воздуха для горения за счет улучшения тяги в печи после ее ремонта и некоторое повышение давления первичного воздуха, идущего на распыление топлива, создали условия для более совершенного сгорания углемазутной смеси и, как следствие, — уменьшение удельных расходов.

При условии несколько более достаточного подогрева углемазутной смеси, а также подачи воздуха большего давления, распыление было бы, несомненно, более совершенным, и та явно намечающаяся благоприятная в пользу углемазутной смеси разница удельных расходов была бы более значительной.

Таким образом, сопоставление удельных расходов условного топлива для плавки на обыкновенном мазуте и на углемазутной смеси дает возможность сделать вывод, что углемазутная смесь вполне равноценна обыкновенному мазуту и даже имеет тенденцию несколько превышать его по показателям удельных расходов.

Более правильное ведение процесса плавки при рациональной конструкции печи, при лучшем подогреве углемазутной смеси и большем давлении распыляющего средства (воздуха, пара), даст возможность

еще более улучшить показатели по удельному расходу углемазутной смеси.

Напряжение рабочего пространства крайне колеблется как по отдельным периодам одной и той же плавки, так и по отдельным плавкам (табл. 72).

Найти какую-нибудь закономерность или зависимость от каких-либо прочих факторов, характеризующих работу печи, не удалось.

Таблица 72

Среднее напряжение рабочего пространства мартеновской печи № 5
по периодам (в кал/м³ час.)
Объем рабочего пространства 15.2·1.85 = 28.12 м³

№ плавки	Обозначение плавки	Завалка	Расплавление	Кипение	№ плавки	Обозначение плавки	Завалка	Расплавление	Кипение
5218	М-1	399	525	127	5374	К-16	310	270	348
5219	К-2	—	—	—	5379	К-17	293	287	452
5220	К-3	263	252	265	5458	К-18	194	204	130
5265	К-4	288	348	219	5460	К-19	220	224	193
6314	К-5	405	329	300	5461	К-20	282	217	162
5315	К-6	255	230	218	5608	К-21	331	580	770
5321	М-7	276	232	209	5611	К-22	214	172	181
5334	М-8	282	326	219	5612	К-23	300	299	222
5335	М-9	275	317	227	5615	К-24	219	259	155
5341	К-10	452	303	437	5616	К-25	380	218	196
5345	М-11	245	245	194	5620	К-26	363	155	198
5352	М-12	154	203	183	5643	М-27	251	276	189
5353	М-13	195	190	191	5644	М-28	193	—	195
5359	М-14	276	291	228	5645	М-29	220	262	188
5370	М-15	186	279	252	5646	М-30	280	240	216

При освоении этого вида топлива, при достаточном его подогреве и правильном регулировании процесса горения, можно ожидать повышения к. п. д. печи при работе на углемазутной смеси против к. п. д. при работе на мазуте.

СЖИГАНИЕ СМЕСИ СУЛЬФИТНЫХ ЩЕЛОКОВ С УГОЛЬНЫМ ПОРОШКОМ

При варке древесины с сернистокислыми солями на каждую тонну целлюлозы получают в отбросе различные инкрustiрующие углеродистые соединения в количествах на сухое вещество, равных полученной бумажной массе. Эта масса углеродистых веществ, содержащих спирт, кислоты, сахара, фурфурол и т. д., в настоящее время еще не может быть использована в качестве химического сырья и в громадных количествах выбрасывается в реки, пруды и другие водоемы. Такое «использование» наносит большой ущерб всему населению, проживающему даже на большом расстоянии от целлюлозных производств, отравляет скот, уничтожает рыб. Ввиду этого до возможного разветвления работ по химическому использованию этих отбросов, называемых сульфитными щелоками, вполне правильно поставить вопрос об их уничтожении.

Уничтожение щелоков путем использования их горючей массы в качестве топлива проводится уже в настоящее время различными путями: сульфитные щелоки используют в виде сухого порошка после удаления из них воды выпариванием, применяют в брикетировании как связующие добавки и т. д.

Новым и интересным способом рационального уничтожения сульфитных щелоков является метод, предложенный инж. Рукавишниковым.

По этому предложению готовится смесь концентрата сульфитного щелока с угольным порошком и сжигается как жидкое топливо в печах. Суспензии угольного порошка в сульфитном щелоке при концентрациях угольного порошка в количестве 20—35% вполне подвижны, и угольные частицы распределены в них вполне равномерно без образования хлопьев и не выпадают в осадок в течение достаточно продолжительного времени.

Проведенная экспериментальная работа лабораторией диспергирования топлив Энергетического института Академии Наук СССР и научно-исследовательским сектором Лесотехнической академии (Ленинград) и сделанные расчеты технико-экономических показателей по выпариванию сырых щелоков показали, что наиболее приемлемая плотность щелока для этой цели 20—30° Вэ: при этой концентрации начинается ускоренное выпадение солей. Повышение концентрации излишне загрязняет испарительную аппаратуру, а применение менее концентрированных щелоков менее выгодно.

В предварительных лабораторных испытаниях нами были приготовлены и испытаны на устойчивость и текучесть образцы различных смесей угольного, торфяного порошка с сульфитными щелоками различных концентраций. Эти испытания показали прежде всего, что угольные частицы в сульфитных щелоках образуют суспензии без слипания отдельных частичек друг с другом. Применявшийся нами угольный порошок, характеризуемый остатком на сите № 70 в количестве 2—3% при концентрации в суспензиях до 20—30%, не выпадал в осадок в течение достаточно продолжительного времени (10 дней).

Применение концентраций более 30% затруднительно, так как они дают менее текучие смеси даже на щелоках в 20° Вэ, и особенно при использовании торфяной пыли.

Суспензии, приготовленные на сульфитных щелоках, обладают способностью при стоянии к желеобразованию, особенно в поверхностных слоях.

Применявшийся для сжигания угольный порошок был приготовлен из равной смеси двух марок углей: «Г» и «Т». Характеристика его следующая:

Влага	2.54%	Остаток на сите	{ № 100 3.1%
Зола	20.3		{ № 70 2.5
Летучие	28.0		{ № 50 1.35
Сера общая	2.9	Просев	93.0
Теплотворная способность			6300 кал/кг

Сульфитный щелок, доставленный Балахнинским бумажным комбинатом, имел следующую характеристику после выпаривания его до плотности 30° Вэ:

Влага	50.0%
Зола	7.0
Сера общая	1.8
Органическая масса	41.2
Теплотворная способность	1607 кал/кг

Подготовка смесей для сжигания. Были приготовлены в большом количестве и сжигались суспензии трех составов:

- 1) 20% угля и 80% сульфитного щелока;
- 2) 25% » » 75% » » »
- 3) 30% » » 70% » » »

Для изготовления суспензий был взят щелок с плотностью 30° Вё. Состав рабочей массы сульфитного щелока этой плотности получился следующий (в процентах):

C = 21.3	H ₂ = 2.3	O ₂ = 17.4
N ₂ = 0.2	W = 50	S = 1.8
	A = 7	

Доставленный с 1 ГЭС угольный порошок характеризуется следующим составом рабочей массы (в процентах):

C = 64.6	H ₂ = 3.7	O ₂ = 4.7	N ₂ = 1.2
W = 2.5	A = 20.8	S = 3	

Данные о составе рабочей массы суспензий вышеуказанного характера и их теплотворной способности (подсчитанной по формуле проф. Д. И. Менделеева) представлены в табл. 73.

Таблица 73

Элементы	Состав суспензий, в %		
	20% угля и 80% сульфитного щелока	25% угля и 75% сульфитного щелока	30% угля и 70% сульфитного щелока
C	30.0	32.2	33.9
H ₂	2.6	2.7	2.8
O ₂	14.8	14.2	13.6
N ₂	0.4	0.5	0.6
W	40.5	38.1	35.8
A	9.7	10.2	11.0
S	2.0	2.1	2.3
Теплотворная способность, в кал/кг	2480	2730	2925

Приготовление суспензий происходило без использования истирающих, диспергирующих механизмов.

Навеска сульфитного щелока смешивалась сначала с необходимым количеством угольного порошка ручной мешалкой, а затем механической пропеллерной мешалкой. После получасового размешивания смесь направлялась или на изучение отстоя или на сжигание.

Необходимо отметить, что сульфитно-щелочная суспензия после пребывания на открытом воздухе в течение 1—2 суток практически не давала заметного осадка угля, но при этом на поверхности суспензии образовывалась довольно толстая пена.

Образование пены не позволяло такую 1—2-суточную суспензию пускать прямо на сжигание, необходимо было повторить перемешивание. Попытка замедлить процесс образования пены наливаниём на поверхность суспензии тонкого слоя машинного масла не дала положительного результата.

Установка для сжигания. Для опытного сжигания мы применяли воздушное распыление суспензии без подогрева, так как подогревать смесь перед подачей в форсунку на основании предварительных испытаний оказалось необязательным.

Закрытая однокамерная печь объемом 0.15 м^3 была оборудована небольшим воздухоподогревателем, состоявшим из 14 параллельных компрессорный агрегат.

Ход газов в печи следующий: из камеры горения через воздухоподогреватель в боров и трубу. Тяга естественная.

Для подачи и распыления топлива нами был приспособлен готовый компрессорный агрегат.

Агрегат состоял из небольшого компрессора с электромоторным приводом. Давление на компрессоре могло доводиться до 2.5 атм. С компрессором были соединены с помощью автогенных шлангов два резервуара, позволявшие осуществлять при необходимости непрерывную работу. Обычно работали на одном бачке.

Сжатый воздух поступал из компрессора в буферный резервуар-маслоотделитель. Из этого маслоотделителя одна часть воздуха поступала к форсунке, а вторая часть воздуха — к топливным резервуарам. В резервуар ставился бачок с готовой суспензией. Резервуары были снабжены электроподогревателями для подогрева суспензии. Так как подогреватель применялся закрытого типа, то подогрев суспензии был возможен и до 100° . Под давлением сжатого воздуха суспензия прогонялась к форсунке. По использовании одного бачка, включался в работу второй, а первый наполнялся вновь. Этим была осуществлена непрерывная подача топлива в топку. Форсунка легкого типа позволяла распыливать до 10 кг/ч суспензии, причем распыление и смешивание с воздухом происходили очень интенсивно в самой форсунке, вернее, на ее выходе.

Вторичный воздух подавался в одной точке у устья форсунки. Огневая камера предварительно разогревалась дровами и нефтью с помощью тех же форсунок. Необходимо отметить, что размеры огневой камеры топки, ее ширина, высота и длина диктовались с самого начала условиями распыления топлива форсункой. Эта форсунка давала очень широкую струю распыления. Под эту форму струи и пришлось рассчитывать объем топки.

Объем топки получился для данного количества вводимого топлива раза в два, два с половиной больше, чем нужно для правильного режима горения.

Элементарный подсчет дает указания на то, что в нашей топке можно ожидать напряженность топочного пространства всего в $100-120 \cdot 10^3 \text{ кал/м}^3 \text{ час}$.

Сжигание смесей. Принципиальная установка, которой придерживались мы при проведении эксперимента, сводилась к следующему:

- 1) суспензия вводилась в топку в весьма тонком распылении на воздушном дуге;
- 2) первичный воздух подогревался до 100° ;
- 3) вторичный воздух подогревался до 300° и выше и подавался весь у устья форсунки;
- 4) суспензия перед подачей в форсунку подогревалась до $80-100^\circ \text{ С}$;
- 5) топка была закрытого типа.

Самые главные пункты успеха работы заключались в подогреве суспензий для увеличения ее текучести и в подогреве вторичного воздуха до 300° и выше.

Перед началом опыта топка прогревалась на дровах и на нефти таким образом, что кладка и, в особенности, нижний порог накаливались до красного каления, затем топка очищалась от древесного угля, и в нее давалась смесь угольного порошка с сульфитным щелоком при температуре топки, примерно, не выше 400° . Обычно сразу же введенная суспензия загоралась. Эффект горения отмечался по неуклонному росту температуры в топочном пространстве с 400° до 800° . Вероятно,

температура в топочном пространстве устанавливалась и более высокой, но мы не располагали средствами для ее промера. Имевшаяся же железо-хромовая термопара позволяла фиксировать температуру только до 800°.

В отличие от нефтяного факела, горение которого происходит в строго определенных рамках, при горении сульфитно-щелочной суспензии поток раскаленного газа занимал все сечение топочного пространства.

Диффузный характер факела, повидимому, может быть объяснен интенсивным парообразованием в самом факеле из-за большой влажности топлива, достигавшей в экспериментах 50%. Кроме того, в раскаленных газах замечены были искрившиеся частички, в особенности, в начальных стадиях подачи топлива в топку. Необходимо заметить, что применявшийся уголь сам по себе содержал свыше 20% золы, да и сульфитный щелок был нейтрализован известью, которая также попадала в топку. При оптимальной регулировке горения в местах завихрения наблюдались, например, у нижнего порожка при завороте газов вниз к воздухоподогревателю, белые языки пламени.

Сам процесс горения был достаточно устойчив, но требовал точной дозировки воздуха и суспензии. В случае неподходящей дозировки температура быстро снижалась, и на передней стенке порога образовывался конусовидный нарост выпавших частичек золы и несгоревшего угля. Этот нарост легко удалялся шуровкой.

Полных теплотехнических исследований процесса горения не проводилось, так как это не являлось целью данного этапа работы. Нам необходимо было доказать применимость и возможность сжигания сульфитного щелока в виде суспензии с углем. Делались лишь замеры температуры газов перед воздухоподогревателем, которые, как указывалось в начале зажигания, давали 400° и доходили до 800° и выше. Затем замерялась температура воздуха у устья форсунки, лежавшего обычно в пределах 250—350°.

Несколько замеров CO_2 на «Орса» показали цифры, лежавшие в пределах 8—16%. Дыма при горении не наблюдалось.

Необходимо еще раз подчеркнуть высокую зольность топлива, так как после шести прожогов нижний ряд трубок воздухоподогревателя оказался покрыт слоем летучей золы, и поверхность нагрева воздухоподогревателя, таким образом, уменьшилась вдвое. Несмотря на это, горение протекало нормально, хотя температура вторичного воздуха значительно снизилась.

Угольно-сульфитно-щелочная суспензия представляет собой смесь взвешенных тончайших частиц угля с сгущенным сульфитным щелоком, при этом угольная частица совершенно обволакивается сульфитным щелоком и, возможно, в поверхностном слое даже пропитывается.

Струя такого топлива, введенная в раскаленную топку, испытывает следующие превращения.

1. Влага топлива интенсивно испаряется и переходит в перегретую фазу, изменяя свой объем в тысячи раз. Благодаря этому и наблюдается описанная выше диффузность пламени.

2. Угольная частица, представляя собой как бы центр конденсации для сульфитного щелока, покрывается корочкой и при достижении известной температуры распадается: летучие угольной частицы смешиваются с перегретыми парами сульфитного щелока, происходит зажигание и горение.

3. Сульфитный щелок, не связанный с углем, попадая в этот поток, также превращается в коксовидную частицу (сульфитный щелок — цельпек — кокс) и сгорает в благоприятных температурных условиях, созданных соседними угольными частицами.

Выводы

1. Метод позволяет сжигать сульфитный щелок в простых топочных камерах без механических и прочих решеток, так как процесс сжигания угля и сульфитного щелока идет в одной струе аналогично угольно-газутному топливу.

2. Подготовка суспензии с калорическим эффектом, порядка 3000 кал/кг не представляет затруднений. Более высокие добавки угля, в целях повышения калорийности, могут повести к затруднениям, связанным с повышением вязкости топлива.

3. Суспензия требует хранения в герметически закрытых сосудах или метода поточного приготовления и сжигания.

4. На основании этих экспериментов можно сказать, что суспензионный метод сжигания сульфитного щелока в смеси с техническим угольным порошком может дать удовлетворительные результаты, позволяя рационально уничтожать сульфитный щелок.

ЛИТЕРАТУРА

1. Розин. Die Wärme, 1933, № 48.
2. Schultes. Glückauf, 1932, 1198.
3. Manning. Engineer, 161, 220 (1936).
4. Strevens. Colliery Engineering, 19. № 148, 200 (1936).
5. В. Р. Вильямс. Бурные угли. 1935 г., стр. 166.
6. Известия ВТИ 1940 г., № 5, 14.
7. Отчет о работах ВТИ за 1937 г.
8. Известия АН СССР, ОТН, 1938 г., № 3.

ГЛАВА VII

ИСПОЛЬЗОВАНИЕ СМЕСЕЙ В КАЧЕСТВЕ ДИЗЕЛЬНОГО И МОТОРНОГО ТОПЛИВА

В VI главе мы привели примеры сжигания углемазутных смесей в различных топках. Применение смесей в топках паровозов нами не приведено, хотя такие опыты и имели место за границей; представляет интерес также сжигание смесей в топках паровых автомобилей с прямоточными котлами, но опыты в этом направлении не производились.

Павликовский, известный исследователь по применению угольной пыли в двигателях внутреннего сгорания, при проведении своих опытов применил также и смеси угольной пыли с жидким топливом.

Вообще работ по использованию угольной пыли в двигателях с момента выдачи первого патента на такую машину в 1851 г. проведено очень много, но только в последние годы этот вопрос приблизился к разрешению.

При желании использовать в двигателях внутреннего сгорания углемазутную смесь необходимо учесть богатый опыт по применению угольной пыли в двигателях, и потому мы коротко остановимся на исследованиях в этой области и приведем некоторые соображения по сравнению применения пыли и углемазутной смеси.

Через сорок лет исследовательской работы с пылеугольными двигателями, т. е. к 1931 г., было восемь работающих в эксплуатации двигателей, и только теперь, с применением особо твердых сплавов, поставлено производство двигателей, питаемых угольным порошком. Основным затруднением было разрешение вопросов абразивного воздействия элементов угольной пыли на поршень, кольца и другие детали двигателя и устройства питания машины угольной пылью. Тепловой процесс с применением угольной пыли почти не отличается от процесса с применением жидкого топлива (2—3). Степень сжатия, самовоспламенение, коэффициент избытка воздуха не отличаются от таковых на жидком топливе.

По опытам в Опшау самовоспламенение при работе на буроугольном порошке получено при давлении сжатия 17 кг/см^2 . Среднее индикаторное давление колеблется в пределах $5\text{—}9 \text{ кг/см}^2$. Механический к. п. д. составлял $61\text{—}70\%$, эффективный к. п. д. — $25\text{—}32\%$. Пылеугольные двигатели работают на невысоком числе оборотов: до 400 об/мин.

Большинство опытов (очевидно, с применением бурбоугольной пыли) производилось на довольно грубой пыли, дающей 20% остатка на сите № 70.

Интересные для нас наблюдения продолжительности сгорания проведены Вентцелем (4), различающим три стадии горения:

Z_s — запаздывание самовоспламенения, т. е. время, протекающее с момента подачи угольной пыли в цилиндр двигателя до момента воспламенения.

Z_p — время от начала подачи до достижения максимального давления при сгорании.

Z_v — время сгорания.

По опытам Вентцеля Z_s колеблется в пределах 0.02—0.03 сек. Минимальные значения Z_v и Z_p получены при температурах и конце сжатия не ниже 650°: Z_v — 0.2 сек. и Z_p — 0.12 сек. Избыток воздуха не влияет на значение Z_v и Z_p . Значение Z_s при диаметре частиц 7.6 μ составляет 0.02 сек., а при диаметре частиц 125 μ — 0.08 сек. Температура конца сжатия на все величины оказывает значительное влияние: значения Z_v и Z_p при понижении температуры с 650 до 500° увеличиваются в 10 раз.

Износ частей двигателя при работе на пылеугольном топливе (5) имеет очень большое значение. Обычно считают, что количество золы не должно превышать 140 г на 10 000 калорий, развиваемых при сгорании топлива.

Износ поршневых колец и втулок пылеугольных двигателей, по сравнению с двигателями, работающими на жидком топливе, во много раз выше, так, например: износ рабочей втулки в верхней части на жидком топливе составляет 0.1—0.3 μ в час, а на пылеугольном топливе — 50 μ в час. Изучение износа двигателей наблюдалось очень многими исследователями, предлагавшими различные методы борьбы с износом. Минеральные компоненты углей, из которых приготовлено порошковое топливо (см. гл. II), являются важнейшими факторами износа, и при подборе углей для использования в пылеугольных двигателях и для приготовления угольных смесей надо обратить особое внимание на минералогический анализ и на минералогические формы золаобразователей: абразивное воздействие, оказываемое на части двигателя, например, кварцем, будет зависеть от того, в какой форме находится кварц в угле — в виде окатанных гладких зерен или в виде кристалликов с острыми краями. Некоторые формы углерода также могут вызывать значительное абразивное воздействие; такой углерод может быть естественного происхождения, а также может образоваться в процессе технологической обработки топлива; возможно образование его даже в момент сжигания в камере двигателя. В тяжелых видах жидкого топлива абразивно действующие углеродистые частицы всегда могут присутствовать, что необходимо учитывать при изготовлении смесей для применения в двигателях.

Большая работа проведена на заводах в Шихау, где были испытаны различные сорта чугуна, пермитовое литье, легированные чугуны и другие материалы. В результате многолетней работы был найден материал, при котором износ при работе на угольной (зольной) пыли не превышал 0.5—1.5 μ в час, т. е. в два раза более, чем при работе на жидком топливе. При применении углемазутных смесей в двигателях необходимо разрешить следующие вопросы.

1. Выбор и подготовка материалов для приготовления смесей.

2. Тщательная проработка технологической схемы приготовления смесей.

3. Хранение и транспорт смесей.

4. Конструктивное оформление подачи смеси в двигатель и питание его.

5. Распыл смеси в камере сгорания.

6. Процесс сгорания смеси в двигателе.

7. Влияние сгорания смеси на работу двигателя.

8. Влияние продуктов сгорания на рабочие детали двигателя.

9. Подбор устойчивых к абразивному воздействию материалов для рабочих деталей двигателя.

Ввиду того что проблема сжигания углемазутных смесей еще только ставится и проведены только первые ориентировочные опыты, мы, ко-

нечно, в этом разделе не можем дать полный и детальный обзор проведенных и намеченных к проведению работ, и здесь мы приведем только некоторые соображения по этому вопросу и некоторые результаты наших работ.

В качестве материала для замены ценного дефицитного дизельного топлива, конечно, можно применять только такие материалы, которые, будучи вполне удовлетворительного качества, в то же время были бы менее дефицитными.

В качестве дизельного топлива наибольшее применение до сих пор находило соляровое масло. В последнее время соляровое масло стали смешивать с легкими мазутами, а чистые мазуты, несмотря на то, что опыты с ними проводились уже давно (у нас, в СССР, проф. Вырубовым Д. Н. в 1930—1932 гг. и ранее), до сих пор не нашли широкого применения.

Таким образом, решению проблемы углемазутного топлива для дизелей должно бы предшествовать решение вопроса использования высоковязких крекинг-мазотов в двигателях различного типа, но эта задача еще до сих пор не выяснена с той тщательностью, как это требуется современной обстановкой. Отсюда следует, что для приготовления углемазутных смесей надо применять в качестве жидкого компонента только те мазуты, которые удовлетворяют условиям стандарта на тяжелое моторное топливо. Такой мазут до смещения с угольным порошком должен отстояться, а затем необходимо фильтрование его.

Твердый компонент смесей уголь должен содержать минимальное количество абразивных минеральных примесей. В случае применения каменных углей необходимо применять материал обогащенный, с малым содержанием золообразователей и не содержащий абразивных примесей. Следует учесть, что при переработке углей в порошок может быть засорение его различными посторонними примесями (песок, железные опилки и т. д.), которые должны быть удалены.

В Норвегии, а затем нами ставились опыты использования в двигателях смесей, приготовленных с древесным углем. Древесный уголь удовлетворяет как в отношении малого содержания золообразователей, так и в отношении качества золь, как неабразивный материал.

Едва ли возможно давать в углемазутные смеси древесноугольного порошка больше 20%, так как уже при 20% вязкость смеси значительно возрастает. Степень размола угольного порошка также имеет значение, как мы уже знаем, и в отношении устойчивости смеси, особенно при подогреве ее, и в отношении скорости сгорания отдельных угольных частиц. Конечно, при использовании смесей, приготовленных на мазуте, необходимо перед подачей в форсунку их подогревать; желательно подогревать также и воздух для более полного сгорания смесей.

Один норвежский исследователь (6) дает описание приготовленной им смеси из солярового масла и древесноугольного соснового порошка. Соляровое масло имело следующую характеристику: удельный вес 0.833; вязкость при 20° = 1.38° E; теплотворная способность Q 10 000 кал/кг.

Угольный порошок был получен размалыванием в шаровой мельнице до остатка 0.5% на сите № 70.

Ввиду того, что при такой крупности угольного порошка, суспензия не была достаточно устойчивой, было добавлено в качестве стабилизатора 2% стеарата натрия и 0.1% уксусной кислоты; удельный вес суспензии получился равным 0.914, а теплотворная способность составила 9640 кал/кг при 20% концентрации угля; вязкость суспензии определялась в вискозиметре Энглера с таким отверстием, что 200 мл воды вытекало в 53 секунды и значение вязкости определено было как $\eta_{50} = 2.5^\circ$.

Хотя и известно, что углемазутные смеси находят некоторое применение в двигателях Дизеля, но сведения о таких применениях крайне отрывочны и недостаточны. Маннинг в докладе, упомянутом нами ранее, касается также и вопроса применения смесей в двигателях внутреннего сгорания, но он при этом выразил сомнение в возможности применения смеси на основании имевшихся в то время у него сведений. Маннингу при обсуждении его доклада (7) Гамильтон сообщил, наоборот, об успешных опытах, проведенных с 80-сильным одноцилиндровым двигателем.

Стривенс (8) рекомендует для приготовления смесей с целью применения в двигателях внутреннего сгорания угли с большим содержанием летучих и кислорода (т. е. более молодые), а масла — с высокой температурой воспламенения. На основании предварительных опытов Стривенс указывает на целый ряд препятствий: трудность пуска неразогретого двигателя, ухудшение выхлопа по сравнению со стандартным маслом, образование нагара и некоторое падение мощности при нагрузке. В качестве примера он приводит работу тихоходного двигателя в 200 сил на смеси 30% угольного порошка и нефти в смеси с каменноугольным маслом. Следует отметить, что высокая концентрация угля и применение каменноугольного масла в первых опытах не могло действовать особому успеху опытов. В другой статье Стривенс приводит результаты, показавшие более благоприятный результат, хотя, очевидно, он не ставил перед собой задачу выработать специальную технологическую схему приготовления смеси, пригодной для двигателя. В других статьях Стривенс говорит несколько более подробно о своих наблюдениях (9) и указывает на требования, предъявляемые к углю: отсутствие абразивных примесей при низком содержании золообразующих элементов, легкая воспламеняемость, малый размер частиц (в пределах экономических возможностей размола). К смеси предъявляется требование отсутствия крупных частиц. Стривенс при изготовлении смесей для применения в двигателе применял каучуковый стабилизатор и добавлял креозотовое масло; размер частиц в первых его работах составлял 10 μ .

Как мы уже указывали, по опытам Вентцеля следует, что запаздывание самовоспламенения зависит от размера частиц: при диаметре частиц 7 μ запаздывание самовоспламенения при 650° составляет 0.02 сек., а при диаметре 125 μ — 0.08 сек. В то же время температуры самовоспламенения при атмосферном давлении для различных углей имеют различное значение:

У г л и	Темпе- ратура, °С
Газовый	500
Древесный	250
Жирный	540
Тощий	580
Антрацит	580

В то же время, если учесть также и влияние, сопряженное с воспламенением в присутствии компонентов мазута, а также возможность заготовки смешанных углей, то зависимость запаздывания самовоспламенения от размера частиц становится не такой значительной, особенно если применять для дизельных двигателей угольные порошки достаточно тонкие, в среднем с диаметром частиц до 30 μ .

В СССР в двигателях сжигают соляровое масло и мазуты обычно малой вязкости.

Работы, проведенные проф. Д. Н. Вырубовым и др., выявили условия подготовки и сжигания более вязких мазутов. На пути сжигания высоковязких мазутов имеется много препятствий: необходимость особой тщательной фильтрации мазутов при значительном подогреве с целью

должения исследований при одновременной проработке технологии приготовления смесей.

Смеси, приготовленные с использованием довольно грубого порошка, могут найти применение в тихоходных двигателях на стационарных установках при условии принятия мер против абразивного воздействия на поршни и кольца избыточной золы топлива.

Во флоте требования к качеству смесей-заменителей должны быть повышены. В этом случае смеси должны быть приготовлены по методам, изложенным в главе VIII.

Представляет интерес также использование смесей в карбюраторных двигателях. Доктор Френсис Гудвин сообщает (12), что три образца коллоидного топлива были с успехом опробованы в автомобильном двигателе. Первый образец был приготовлен из угольного порошка тонкостью 300 меш в смеси с бензином, топочным маслом и смазочным маслом; второй представлял суспензию в дизельном масле, а третий — суспензию в очень легком масле (угольный порошок был тонкостью 500 меш). Во всех случаях к суспензиям добавлялся стабилизатор.

ЛИТЕРАТУРА

1. Motorship, (2), 441, (1932).
2. W. Nusselt. Die Verbrennungsvorgänge in der Kohlenstaubfeuerung. „VDI“, 19/II (1924).
3. Rosin. Thermodynamik der Staubbfeuerung. „VDI“, 25/V (1929).
4. Arch. f. Wärmewirtschaft, (1931).
5. Power, № 8, 75 (1939).
6. Det Kongelige Norske Videnskabers Selskab Forhandling, B. IX, № 2, 1 (1936).
7. Обсуждение доклада Маунинга, J. Inst. Fuel, IX, июнь, № 47 (1936).
8. Strevens. Colliery Engineering, 13, № 15, 276 (1937).
9. Strevens. Gas & Oil Power, 31, 127—129, 225—227 (1936).
10. J. Amer. Soc. Nav. Engrs, 52, № 2, 315 (1940).
11. В. Ф. Кустов и П. П. Акимов. К вопросу применения углемазутного топлива в двигателе внутреннего сгорания. Рукопись в библиот. ЭНИН АН СССР (1939).
12. Colliery Guardian, стр. 945 (1939).

ГЛАВА VIII

ТЕРМОМЕХАНИЧЕСКАЯ ОБРАБОТКА, ПОЛУКОКСОВАНИЕ И КОКСОВАНИЕ СМЕСЕЙ

При изготовлении суспензий процесс измельчения твердых компонентов является основным как по расходу энергии, так и по качеству получаемого продукта. Ввиду того что суспензии являются заменителями жидкого материала, качество их тем выше, чем меньше размер частиц твердого компонента; частицы, приближающиеся по своим размерам к частицам коллоидов, являются идеалом высококачественных суспензий.

Частицы, имеющие 2—3 μ по диаметру, подчиняются броуновскому движению, а скорость осаждения их и образование осадка весьма невелики. Однако получение таких частиц механическим путем чрезвычайно трудно и экономически не оправдывается. Следует учесть, что к. п. д. современных измельчающих агрегатов, даже наиболее совершенных, составляет, по исследованиям Мартина, очень скромное значение порядка 0.06% (1). В последнее время, повидимому, наблюдается некоторый сдвиг в этом направлении, так как все чаще и чаще встречаются предложения различных фирм мелющих установок для «микрпомола», тем не менее трудно полагать, что какой-либо механический метод позволит с очень малой затратой энергии получать частицы достаточно мелкие.

Большой интерес представляет сочетание механического воздействия с химическим. Размол с понизителями твердости, аналогично приемам, предложенным для шлифования материалов акад. И. В. Гребенщиковым и для бурения членом-корреспондентом П. А. Ребиндером, мог бы представлять существенный интерес в практическом осуществлении в помольной технике, в первую очередь, для размола угля при изготовлении суспензий. Если бы при мокром размоле удалось установить влияние тех или иных добавок как понизителей твердости и значительно сократить при этом расход энергии при улучшении качества помола, то метод «мокрого» помола мог бы найти весьма широкое применение.

Бэтс в одном из своих патентов (2) приводит описание термо-механо-химической обработки суспензий: тонкоразмельченный уголь смешивают с жидким углеводородом и сильно растирают его в присутствии водорода; температура смеси при этом поддерживается повышенной, но ниже 300°, а давление до 10 атм. Требуемое тепло может частично или целиком быть получено за счет трения размалывающего механизма (3).

Обработка смесей водородом предлагается очень часто в различных патентах (4—5), и так как этот метод относится в сущности к гидрогенизации, а не к понижению твердости угля, то мы не будем на нем останавливаться, тем более, что описание этих методов имеется в специальных сборниках (6).

В настоящее время еще нет экспериментального материала для того, чтобы говорить о применении понизителей твердости в помольной технике, кроме указанного нами предложения Бэтса.

Большой расход энергии на механический размол до очень тонкого порошка выявил необходимость искать иных методов измельчения твердых материалов. Новые взгляды на химическую природу твердых горючих ископаемых позволяют считать уголь и сланцы как комплекс углеродистых соединений (см. гл. II). При этом возможно принять во внимание, что этот комплекс, как и всякие углеродистые соединения, при нагревании может разрушаться, а процесс разрушения проходит обычные стадии: потери твердости, размягчения и плавления. Многочисленные работы по обработке углей и сланцев растворителями показали, что в присутствии растворителей при высоких температурах и давлениях разрушение структуры твердых частиц может быть весьма значительным. На этом основании возникли многочисленные методы карбонизации смесей твердых и жидких топлив.

При получении особо стойких суспензий с применением высокого нагрева и обычного механического истирания готовят прежде всего достаточно концентрированную суспензию из угольного порошка обычного помола или особо грубого (непосредственно с дробильной машины) и нефтяного или каменноугольного дистиллата. Если термическая обработка суспензий проводится при низкой температуре, то при этом в сущности происходит полукоксование; в этом случае обычно применяют одновременно и механическое воздействие, перетир, всей массы, так что в результате получают в остатке тяжелую текучую массу с очень мелкими частицами угля (несколько микрон в диаметре). Такой текучий остаток, в зависимости от его вязкости, может применяться или как тяжелое дизельное топливо, или как котельное и печное топливо.

Термическая обработка суспензий при более высоких температурах (коксование или карбонизация) представляет в сущности крекинг высоковязких мазутов и смол с получением богатого газа, дистиллатов с большим содержанием бензола и толуола и хорошего кокса, пригодного для применения в транспортных газогенераторах.

По применяемым методам карбонизация суспензий может быть разделена на две группы.

1. Карбонизация при обыкновенном атмосферном давлении при различных температурах:

а) низкотемпературная карбонизация до 350° ; при этом получают легкие масла и остаток, который может сжигаться как топливная суспензия;

б) среднетемпературная карбонизация до $400-500^{\circ}$. В этом случае удаляются все жидкие и газообразные компоненты и в остатке имеют кокс;

в) высокотемпературная карбонизация до $1000-1200^{\circ}$ с получением металлургического кокса.

2. Карбонизация при повышенных давлениях (15—20 атм):

а) низкотемпературная карбонизация до 350° ; текучий остаток используется как топливо;

б) карбонизация при повышенных температурах (500° и выше); в остатке получают кокс.

К первой группе относятся методы Риана, Гемптона — Риана, Томпсон-Билера, Гринстата, Митфорда, Струбана, Мейро и Ноулеса; ко второй группе — Люиса, Крэнстона, Стривенса, Моделло, Блюмпера, Карбонола, Стефенсона.

Приведем краткий обзор этих методов. По методу Риана, предложенному в 1918 г. Генри Рианом, получают из равных частей порошкового топлива (уголь, сланцы) и тяжелых топочных масел преимущественно легкие дистиллаты при температурах $315-370^{\circ}$.

По методу Гемптона — Риана суспензия обрабатывается в шаровой мельнице при температуре 150—205°, и затем остаток используется как «коллоидное топливо».

Метод Томпсон — Билера состоит в обработке суспензии при 480° в длинной (22 фута) реторте с образованием твердого остатка.

Большое внимание в литературе было уделено методам карбонизации под повышенным давлением. Наиболее ранние из них методы Люиса (1918 г.), Крэнстона (1928 г.), Стривенсона не имели широкого распространения, а наибольшей известностью пользуется метод Эрвина Блюмпера (рис. 66). По этому методу 50—60% угля и 40—50% жидкого топлива нагреваются в серии цилиндрических установок, состоящих из обогреваемого снаружи стационарного цилиндра и внутреннего, вращающегося с скоростью 120 об/мин. Суспензия поступает в узкое (25 мм) пространство между ними при температуре 150—180° и при давлении 20 ат; дальше суспензия поступает в экспандер, где редуцируется давление и отделяются газы и пары; дальнейшее измельчение дополнительно производится на дисковой мельнице (7—10). Установка сооружена в Англии, но данные о ее работе не достаточны. В. Н. Рукавишниковым давалось решение методом низкотемпературной карбонизации.

Большими симпатиями пользуется в Англии метод Карбонола (Войнич) (рис. 67), сходный с методом Блюмпера; коллоидная или дисковая мельница в этом методе не применяется. По этому методу, так же как и по предыдущему, суспензия получается с размером зерен, близким к коллоидному, и может быть использована во всех тех случаях, где применяются мазуты.

Наиболее интересный метод, известный под названием процесса Стеффенсона, имеет уже значительную давность. Согласно патенту, применяются щелочные земли (рис. 68).

По этому способу углемазутная смесь предварительно прогревается до 300—400°, а карбонизация происходит при 500—600° в узком пространстве концентрических горизонтальных трубок под давлением 50 атм. до образования твердого остатка; газы и пары при этом удаляются.

В прошлом производились неоднократные попытки придания неспекающимся углям коксующих свойств путем добавления к ним масел и смол. Это мероприятие давало возможность получить прочный кокс из неспекающихся углей. Однако внедрение его в промышленную практику задерживалось высокой стоимостью процесса интимного смешения угля с относительно небольшим количеством вязущего материала.

В дальнейшем выяснилось, что швелевание углемасляных смесей не только дает возможность получить спекшийся прочный кокс, но также позволяет увеличить выход легких масел из угля.

Вопросу швелевания углемасляных смесей уделяют теперь большое внимание в США и в Англии. Германия занимает пока в данном деле выжидательное положение.

Ниже приведено описание ряда установок для швелевания углемасляных смесей, каждая из которых имеет свои особенности в отношении конструкции и характера эксплуатации в зависимости от поставленных целей.

Печи Ноулеса. Печи Ноулеса были применены в США и в Англии первоначально для коксования нефтяных остатков и каменноугольного пека. Впоследствии эти печи были использованы также для коксования углемасляных смесей и сильно вслучивающихся углей.

Установка в Сигэм-Гарбере. Установка в Сигэм-Гарбере (графство Дэррем в Англии) была построена в 1935 г. На установке в Сигэм-Гарбере имеются 208 горизонтальных железных реторт, шириной 330 мм, высотой 310 мм и длиной 6 400 мм. Каждая печь состоит из 4 реторт, расположенных друг под другом и обогреваемых общими

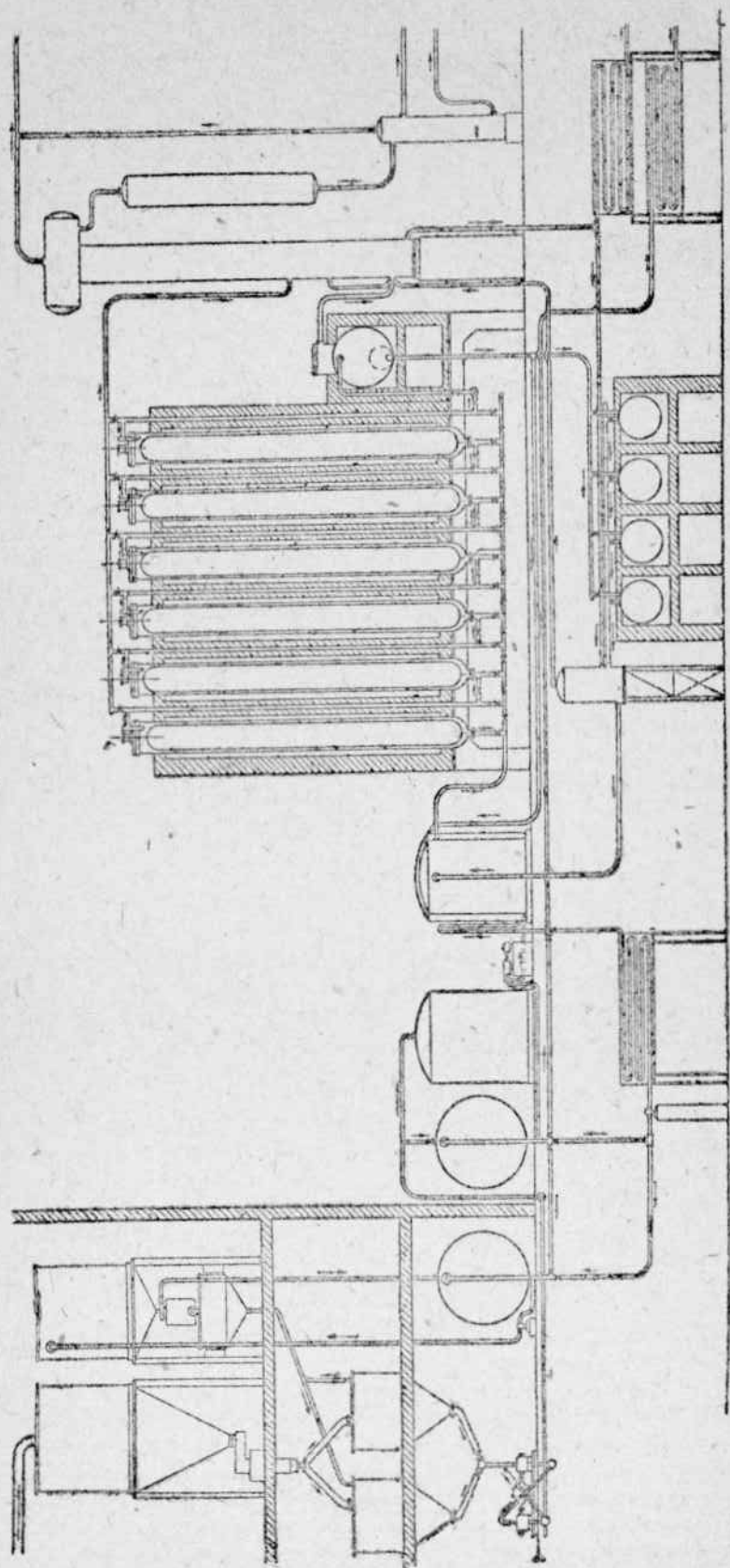


Рис. 66. Схема Блюмнера

боковыми отопительными каналами. Каждые 13 печей имеют свой барильет. Всех барильетов четыре.

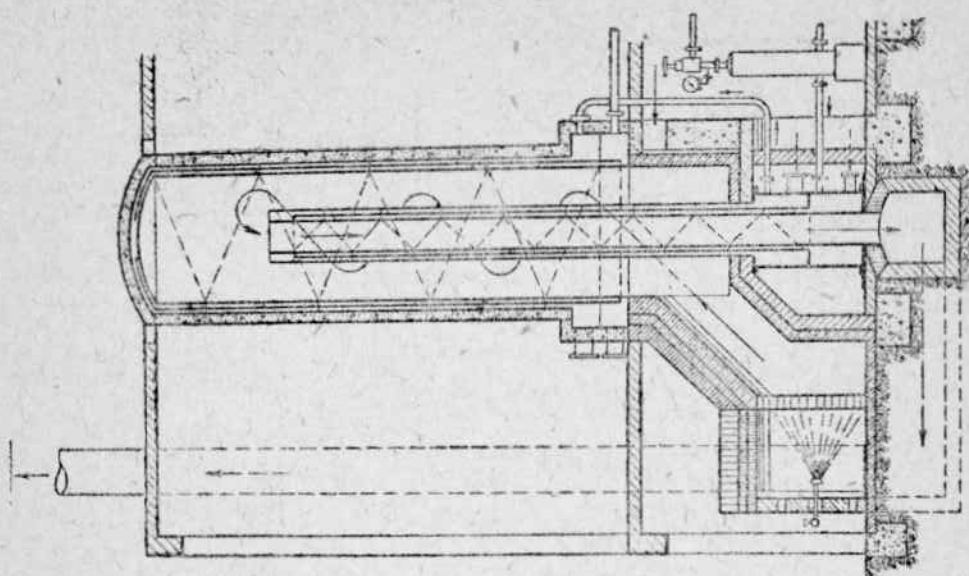


Рис. 67. Метод Карбонола

В 1936 г. установка в Сигэм-Гарбере была испытана в течение 168 час. Государственным топливным исследовательским институтом. Во время испытания работало 26 печей (104 реторты).

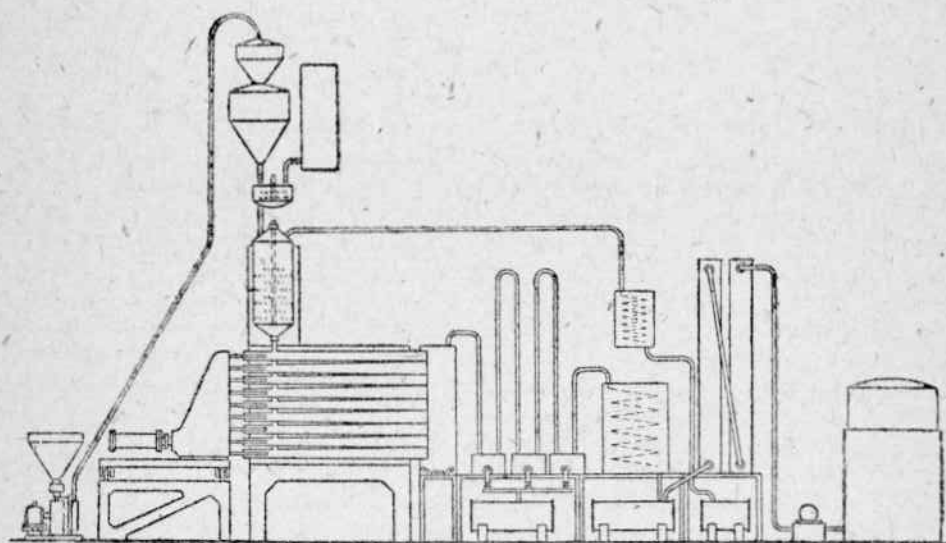


Рис. 68. Метод Стефенсона

Ежесуточно перерабатывалось 62,8 т пасты, содержащей 55% угля и 45% масла. Температура в отопительной системе (кирпичных отопительных каналах) равнялась 950°. Вес разовой загрузки равнялся 420 кг. Период коксования колебался в пределах 12,3 и 16,5 час. Входящий в состав пасты уголь содержал 2% влаги, 35% летучих и 7% золы.

Выход продуктов из 1 т пасты был следующий:

Кокс (сухой)	
Общий выход	559 кг
Мелкий кокс (ниже 18 мм)	122 кг
Летучие в коксе	4.3%
Газ	
Выход	361 м ³
Теплотворная способность	8750 кал/м ³
Плотность	0.815
Газовое легкое масло	
Выход	25.5 кг
Удельный вес при 15° С	0.807
Швельсмола	
Выход безводной и обесмыленной смолы	253 кг
Удельный вес при 15° С	1.016
Очищенный бензин (до 200° С)	33.8 кг
Общий выход очищенного бензина	57.0 кг

Температурный режим на установке в Сигэм-Гарбере таков, что здесь процесс переработки углемазляной пасты нельзя назвать чистым швелеванием. На этой установке принят более высокий температурный режим с целью подвергнуть крекингу часть выделившихся масляных паров для увеличения выхода низкокипящих масел.

Высокая температура приводит, с другой стороны, к образованию графита в значительном количестве. При производившихся каждые четыре дня чистках извлекали из реторт от 14 до 72 кг графита. В одном случае было удалено даже 181 кг графита. Высокий температурный режим приводит также к высокому выходу газа.

Состав газа характеризуется нижеследующими данными, которые относятся к газу, освобожденному от углекислоты и кислорода, содержащихся в нем, соответственно в количестве 3.2 и 0.9%.

Состав газа			
Этилен	7.6%	Азот	11.6%
Пропилен	6.2%	Метан	35.9%
Бутан и бутилен	4.0%	Этан	7.8%
Пептан и пептены	2.5%	Пропан	2.3%
Окись углерода	2.6%		
Водород	19.5%		100.0%

Каталитическое швелевание углемазляных смесей. Излагаемый ниже способ швелевания углемазляных смесей отличается от описанного выше тем, что в целях повышения выхода низкокипящих масел в данном случае применены наряду с термическим воздействием катализаторы.

О характере и составе контактной массы для интенсификации процесса превращения масел с более высокой точкой кипения в низкокипящие подробных сведений не было опубликовано. Упоминается лишь, что масса состоит из зерен и что она загружается в дистилляционный куб, где через нее проходят отогнанные пары.

Печные реторты сделаны из шематитового чугуна, содержащего кремний 2.0%, марганец от 0.8 до 1%, углерод 3.7% и серу и фосфор меньше 0.1%. Двери с обработанными уплотняющими поверхностями сделаны из литой стали, причем для обеспечения лучшей плотности предусмотрена подача пара через специальные штуцеры. Размеры реторты следующие: длина 6455 мм, ширина 230 мм и полезная высота 200 мм. Продолжительность швелевания 1 час. 40 мин.

Каждая реторта имеет газоотвод, который примыкает к газовому коллектору, расположенному на стороне реторты, противоположной той,

где находятся двери. Газовые коллекторы подают газ в бариллет, откуда газ поступает в газопровод.

Температура в реторте равна вначале 570° , а к концу периода швеления она повышается до $600-620^{\circ}$ С.

Кокс получается в виде крупных кусков. Пористая структура его, прикрыта образующимся на поверхности кусков гладким слоем масляного кокса.

На опытной установке в Дартфорде были получены при испытании следующие выходы продуктов:

Загружено (кг)	Получено продуктов (кг)
Уголь 1102	Швелькокс 770
Легкое масло (до 200° С) . . . 86	Швельвода 44
Тяжелое масло (выше 200° С) 425	Швельгаз (120 м ³) легкое масло 116
	Тяжелое масло (выше 200° С) 437

Способ Национальной коксомасляной компании в Англии. На установке в Эрите (графство Кент в Англии) имеются четыре вращающихся печи производительностью каждая 20 т угля, или 40 т углемасляной пасты в сутки. Общая производительность установки равна 30 т угля, или 160 т пасты в сутки.

Равные металлические реторты имеют следующие размеры: длина 15250 мм, внутренний диаметр 1525 мм, толщина стенок 28 мм. Реторты монтированы под углом 3.25° к горизонтالي в кирпичной обмуровке и отапливаются смесью швельгаза и генераторного газа. Каждая реторта имеет 15 горелок.

Реторты вращаются со скоростью 1 об/мин.

Загружаемая в реторты паста сначала пристает к стенкам реторт. Для отделения ее от стенок в ретортах имеются по три скребка, подвешенных на цепях.

Проведенные в 1937 г. Государственным топливным исследовательским институтом испытания показали следующие результаты в отношении выходов продуктов:

Загружено	Получено продуктов
Уголь сухой 918.7 кг	Кокс выше 20 мм . . . 255.0 кг
Влага в угле 43.0	Кокс ниже 20 520.0
Креозотовое масло . . . 31.9	Газ (мытый) 170.0 м ³
Поглотительное масло . 10.1	Очищенный бензин . . . 32.3 кг
Дестилляционная смола . 5.4	
Газогенераторная смола 0.9	

Недостатком описанной установки является высокий выход мелкого кокса. По данному способу работают также установки в Типтоне, возле Бирмингама (4 печи), в Каннеке (2 печи).

Способ Гемптона и Риана. Описываемый способ Гемптона и Риана осуществлен на опытной установке в Йорке (Пенсильвания, США).

Настоящий способ переработки угля был разработан с целью возможного устранения частичного разложения масел с образованием газа, что имеет место при прочих способах швеления углемасляных смесей. Предварительная обработка угля проводится с экстрагированием из него битумов. Таким образом, непосредственный выход легкого масла может быть в данном случае малым.

ЛИТЕРАТУРА

1. G. Martin, A. Bowes, F. Turner, Transact. Ceram. Soc. 25, Part. I, 63 — 84 (1925—1926).
2. L. Bates. Br P., 281240 (1927).
3. Chem. Abstr., 3517 (1928).
4. Br. P., 365892.
5. Br. P., 402846.
6. К. Элякс. Гидрогенизация органических соединений, выпуск III (1935).

ГЛАВА IX

ТЕХНО-ЭКОНОМИЧЕСКАЯ ОЦЕНКА ПРИМЕНЕНИЯ СУСПЕНЗИЙ

Тридцать лет назад почти никто не задумывался над вопросом экономии жидкого топлива. Но теперь, после того как двигатели внутреннего сгорания нашли широкое применение во всех странах, после выявления мировых запасов нефти и определения диспропорции в расходовании нефти сравнительно с мировыми запасами других видов топлив, после того как компоненты нефти стали находить применение в развитии новой промышленности органического синтеза, — вопросы экономии жидкого топлива приобретают серьезное народнохозяйственное значение.

В СССР в 1937 г. было израсходовано нефтетоплива свыше 10 млн. т и с тех пор, несмотря на проведение очень жестких норм, ограничивающих применение жидкого топлива, эта цифра при росте нашей промышленности не уменьшается. Сокращение расхода жидкого топлива может быть достигнуто переводом потребителей на другие, преимущественно местные виды топлива (твердое топливо, газ). Однако на многих предприятиях имеются технические затруднения к такому переводу.

На таких предприятиях, продолжающих расходовать жидкое нефтяное топливо, возможна частичная замена жидкого топлива за счет твердого при использовании углемазутных смесей. Углемазутные смеси по условиям их применения не отличаются от обычных высоковязких мазутов, как это уже было нами описано.

Применение углемазутных смесей дает возможность, в зависимости от условий их применения, получить натуральную экономию от 20 до 40% мазута и, кроме того, значительную денежную экономию. Инж. Маннинг, о котором мы уже упоминали, в своем докладе поставил также и вопрос об экономике применения «коллоидного» топлива и предложил общую формулу для подсчета стоимости суспензии. Эта формула представлена Маннингом в следующем виде.

$$A = K (P_c + M_g) + (1 - K) P_0 + M_m,$$

где A — стоимость суспензии,

K — пропорция угля в смеси,

P_c — стоимость тонны угля,

M_g — стоимость сушки и размола угля за тонну,

P_0 — стоимость тонны мазута,

M_m — стоимость смешения тонны суспензии.

Применяя эту формулу и принимая: $K=0.3$, $P_c=46.0$ руб., $P_0=10.0$ руб., $M_g=110.0$ руб., $M_m=0.2$ руб., находим:

$$A=0.3(46+10)+(1-0.3)110+0.2=94 \text{ руб.}$$

Более тщательный подсчет (1), проведенный Центроэнергочерметом при проектировании углемазутной станции, дал результат, очень близкий к полученному нами: 95 руб. тонна.

Стоимость изготовления углемазутных смесей смешиванием готовой угольной пыли с мазутом может быть определена без труда, так как основная стадия — пылеприготовление — хорошо освоена и может быть учтена с достаточной точностью при экономических подсчетах.

Тот помол, который был принят для опытов, может быть проведен на существующих агрегатах. Если при этом учесть предложение проф. Г. М. Чиликина улавливать самую тонкую пыль особым методом, то и потери при этом будут даже несколько более низкими, чем на электростанциях.

При производстве опытных плавок на заводе «Серп и молот» еще в 1937 г. мартеновская печь была выбрана как наиболее трудный агрегат из металлургических печей, и этот выбор оправдал себя.

В пояснительной записке Энергочермета на основании технико-экономических расчетов подчеркивается значение этого топлива экономическими показателями:

«стоимость одной мегакалории в углемазутной смеси дешевле, чем в мазуте на 11 р. 30 к. — 9 р. 56 к. = 1 р. 74 к., или на 15.4%».

Полученные цифры достаточно убедительно показывают целесообразность постройки углемазутной станции и дальнейшее внедрение этого топлива по другим возможным потребителям, работающим в настоящее время на мазуте».

В заключение подведем итоги всему изложенному в настоящей монографии.

Топливные суспензии, представляющие новый вид жидкого топлива, изучаются уже в течение довольно продолжительного периода. Развитие изучения свойств топливных суспензий и применение их стоит неразрывно в связи с наиболее современными взглядами на структуру топлива, коллоидное состояние вещества и на современное развитие химической технологии, топлива и технико-экономические обоснования культурного использования топливных ресурсов страны. Топливные суспензии по своим свойствам должны рассматриваться как жидкости, наиболее удобный вид топлива для его использования; но в то же время наличие в них твердого компонента придает им некоторые свойства, повышающие их ценность по сравнению с обычным жидким топливом. К числу этих свойств относятся: повышенная теплоплотность (самое теплоплотное топливо); способность дать в топке высокий пирометрический эффект вследствие наличия твердых частиц, по сравнению с газом и жидким топливом; большой удельный вес и возможность хранения под водой; большая пожарная безопасность по сравнению с жидким топливом, вследствие меньшего выделения парообразных веществ. Топливные суспензии имеют применение в топках стационарных котлов и в паровозах, нагревательных, мартеновских и других металлургических печах, а также в двигателях внутреннего сгорания. Применение углемазутных смесей в мартеновских печах при опытных плавках показало, что это топливо не только может конкурировать с мазутом, но при наличии вышеуказанных свойств, при условии правильного их использования, углемазутные смеси по отзыву стахановцев-сталеваров — «это лучшее топливо для мартенов». Наличие серы в углях до 1.8% и золы до 8% на качестве металла не отразилось. При проведении ба-

лансовых плавок в 30-тонной печи удельный расход топлива понизился до 14.4%, себестоимость смеси ниже стоимости мазута (франко-печь) на 13.6%, а в условном топливе до 9%. При натуральной экономии мазута 30—35% денежная экономия составила до 25 руб. на 1 т рабочего топлива. Постройка станции оправдывается в 1—2 года, в зависимости от условий применения суспензий.

Дальнейшее развитие применения суспензии обеспечено современным развитием техники. Надо надеяться, что современные методы размола в неуклюжих, громоздких шаровых мельницах с ничтожным к. п. д. полезной работы, при расчете на удельную поверхность продукта, уступят свое место более совершенным и производительным аппаратам.

В Англии и в других странах уже свыше десяти лет прорабатываются механо-химические методы приготовления суспензий, и этим методам предсказывают широкое развитие.

ОГЛАВЛЕНИЕ

	Стр.
От автора	3
Глава I. Общий обзор развития, техники изготовления и применения топливных суспензий	5
История применения топливных суспензий за границей	5
Изучение углемазутного топлива в СССР	10
Литература	13
Глава II. Компоненты топливных суспензий	15
Минеральные неуглеродистые компоненты ископаемых углей	16
Углеродистая масса ископаемых углей	17
Литература	27
Глава III. Свойства топливных суспензий	29
Стойкость суспензий	29
Текучесть суспензий	36
Набухаемость твердой фазы	42
Применение стабилизаторов	47
Литература	52
Глава IV. Лабораторные методы определения свойств суспензий	54
Качественная проба	55
Количественное определение стойкости суспензий	55
Определение концентрации по плотности	58
Определение степени дисперсности	60
Определение размера частиц	61
Определение однородности смеси	62
Определение текучести (вязкости)	63
Литература	67
Глава V. Приготовление топливных суспензий	68
Приготовление суспензий за границей	68
Установки в СССР	76
Обзор патентов	87
Литература	90
Глава VI. Использование углемазутных смесей в котельных и печных агрегатах	91
Транспорт углемазутных смесей	91
Условия сгорания смесей в топках	105
Опыты по сжиганию смесей под котлами за границей	107
Опыты по сжиганию углемазутного топлива под котлами в СССР	112
Сжигание углемазутных смесей в металлургических печах заводов	121
Сжигание смеси сульфитных щелоков с угольным порошком	152
Литература	167
Глава VII. Использование смесей в качестве дизельного и моторного топлива	168
Литература	173
Глава VIII. Термомеханическая обработка. Полукоксование и коксование смесей	174
Литература	180
Глава IX. Техно-экономическая оценка применения суспензий	181

О П Е Ч А Т К И

Стр.	Строка	Напечатано	Следует
3	16 снизу	материалы	материал
5	16 "	попытки	попытка
12	12 "	экономическое	экономического
38	7 сверху	Пуанзейля	Пуанзейля
56	19 "	подсушиваться	подсушивается
59	16 "	$\frac{d_{km}}{W}$	$\frac{d_{cm}}{W}$
59	18 "	d_k	d_c
92	27 "	цепи	цели
94	19 "	излучению	изучению
105	29 снизу	степень	степени
118	18 "	показал	показали
150	табл. 62,	Ca	CaO
	посл. столб.		
161	1 сверху	применение	применении
165	3 "	компрессорный агрегат	однодюймовых желез-
169	5 "	и конце	ных труб
170	22 "	смещения	в конце
170	12 снизу	удельны	смещения
176	8 сверху	Стривенсона	удельный
			Стривенса

Кустов. Топливные суспензии