

666.92
Ц 67

НАУЧНО-ИССЛЕДОВАТЕЛЬСКИЙ ИНСТИТУТ ПРОМЫШЛЕННОСТИ БССР
В ПУСК

II

А. Б. ЦИПЕРОВИЧ

ИЗВЕСТЬ ИЗ МЕЛА

ТЕОРИЯ ОБЖИГА

РАСЧЕТ ИЗВЕСТИКОВОЙ ПЕЧИ

КОНСТРУКЦИЯ ПЕЧИ ДЛЯ ОБЖИГА РЫХЛОГО МЕЛА

1984

МИНСК

НИИ ГОСУДАРСТВЕННОЕ НАУЧНО-ТЕХНИЧЕСКОЕ ИЗДАТЕЛЬСТВО БССР

000
407
НАУЧНО-ИССЛЕДОВАТЕЛЬСКИЙ ИНСТИТУТ ПРОМЫШЛЕННОСТИ БССР

ВЫПУСК

II

А. Б. ЦИПЕРОВИЧ

ИЗВЕСТЬ ИЗ МЕЛА

ТЕОРИЯ ОБЖИГА

РАСЧЕТ ИЗВЕСТИКОВОЙ ПЕЧИ

КОНСТРУКЦИЯ ПЕЧИ ДЛЯ ОБЖИГА РЫХЛОГО МЕЛА

РЕПУБЛИКАНСКАЯ
НАУЧНО-ТЕХНИЧЕСКАЯ
БИБЛИОТЕКА БССР

РЕПУБЛИКАНСКАЯ
НАУЧНО-ТЕХНИЧЕСКАЯ
БИБЛИОТЕКА БССР

1934

МИНСК

НКЛП ГОСУДАРСТВЕННОЕ НАУЧНО-ТЕХНИЧЕСКОЕ ИЗДАТЕЛЬСТВО БССР

Стиль Куралович.

Корректор Соловьева.

Техредактор Френкель.

Сдано в типографию 20/XII-33 г.

Подписано к печати 25/IV-34 г.

Ответственный корректор типографии Гарабурда

Заказ № 1.

1000 экз.

Уп. Главлитбела НТ-116

Школа ФЗУ типографии им. Сталина.

СОДЕРЖАНИЕ

	<i>Стр.</i>
I. Пути к решению проблемы обжига рыхлого мела	5
II. Процесс брикетирования и свойства брикетов из мела	6
III. Максимальная высота шахтной печи для обжига мела в брикетах.	11
IV. Анализ процессов обжига мела в разных зонах шахтной печи	14
а) Процесс диссоциации CaCO_3	15
б) Скорость процесса обжига с точки зрения теории теплопередачи	17
в) Экспериментальная проверка теоретических выводов.	25
г) Процессы нагрева и охлаждения брикетов в соответствующих зонах шахтной печи	27
д) Процесс сушки в верхней зоне шахтной печи	33
V. Оптимальные условия ведения процесса обжига	36
VI. Расчетные данные для проектирования шахтных печей.	40
VII. Установка по обжигу рыхлого мела	50
а) Общие замечания	—
б) Разработка мела и его брикетирование	51
в) Конфигурация и устройство шахтной печи	53
г) Производительность печи	54
д) Мощность моторов для брикетировочных прессов.	55
е) Анализ особенностей формы и конструкции установки	56

1. ПУТИ К РЕШЕНИЮ ПРОБЛЕМЫ ОБЖИГА РЫХЛОГО МЕЛА

Попытки обжигать рыхлый мел обычным путем—в шахтной печи или в печах Гофмана—встречают большие затруднения. Рыхлый мел под своей собственной тяжестью дробится в печи, заполняет все проходы для газов и не дает возможности вести обжиг его равномерно по всему сечению печи и достаточно интенсивно; рыхлость мела сказывается отрицательно на производительности печи и на качестве получаемой продукции.

В поисках метода рационального обжига рыхлого мела можно идти по трем направлениям.

1. Уплотнять мел и придавать ему определенную форму (брикетирование) с тем, чтобы он не крошился в печи под своей собственной тяжестью и обеспечил бы таким образом проходы для газов.

2. Обжигать мел в тонком слое так, чтобы он выдержал в печи нагрузку от собственного веса и не создавал бы больших сопротивлений прохождению газов. Тепло же, уносимое из печи уходящими газами, регенерировать и вернуть обратно в печь (регенераторная печь).

3. Обжигать мел во взвешенном состоянии, предварительно его высушив и тщательно раздробив.

Каждый из этих приемов имеет свои положительные и отрицательные стороны, которые могут быть коротко сформулированы следующим образом.

1. Положительными сторонами брикетирования являются: а) уплотнение мела, что придает ему механическую устойчивость в печи; б) придача мелу определенной формы, что обеспечивает образование каналов для прохода газов; в) одинаковый размер брикетов дает возможность увеличить производительность печи (при обычных условиях, когда в печь вводятся куски мела различных размеров, скорость прохождения всего продукта через шахту приходится замедлять пока не будут обожжены самые крупные куски, и этим самым, конечно, уменьшать производительность печи); г) однообразная форма брикета обеспечивает равномерность загрузки шахты и, следовательно, равномерность обжига, а правильная форма брикетов дает возможность организовать непрерывный процесс загрузки мела в печь и механизировать этот процесс небольшими затратами средств, что, в свою очередь, дает возможность правильно организовать производство при высокой эффективности работы завода.

Отрицательной стороной этого решения является то, что процесс брикетирования должен несколько удорожить стоимость продукта. Однако, по нашему мнению, лишние расходы по бри-

кетировке полностью окупятся тем, что при этом методе можно будет организовать добычу мела из карьера фрезерованием, а это значительно удешевит стоимость добычи сырья.

2. Положительной стороной метода обжига в регенераторных печах является то, что он освобождает производство от брикетирования мела и дает возможность развить большую производительность в сравнительно небольших печах. Однако этот метод связан с целым рядом недостатков, как например: увеличением удельного расхода топлива, получением рассыпчатого продукта обжига и выходом продукта из печи при высокой температуре, что, в свою очередь, затрудняет разгрузку.

3. Обжиг мела в пылевидном состоянии дает возможность получить из агрегатов большой производительности вполне однородный, хорошо обожженный продукт. Но этот прием связан с целым рядом затруднений, например:—необходимостью организовать сушку и размол мела перед обжигом, борьбой с уносами, сложностью вопроса использования отходящего тепла, дороговизной и сложностью оборудования, требующего большого количества металла, получением конечного продукта в пылевидном состоянии и т. д. В этом нас убедил эскизный проект одной организации, пытавшейся решать эту задачу подобным путем. По нашему мнению выгоднее организовать обжиг мела во вращающихся печах, чем ставить сложные установки, какие требуются при обжиге мела во взвешенном состоянии.

Исходя из вышеизложенного, мы главным образом работали над первым способом решения проблемы обжига рыхлого мела, т. е. путем предварительного его брикетирования.

II. ПРОЦЕСС БРИКЕТИРОВАНИЯ И СВОЙСТВА БРИКЕТОВ ИЗ МЕЛА

Рассматривая мел под микроскопом мы замечаем, что он состоит из мелких ракушинок или обломков их. Приближение этих ракушек в процессе брикетирования друг к другу так, чтобы вызвать между ними значительное действие внутренних сил и этим создать прочность брикета, является затруднительным. Шероховатые неровные поверхности ракушек вызывают большие внутренние трения в брикете и для преодоления их требуется большая сдавливающая сила. Помимо затруднений в получении достаточно больших давлений, необходимых для сухого прессования, этот прием создает еще затруднения в том отношении, что при больших давлениях мел прилипает к формам, из которых его потом очень трудно удалить, не попортив брикета. Значительно облегчается процесс брикетирования при влажном меле.

Чтобы изучить влияние разных факторов на процесс брикетирования мела, нами был произведен ряд опытов, которые сводятся к следующему: были приготовлены брикетки в виде цилиндров из мела разной влажности, при разных давлениях

брикетирования. Затем изучалась прочность полученных мелов брикетов на раздавливание при разных условиях, а именно:

- 1) во влажном виде сейчас же после прессования,
- 2) после просушки брикета,
- 3) после обжига.

Испытание брикетов производилось в этих 3-х состояниях потому, что брикет в печи фактически и встречается в этих же состояниях. Результаты полученных испытаний даны нами на диаграммах №1 и №2.

Механическое сопротивление брикета сжатия в зависимости от влажности и давления брикетирования

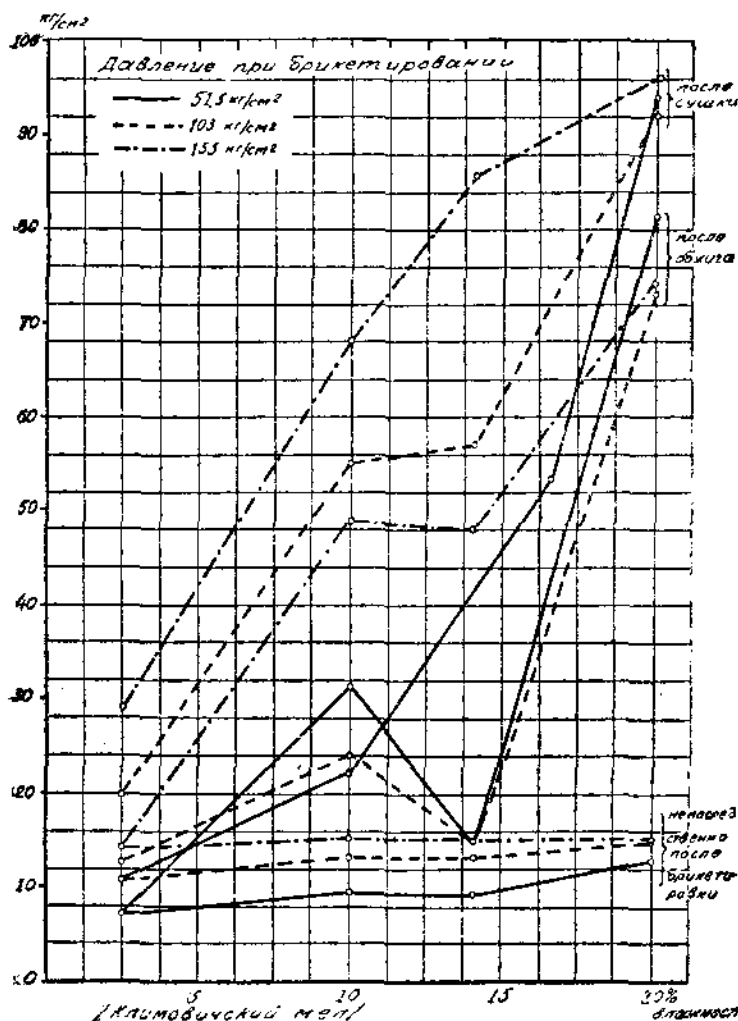


Диаграмма № 1.

Механическое сопротивление брикета сжатия в зависимости от влажности и давления
мела брикетирования

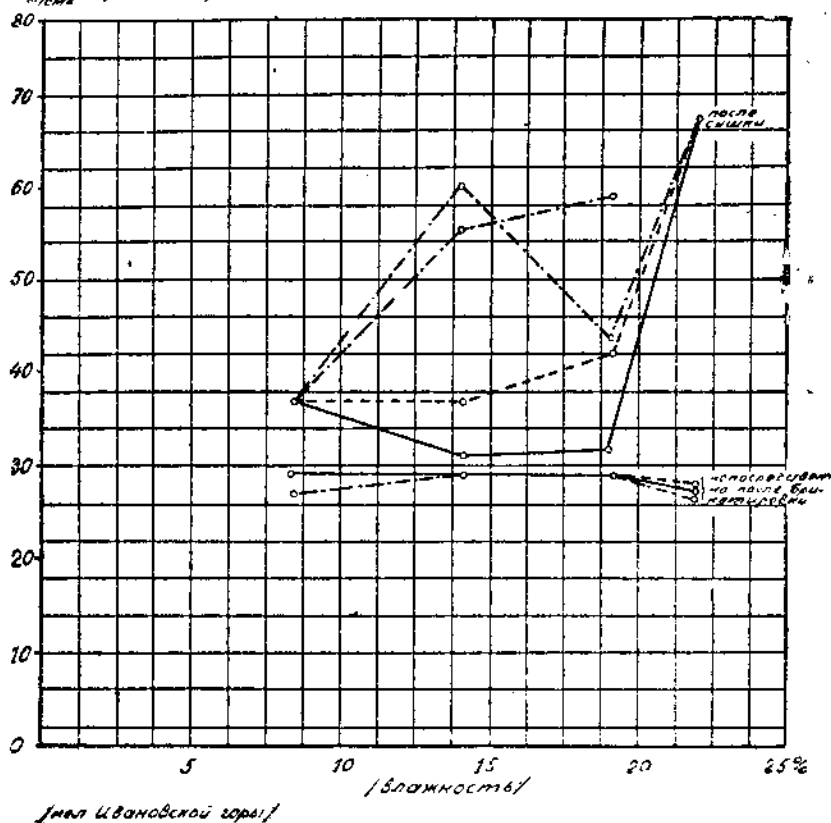


Диаграмма № 2.

Рассмотрение результатов испытаний приводит к следующим обобщающим выводам:

1. С увеличением влаги в меле до 10 проц. прочность брикетов все возрастает.
2. С увеличением влаги в брикете с 10 до 15 проц. увеличения прочности не замечается.
3. С увеличением влажности мела с 15 до 20-22 проц. прочность брикета продолжает возрастать.
4. Давление, под которым производится процесс брикетирования, имеет влияние на прочность брикета. С постепенным увеличением давления брикетирования — 50—100 ат прочность

брикета возрастает, однако-ж не пропорционально увеличению давления, а отстает от него.

5. Высушенный брикет становится значительно прочнее.

6. После обжига брикет становится слабее, чем после сушки, однако прочность его значительно выше, чем во влажном состоянии.

7. Влияние влажности мела и давления на прочность брикета сильно выявляется после сушки и обжига; в невысушенном брикете давление и влажность оказывают ничтожное влияние на его прочность.

8. Известь (в брикетах), оставленная на открытом воздухе, через 2—4 дня разрыхляется и распадается; прикрытый-же опилками или стружками брикет обожженного мела сохраняется долгое время в целом виде.

*
* *

Рассматривая процесс брикетирования мела с точки зрения миклярной теории Нагеля¹, можно объяснить вышеуказанные явления, замеченные при процессе брикетирования, следующим образом.

Когда мел сухой, отдельные частицы его находятся друг от друга на некотором расстоянии; центральные молекулярные силы между частиц действуют друг на друга слабо. Сближению этих частиц и более плотной их укладке (под влиянием давления) мешает наличие частиц одной о другую. С прибавлением воды до 10 проц., частицы мела, под влиянием поверхностных сил, покрываются тонким молекулярным слоем воды.

Этот слой воды, удерживаемый поверхностными частицами мела, делает молекулы воды менее подвижными; вода служит как-бы склеивающим веществом между частицами брикета и оттого он становится более прочным.

С увеличением влажности мела, примерно с 10 до 15 проц., влага идет на заполнение пазух между отдельными частицами мела и на изменение прочности брикета особенно большого влияния не имеет.

С увеличением влажности мела до 20—25 проц. частицы его становятся все более подвижными и под давлением пресса плотнее укладываются, приближаясь друг к другу. Когда после сушки вода из мела удаляется, то плотно уложенные частицы мела еще сильнее сближаются, молекулярные силы этих частиц выступают сильнее и брикеты мела становятся прочнее.

¹ Die Micellartheorie — Ostwald: „Klassiker der exakten Wissenschaften“ 227—1928.

Таким образом частицы мела в брикете, если мел имел определенное количество влаги, находятся под влиянием следующих сил:

1. Центральных сил, действующих между частицами мела; при этом эти силы значительно возрастают с приближением частиц друг к другу.

2. Центральных сил, действующих между молекулами мела и воды.

3. Поверхностных сил, действующих на границе мела и воды.

4. Сил трения.

Прочность брикета обуславливается тем или другим взаимодействием указанных сил. Для получения прочного брикета нужно соответствующим образом использовать эти силы.

С количественной стороны получаемые результаты опытов по брикетированию показывают, что с увеличением влажности мела с 4 до 20 проц. и давления от 90 до 150 ат. брикеты выдерживают на раздавливание:

1. Сейчас-же после прессовки (невысушенные) от 7,4 до 14 кг/см².

2. После сушки—от 14 до 95 кг/см².

3. После обжига—от 11 до 82 кг/см².

Меньшие цифры относятся к меньшей влажности и меньшим давлениям, а большие—к влажности соответственно 20 проц. и большим давлениям.

Как видно из вышеприведенных цифр и диаграмм, соответственным подбором влажности и давления брикетирования можно сделать брикет более прочным: во влажном состоянии на 100 проц. после сушки—на 700 проц. и после обжига—на 800 проц. по отношению к мелу в этих-же стадиях без предварительной подготовки.

Влияние влажности на прочность брикета выявляется в следующем виде:

1. Для влажного невысушенного брикета влияние влажности сильнее сказывается на прочности его при малых давлениях брикетирования и слабее—при больших давлениях.

2. При малых влажностях брикета давление брикетирования сказывается сильнее на его прочности, при больших влажностях—слабее.

3. Решающее значение на прочность брикета *после сушки и обжига* имеет влажность мела *до* брикетирования.

Все эти явления легко объяснить действием на частицы мела вышеуказанных сил при разных условиях выработки брикета.

Состав мела имеет также громадное значение в брикетировании и влияет на прочность брикета. Некоторые скачки на диаграммах получились от неоднородности мелов, над коими нам пришлось работать. Работали-же мы над климовическими мелями,

анализы коих даны в прилагаемой таблице. Однако характер процесса для всех образцов является общим.

О б р а з е ц	Потери при прокаливании	SiO ₂	R ₂ O ₃	CaO	MgO
Мел, из ур. Ивановского (по паспорту Георазведки)	42,75	8,72	2,40	65,97	леды
Мел, привез. Георазведкой.	37,52	10,03	5,02	47,08	1,2
Мел, взятый из карьера Белстрой-мат.	37,62	9,95	4,66	47,28	0,5
Мел, отобранный фибролитовым заводом Белгосстроя и взятый на 3-х высотах:					
На верхнем уровне	36,14	12,13	6,51	45,93	
На среднем уровне	40,85	5,38	3,32	51,05	
На ниж. уровне (плотн)	13,44	13,58	6,15	45,00	
Мел. Держинского района	41,41	5,01	1,03	51,17	

III. МАКСИМАЛЬНАЯ ВЫСОТА ШАХТНОЙ ПЕЧИ ДЛЯ ОБЖИГА МЕЛА В БРИКЕТАХ

Брикеты, выдерживающие после обжига (при испытании их на раздавливание) 82 кг/см², выдержали-бы давление столба брикетов определенной высоты. Высоту этого столба можно найти из уравнения:

$$\frac{\gamma \cdot H}{1000} = 82,$$

где γ —удельный вес брикета=1,55—1,47, а H —высота столба в см, откуда $H = 55600 \text{ см} = 556 \text{ м}$.

Исходить из этой цифры при установлении максимальной высоты шахты, на какую можно ориентироваться при проектировании печи для обжига мела в брикетах, однако, нельзя.

Брикеты в шахтную печь подаются в навалку. Внизулежащим в шахте брикетам приходится выдерживать на себе не сплошной столб меловых брикетов во всю вышину шахты, а облегченный пустотами между брикетами. Это должно, с одной стороны, увеличить возможную высоту шахты по сравнению с вышерасчитанной, но, с другой стороны, давление часто воспринимается брикетом не той гранью, которая может выдержать наибольшее давление,

а чаще оно воспринимается только частью грани, которая переходит иногда в линию или точку.

Такие неравномерно распределенные нагрузки на брикет должны в нем вызвать большие местные напряжения, под влиянием которых он разрушается при гораздо меньшей высоте шахты, как 556 метров. Чтобы установить на какую-ж однако высоту можно ориентироваться при проектировании шахты для обжига меловых брикетов, мы прибегали к следующему приему.

В круглую железную коробку диаметром в 22 см, и высотой в 25 см. были беспорядочно навалены брикеты. Верх коробки накрыли деревянной, плотной, круглой крышкой, диаметр которой был несколько меньше диаметра коробки, так что крышка свободно входила в железную коробку.

Подставив так приготовленную коробку с брикетами под пресс Амслера, мы производили на крышку давление с различной силой и, раскрывая каждый раз после давления коробку, перебирали находящиеся в ней под давлением брикеты и определяли количество и характер попорченных брикетов соответственно данному давлению.

Пользуясь этой-же коробкой устанавливали удельный объем брикетов, сложенных в навалку, и одновременно удельный вес собственно брикетов.

Опыты производились с брикетами в обожженном и необожженном виде. Результаты этих опытов таковы:

Удельный вес брикета обожженной извести 1,04—0,8.

„ „ брикета необожженного сухого мела—1,56—1,47.

Объемный вес сложенных в навалку брикетов, имеющих цилиндрическую форму, диаметра $D=5$ см и высоты $H=7,5$ см, оказался равным 0,8

Отношение объема, занимаемого этими брикетами в шахте к объему самой шахты будет: $0,8: 1,56=0,51$.

Высушенные и сложенные в навалку в коробку брикеты подвергались давлению в 0,8 ат. После раскрытия коробки обнаружилось: целых брикетов 86 проц., лопнувших пополам—14 проц. Давление прессы в 0,8 ат соответствует давлению на дно шахты, имеющей высоту в 10 метров, наполненной в навалку брикетами из мела.

После замены в коробке лопнувших брикетов целыми коробка подверглась вторично повышенному давлению до 1,41 ат.

По раскрытии коробки оказалось:

Целых брикетов	57,7%
Половиннок	30,8 .
Раздробленных	11,5 .

Давлению в 1,41 ат соответствует давление на дне шахты, имеющей высоту в 17,6 м при наполнении ее необожженными брикетами.

Тем-же испытаниям подвергались брикеты и обожженные, имевшие диаметр в 4,8 см а высоту—6,5 см.

Отношение объема, занимаемого брикетами из обожженного мела в шахте, к объему самой шахты=0,47.

При давлении на крышку коробки в 1,78 ат ни одного лопнувшего брикета не оказалось. Этому давлению соответствует давление на дно шахты, имеющей 14,3 м высоты и наполненной необожженными брикетами из мела.

При давлении в 2,64 ат оказалось:

Целых брикетов	48,4%
Половинок	31 „
Раздробленных	20,6 „

Этому давлению соответствует высота шахты в 33 метра. Таким-же испытаниям были подвергнуты обожженные брикеты, имевшие диаметр в 3,7 см, а высоту в 5,1 см; результаты испытания получились следующие.

Отношение объема, занимаемого собственно брикетами, к объему шахты, занятой брикетами вышеуказанного размера, равнялось 0,53.

Когда эти брикеты были сложены в навалку и подверглись давлению в 1,07 ат, то ни один из брикетов не был раздавлен. Этому давлению соответствует давление брикетов на дно шахты, имеющей высоту в 13,4 метра. При повторном давлении в 4 ат было раздавлено 6,7% брикетов. Давлению в 4 ат соответствует высота шахты в 50 метров.

Исходя из вышеуказанных результатов испытания можно полагать, что брикеты мела, обожженные в шахте высотой в 10—13 м, дадут сравнительно небольшой процент мелочи.

Учитывая постановку данного опыта можно думать, что определяя возможную высоту шахты в 10—13 м, мы делаем ошибку в сторону преуменьшения возможной высоты шахты, по следующим соображениям.

По чисто техническим затруднениям нам пришлось формировать брикеты для данного опыта вручную на винтовом прессе и об однородности и максимальной прочности полученного брикета говорить не приходилось. Это можно видеть из того, что брикеты, сформованные для предыдущих опытов нормально, прессом Амслера, выдерживали давление, как это было приведено раньше, от 11 до 96 кг/см²; брикеты-же, приготовленные на ручном прессе для этого опыта, выдерживали 2,75—6,25 кг/см².

При определении высоты шахты мы считали, что вся она заполнена необожженным мелом удельного веса 1,56; фактически-же вся часть шахты будет наполнена необожженными и полуобожженными брикетами и это еще уменьшит давление на брикеты, находящиеся у основания печи.

Вышеуказанные результаты исследования процесса брикетирования и прочности брикетов при разных условиях дают нам

основание полагать, что обжиг рыхлого мела можно производить с успехом в печах высотой в 10—13 метров. То что процессом брикетирования мы можем получить куски мела для загрузки в печь определенной формы и величины, дает нам в руки дополнительные рычаги, коими мы можем действовать на процесс обжига в сторону его ускорения и этим улучшить работу печи и увеличить ее производительность.

Чтобы успешно действовать этими рычагами, нужно ближе ознакомиться с процессами, кои происходят в шахте, где обжигается мел, изучить изменения, какие претерпевает мел за время его обжига в шахте, изучить те факторы, которые влияют на ведение процесса обжига, направление этого влияния и выразить эти зависимости в математической форме. Это даст нам возможность подобрать и рассчитать нужные для обжига данного сырья приборы, аппараты, печи и т. д., а также заранее определить как выгоднее вести процессы обжига, чтобы получить наилучшие результаты.

IV. АНАЛИЗ ПРОЦЕССОВ ОБЖИГА МЕЛА В РАЗНЫХ ЗОНАХ ШАХТНОЙ ПЕЧИ

В верхней части шахты происходит нагрев и потеря влаги опущенного в шахту куска мела. По мере потери влаги и опускания куска глубже в шахту, температура его все повышается и когда она на его поверхности достигает 810° — 900° , начинается более быстрый процесс диссоциации CaCO_3 на CaO и CO_2 .

Фактически процесс диссоциации начинается еще раньше, чем поверхность брикета достигает указанной температуры, но этот процесс, как увидим дальше, при более низких температурах идет очень вяло и мы его практически можем в расчет не принимать.

Когда процесс диссоциации заканчивается, наступает охлаждение обожженного мела воздухом, проходящим через низ шахты. При установившейся работе печи каждый из указанных процессов происходит в определенной ее зоне.

Таким образом по процессам, происходящим в шахте с мелом на разной высоте ее можно последнюю разделить на следующие 4 зоны:

1. Зона сушки.
2. Зона нагрева.
3. Зона диссоциации.
4. Зона охлаждения.

Строго говоря, резких границ между этими зонами нет; ^{ме}сложные по последовательности процессы часто происходят одновременно в одном куске обжигаемого продукта; при неодинаковых размерах обжигаемых кусков мела могут происходить разные процессы в одном месте шахты в разных кусках.

Однако, для упрощения математических выкладок, примем указанное выше разделение шахты по зонам, тем более, что нам придется иметь дело с брикетами, имеющими правильную форму и одинаковые размеры; тогда границы между отдельными зонами будут более резко очерчены и ошибка от нашего допущения будет незначительна.

Поскольку мы имеем дело с обжигом рыхлого и слабого вещества, хотя-бы и уплотненного путем брикетирования, нам, для более верного решения поставленной задачи, нужно принять все меры, чтобы можно было строить печи с наименьшей высотой шахты и таким образом разгрузить внизулежащие брикеты от собственного веса верхулежащего слоя. Это может быть достигнуто ускорением процессов, идущих во всех зонах шахты. Такое ускорение процесса и уменьшение высоты шахты дадут нам другие преимущества в процессе обжига мела, а именно: уменьшение сопротивления тяги и увеличение производительности печи. Чтобы иметь возможность провести ускорение этих процессов нам нужно предварительно изучить какие факторы и в какой степени влияют на процессы, идущие в каждой зоне в отдельности.

а) Процесс диссоциации CaCO_3

Начнем с зоны диссоциации, где происходит процесс наиболее продолжительный, наиболее важный, наиболее ответственный и наиболее тепломемкий.

На процессы диссоциации CaCO_3 существовали до Гей-Люссака разнообразные взгляды и только Гей-Люссак дал впервые этому процессу объяснение, которое вносит ясность в этот процесс. Его объяснение соответствует современным взглядам физической химии на этот процесс.

Гей-Люссак говорит: „Если углекислый кальций нагревать до той точки, при которой он начинает разлагаться, то вокруг него образуется атмосфера углекислоты, которая препятствует свободному дальнейшему его выделению.

Если же должна выделяться углекислота, то она должна преодолеть давление атмосферы. Поэтому нужно применить более высокую температуру или же освободить окружающую атмосферу углекислоты путем образования вакуума или при помощи другого газа, например атмосферного воздуха“ ¹⁾.

Дальнейшие исследования этого процесса показали, что существует определенная зависимость между температурой, при которой происходит термический распад CaCO_3 , и упругостью CO_2 над поверхностью разлагающегося углекислого кальция: чем давление углекислоты над поверхностью CaCO_3 при данной температуре выше, тем процесс распада CaCO_3 идет медленнее.

¹⁾ An. de chemie et de Physique, т. 63, стр. 220..

Зависимость между упругостью CO_2 над поверхностью CaO при обжиге и температурой обжига дается разными авторами с расхождением чуть-ли не на 100° , так напр., Ле-Шателье определил упругость CO_2 над известью в 1 атмосфере при температуре обжига 812° , Потт—при температуре 900° , Цаврие—при температуре 910° .

Ле-Шателье, Потт и Джонсон дают кривые¹⁾ зависимости между давлением CO_2 и температурой обжига, как нами указано в прилагаемой сравнительной диаграмме № 3.

Давление CO_2 над CaO Линия давления для углекислоты CaCO_3

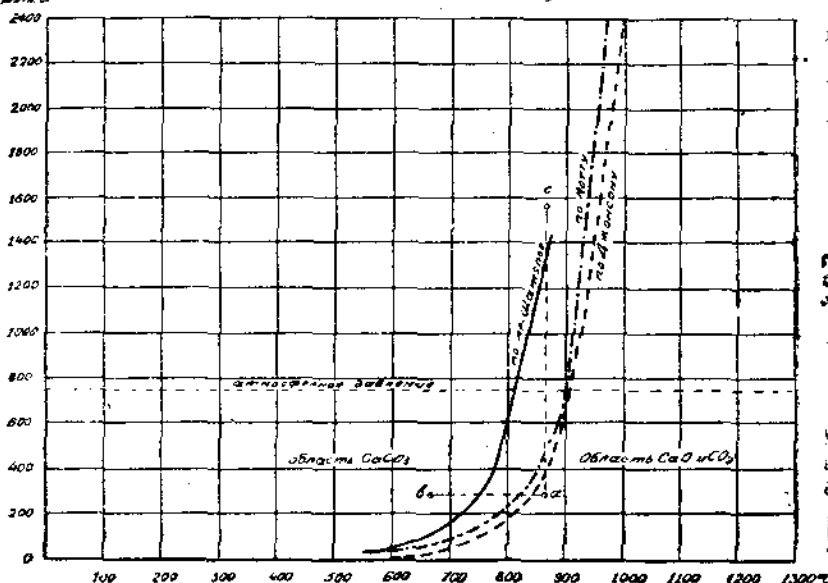


Диаграмма № 3.

Из этой диаграммы мы видим, что около температур обжига в $900\text{--}810^\circ$ кривая упругости CO_2 очень крута, т. к. небольшому изменению в ту или другую сторону температуры обжига соответствует значительное изменение давления CO_2 ; следовательно и скорость процесса обжига должна соответственно изменяться.

По данным Герцфельда²⁾ изменение температуры обжига на 100° ускоряет или замедляет процесс диссоциации в 30 раз.

¹⁾ Le-Chatelier „О диссоциации углекислого кальция“ Paris; Comptes rendus 102; 1886, стр. 1243.

Pott P. Dissertation, Freiburg 1905.

J. Johnston—Journal of Amer. Chem. 1901, стр. 938.

Zavrier—Chem. Kalender 1917, т. 2, стр. 228.

²⁾ Herzfeld—Festschrift für Eröffnung des Instituts für Zuckerindustrie. 1904.

Это говорит о том, что для ускорения процесса обжига чрезвычайно важно иметь в шахте в зоне обжига настолько высокую температуру, насколько это позволяет огнестойкость материалов печи и состав обжигаемого продукта. Однако-ж нужно помнить, что под влиянием слишком высоких температур, в зависимости от химического состава, примеси CaCO_3 , могут образоваться нежелательные для наших целей химические соединения и сплавы.

Можно было ожидать, что куски CaCO_3 , доведенные до температуры в $810-900^\circ$ и выше должны были быстро диссоциировать, если их обеспечить притоком достаточного количества тепла, необходимого для разложения CaCO_3 , однако-ж на деле этого не замечается; процесс обжига при этих температурах идет очень медленно, в особенности если CaCO_3 взять для обжига в крупных кусках.

Некоторые авторы пробовали объяснить медлительность процесса обжига CaCO_3 в кусках временем, необходимым для того чтобы CO_2 успел диффундировать изнутри куска к его поверхности, откуда он должен удалиться в окружающую атмосферу. Однако-ж, сделанные на основе этих предположений подсчеты времени обжига не оправдались опытом. Время, нужное на диссоциацию, оказалось на опыте гораздо большее, чем оно было взято по расчету. Следует полагать, что фактором, обуславливающим скорость диссоциации при обжиге, является не диффузия, а условие перехода тепла от газа в мел и проникновения этого тепла в середину куска.

Блок в своем капитальном труде „Das Kalkbrennen“ дает следующую формулу для определения времени обжига.

$$OKUZ = g \cdot 425,$$

где O —поверхность обжигаемого куска, K —коэффициент теплопередачи, равный $\frac{1}{\alpha} + \frac{\delta}{\lambda}$, U —перепад температур между обжигаемым куском и нагревающими газами, Z —время обжига, в часах g —вес обжигаемого мела в тоннах.

Отсюда можно видеть, что решающим фактором продолжительности обжига CaCO_3 Блок считает условие теплопроводности.

К сожалению, указанная формула, данная Блоком, недостаточно обоснована с точки зрения теории теплопередачи и она дает неправильные результаты при проверке ее на опыте.

Попытаемся установить, как должен пойти процесс обжига CaCO_3 во времени, если решающим фактором явится условие притока тепла к обжигаемому продукту, положивши в основу нашего исследования теорию теплопередачи.

б) Скорость процесса обжига с точки зрения теории теплопередачи

Между горячими газами, омывающими продукт обжига, и обжигаемым куском, образуется тепловое поле. Тепловому потоку, идущему в этом поле от газа к поверхности, на которой проис-

ходит диссоциация, встречаются следующие сопротивления: переходное сопротивление у поверхности куска мела и сопротивление слоя, заключенного между наружной поверхностью куска и поверхностью, на которой происходит диссоциация.

По мере того, как кусок мела обжигается, поверхность диссоциации уходит, как об этом подробно сказано ниже, во внутрь куска и тепловому потоку приходится преодолевать все большие и большие сопротивления.

Поверхность диссоциации, на которую тепловой поток несет свою энергию, уменьшается и эти два фактора—увеличение сопротивления и уменьшение поверхности—должны служить главными причинами замедления скорости выделения CO_2 обжигаемым куском (по мере хода процесса) и это обуславливает влияние размера куска на скорость обжига.

Кусок CaCO_3 , попадая в шахту, как мы уже сказали, высушивается, нагревается и, когда его поверхность достигает температуры, при которой упругость CO_2 на поверхности куска становится выше упругости окружающей атмосферы, CaCO_3 начинает диссоциировать. Когда процесс диссоциации на поверхности куска оканчивается, поверхность, на которой происходит диссоциация, уходит все глубже и глубже внутрь куска ближе к его центру.

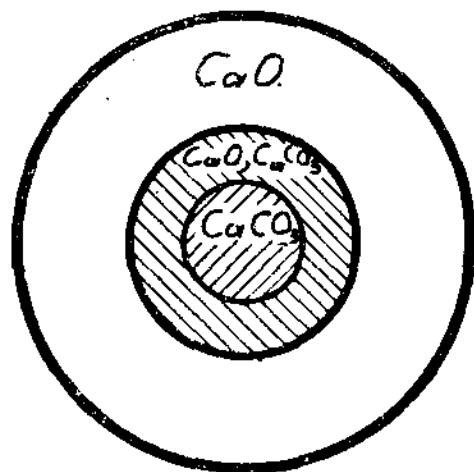
На границе между наружным обожженным слоем, который состоит из CaO и внутренним необожженным, имеется неширокая зона перехода от CaCO_3 к CaO , где процесс диссоциации не закончился. (См. схему обжига куска мела).

Определим какова должна быть продолжительность обжига куска CaCO_3 в зависимости от его размера, температуры, при которой он будет обжигаться, и его физических свойств как плотности, коэффициента теплоперехода, теплопередачи и т. д.

Раньше всего заметим, что продолжительность обжига куска CaCO_3 , не имеющего выступающих частей, находится в зависимости от величины его наименьшего размера в наименьшем медиальном сечении, так как поверхность, на которой происходит диссоциация, углубляется по мере обжига внутрь куска по всем 3-м измерениям с более или менее одинаковой скоростью и процесс диссоциации куска кончится тогда, когда один из размеров, наименьший по величине в медиальном сечении, превратится в нуль. В дальнейшем увидим, что куски с плоской поверхностью обжигаются быстрее кусков с кривыми поверхностями.

Рассмотрим динамику процесса обжига куска CaCO_3 , ограниченного цилиндрической поверхностью и 2-мя плоскостями на торцах. Пусть эти цилиндры имеют длину столь значительную по сравнению с диаметром, что действием торцовых поверхностей по сравнению с цилиндрической можно пренебречь.

При неоконченном процессе обжига сечение куска мела будет иметь вид, изображенный на схеме № 1, т. е. поверхностный слой мела будет обожжен, в середине же остается необожженный сердечник; а по мере того, как тепловой поток, идущий от поверхности куска к поверхности диссоциации принесет на эту поверхность определенное количество тепла, нетолстый слой сер-



№1. Схема обжига куска мела.

дечника, соответствующий полученному количеству тепла, диссоциирует и поверхность диссоциации уходит дальше вглубь куска.

Величина теплового потока обусловится температурой наружной среды— T , температурой на поверхности куска— θ_n , температурой, над поверхностью диссоциации— θ_v , коэффициентом теплоперевода— α , коэффициентом теплопроводности— λ в слое CaO между наружной поверхностью куска и поверхностью, на которой происходит диссоциация.

Температуру окружающей наружной среды— T , считаем постоянной, температуру поверхности диссоциации тоже постоянной, равной $810-900^\circ$ (в среднем 850°).

Сердечник, подлежащий обжигу, считаем, был нагрет заранее до температуры диссоциации.

Найдем величину теплового потока и скорость, с какой поверхность диссоциации пойдет внутрь куска во время процесса обжига.

Кривая температур по диаметру какого-нибудь диаметрального сечения цилиндра брикета будет иметь вид, как указано на схеме № 2

Тепловой поток, направляющийся к поверхности диссоциации, оставит часть тепла в слое обожженной извести, где температура

вследствие этого (за время обжига) будет подниматься. Это количество тепла незначительно по сравнению с тем теплом, которое тепловой поток принес на поверхность диссоциации.

Для обжига одного килограмма мела требуется 425 калорий. Температура брикета мела до диссоциации была, как мы уже условились, 850° . К концу диссоциации температура в центре была не выше 850° (температуры диссоциации); температуру же на поверхности куска примем равной 1100° (температура нагревающего газа), следовательно тем-

№ 2 Схема распределения температур по диаметру сечения

пература брикета за время обжига могла подняться в среднем на

$$\frac{1100^{\circ} - 850^{\circ}}{2} = 125^{\circ}.$$

Считая удельную теплоемкость извести—0,21 и выход из 1 кг мела—0,56 кг извести, получаем, что теплота, оставляемая потоком в брикете, будет порядка:

$$125 \times 0,21 \times 0,56 = 14,7 \text{ калорий,}$$

что составляет около 3,1 проц. от всего количества тепла, приносимого тепловым потоком, идущим на диссоциацию.

В наших дальнейших выводах мы пренебрегаем теплотой, оставляемой потоком в самом брикете извести, делая при этом незначительную ошибку в наших расчетах.

Обозначив (см. схему № 3) через $\frac{dD}{2}$ толщину элементарного слоя брикета, через который проходит тепловой поток, через

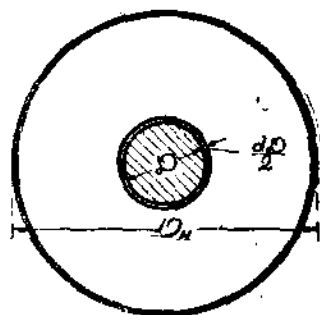


Рис. № 3

D — диаметр этого слоя, λ — теплопроводность вещества слоя, $d\theta$ — перепад температуры на обеих поверхностях элементарного слоя, тогда dQ , т. е. количество тепла, которое пройдет через слой за элемент времени dt , будет:

$$dQ = \frac{\pi \cdot D \cdot \lambda \cdot d\theta}{\frac{dD}{2}} \quad (1)$$

Но это же количество тепла пройдет в тот же элемент времени и через наружную поверхность брикета, а потому можем написать:

$$\alpha \cdot \pi \cdot D_n (T - \theta_n) = \frac{2\pi D \lambda d\theta}{dD},$$

откуда:

$$\frac{dD}{D} = \frac{2\lambda \cdot d\theta}{\alpha(T - \theta_n) D_n}.$$

Проинтегрировав это выражение в пределах от $D = D_n$ до $D = D_s$ и соответственно этому $\theta = \theta_n$ до $\theta = \theta_s$ получим

$$\int_{D_n}^{D_s} \frac{dD}{D} = \frac{2\lambda}{\alpha D_n (T - \theta_n)} \int_{\theta_n}^{\theta_s} d\theta = \ln \frac{D_s}{D_n} = \frac{2\lambda (\theta_s - \theta_n)}{\alpha D_n (T - \theta_n)},$$

откуда находим значение для температуры наружной поверхности брикета равной:

$$\theta_n = \frac{D_s \cdot T \ln \frac{D_s}{D_n} + 2\lambda \theta_s}{2\lambda + \alpha D_n \ln \frac{D_s}{D_n}} \quad (2)$$

Мы вывели это отношение для данного момента времени, предполагая, что за этот бесконечно малый элемент времени внутренний диаметр необожженного брикета не изменяется.

Из этого отношения мы видим, что температура наружной поверхности брикета θ_n зависит от отношения $\frac{D_s}{D_n}$ и это выражение останется верным во все время процесса обжига. Чтобы получить общее выражение для θ за все время процесса обжига, поставим вместо D_n переменный D . Если при этом обозначить $\frac{\alpha}{2\lambda} D_n \ln \frac{D_s}{D_n}$ через m , то выражение (2) примет вид:

$$\theta_n = \frac{\theta_s + mT}{1 + m} \quad (3)$$

Как мы уже видели, количество тепла, которое вносится в обжигаемый кусок CaCO_3 за элемент времени dt будет:

$$dQ = \alpha \pi D_n (T - \theta_n) dt. \quad (4)$$

Это тепло идет на проведение процесса диссоциации в определенном количестве мела. Допустим, что элемент времени dt радиус недиссоциированного цилиндра уменьшится на величину $\frac{dD}{2}$.

Обозначая удельный вес CaCO_3 через γ и принимая, что для разложения 1 кг этого вещества нужно 425 калорий, можно написать уравнение:

$$\alpha \cdot \pi D_n (T - \theta_n) dt = \frac{\pi D \cdot dD}{2} \gamma \cdot 425 \cdot 10^3. \quad (5)$$

Правую часть уравнения (5) мы умножили на 10^3 , так как выражено в метрах и тогда выражение $\frac{\pi D dD}{2} \gamma$ будет в тоннах, следовательно 425 нужно умножить на 10^3 .

Как мы уже раньше указали, θ_n является функцией от D , а потому после разделения переменных из уравнения (5) получим:

$$dt = \frac{\gamma \cdot 425 \cdot 10^3 D dD}{2\alpha D_n (T - \theta_n)}. \quad (6)$$

Подставим в это выражение вместо θ_n его значение из уравнения 3-го, получим:

$$dt = \frac{\gamma \cdot 425 \cdot 10^3 D \cdot dD}{2\alpha D_n \left(T - \frac{\theta_n + mT}{1+m} \right)}. \quad (7)$$

Значение $\frac{\theta_n + mT}{1+m}$ преобразуем, прибавляя и отнимая от его числителя $\theta_n m$; тогда оно представится в виде:

$$\theta_n + \frac{m}{m+1} (T - \theta_n). \quad (8)$$

Подставив в уравнение (7) вместо $\frac{\theta_n + mT}{1+m}$ его значение (8), получим:

$$\begin{aligned} dt &= \frac{425 \cdot 10^3 \cdot \gamma \cdot D dD}{2\alpha D_n \left[T - \theta_n + \frac{m}{m+1} (T - \theta_n) \right]} = \frac{425 \cdot 10^3 \cdot \gamma \cdot D \cdot dD}{2\alpha D_n (T - \theta_n) \frac{m+1-m}{m+1}} = \\ &= \frac{425 \cdot 10^3 \cdot \gamma \cdot (m+1) D \cdot dD}{2\alpha D_n (T - \theta_n)}. \end{aligned}$$

Подставляя вместо m его значение получим:

$$dt = \frac{425 \cdot 10^3 \cdot \gamma \left(1 + \frac{\alpha}{2\lambda} D_n \ln \frac{D_n}{D_n} \right) D dD}{2\alpha D_n (T - \theta_n)}. \quad (9)$$

Время, потребное для обжига брикетов, найдется, если проинтегрировать уравнение 9 в пределах от $t=0$ до $t=\tau$.

Принимая во внимание, что когда $t=0$, то $D=D_n$, а когда $t=\tau$, то $D=0$, можем написать:

$$\begin{aligned} \int_0^{\tau} dt &= \tau_n = \\ &= \frac{425 \cdot 10^3 \cdot \gamma}{2\alpha D_n (T - \theta_n)} \left[\left(1 + \frac{\alpha}{2\lambda} D_n \ln D_n \right) \int_{D_n}^0 D dD - \frac{\alpha}{2\lambda} D_n \int_{D_n}^0 \ln \frac{D^2}{2} \frac{d(D^2)}{2} \right] = \\ &= \frac{425 \cdot 10^3 \cdot \gamma}{2\alpha \cdot D_n (T - \theta_n)} \left[\left(1 + \frac{\alpha}{2\lambda} D_n \ln D_n \right) \frac{D_n^2}{2} - \frac{\alpha}{8\lambda} (D_n^3 \ln D_n^2 - D_n^3) \right] = \\ &= \frac{425 \cdot 10^3 \cdot \gamma \cdot D_n^2}{2\alpha D_n (T - \theta_n)} \left(1 + \frac{\alpha}{2\lambda} D_n \ln D_n - \frac{\alpha}{4\lambda} D_n \ln D_n^2 + \frac{\alpha}{4\lambda} D_n \right); \\ \text{но } \frac{\alpha}{2\lambda} D_n \ln D_n &= \frac{\alpha}{4\lambda} D_n \ln D_n^2, \text{ а потому:} \end{aligned}$$

$$\tau_n = \frac{425 \cdot 10^3 \cdot \gamma}{4(T - \theta_n)} \left(\frac{D_n}{\alpha} + \frac{D_n^2}{4\lambda} \right) = \boxed{\frac{\gamma \cdot 10^6}{T - \theta_n} \left(\frac{D_n}{\alpha} + \frac{D_n^2}{4\lambda} \right)}. \quad (1)$$

Таким-же путем определим время обжига CaCO_3 , если его брикеты имеют вид плиты, толщину которой обозначим через $2H$, где $2H$ является наименьшим размером этого брикета. Рассуждая здесь так-же, как и выше по отношению к цилиндрическому брикету и обозначая через Ω единицу поверхности брикета, можем написать:

$$\alpha(T - \theta_n) \Omega dt = \frac{\Omega \lambda d\theta}{dH},$$

откуда

$$dH = \frac{\lambda d\theta}{\alpha(T - \theta_n)}.$$

Проинтегрировав это выражение в пределах от $H=H_n$ до $H=H_s$, получим:

$$\int_{H_n}^{H_s} dH = \frac{\lambda}{\alpha(T - \theta_n)} \int_{\theta_n}^{\theta_s} d\theta = H_s - H_n = \frac{\lambda(\theta_s - \theta_n)}{\alpha(T - \theta_n)},$$

откуда:

$$\alpha(H_s - H_n) T - \alpha\theta_n(H_s - H_n) = \lambda(\theta_s - \theta_n)$$

$$\text{и } \theta_s = \frac{\alpha(H_s - H_n) T + \lambda\theta_n}{\lambda + \alpha(H_s - H_n)} = \frac{\frac{\alpha}{\lambda} (H_s - H_n) T + \theta_n}{1 + \frac{\alpha}{\lambda} (H_s - H_n)}. \quad (10)$$

Обозначив $\frac{\alpha}{\lambda}(H_n - H_s)$ через m_1 получим из уравнения (10):

$$\Theta_s = \frac{m_1 T + \Theta_n}{1 + m_1}. \quad (11)$$

Из условия поглощения тепла, приносимого тепловым потоком процессом диссоциации, можем написать, как и в первом случае:

$$\alpha(T - \Theta_s)dt = \Omega \cdot \gamma \cdot 425 \cdot 10^3 \cdot dH,$$

откуда:

$$dt = \frac{\gamma \cdot 425 \cdot 10^3}{\alpha(T - \Theta_s)} dH. \quad (12)$$

Подставив вместо Θ_s в уравнение 12 его значение из уравнения (11), получим:

$$dt = \frac{425 \cdot 10^3 \cdot \gamma dH}{\alpha \left(T - \frac{\Theta_n + m_1 T}{1 + m_1} \right)} = \frac{\gamma \cdot 425 \cdot 10^3 dH}{\alpha \left(T - \frac{\Theta_n + m_1 \Theta_n - m_1 \Theta_n + m_1 T}{1 + m_1} \right)},$$

откуда:

$$dt = \frac{425 \cdot 10^3 \cdot \gamma dH}{\alpha(T - \Theta_s) \left(1 - \frac{m_1}{1 + m_1} \right)} = \frac{425 \cdot 10^3 \cdot \gamma (1 + m_1) dH}{\alpha(T - \Theta_s)};$$

подставляя вместо m_1 его значение получим:

$$\begin{aligned} dt &= \frac{\gamma \cdot 425 \cdot 10^3}{\alpha(T - \Theta_s)} \left[1 + \frac{\alpha}{\lambda} (H_n - H) \right] dH = \\ &= \frac{\gamma \cdot 425 \cdot 10^3}{\alpha(T - \Theta_s)} dH + \frac{\gamma \cdot 425 \cdot 10^3 \cdot \alpha (H_n - H) dH}{\alpha(T - \Theta_s) \lambda}. \end{aligned}$$

Интегрируя это выражение в пределах от $t=0$ до $t=\tau_n$, и соответственно от $H=H_n$ до $H=0$ получим:

$$\begin{aligned} \int_{H_n}^{\tau_n} dt = \tau_n &= \frac{\gamma \cdot 425 \cdot 10^3}{\alpha(T - \Theta_s)} \int_{H_n}^0 dH + \frac{\gamma \cdot 425 \cdot 10^3 \alpha}{(T - \Theta_s) \lambda} \int_{H_n}^0 (H_n - H) dH = \\ &= \frac{\gamma \cdot 425 \cdot 10^3}{T - \Theta_s} \left(\frac{H_n}{\alpha} + \frac{H_n^2}{2\lambda} \right) \end{aligned} \quad (13)$$

Определим во сколько раз плоский брикет обжигается быстрее или медленнее цилиндрического брикета, имеющего диаметр, равный толщине плиты. При этом предполагая, что все остальные условия обжига и свойства материалов одинаковы, можем написать:

$$\tau_{\text{ц}} : \tau_{\text{п}} = \frac{1}{4} \left(\frac{D_{\text{н}}}{\alpha} + \frac{D_{\text{н}}^2}{4\lambda} \right) : \left(\frac{H_{\text{н}}}{\alpha} + \frac{H_{\text{н}}^2}{2\lambda} \right),$$

но $D = 2H$; подставляя, получим:

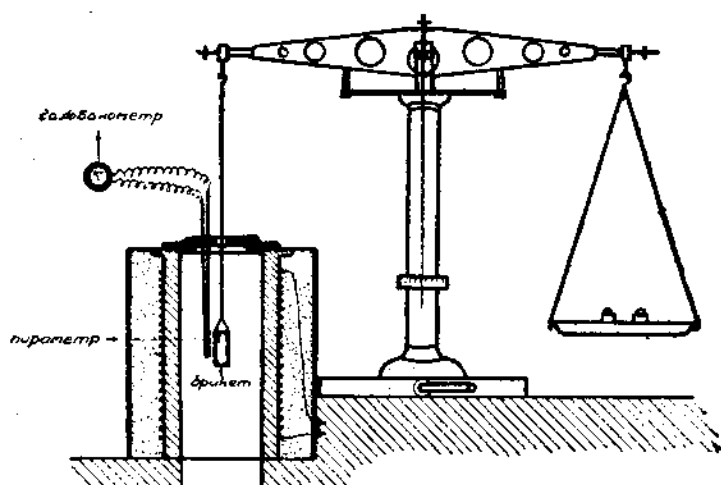
$$\tau_{\text{ц}} : \tau_{\text{п}} = 2,$$

т. е. плита будет обжигаться в два раза ^{медленнее} быстрее цилиндра.

Формулы I и II выведены нами чисто математически, исходя из теории теплопроводности и показывают функциональную зависимость между временем процесса обжига брикета и остальными факторами, влияющими на этот процесс (формой и размерами брикета, свойствами обжигаемого материала, температурой среды, в которой обжигаются материалы, и температурой диссоциации).

в) Экспериментальная проверка теоретических выводов

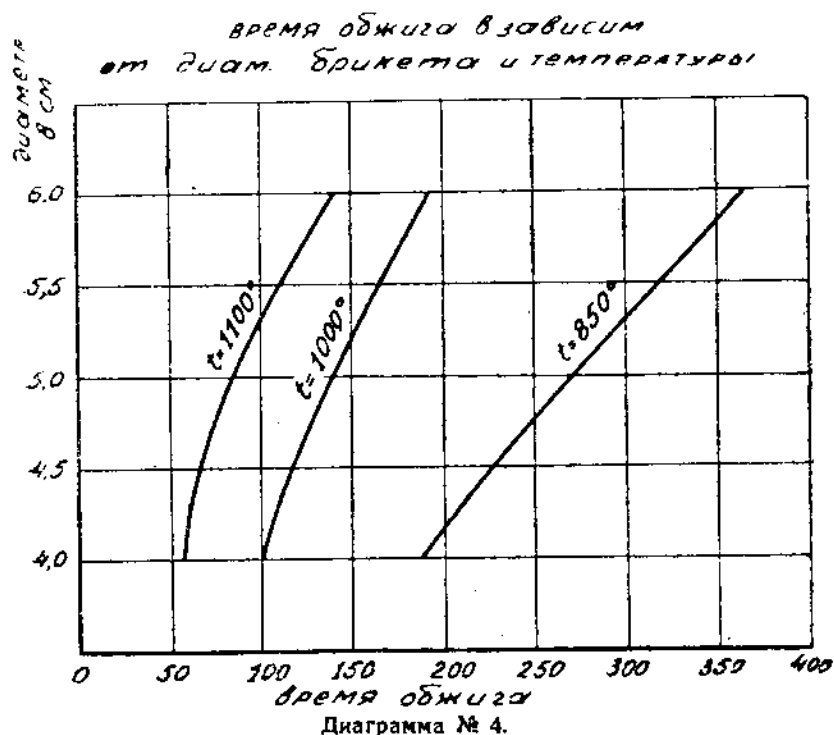
Чтобы убедиться насколько эти теоретические выводы соответствуют действительности, нами были проведены проверочные опыты по следующей схеме.



Исхем. Установка весов для определения потерь при прокаливании.

Электрическая селитровая печь (схема № 4) была поставлена вертикально дверцами кверху. Над отверстием печи на полочке были приспособлены весы. К одной из чашек весов, которая приходилась как раз против отверстия печи, был прикреплен на проволоке цилиндрический брикет из мела; этот меловой брикет

опускался в печь, накалившую до определенной температуры и эта температура поддерживалась за все время опыта. Одновременно определялась потеря веса за время процесса обжига брикета в печи. Это было сделано с брикетами, имевшими диаметр 4-5 и 6 см и высоту соответственно 6-5 и 9 см. Брикеты указанных размеров обжигались последовательно при температурах в 1000°, 1100° и 850°. Результаты этих испытаний показаны в прилагаемой диаграмме № 4.



Ниже даем сравнительную таблицу полученных результатов времени обжига брикета, полученного путем подсчета по нашей формуле и практически при обжиге в печи, как это было описано выше.

Температура в печи в 1100°				Температура в печи в 1000°		
Диаметр брикета	Время, потрачен- ное на обжиг в часах		% рас- хожде- ния	Время, потрачен- ное на обжиг в часах		% рас- хожде- ния
	по рас- счету	факти- чески		по рас- счету	факти- чески	
4	1,16	0,92	+ 26,0	1,94	1,5 .	+ 13,0
5	1,55	1,5	+ 3,0	2,58	2,08	+ 12,3
6	2,01	2,25	- 8,9	3,32	3,16	+ 11,0

Как видно из этой таблицы, расхождения между расчетной и опытной величиной сравнительно невелики, поскольку работы производились над неоднородным сырьем. Сырье нам доставлялось довольно разнообразным, что видно из приведенного состава мелов. Брикет, сделанный из образцов мела, показывали удельный вес (брикета мела) 1,47—1,56. В расчетах мы брали средний удельный вес = 1,5. Плотность брикета могла сказаться на значении τ . (При расчете была принята температура Θ диссоциации в 850°).

* *

Для ускорения подсчета времени, необходимого для обжига муска CaCO_3 (различного состава и качества), при разных условиях (по формуле I и II) и для более наглядного определения влияния разных факторов на продолжительность обжига, нами составлена номограмма скорости обжига, как функция от D , T , α , λ , γ (обозначения прежние, см. диаграмму на стр. 28).

Для определения по этой номограмме времени обжига для брикета диаметром в D см находим по оси x значение D ; из этой точки оси x опускаем вниз перпендикуляр до его пересечения с лучом α , соответствующим значению теплоперехода нашего материала. Из точки пересечения проведенного перпендикуляра с этим лучом проводим линию, параллельную другому лучу и соответствующему значению λ до пересечения этой линии с осью y . В таблице, помещенной у оси y , найдется значение скорости обжига, т. е. время, необходимое для обжига в зависимости от удельного веса материала, перепада температур между температурой диссоциации и температурой среды, в которой обжигается брикет,

г) Процессы нагрева и охлаждения брикетов в соответствующих зонах шахтной печи

Переходим к исследованию процессов нагрева и охлаждения печи.

Нагрев и охлаждение с тепловой стороны являются одинаковыми по своему характеру действия.

Брикет по выходе из зоны сушки имеет среднюю температуру в 100° ; после же прохода брикета через зону нагрева он должен иметь среднюю температуру в 850° . Навстречу брикету идет поток горячих газов. Количество, состав и температуру этих газов, по вступлении их в зону нагрева и по выходе их оттуда, мы можем определить так, как это будет указано ниже.

Итак, брикет и газы двигаются в шахте друг против друга—противотоком, при этом температура газов по пути их движения понижается, а температура брикета повышается. Перед нами

НОМОГРАММА для определения
продолжительности обжига CaCO_3 как $f(\tau, \rho, \alpha, \lambda, r)$
(А.Б.Цытеревича)

($\tau, \text{с}$)

100	150	200	250	300
5,5г	3,4г	2,8г	2,0г	1,8г
11г	6,9г	5,5г	4,1г	3,6г
16,5г	10,3г	8,2г	6,2г	5,4г
22г	13,8г	10,9г	8,3г	7,3г
27,5г	17,0г	13,8г	10,4г	9,1г
33г	20г	16,6г	12,9г	10,9г
38,5г	24,2г	19,5г	14,9г	12,6г
44г	27,1г	22,2г	16,6г	14,6г
49,5г	31,2г	24,9г	18,7г	16,5г
55г	34,6г	27,6г	20,8г	18,3г
60,5г	38,1г	30,8г	23,4г	20,2г
66г	41,5г	33,1г	25,0г	22г
71,5г	45г	35,8г	27,1г	23,8г
77г	48,4г	38,4г	29,2г	25,6г
82,5г	51,8г	41,4г	31,2г	27,4г
88г	55,4г	44,1г	33,1г	29,2г
91г	57г	45г	34г	30г

Для цилиндрического брикета

$$T_2 = \frac{r \cdot 106 \cdot 10^3}{T \cdot Q \cdot \alpha} \left(\frac{D_n}{\alpha} + \frac{D_{2n}}{4\lambda} \right)$$

Для плоского брикета

$$T_2 = \frac{T_n}{\alpha}$$

ρ - плотность обжига CaCO_3
 α - коэф. теплопереда CaO
 λ - теплопровод CaO

стоит задача определить время, в течение которого брикеты и газы должны находиться в таком взаимодействии, чтобы осуществились указанные нами перепады температур в них.

Для определения продолжительности процесса нагрева брикета в печи мы могли бы пользоваться средней температурой противотока, выведенной Грасгофом, однако, по нашему мнению, этим выводом в данном случае пользоваться нельзя по следующей причине.

В основу вывода формулы Грасгофа берется то положение, что температура во всех точках сечения тока постоянна, что можно допустить в случае противотоков жидкости или газов, но никак нельзя допустить по отношению к „потoku“ брикетов. В процессе нагревания в каждом брикете появляется переменное тепловое поле, направленное от периферии к центру. В начале процесса этот перепад температур между центром и поверхностью брикета значителен; к концу процесса эти температуры выравниваются.

Чтобы пользоваться средне-арифметическими значениями перепадов температур, брикетов и газов, как это делает Блок, тоже нет никаких оснований.

Решить-же эту задачу приемами, которые даются в математической физике—на основе теории теплопередачи—чрезвычайно сложно и вряд-ли удобоприменимо для практических целей.

Постараемся дать хотя-бы приближенный, но гораздо более простой метод расчета продолжительности процесса нагрева брикетов в шахте, основанный на этих-же началах математической физики. Можно считать, что для практического пользования точность этого приема будет достаточна.

Данный метод расчета продолжительности нагрева дает возможность проследить влияние разных факторов на этот процесс и его динамику.

Установим количество и температуру газов в печи при их вступлении и выходе из зоны нагрева. Зная состав топлива, температуру отходящего газа из печи, избыток воздуха, с которым сжигаем наше топливо, количество топлива, необходимое для обжига одного килограмма извести, количество газов, которые выделяются в процессе диссоциации и количество влаги, которое должно быть испарено в зоне сушки,—мы можем определить температуру $\times$ газов и количество их по выходе из зоны нагрева, как мы это указываем ниже. Зная количество и температуру газов при выходе их из зоны нагрева и количество теплоты, которое эти газы должны оставить в зоне нагрева, мы можем определить при какой температуре эти газы должны вступить в зону нагрева.

Чтобы решить вопрос о времени нагрева брикета в соответствующей зоне, обратимся к тому отделу теплопередачи, где рассматривается процесс охлаждения или нагревания цилиндра с длинной осью, который в начале процесса охлаждения имел равномерную температуру T_0 , а среда, в которой охлаждается, пусть имеет постоянную температуру T_0 .

Решение этой задачи в общем виде очень сложно, но если ограничиться определением изменения колебания температур на поверхности цилиндра и в центре его во времени и определением потери этим-же цилиндром тепла за изучаемый промежуток времени, то задача становится ясной, простой и сравнительно легко разрешимой.

Гребер вывел для этого случая в своем курсе „Einführung in Theorie der Wärmeübertragung“ зависимость между температурой цилиндра в начале процесса и температурой на поверхности и в центре его через любой промежуток времени после начала его охлаждения.

Там-же он вывел и значение потери тепла охлажденным цилиндром за любой промежуток времени от начала процесса.

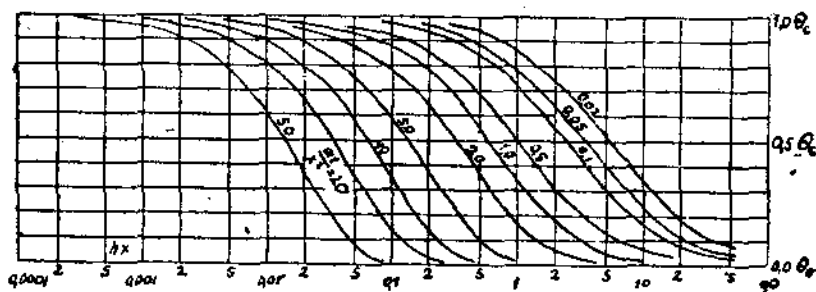
Эти зависимости Гребер выражает в виде:

$$\theta_0 = \theta_c \Phi_0 \left(hR, \frac{at}{R^2} \right)$$

$$\theta_m = \theta_c \Phi_m \left(hR, \frac{at}{R^2} \right)$$

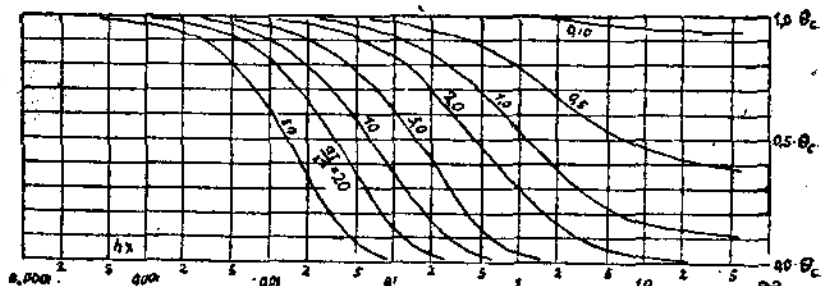
$$\theta = \theta_0 \psi \left(hR, \frac{at}{R^2} \right)$$

где: θ_0 — температура на поверхности цилиндра через t часов после начала процесса;



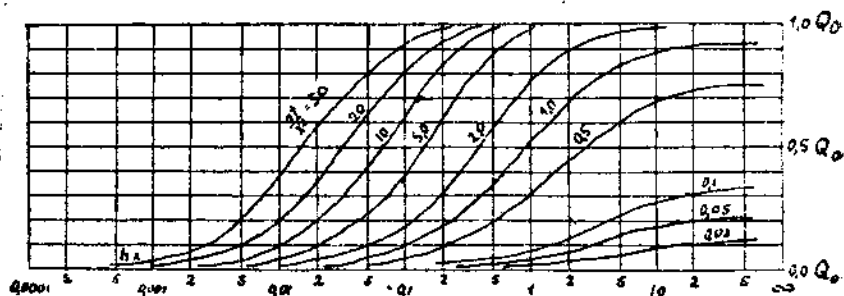
Температура свободной поверхности стенки при $\theta_c = 1^\circ$;

$$\theta_0 = \theta_c \cdot \Phi_0 \left(\frac{at}{R^2}, hR \right).$$



Температура изолированной поверхности стенки при $\theta_c = 1^\circ$;

$$\theta_m = \theta_c \cdot \Phi_m \left(\frac{at}{R^2}, hR \right)$$



Тепло, теряемое стенкой, охлаждаемой с одной стороны при $\theta_c = 1^\circ$;

$$Q = Q_0 \Psi \left(\frac{\alpha t}{R^2}, hR \right)$$

θ_m — температура в центре цилиндра через t часов после начала процесса;

θ_c — температура цилиндра в начальный момент;

$$h = \frac{\alpha}{\lambda} = \frac{\text{коэффициент теплопроводности}}{\text{коэффициент теплопередачи}};$$

$$\alpha = \frac{\lambda}{\gamma \cdot c} = \frac{\text{коэффициент теплопроводности}}{\text{удельный вес на теплоемкость}};$$

R — радиус цилиндра в метрах;

Φ_0, Φ_m, ψ — трансцендентные функции =

$$= \text{соответственно } \frac{\theta_0}{\theta_c}, \frac{\theta_m}{\theta_c}, \frac{\theta}{\theta_0}.$$

Значения этих функций при разных значениях аргументов по заданию Гребера вычислил Г. Винтерфельд и результаты этих подсчетов даны нами в прилагаемой таблице № 1. На основании данных этой таблицы им построены соответствующие диаграммы, одна из которых (для плоского брикета) нами приводится¹⁾

Нужно помнить, что θ обозначает температуру, взятую по такой шкале, где 0 соответствует температуре среды, в которой происходит охлаждение.

Таким образом первоначальная температура цилиндра θ будет: $\theta = T_c - T_0$.

¹⁾ Остальные диаграммы для цилиндров и шаров приводятся в журнале VD.I, 1925 г. и в курсе Гребера „Теплопередача“.

ТАБЛИЦА № 1

для значения функций Φ_0 , Φ_m , ψ , данная Гребером и вычисленная
Г. Винтерфельдом

ПОВЕРХНОСТНАЯ ТЕМПЕРАТУРА ЦИЛИНДРА

$\frac{a_t}{R^2}$	hR	0,0001	0,001	0,01	0,1	0,5	1	4	10	20	50	∞
0,01	—	—	1	0,99	0,95	0,89	0,66	0,42	0,24	0,11	0,00	0,00
0,05	—	1	0,99	0,97	0,87	0,77	0,42	0,21	0,10	0,05	0,00	0,00
0,1	—	1	0,99	0,96	0,82	0,69	0,31	0,14	0,06	0,03	0,00	0,00
0,25	—	1	0,99	0,93	0,71	0,53	0,17	0,06	0,03	0,01	0,00	0,00
0,5	—	1	0,99	0,88	0,57	0,35	0,07	0,02	0,01	0,00	—	—
1	—	1	0,98	0,8	0,36	0,16	0,01	0,00	0,00	—	—	—
2,5	—	1	0,95	0,6	0,1	0,02	0,00	—	—	—	—	—
5	1,00	0,99	0,90	0,37	0,01	0,00	—	—	—	—	—	—
10	1	0,98	0,82	0,14	0,00	—	—	—	—	—	—	—
25	1	0,95	0,61	0,01	—	—	—	—	—	—	—	—

ТЕМПЕРАТУРА ДЛЯ ОСИ ЦИЛИНДРА

0,01	—	—	—	—	—	—	—	1,00	1,00	1,00	1,00	1,00
0,05	—	—	—	—	1,00	1,00	1,00	0,99	0,99	0,99	0,99	0,99
0,10	—	—	—	1,00	0,99	0,97	0,94	0,90	0,88	0,87	0,85	0,85
0,25	—	—	1,00	0,98	0,89	0,81	0,59	0,48	0,43	0,40	0,38	0,38
0,50	—	—	0,99	0,93	0,72	0,55	0,24	0,15	0,12	0,10	0,09	0,09
1	—	—	0,98	0,84	0,46	0,25	0,04	0,01	0,01	0,01	0,01	0,01
2,5	—	1,00	0,95	0,63	0,12	0,02	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00
5	1,00	0,99	0,91	0,38	0,01	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00
10	1,00	0,98	0,82	0,14	0,00	—	—	—	—	—	—	—
25	1,00	0,95	0,61	0,01	—	—	—	—	—	—	—	—

ПОТЕРЯ ТЕПЛА ЦИЛИНДРА

0,01	—	—	—	0,00	0,01	0,02	0,05	0,11	0,15	0,18	0,22	0,22
0,05	—	—	—	0,01	0,05	0,08	0,21	0,32	0,38	0,42	0,45	0,45
0,10	—	—	—	0,02	0,09	0,15	0,03	0,48	0,54	0,58	0,61	0,61
0,25	—	—	0,00	0,05	0,20	0,33	0,62	0,75	0,79	0,81	0,84	0,84
0,50	—	—	0,01	0,09	0,35	0,55	0,85	0,92	0,94	0,95	0,96	0,96
1	—	—	0,02	0,18	0,59	0,79	0,98	1,00	1,00	1,00	1,00	1,00
2,5	—	0,00	0,05	0,39	0,89	0,98	1,00	1,00	—	—	—	—
5	0,00	0,01	0,09	0,62	0,99	1,00	—	—	—	—	—	—
10	0,00	0,02	0,18	0,86	1,00	—	—	—	—	—	—	—
25	0,00	0,04	0,39	0,99	—	—	—	—	—	—	—	—

Точно так-же теплосодержание цилиндра в первоначальный момент будет обозначаться $Q_0 = VC \cdot \gamma \cdot \theta_0 = P\theta_0$.

Все эти выводы, сделанные на случай охлаждения цилиндра, могут быть применены и в случае нагрева его при тех-же условиях, только знаки будут обратные.

Воспользуемся этим выводом и для определения времени пребывания брикета в зоне нагрева, согласно поставленным нами выше условиям. Для этого разделим зону нагрева в шахте мысленно на ряд „вспомогательных“ зон, так что перепад температуры газов в этих зонах будет постоянным и равен T_n . Примем, что температура газа в этой зоне постоянна и равна средней температуре между верхней и нижней границей зоны. Температуру-же брикета, при вступлении его в рассматриваемую зону, принимаем равной средней температуре брикета по выходе его из предыдущей зоны.

Зная значения α, h, R и T , определяем по диаграмме сколько времени должен пробыть брикет в рассматриваемой зоне, чтобы поглотить из окружающей среды столько тепла, сколько эта среда потеряла от понижения своей температуры. По этой величине определяем среднюю температуру брикета при выходе его из этой зоны. Зная время t и остальные данные можем по диаграмме определить температуру на поверхности и температуру в центре брикета. В цилиндрической шахте можем определить высоту зоны H по уравнению $vt = H$, где v —скорость прохождения брикета через шахту. Время-же прохождения брикета через всю зону нагрева будет Σt .

Таким-же образом определяем время прохождения брикета через зону охлаждения (ниже нами приведен этот расчет на примере одного частного случая).

д) Процесс сушки в верхней зоне шахтной пачи

Задаваясь температурой газов по выходе их из шахты и зная их вес и состав, можем определить температуру газов по выходе их из зоны нагрева при условии, что в зоне сушки брикеты должны потерять всю свою влагу и нагреваться в среднем до температуры в 100° .

Нам нужно установить время нахождения брикета в зоне сушки, чтобы осуществились намеченные нами условия.

Теория сушки и теория сушильного дела не дает обобщающих правил, по которым можно было-бы по размерам и форме сушиваемого предмета и по физическим константам веществ, принимающих участие в процессе сушки, установить продолжительность этого процесса.

Постараемся проанализировать динамику сушки и найти ответ на интересующий нас вопрос.

Физические основы сушильного дела могут быть сформулированы следующим образом. Над свободной поверхностью жид-

кости имеется слой пара этой-же жидкости. Упругость пара в этом слое находится в соответствии с температурой жидкости.

Если каким-нибудь образом нарушено это соответствие, уменьшением ли давления пара или изменением температуры жидкости, то пар и жидкость будут стремиться восстановить нарушенное равновесие: жидкость начнет испаряться и образовавшийся при испарении пар восстановит нарушенное давление над поверхностью жидкости, или-же пар начнет конденсироваться и своей скрытой теплотой поднимет температуру охлаждающейся жидкости.

Главная задача сушильщика состоит в том, чтобы определенным образом нарушить это равновесие и тем самым вызвать испарение влаги.

Вернемся к нашему случаю: когда влажный брикет попадает в атмосферу повышенной температуры, то в нем появляется переменное тепловое поле, направленное от периферии к центру. О характере изменения этого поля, на случай твердого предмета, неиспаряющегося, мы говорили выше; когда-же предмет имеет в себе испаряющуюся жидкость, картина должна совершенно измениться.

С повышением температуры над поверхностью предмета жидкость начинает испаряться. На испарение этой жидкости тратится значительное количество тепла, приносимого тепловым потоком. Остальное тепло идет на дальнейшее нагревание предмета.

По мере испарения жидкости на поверхности предмета изнутри его начинает диффундировать жидкость к поверхности испарения (вследствие разности концентрации растворов, капиллярности и т. д.).

С продолжением процесса сушки диффузионный поток, подающий влагу к поверхности, все ослабевает и поверхность испарения уходит внутрь тела. За ней следует главный тепловой поток и соответствующие изменения теплового поля.

Процесс идет дальше в том-же направлении и когда он достигает центра предмета, процесс оканчивается.

В соотношении мощности и скорости потоков диффузии и тепла нужно искать ответ на характер и продолжительность сушки; эти два фактора в своей комбинации характеризуют то, что мы называем режимом сушки.

При постоянстве условий, при которых происходит сушка, тело теряет в начале процесса сушки одно и то-же количество влаги за единицу времени и диффузионный поток в этот период является решающим фактором. Скорость сушки в этот период можно определить, пользуясь формулой Дальтона. После критической точки, когда явление равномерности скорости сушки прекращается, решающим фактором уже начинает являться тепловой поток и продолжительность сушки может быть подсчитана по ниже выводимой нами формуле, полученной на основании следующих соображений.

Присматриваясь к процессу сушки во втором периоде мы замечаем, что в своей динамике он идентичен с процессом диссоциации CaCO_3 , который мы описали раньше, а поэтому и скорость сушки может быть выведена таким-же образом, как и скорость диссоциации, только нужно учитывать разные показатели, при которых происходят эти процессы, а именно:

1) в то время, когда при диссоциации мы считаем, что тепловой поток должен оставить на поверхности диссоциации 425 калорий на 1 кг CaCO_3 , здесь для испарения воды требуется 540 калорий на 1 кг воды;

2) в то время, как при диссоциации диссоциирует вся масса слоя, здесь испаряется влага в определенном проценте к массе этого слоя.

Таким образом выведенные нами уравнения скорости диссоциации в данном случае для сушки должны принять вид:

$$\tau_{\text{ш}} = \frac{540 \cdot 10^3 \cdot W \cdot \gamma}{100 \cdot 4 (T - 100)} \left(\frac{D_{\pi}}{\alpha} + \frac{D_{\pi}^2}{4\lambda} \right); \quad (\text{III})$$

$$\tau_{\text{ш}} = \frac{\tau_{\pi}}{2} \quad (\text{IV})$$

Строго говоря, внутри тела образуется не поверхность сушки, кольцевая зона, в которой происходит процесс сушки, и в разных слоях этой зоны должны существовать разные физические показатели. Вода в этой зоне находится в разном состоянии (как мы это видели в главе при рассмотрении вопроса о брикетировании), а это должно вызвать различную упругость пара над поверхностью воды и, следовательно, разные скорости испарения.

Чем температура, (в которой происходит сушка), выше температуры кипения жидкости, которую мы желаем испарить, и чем диффузия в теле слабее, т. е. чем сила теплового потока является более решающим фактором в процессе сушки, тем скорее можно ожидать, что определение времени сушки по выведенной нами формуле может дать более верный результат. Поскольку нам интересно установить динамику сушки в верхней зоне шахты, где имеет место высокая температура, мы пользовались выведенной формулой III. Чтобы убедиться насколько теоретические выводы соответствуют действительности, нами были проведены следующие проверочные опыты.

Брикеты диаметром 4-5-6 см сушили в термостате при температурах 150—200°. Конец процесса сушки определяли путем взвешивания. Полученные результаты опыта оказались сравни-

тельно близкими к заранее вычисленным. Это можно видеть из следующей таблицы:

Температура печи 150°				Температура печи 200°			
Диаметр брикета в см	Время на сушку (в минутах)		% рас- хождения	Время на сушку (в минутах)		% рас- хождения	
	По рас- счету	На опыте		По рас- счету	На опыте		
4 . . .	112	100	+ 12	—	—	—	
5 . . .	152	150	+ 1	70	70	0	
6 . . .	—	—	—	88	96	— 8	

При низких температурах формула III правильных результатов не давала, чего и нужно было ожидать.

У. ОПТИМАЛЬНЫЕ УСЛОВИЯ ВЕДЕНИЯ ПРОЦЕССА ОБЖИГА

Изучив динамику процесса обжига CaCO_3 в шахтной печи во всех ее зонах, мы можем практически подойти к решению вопроса об обжиге рыхлого мела. Брикетирование мела, как уже видели, придает ему прочность и определенную форму и этим облегчается задача обжига рыхлого мела в шахтной печи, но это не освобождает нас от искания таких условий обжига, при которых продолжительность процесса будет минимальной.

Сокращение продолжительности обжига дает нам возможность уменьшить объем шахты (при данной производительности) и, следовательно, понизить ее высоту. Последнее будет способствовать тому, что продукт, находящийся в шахте, не будет так раздавливаться под своей собственной тяжестью, а это является главным пунктом нашей задачи.

Требования, выдвигаемые при решении задачи обжига рыхлого мела, сводятся к тому, чтобы найти такую установку, при которой:

1. Удельный расход топлива был бы минимальным.
2. Были бы созданы наилучшие условия для проведения процесса обжига, исходя из данного сырья, что приведет к улучшению качества продукции и увеличению производительности агрегата.
3. Было бы достигнуто увеличение производительности труда и облегчение условия работы в этом производстве.

Проанализируем каждый из этих пунктов в отдельности. Для этого примем следующие обозначения:

E — теплотворная способность топлива,

u — удельный расход топлива на единицу веса готовой извести

m —количество мелового брикета, нужное для получения одного килограмма извести,

w —влажность мела в проц,

v —загрязненность мела в проц,

η —со значками m и $ш$ означает коэффициент полезного действия топки и шахты,

Q_r —количества продуктов горения от сжигания 1 кг топлива при теоретическом горении,

C_r —средняя теплоемкость этих же газов,

Q_d —количество углекислоты, выделяемое при диссоциации CaCO_3 для получения 1 кг извести,

T_o —температура отходящих газов из печи,

$C_{\text{из}}$ —теплоемкость извести,

$C_{\text{м}}$ —теплоемкость мела,

$T_{\text{из}}$ —средняя температура извести, выходящей из печи,

$T_{\text{н}}$ —" " наружного воздуха,

$C_{\text{со}_2}$ —теплоемкость углекислоты.

Исходя из закона сохранения энергии, можем написать:

$$y_r E_r \eta_{\text{ш}} \eta_r = m \left(1 - \frac{w}{100}\right) \left(1 - \frac{v}{100}\right) 425 +$$

$$+ y_r Q_r C_r (T_{\text{от}} - T_{\text{н}}) - m \left(1 - \frac{w}{100}\right) \left(1 - \frac{v}{100}\right) 0,44 C_{\text{со}_2} (850 - T_o) - C_{\text{из}} T_{\text{из}},$$

откуда можем определить удельный расход топлива:

$$y_r = \frac{m \left(1 - \frac{w}{100}\right) \left(1 - \frac{v}{100}\right) [425 - 0,44 C_{\text{со}_2} (850 - T_o)] - C_{\text{из}} T_{\text{из}}}{E_r \eta_r \eta_{\text{ш}} - Q_r C_r (T_o - T_{\text{н}})}$$

Анализ выражения для y_r показывает, что для уменьшения удельного расхода топлива мы должны:

1. Уменьшить температуру отходящих газов.
2. Уменьшить избыток воздуха.
3. Увеличить коэффициент полезного действия топки путем уменьшения потерь.
4. Уменьшить потери печи, т. е. увеличить ее коэффициент полезного действия.
5. Пользоваться топливом, выделяющим наименьшее количество и наименее теплоемких газов на единицу выделенного тепла.
6. Выводить известь из печи при возможно низкой температуре.

Условия, ведущие к удовлетворению п. 2, т. е. к улучшению процесса обжига, сводятся к тому чтобы:

1). Создать равномерный обжиг по всем сечениям шахты, а для этого нужно:

а) Подобрать надлежащие и соответствующие данной цели размер и форму сечения шахт.

б) Придать загружаемым в шахту кускам мела одинаковую величину и форму.

в) Обеспечить равномерное сползание мела в шахте.

г) Подать горячие газы в печь под некоторым напором так, чтобы они проникли в шахту до самого центра.

д) Создать более высокую температуру в тех местах печи, где можно ожидать более быстрого сползания загруженного мела.

2) Сделать устойчивыми проходы для газов через шахту и чтобы эти проходы были равномерно расположены по сечению шахты и имели-бы одинаковый размер. Для этого нужно:

а) Подобрать загружаемые в печь куски мела такой формы и размеров, чтобы проходы для газов были-бы не слишком велики (при слишком больших проходах ухудшается условие перемешивания газов и соприкосновение с обжигаемым продуктом) и не слишком малы (это может создать большое сопротивление для тяги).

б) Подвергнуть обжигаемый продукт в печи возможно меньшим давлениям во избежание их раздавливания и тем самым забивки проходов для газов.

Это требование является наиболее актуальным, поскольку здесь речь идет об обжиге рыхлого мела.

Посмотрим, как влияют форма и размер брикета на каналы, образованные в шахте.

О том, как влияет форма брикета на размер создающихся между ними каналов, можно узнать только эмпирически, как мы это описали выше. Влияние-же размера брикетов (при той-же форме их) можем определить исходя из следующего: если нагрузить одну шахту брикетов одного размера, а другую такую-же шахту брикетами, геометрически подобными первым, но другого размера, то можно полагать, что каналы для газов в первом и во втором случаях будут тоже геометрически подобными и отношение их сечений будет равно отношению квадратов сторон брикета, число-же таких каналов будет обратно пропорционально квадрату этих-же сторон. Отсюда мы видим, что *размеры брикетов влияют на размер сечения канала, хотя общее (живое) сечение шахты не меняется от размеров брикетов.*

В случае большого сужения каналов в них могут образоваться большие сопротивления тяге (сечение каналов растет в квадрате от линейных размеров брикета), а потому при выборе размера брикета не следует увлекаться слишком большим уменьшением его размера.

Рассмотрим, как влияет размер и конфигурация брикетов, загружаемых в шахту на необходимую высоту последней. Та или другая конфигурация загружаемого брикета может вызвать разные заполнения шахты. С уменьшением коэффициента наполнения шахты давление на дно ее, конечно, уменьшается, но зато уменьшается и время прохождения брикета через шахту и этим пропорционально уменьшается и производительность печи. Следовательно, размер брикетов и геометрическая форма их не могут иметь влияния на высоту шахты с геометрической точки зрения.

Зато колоссальное влияние на высоту шахты может иметь размер загружаемых в нее кусков с точки зрения тепловых процессов, имеющих в ней (шахте) место.

Если обозначим сечение шахты через Ω , высоту ее через H , скорость прохождения брикетов через шахту через v , а производительность печи через A , время же, необходимое для проведения процесса обжига обозначим через t , тогда $v\Omega t = A$. Высота шахты при данной производительности выразится: $H = \frac{A}{\Omega} = vt$.

Отсюда мы видим, что, желая изменить высоту шахты, мы должны уменьшить время прохождения мела через печь или увеличить сечение шахты.

Из выведенных нами выше формул для определения продолжительности процессов, происходящих в печи, мы видим, что на уменьшение этого времени могут влиять следующие факторы:

1. Диаметр брикета: чем брикет меньше, тем скорость обжига больше увеличивается.

2. Перепад температур между обогреваемым предметом и обогревающими газами: чем меньший перепад температур, тем времени прохождения через шахту нужно больше.

Плотность брикета удлиняет время обжига, хотя при увеличении плотности можно ожидать увеличения теплопроводности, что должно действовать в обратную сторону.

Уменьшить раздвигавшие усилия в печи от собственного веса брикетов можно еще путем подбора соответствующего продольного профиля печи.

Из теории сопротивления материалов мы знаем, что наименьшее напряжение получается в материале, подверженном действию собственного веса, если ему придать вид бруса равного сопротивления, у которого поперечное сечение изменяется по высоте

по закону $F = F_0 e^{\frac{\gamma}{\sigma}}$. Если-бы по этому принципу подобрать продольный профиль шахты, то сечение будет возрастать к основанию, т. е. к тому месту, где должен произойти обжиг мела. Собственно говоря, подбором соответствующей конфигурации печи можно было-бы принципиально решить задачу в смысле разгрузки низа печи при любой прочности продукта, но увеличение сечения шахты значительно затрудняет процесс обжига

в смысле проникновения горячих газов вглубь шахты, а потому к этому приему можно прибегнуть только тогда, если нужно принять меры для избежания этого указанного недостатка.

Выведенные положения должны служить руководством при конструировании печи для обжига рыхлого мела.

VI. РАСЧЕТНЫЕ ДАННЫЕ ДЛЯ ПРОЕКТИРОВАНИЯ ШАХТНЫХ ПЕЧЕЙ

Установим некоторые величины, которые необходимы при проектировании печи.

Возьмем климовичский мел, имеющий балласт в виде SiO_2 и R_2O_3 до 10 проц., а влажность брикета примем равной 20 проц. Определим, сколько такого мела нужно обжечь, чтобы получить один кг обожженной извести. Обозначив через W влажность мела, через V — его балласт в процентах, а через M — количество мела, которое нужно брать для получения 1 кг извести, можем составить уравнение:

$$M \left(1 - \frac{w}{100} \right) \left(1 - \frac{v}{100} \right) 0,56 + M \left(1 - \frac{w}{100} \right) \frac{v}{100} = 1,$$

откуда, подставив в это уравнение вместо букв их значения, приведенные выше для климовичского мела, получаем, что $M = 2,1 \text{ кг}$.

Для нашего расчета примем, что топливом служат дрова в составе: С — 29,6%; H_2 — 3,79%; O_2 — 28,6%; N_2 — 1%; А — 0,66%; $W = 40\%$.

Теплотворная способность этого топлива, вычисленная по формуле Менделеева, будет 2400 кал. Топливо сжигаем с коэффициентом избытка воздуха $\alpha = 1,3$.

Теоретическое количество воздуха, необходимое для сжигания 1 кг данного топлива, состав и количество полученных продуктов в результате этого сжигания, можно найти в следующей таблице № 2.

Таблица № 2

Элементарный состав.	%	Число грамм в 1 кг	Воздух			Итого	Продукты горения			Итого
			Кислород	Азот	Водяные пары		CO_2	H_2O	N_2	
С	29,6	296	786	—	—	—	1082	—	—	—
H_2	3,79	37,9	296	—	—	—	—	333,9	—	—
O_2	28,6	286	286	—	—	—	—	—	—	—
N_2	1	10	—	10	—	—	—	—	10	—
А	0,66	6,6	—	—	—	—	—	—	—	—
W	40	400	—	—	400	—	—	400	—	—
			796	2660	30	3486 кг	1082	$\frac{30}{764}$	2660	4506 кг.

Теплоемкость и теплосодержание продуктов, получаемых от сжигания 1 кг данного топлива составляют:

Газ	Теплоем- кость	Теплосодержание ^{в ккал} продуктов горения в 1 кг. топлива	Теплосодержание воз- духа при коэф. из- бытка α , равном 1,3
CO ₂ . . .	0,24	$1,08 \cdot 0,24 = 0,266$	—
H ₂ O . . .	0,47	$0,76 \cdot 0,47 = 0,359$	—
N ₂ . . .	0,25	$0,25 \cdot 2,66 = 0,665$ 1,290	—
Воздух . .	0,22	—	$0,22 \cdot 3,48 \cdot 0,3 = 0,228$

Определим количество тепла, которое нужно оставить в каждой зоне шахтной печи на 1 кг обожженной извести.

1) В зоне сушки: для подсушки мела в количестве, нужном для получения одного кг извести, потребуется тепла:

- а) На испарение влаги: $2,1 \times 0,2 \times 640 = 256,9 \text{ кал.}$
 - б) На нагрев мела до 100°: $2,1 \times 0,8 \times 0,21 \times 100 = 35,1 \text{ кал.}$
- Итого 292 кал.

2) В зоне нагрева: для нагрева брикетов от 100° до 850° нужно тепла:

$$2,1 \times 0,8 \times 0,21 \times (850 - 100) = 255 \text{ кал.}$$

3) В зоне диссоциации. На диссоциацию CaCO₃ требуется тепла:

$$2,1 \times 0,9 \times 0,8 \times 425 = 644 \text{ кал.}$$

4) В зоне охлаждения: при охлаждении извести получится тепла:

$$1 \times 0,21 (850 - 200) = 136 \text{ кал.}$$

Количество тепла, вводимое во все 3 зоны обжига:

$$292 + 255 + 644 = 1191 \text{ кал.}$$

Определим удельный расход топлива на обжиг 1 кг извести, исходя из следующих условий:

1. Температура газов, выходящих из зоны обжига, должна быть не ниже 900°, так как понижение температуры в зоне обжига значительно замедляет этот процесс.

2. Температура выходящих газов из шахты должна быть не ниже 250°, что обеспечит лучшую тягу и невозможность выпадения влаги, поскольку газы, выходящие из шахтной печи, будут очень влагоемкими.

Чтобы эти условия имели место, должны существовать следующие зависимости:

для удовлетворения первого условия:

$$\begin{aligned}
 & \frac{y \times 2400}{\text{тепло, вносимое топливом в зону обжига}} + \frac{2,1 \times 0,8 \times 0,21 \times 850}{\text{тепло, вносимое горячими брикетами в зону обжига}} + \\
 & + \frac{1 \times (1000 - 230) \times 0,21}{\text{тепло, вносимое нагретым воздухом в зону охлаждения}} = \frac{2,1 \times 0,8 \times 0,9 \times 425}{\text{тепло диссоциации}} + \\
 & + \frac{1 \times 1000 \times 0,21}{\text{тепло, выносимое брикетами из зоны обжига}} + \frac{2,1 \times 0,8 \times 0,9 \times 0,45 \times 0,24 (900 - 850)}{\text{тепло, выносимое } CO_2 \text{ от диссоциации из зоны обжига}} + \\
 & + \frac{y \times (1,29 + 0,228) \times 900}{\text{тепло, выносимое продуктами горения из зоны обжига}} + \frac{0,5 \times y \times 2400}{\text{потери в топке}} + \\
 & + \frac{0,5 \times y \times 2400}{\text{потеря излучения в зоне обжига}}
 \end{aligned}$$

Примечание: Через y обозначаем удельный расход топлива. Температуру извести, выходящей из зоны обжига, принимаем равной 1000° . Среднюю температуру извести, выходящей из зоны охлаждения принимаем равной 100° .

Из вышеуказанного уравнения определяем удельный расход топлива:

$$y = \frac{642 + 210 + 8 - 290 - 168}{2400(1 - 0,05 - 0,05) - 1370} = \frac{402}{798} = 0,51 \text{ кг.} \quad (13)$$

Для удовлетворения второго условия:

$$\begin{aligned}
 & \frac{y \times 2400}{\text{тепло, вносимое топливом в зону обжига}} = \frac{1,52 \times 250}{\text{тепло, уносимое продуктами горения из шахты}} + \\
 & + \frac{2,1 \times 0,8 \times 0,9 \times 0,45 \times 0,24 (250 - 850)}{\text{тепло, оставляемое в шахте углекислотой}} + \\
 & + \frac{2,1 \times 0,2 [640 + 0,48 \times (250 - 100)]}{\text{тепло, потраченное на испарение в зоне сушки}} = \frac{2,1 \times 0,8 \times 0,21 \times 850}{\text{тепло на нагрев брикетов}} + \\
 & + \frac{2,1 \times 0,8 \times 0,9 \times 425}{\text{тепло, идущее на диссоциацию}} + \frac{0,21 \times 200}{\text{тепло, уносимое брикетами извести}} + \frac{y \times 2400 \times 0,5}{\text{потеря тепла печью}} + \\
 & + \frac{y \times 2400 \times 0,05}{\text{потеря тепла шахтой}}. \quad (14)
 \end{aligned}$$

Отсюда определяем удельный расход топлива:

$$y = 0,67 \text{ кг.}$$

В условном топливе этот удельный расход выразится цифрой

$$\frac{0,67 \times 2400}{7000} = 0,23.$$

Продукты горения, получаемые при сжигании топлива, идущего на 1 кг извести, дают продукты горения следующего состава и количества: CO_2 — $1,082 \cdot 0,67$; H_2O — $0,764 \cdot 0,67$; N_2 — $2,66 \cdot 1,3 \cdot 0,67$; O_2 — $0,796 \cdot 0,67 \cdot 0,3$, итого продуктов горения 3,75 кг: 1 кг изв.

	CO_2	H_2O	N_2	O_2	Итого
В %	19,5	13,8	62,4	4,3	100
В молях	4,44	7,66	44,5	2,69	59,29
В % объема	7,8	12,9	75	4,5	100

Состав газов, выходящих из шахты, учитывая CO_2 , получаемое в процессе диссоциации, можно найти следующим образом:

При получении 1 кг извести из мела, CO_2 выделится в количестве: $2,1 \cdot 0,8 \cdot 0,9 \cdot 0,44 = 0,665$ кг, что составит в молях $665 : 44 = 15,1$,

Состав газообразных продуктов, выделяемых из шахты:

	CO_2	H_2O	N_2	O_2	Всего сух. газов
В молях	19,54	7,66	44,5	2,69	66,73
В % по объему к сух. газам	29,3	—	66,7	4,0	100

Если температуру отходящих газов мы понизим на 100° , то, как мы это можем видеть из соответствующего подсчета, удельный расход топлива уменьшится на 9%. Однако, считаем, что *следует идти не в направлении понижения температуры отходящих газов, а наоборот, в направлении их увеличения с тем, чтобы в шахте создать наиболее благоприятные условия обжига. Коэффициент же полезного действия установки следует увеличить путем использования тепла уходящих газов из шахты для каких-либо технических целей, требующих более низкого теплового потенциала, как например, для сушки, парообразования или, в крайнем случае, прибегнуть к воздушному экономайзеру для питания топок горячим дутьем.* Поскольку мел является сырьем не только для обжига извести, но также самостоятельным ценным техническим продуктом, то полагаем, что на тепловых отходах шахтной печи выгоднее будет организовать сушку мела.

Ити по пути повышения температуры отходящих газов в данном случае выгодно еще по следующим соображениям:

1) Повышение теплового потенциала во всех зонах печи значительно ускоряет процесс обжига, а это ведет, при прочих одинаковых условиях, к понижению высоты шахты, что уменьшает нагрузку на внизулежащие брикеты. Улучшение условий обжига даст больше, чем 9-проц. экономия топлива, получаемая от

понижения температуры отходящих газов, тем более, что эти потери будут возмещены использованием тепла отходящих газов в сушилке.

2) Поскольку брикеты влажны, необходимо возможно быстрее произвести обсушку их поверхности, чтобы избежать склеивания брикетов; последнее может явиться одной из главных причин образования в печи козлов. Чтобы проверить, можно-ли сразу мокрые брикеты ввести в зону высоких температур, не вызывая их распада, нами были для опыта просушены мокрые брикеты в печи, предварительно накалинной до $500-700^{\circ}$. Брикет при таких условиях оставались целыми.

Определим продолжительность пребывания брикетов в каждой зоне печи, при установленных нами условиях; для сравнения определим время пребывания в каждой зоне брикетов в 6 и 15 см.

Зона диссоциации. Температура газов по выходе их из зоны диссоциации определится, если составим для зоны обжига тепловой баланс на 1 кг извести, который выразится в следующем виде:

Приход тепла	Расход тепла
1) Тепло, вносимое топливом $0,67 \cdot 2400$. . . = 1610 кал	1) Тепло, идущ. на диссоц. $2,1 \cdot 0,6 \cdot 0,9 \cdot 425$ = 643 кал
2) Тепло, вносимое в зону охлаждения нагретыми брикетами $2,1 \cdot 0,8 \cdot 0,21 \cdot 650$. . . = 299 .	2) Тепло, идущ. на нагрев извести в зоне охл. $0,21 \cdot 1000$. . . = 210 .
3) Тепло, вносимое в зону охлад. нагретым воздухом, проходящим через зону охлаждения = 168 .	3) Тепло на нагрев CO_2 , получ. от диссоц. от темп. диссоц. 850° до темп. газов по выходе их из зоны обжига $2,1 \cdot 0,8 \cdot 0,9 \cdot 0,44 \cdot 0,24 (X - 850)$. . . = $0,16X - 135$ кал
	4) Тепло, уносим. продуктами горения: $0,67 (0,29 + 0,228)$ = $1,02X$.
	5) Потери в топке $0,05 \cdot 0,67 \cdot 2400$. . . = 80,4 .
	6) Потери в зоне обжига $0,03 \cdot 0,67 \cdot 2400$ = 80
Итого . . . 2077 кал	Итого $1,18X + 878$

где X = средняя температура газов по выходе их из зоны обжига = $(2077 - 878) : 1,18 = 1003^{\circ}$.

Поскольку мы организуем процесс горения в зоне обжига так, чтобы он шел по всей зоне, то за среднюю температуру зоны обжига принимаем 1100° .

Время, нужное для проведения процесса диссоциации при взятых нами условиях найдем из данного нами уравнения:

$$\frac{1,5 \cdot 10^6 \cdot 10^3}{1100 - 850} \left(\frac{0,6}{30} + \frac{0,0036}{4 \cdot 0,6} \right) = 2,23 \text{ часа для брикетов в } 6 \text{ см.}$$

$$\frac{1,5 \cdot 106 \cdot 10^3}{1000 - 250} \left(\frac{0,15}{30} + \frac{0,0225}{2,4} \right) = 8,3 \text{ часа для брикетов в } 15 \text{ см.}$$

Теплопроводность λ для извести берем 0,6; $\alpha = 30$.

Зона нагрева. Температура газов после зоны обжига равняется, как мы раньше видели, 1003° . Температура газов после зоны нагрева T_n , где меловой брикет нагревается от 100° до 850° , определится из следующего уравнения:

$$\frac{0,67(1,29 + 0,228) \cdot (1003 - T_{\text{н}})}{\text{тепло, вносимое продуктами горения}} + \frac{2,1 \cdot 0,8 \cdot 0,9 \cdot 0,44 \cdot 0,24}{\text{тепло, вносим. CO}_2 \text{ диссоц.}} \times$$

$$\times (1000 - T_{\text{н}}) = \frac{2,1 \cdot 0,8 \cdot 0,9 \cdot 0,21(850 - 100)}{\text{тепло, идущее на нагрев}} + \frac{0,67 \cdot 2400 \cdot 0,4}{\text{потери на излу- чение шахтой.}}$$

Решая это уравнение относительно $T_{\text{в}}$ будем иметь, что $T_{\text{в}} = 722^{\circ}$.

Определим время, нужное для процесса нагрева брикетов от 100° до 850°.

Делим эту зону нагрева, допустим, на 3 вспомогательных зоны, имеющие одинаковые перепады температур газов в каждой зоне. Этот перепад будет:

$$\frac{1000^3 - 722^3}{3} = 93^3.$$

Средняя температура в первой вспомогательной зоне будет

$$\frac{1000^2 + (1000^2 - 93^2)}{2} = 953^2.$$

Брикет, проходя через первую вспомогательную зону, нагревается, и его теплосодержание увеличивается на величину, равную

$$[0,67(1,29+0,8)+2,1\cdot0,8\cdot0,9\cdot0,44\cdot0,24]\cdot93\cdot\frac{0,67\cdot2400\cdot0,04}{3}=88 \text{ кал.}$$

Увеличение температуры брикетов ΔT_k за время прохождения их через каждую из вспомогательных зон, определяется из уравнения:

$$0,21 \cdot 2,1 \cdot 0,8 \Delta T_{\text{н}} = 88, \text{ откуда } \Delta T_{\text{н}} = 250^{\circ}.$$

Определим период времени, нужный для прохождения брикета через каждую из вспомогательных зон, чтобы он успел нагреться до 250° . Допустив, что температура газов в данной зоне постоянна и равняется выведенной нами средней температуре (а температура брикета в начале зоны во всей массе равняется средней температуре брикета), мы сможем воспользоваться методом определения этого времени, как это было изложено нами выше (пользуясь таблицами Гребера).

Определяем для данного случая значение критерия $hR = \frac{\alpha}{\lambda}$.

Для нашего случая при брикете диаметром в 6 см $hR = \frac{30 \cdot 0,03}{0,8} = 1,12$, а для брикета диаметром в 15 см $hR = 2,8$. Средняя температура в первой зоне, как мы видели выше, $= 953^{\circ}$.

Средняя температура брикета в начале зоны $850 - \frac{750}{3} = 600^{\circ}$.

Если принять, что температура среды, в которой брикет нагревается, равняется 0 (данное условное обозначение температуры, как показано было выше, должно быть принято при этом методе расчета), то температура брикета в этой системе выразится: $\Theta_x = 600^{\circ} - 953^{\circ} = -353^{\circ}$, откуда теплосодержание брикета по отношению к условно взятому нами нулю, $\Theta_x = 2,1 \cdot 0,21 \cdot (-353) = -124 \text{ кал}$. Зная, что цилиндр получил 88 кал тепла, а его первоначальное теплосодержание при условном нуле $= 124 \text{ кал}$, то функция $\psi(hR, \frac{at}{R^2})$ будет равняться $\frac{88}{124} = 0,709$. По данному значению функции и по значению hR можно найти по таблице или диаграмме величину $\frac{at}{R^2} = 0,75$,

где $a = \frac{\lambda}{c\gamma} = \frac{0,8}{1500 \cdot 0,21}$.

Пользуясь этим уравнением, определяем для брикета диаметром в 6 см значение:

$$\frac{at'}{R^2} = \frac{0,8 \cdot t'_6}{0,21 \cdot 1500 \cdot 0,0009} = 0,75,$$

откуда время прохождения через 1-ю вспомогательную шахту для брикетов диаметром в 6 см $t'_6 = 0,266$ часа, а для брикетов диаметром в 15 см $\frac{at'}{R^2} = \frac{0,8 \cdot t'_{15}}{0,21 \cdot 1500 \cdot 0,0056} = 0,33$,

откуда для брикетов диаметром в 15 см $t'_{15} = 0,73$ часа.

Определим время прохождения брикета через 2-ю вспомогательную зону.

Средняя температура во 2-й вспомогательной зоне будет:

$$\frac{1000 - 93 + 1000 - (93 \cdot 2)}{2} = 861^{\circ}.$$

Средняя температура брикета в начале второй зоны будет $1000^{\circ} - 250^{\circ} = 750^{\circ}$.

Средняя температура брикета, если принять температуру среды 0, будет $350^{\circ} - 861^{\circ} = -511^{\circ}$.

Теплосодержание брикета при этом условном нуле будет:

$$Q_2 = 2,1 \cdot 0,21 \cdot (-511) = -225, \text{ откуда } \psi \left(hR, \frac{at}{R^2} \right) = \frac{88}{225} = 0,391.$$

$$\text{Значение для } \frac{at}{R^2} = \frac{0,8 \cdot t_6''}{0,21 \cdot 1500 \cdot 0,0009} = 0,25 = 2,83 t_6'',$$

откуда для брикета диаметром в 6 см $t_6'' = 0,0885$, а для брикета диаметром в 15 см

$$\frac{a t_{15}''}{R^2} = \frac{0,8 t_6''}{0,21 \cdot 0,500 \cdot 0,56} = 0,15 = 0,455 t_{15},$$

откуда $t_{15}'' = 0,33$.

Определим время прохождения брикета через третью вспомогательную зону.

Средняя температура в средней вспомогательной зоне будет:

$$722^{\circ} + \frac{93^{\circ}}{2} = 768^{\circ}.$$

Средняя температура брикета в начале 3-й зоны 100° .

Средняя температура брикета (если принять температуру среды 0), будет $100^{\circ} - 768^{\circ} = -668^{\circ}$.

Теплосодержание брикета при этом условном нуле будет:

$$Q_3 = 2,1 \cdot 0,8 \cdot 0,21 \cdot 668 = 235,$$

откуда

$$\psi \left(hR, \frac{at}{R^2} \right) = \frac{88}{35} = 0,373,$$

т. е. почти такая же как во 2-й зоне, а потому и время прохождения брикета через 3-ю зону нагревания будет тоже таким же, как через 2-ю зону, т. е. для брикетов диаметром в 6 см $t_6''' = 0,08$, а для брикетов диаметром в 15 см $t_{15}''' = 0,33$.

Время прохождения брикета через всю зону нагревания будет, равняться сумме времени прохождения их через все вспомога-

тельные зоны или для брикета диаметром в 6 см $= 0,25 + 0,082^{\times 2} = 0,42$ часа, а для брикета диаметром в 15 см, $0,73 + 0,33^{\times 2} = 1,39$ часа.

Зона сушки. Время, нужное для прохождения брикета через зону сушки, может быть найдено по выведенной нами выше формуле III.

$$T_c = \frac{540 \cdot 10^3 \cdot \gamma \cdot w}{4(T - 100)100} \left(\frac{D_n}{\alpha} + \frac{D_n^2}{4\lambda} \right).$$

Для брикетов диам. 6 см

$$t_{c6} = \frac{20 \cdot 1,5 \cdot 540 \cdot 10^3}{100 \left(\frac{722 + 217}{2} - 100 \right)} \left(\frac{0,06}{30} + \frac{0,0036}{408} \right) = 1,37 \text{ часа.}$$

Для брикетов диам. 15 см

$$t_{c15} = 0,44(5 + 7,1) = 5,3 \text{ часа.}$$

Зона охлаждения. Первоначальная средняя температура брикета в этой зоне 1000° .

Средняя температура брикетов по выходе из зоны охлаждения $= 200^\circ$.

Воздух проходит через зону охлаждения в количестве 0,3 от количества, нужного для теоретического сжигания топлива: $Q_v = 0,3 \cdot 3,49 = 1,047$ воздуха на кг топлива.

Берем температуру наружного воздуха 0.

Средняя температура брикета при вступлении его в зону обжига будет X , который определится из уравнения:

$$0,21 \cdot (1000 - 200) = 1,047 \cdot 0,22 \cdot X \cdot 0,67; \text{ откуда } X = 1097^\circ.$$

Считая, что потеря в кладке около 10 проц., получаем температуру воздуха при входе в зону горения равной

$$\frac{735}{0,67} \cdot 0,97 = 988^\circ.$$

Разделив зону охлаждения, как мы это сделали в зоне нагрева, на 3 зоны с одинаковым перепадом температур газов в каждой зоне, получим:

$$\text{В 1-й зоне: } \frac{0 + 988^\circ \cdot 0,33}{2} = 164^\circ.$$

$$\text{Во 2-й зоне: } \frac{328^\circ + 328^\circ \cdot 2}{2} = 492^\circ.$$

$$\text{В 3-й зоне: } \frac{988^\circ + 328^\circ \cdot 2}{2} = 820^\circ.$$

Температура брикета в 1-й зоне по отношению к середине
будет: $1000^{\circ} - 820^{\circ} = 180^{\circ}$.

Теплосодержание брикетов в 1-й зоне при условном 0 будет
 $180 \cdot 0,21 \cdot 1 = 37,6$.

В этой зоне брикет мела отдает тепла

$$37,6 \cdot 1,03 = 38,7.$$

Критерий hR для брикета диам. 6 см $\frac{30 \cdot 0,03}{0,6} = 1,5$, а для
брикета диам. 15 см $hR = \frac{30 \cdot 0,075}{0,6} = 3,75$.

Критерий $\frac{at}{R^2} = \frac{\lambda t}{c\gamma}$ для брикета диам. 6 см $= \frac{0,6 \cdot t}{1000 \cdot 0,21 \cdot 0,0009} =$
 $3,18t$, а для брикета диам. 15 см $= \frac{0,6 \cdot t}{1000 \cdot 0,21 \cdot 0,055} = 5,2t$.

Значение функций $\psi = \frac{\theta_c}{\theta_0}$ равняется $1 = 5,2t$.

По данному значению функции и критерию hR находим зна-
чение для $\frac{at}{R^2}$, который для брикетов диам. 6 см $= 4,5$, а для бри-
кетов диам. 15 см $= 2,75$, откуда время пребывания в первой зоне
охлаждения будет для брикетов в 6 см $31,8t_6 = 4,5$ часов
или $t_6' = 0,14$ час., а для брикетов диам. в 15 см $5,2t_{15}' = 2,75$ час.
или $t_{15}' = 0,53$.

Время прохождения через вторую вспомогательную зону опре-
делится следующим образом.

Средняя температура брикетов при поступлении во вторую
зону:

$$1000^{\circ} - \frac{38,7}{0,21} = 816^{\circ}.$$

Температура середины $= 492^{\circ}$.

Температура брикета, если принять температуру середины
0, будет $816^{\circ} - 492^{\circ} = 324^{\circ}$.

Теплосодержание брикета по отношению к температуре сре-
дины будет $1 \cdot 324 \cdot 0,21 = 68,4$.

Значение функций $\psi = \frac{Q_c}{Q_0} = 1$.

Значения критерия $hR \cdot \frac{at}{R^2}$ те же; откуда t — время, необходи-
мое для прохождения через 2-ую зону:

для брикетов диам. 6 см $= 0,14$ часа,

а для брикетов диам. 15 см $= 0,53$ часа.

Время прохождения через третью вспомогательную зону определится из следующего.

Средняя температура брикета при вступлении в третью зону:

$$1000^{\circ} - \frac{(37,6^{\circ} + 68^{\circ}) \cdot 1,06}{0,21} = 469^{\circ}.$$

Температура брикета по отношению к середине:

$$469^{\circ} - 164^{\circ} = 305^{\circ}.$$

Теплоемкость брикета по отношению к середине:

$$305 \cdot 0,21 = 56,6.$$

Средняя температура брикета не может быть ниже средней температуры середины, а потому $\psi = 42 : 56,6 = 0,74$ и $\frac{at}{R^2}$ для брикета в 6 см = 0,9, а для брикета в 15 см = 0,30, откуда $t_{15}'' = 0,06$.

Теперь можем определить время прохождения брикетов через всю зону охлаждения.

Для брикетов диам. 6 см $0,14 + 0,14 + 0,9 = 0,37$.

Для брикетов диам. 15 см $0,53 + 0,53 + 0,06 = 1,12$.

Время прохождения брикета через всю шахту будет:

Процессы	Для брикета в 6 см	Для брикета в 15 см
Сушка	1,37 часа	5,3 часа
Нагревание	0,42 "	1,39 "
Диссоциация	2,23 "	8,3 "
Охлаждение	0,37 "	1,12 "
Всего	4,39 часа	16,11 часа

VII. УСТАНОВКА ПО ОБЖИГУ РЫХЛОГО МЕЛА

а) Общие замечания

Изучив (выше указанными методами) влияние разных факторов на процесс обжига мела, нами запроектирована установка для получения извести из мела, согласно прилагаемым чертежам. Особенности этой установки заключаются в следующем:

- 1) мел, раньше чем поступить в печь, брикетируется;
- 2) процесс брикетирования идет автоматически и непрерывно;
- 3) загрузка в печь происходит также непрерывно и автоматически;

4) брикеты в печи подвергаются возможно меньшему давлению от собственного веса лежащих над ними слоев. Это достигается двумя приемами:

а) обжиг производится по возможности быстро и этим уменьшается необходимый объем печи;

б) печь книзу расширяется так, что удельное давление на низулежащие брикеты уменьшается;

5) максимально механизированы процессы при помощи недорогих и потребляющих немного энергии приспособлений;

6) облегчен труд обслуживающего персонала;

7) получен мощный по своей производительности агрегат. Все это удовлетворяет тем требованиям, которые мы выдвинули выше к желательной установке.

6) Разработка мела и его брикетирование

Мел в карьере разрабатывается механически—фрезерным или гидравлическим способом (второй способ окажется, вероятно, наиболее удобным и выгодным, если мел придется обогащать путем осаждения). Добытый мел транспортируется (см. проект печи для обжига брикетов) лентой (1) в бункер. Из бункера мел ленточным питателем (2) подается непрерывно на брикетировочную прессу (3). Брикетировочные пресса выбраны исходя из изготавливаемых на заводе БССР двух систем прессов (черт. 1—2):

1) фрикционные пресса для меньшей производительности 12—20 т в сутки;

2) эксцентриковые для большей производительности 80—100 т.

Фрикционный пресс—25-ти тонный и, как видно из прилагаемого чертежа, к подвижной его части вставлены три цилиндрических 8-ми гранных пуассона. Эти пуассоны входят плотно соответствующие им трубки, укрепленные в столе пресса (4). В нижней части трубки имеются суживающиеся наконечники (5), а сверху же трубки имеют общую воронку (6). Мел из бункера ленточным питателем (2) подается непрерывно в воронку (6). Поднимающиеся и опускающиеся пуассоны выдавливают мел через призматические трубки с наконечниками в виде призматических 8-ми гранных брикетов. Сужение наконечника подбивается таким, чтобы давление пуассона было около 50—100 атмосфер. Выходящий из трубки меловой брикет поддерживается площадкой (7), связанной с механизмом (8). Во время выхода брикета из цилиндра площадка поддерживает его снизу; когда же брикет вышел из-под пресса на определенное расстояние, площадка наклоняется, брикет отламывается и попадает на ленту (9), подающую его в загрузочный механизм шахты (10).

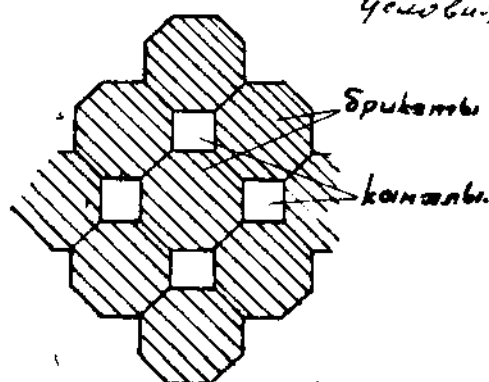
Форма брикета взята 8-ми угольной из следующих соображений.

1) При этой форме брикеты в печи с большей вероятностью будут соприкасаться друг с другом по плоскости, а не по точке

или линии, а значит напряжение, вызывающее раздавливание брикетов, будет меньше. (Теоретически брикеты с цилиндрическими поверхностями должны при сдавливании вызвать напряжение, равное бесконечности).

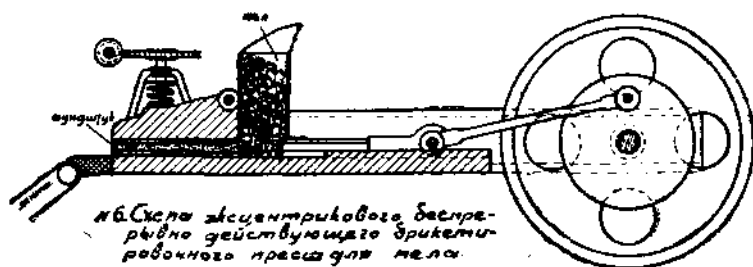
2) 8-ми угольная форма брикета не дает возможности заполнить все сечение шахты сплошь массой брикетов, и там безусловно должны оставаться определенные каналы, как это можно видеть из прилагаемой схемы.

При всех неблагоприятных условиях



№5. Схема расположения восьми- гранных брикетов в шахтной печи.

В эксцентриковом прессе брикеты получаются плоскими. Эта форма взята нами из тех соображений, что, как мы это видели, при наших теоретических выкладках, плоские брикеты должны



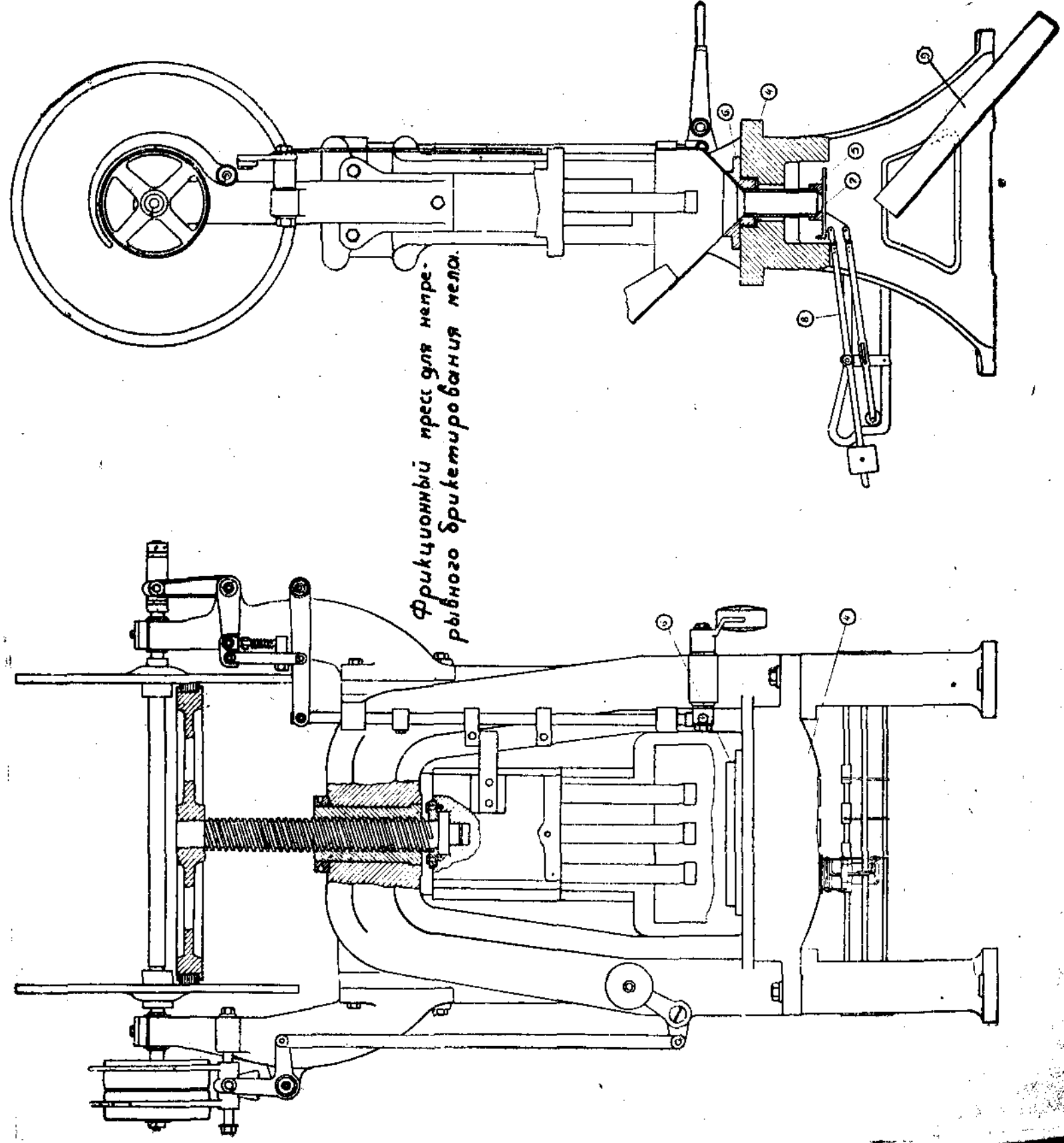
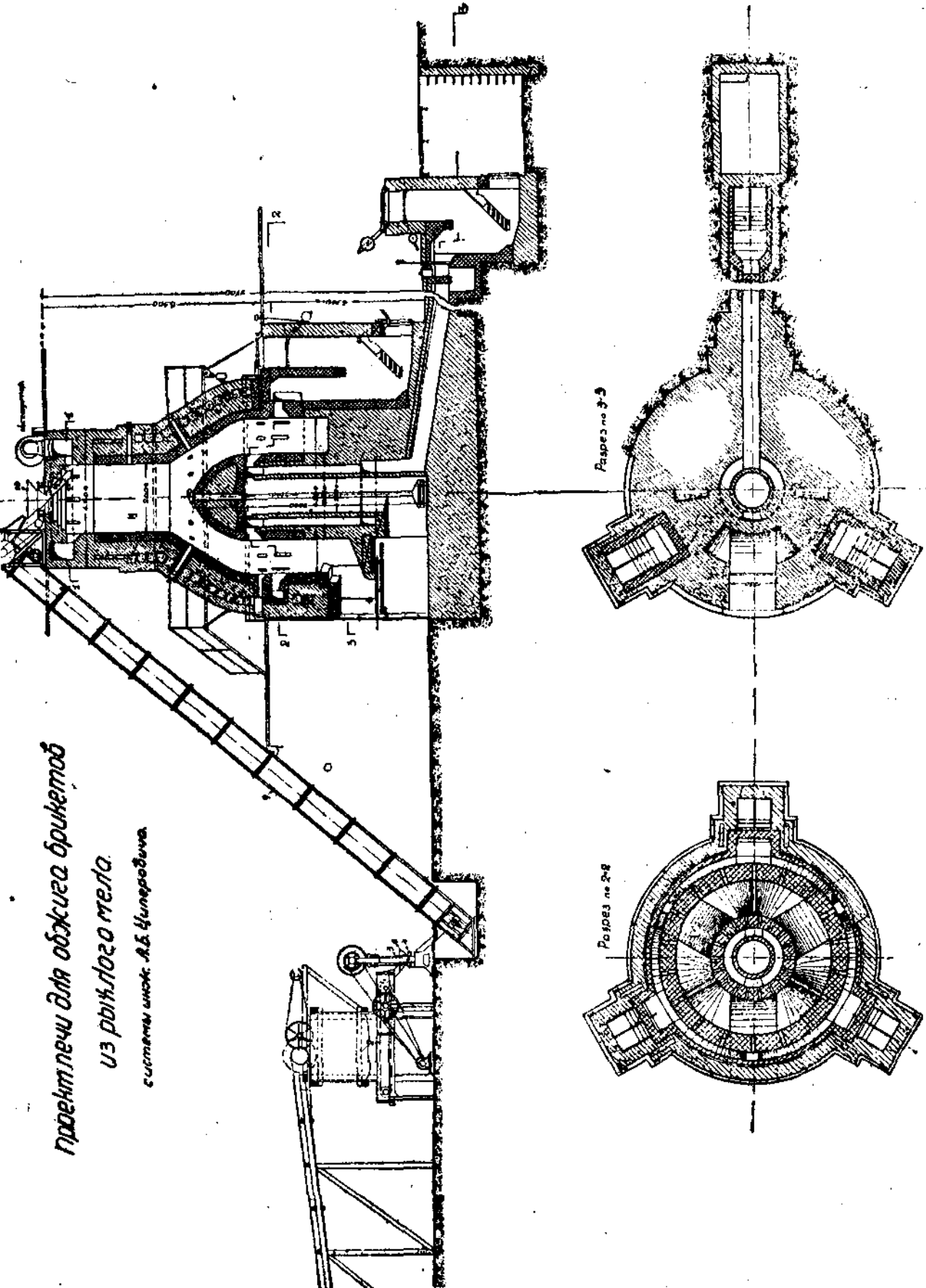
№6. Схема эксцентрикового двукратно действующего брикетировочного пресса для мела.

исключаясь
обжигаться в два раза быстрее круглых. Полагаем, что плоские брикеты окажутся слабее круглых и только практика покажет, на какой форме брикета нужно остановиться. Действие эксцентрикового брикетировочного пресса видно из схемы (№ 6).

Проект печи для обжига брикетов

из рыбного мела.

системы шокс А.Б. Циперова.



Фрикционный пресс для непрерывного брикетирования мела.

Кривошип при помощи шатуна за каждый оборот подает определенную порцию брикета из мундштука. Выходящие из пресса брикеты подаются лентой (9), как мы уже сказали, в воронку загрузочного механизма (10), откуда через рукав (11) они попадают в печь.

Действие загрузочного механизма следующее: при помощи червяка приводится во вращательное движение венец загрузочного механизма. К этому венцу прикреплена воронка с рукавом, так что воронка и рукав вращаются вместе с венцом. Рукав закрытый и имеет открывающиеся во внутрь дверцы (12). Эти дверцы должны мешать засосу воздуха внутрь печи через загрузочное отверстие. В самой печи брикеты укладываются рукавом у самых стенок и таким образом наваленные брикеты образуют воронку, имеющую центр в середине шахты. Угол наклона воронки—угол естественного откоса брикетов. Такая загрузка печи должна содействовать более правильному распределению газа в шахте, так как обычно он имеет стремление направляться вверх у стенок ее. При воронкообразной-же загрузке шахты в середине ее сопротивления уменьшены и газы проникают туда легче.

в) Конфигурация и устройство шахтной печи

В верхней части печь имеет цилиндрическую форму диаметром 2 м и высоту в 2,6 м от верхнего края рукава питателя. Дальше шахта переходит в усеченный конус высотой около 2,5 метра. Затем усеченный конус переходит в цилиндрическую форму диаметром в 4,5 м и высотой в 2,6 метра. Внутри нижней цилиндрической части шахты, в центре ее, поставлен пустотелый цилиндр из кирпича, имеющий в верхней части коническую форму. Образующие конуса цилиндры идут параллельно образующим усеченного конуса шахты. Дно шахты имеет наклонные плоскости, направленные к разгрузочным отверстиям. Пустотелый цилиндр, оставленный в середине шахты, имеет в своих стенках каналы, отводящие газ к отверстиям в верхней части цилиндра. Эти отверстия открыты в сторону шахты. Через ось цилиндра проходит пустотелый вал, оканчивающийся над конической частью цилиндра чугунным пустотелым толкателем.

Низ вала связан с вращающейся частью редуктора. Редуктор стоит внутри у основания цилиндра.

Печь обслуживается полугазовыми шахтными топками. Газ из этих топок распределяется по кольцевым каналам вокруг цилиндрической части шахты, где предполагается зона обжига. Канал имеет наклон от топок в обе стороны. Из канала газ через окнаходит в шахту. Окна распределены по всему периметру шахты. Высота топки от решетки до окон—свыше 3,5 метра.

Разгрузочное приспособление имеет вид площадки, катящейся на колесиках по рельсам. При работе печи площадка выдвинута

и обожженный мел попадает на нее, вываливаясь из разгрузочных отверстий шахты под углом естественного откоса. Во время разгрузки печи под разгрузочной площадкой подставляется тележка; площадка движется по рельсам внутрь печи и брикеты с площадки падают в тележку. Для дальнейшей работы печи площадка опять выдвигается. Желая сделать разгрузку непрерывной и механизировать ее, можно кривошипным механизмом заставить площадку непрерывно вдвигаться и выдвигаться на определенную длину и брикеты непрерывно будут падать в подставленную под площадку тележку. Разгрузочные отверстия прикрыты свисающими металлическими фартуками.

Если же брикеты разгрузочной площадки под действием влаги, поглощенной ими из воздуха и распадутся, то это не играет роли, так как осколки не забьют прохода в самой печи.

Объем запроектированной нами шахты будет:

Цилиндрическая часть

$$\text{Объем} = \frac{\pi D^2 h}{4} = \frac{3,14 \cdot 4 \cdot 2,2}{4} = 6,9 \text{ м}^3.$$

Коническая часть

$$\begin{aligned} \text{Объем усеченного конуса} &= \frac{1}{3} \pi h (R^2 + Rr + r^2) = \\ &= \frac{1}{3} 3,14 \cdot 2,2 (4,5^2 + 9 + 4) = 77,4 \text{ м}^3. \end{aligned}$$

Конус внутреннего цилиндра

$$\text{Объем} = \frac{1}{3} \pi r^2 h = \frac{3,14 \cdot 1,8 \cdot 2,5^2}{3} = 11,8 \text{ м}^3$$

Кольцевая часть

$$\text{Объем ее равняется} \frac{\pi(D^2 - d^2)}{4} = \frac{3,14(4,5^2 - 2,5^2)1,2}{4} = 13 \text{ м}^3.$$

Зона охлаждения

$$\text{Объем ее равняется:} \frac{\pi(D^2 - d^2)}{4} = \frac{3,14(4,5^2 - 2,5^2)1,8 \cdot 0,75}{4} = 14,9 \text{ м}^3.$$

Общий объем шахтной печи = 100,4 м³.

Примечание: Для зоны охлаждения взят объем с коэффициентом 0,75 в этой зоне, так как в последней имеются отвалы к выходам, уменьшающие объем шахты.

г) Производительность печи

Определим производительность печи по ее объему, считая удельный вес извести в брикетах за 1, коэффициент наполнения печи—0,5.

Общий вес брикетов извести, кои могут помещаться в зонах обжига, нагрева и сушки печи, будет:

$$0,5 \cdot 85,5 \cdot 1 = 42,75 \text{ тонны}$$

Брикеты, имеющие диаметр 6 см, как мы видели раньше, должны пройти зону сушки, нагревания и диссоциации за 4,39 часа а брикеты, имеющие диаметр в 15 см за 16,11 часов. Следовательно, суточная производительность печи, исходя из ее объема, будет для брикетов, имеющих диаметр 6 см:

$$\frac{42 \cdot 24}{4,39} = 239 \text{ т в сутки,}$$

а для брикетов имеющих диам. 15 см

$$\frac{42 \cdot 24}{16,11} = 63 \text{ тонны.}$$

Этой производительности в данной запроектированной печи получить нельзя будет, так как ее лимитирует возможность сжигания нужного для этого количества топлива в запроектированных тепло-сжигательных устройствах. (Расчет производительности печи при запроектированных нами топливо-сжигательных устройствах мы даем ниже). Лишний же объем шахты считаем полезным, т. к. наши выводы построены теоретически и проверены только лабораторно.

Как мы видели из вышеприведенного расчета, производительность печи может колебаться в очень больших пределах и лимитом производительности предлагаемой печи является топочное устройство. На чертежах показаны три топки с зеркалами горения в 1,2 м каждое, затем цилиндр снабжается газом из генератора с сечением зоны газификации 1,5 м². Для топок можно брать нагрузку на зеркало горения в 350 кг/м², а для шахты генератора 200 кг, (генератор предполагается ввести на смеси торфа и дров). Следовательно, на этом топочном устройстве можно будет сжигать дров (1,2 · 3 · 350 + 1,2 · 200) = 34200 кг в сутки.

Поскольку удельный расход топлива в этой установке должен быть около 0,67, то суточная производительность печи, исходя из ее топливосжигательной способности, будет:

$$\frac{34 \cdot 200}{0,67 \cdot 1000} = 51 \text{ т в сутки.}$$

При установке еще одной топки к этой печи производительность, понятно, повысится. Для работы печи при том режиме, на который был произведен ее расчет, нужно, конечно, подобрать брикет определенного размера.

д) Мощность моторов для брикетировочных прессов

Для получения одной тонны извести из климовичского мела, как мы это видели раньше, нужно обжечь 2,1 брикетов. Обозначая площадь брикетов через Ω , среднюю скорость прохождения через мундштук в метрах через $V_{\text{м.р.}}$, давление, с которым выдавливаем мел через мундштук, $\pi \text{ кг/см}^2$, коэффициент полез-

ного действия брикетировочной установки через $\eta = 0,6$, то мощность мотора N (л. с.) найдем из следующего выражения:

$$\frac{\Omega \cdot P \cdot V_{\text{м}}}{75\eta} = N; \text{ но } \frac{V\Omega \cdot 360}{10^4} = \text{часовому объему мела в метрах} = \frac{2,1}{\gamma}$$

откуда

$$N = \frac{2,1 \cdot 10^4 \cdot 60}{\gamma \cdot 3600 \cdot 75 \cdot 0,6} = 5,2 \text{ л. с. (при } \gamma = 1,5).$$

Отсюда мы видим, что для брикетирования 2,1 т мела в час что даст 1 т извести, потребуется мотор мощностью в 5,2 л.с

е) Анализ особенностей формы и конструкции установки

При выбранной форме печи брикеты не подвергаются в ней большой нагрузке. В самом деле, на единицу площади сечения верхнего цилиндра внизу удельное давление может быть выражено следующим уравнением:

$$\frac{\pi D^2 \lambda \cdot \gamma \cdot K}{4} : \frac{\pi D^2}{4} = h \gamma K,$$

где h —высота шахты под данной поверхностью, γ —вес одного дециметра брикета, равный 1,5 кг., K —коэффициент наполнения шахты, равный 0,5. Следовательно, давление на брикеты в нижней части цилиндра (в атмосферах) будет $\frac{2,4 \cdot 1,5 \cdot 0,5}{100} = 0,18 \text{ ат.}$

Вычислим загрузку на брикеты, находящиеся в самом неблагоприятном положении в отношении раздавливания, именно лежащие в самой нижней части шахты. Объем шахты, как мы видели раньше, равен 100 м³. Если считать, что брикеты в шахте обожжены на 25 проц. и исполнение шахты равняется 0,5, тогда вес брикетов в объеме шахты равняется:

$$100 \cdot 0,5 \cdot 1,5 \cdot 0,75 = 56 \text{ тонн.}$$

Площадь давления этого веса будет:

$$\frac{\pi(D^2 - d^2)}{4} = \frac{3,14(4,5^2 - 2,5^2)}{4} = 11 \text{ м}^2,$$

откуда удельное давление на брикеты, лежащие на дне шахты, равняется 0,5 ат. Мы видим, что в шахте данной конфигурации брикеты будут подвержены давлениям, значительно меньшим тех, каким они были подвержены в лабораторных испытаниях на раздавливание в навалку. Фактически это давление будет еще меньше, так как часть тяжести брикетов в шахте воспринимает на себя пустотелый цилиндр, находящийся в середине печи. Уменьшение давления на дно шахты, вследствие восприятия в части давления внутренним цилиндром, не учтено и не введено в расчет определения давления на дно шахты.

Форма и устройство внутреннего цилиндра шахты. Размер цилиндра взят таким, чтобы толщина слоя брикетов в зоне обжига (несмотря на большой объем печи 100 м, и высоту не больше 7 м) была бы равна 1 метру. Цилиндр имеет внутреннюю полость диаметром 1 метр. Эта полость сделана для того, чтобы можно было (если это понадобится) залезать внутрь цилиндра и производить ремонт его (конечно, для этого нужно будет принять некоторые меры предосторожности раньше чем пустить туда рабочего для ремонта, напр. произвести вентиляцию, одеть рабочего в специальную одежду, не так легко воспламеняющуюся и т. д.) Вертикальный вал цилиндра с толкателем на конце, вращаясь, должен будет мешать образованию козлов внутри печи и нарушать их, если начнется их образование (образование козлов в этой печи вообще маловероятно, поскольку шахта печи имеет расширяющуюся книзу форму). Вал, проходящий через цилиндр, сделан пустотелым с тем, чтобы через него можно было осуществить водяное или воздушное охлаждение толкателя. Вылеты для газа в верхней части цилиндра лежат несколько выше отверстий каналов топок и расположены по отношению к ним в шахматном порядке. Этим достигается то, что газы, выходя из нижней части зоны обжига и охлаждаясь в процессе диссоциации, снова подогреваются так, что их температура всегда выше температуры диссоциации и таким путем обеспечивается равномерная температура обжига во всей зоне.

Какое громадное значение имеет повышение температуры в зоне обжига свыше 350° на скорость обжига, мы можем проследить на приведенной нами выше номограмме.

Конструкция и форма топок.

Для печи выбраны полугазовые топки с тем, чтобы:

1) процессы горения заканчивались не в топке, а в самой шахте и этим обеспечивалась бы в шахте температура не слишком высокая (которая может дать мертвый обжиг) и не слишком низкая. Низкая температура также чрезвычайно нежелательна. Если повышенная температура газов увеличивает скорость обжига пропорционально разности между температурой газов и 850° , то понижение температуры действует замедляющим образом в гораздо более сильной степени. Понижение температуры газа на 100° от 850° замедляет скорость диссоциации во много раз (как мы видели раньше);

2) кроме того полугазовая топка дает возможность использовать тепло, выносимое брикетами из зоны обжига: воздух, необходимый для окончания процесса горения, пропускается не через топку, а через зону охлаждения, где он забирает тепло, выносимое брикетами из печи и вносит его обратно в печь. Топка поставлена низко с тем, чтобы получить в ней гидравлический напор газов и этим обеспечить выход их из отверстий с извест-

ным давлением, под которым газы могли-бы проникнуть во всю толщу обжигаемых в печи брикетов.

Разгрузочное приспособление печи.

Разгрузочное приспособление печи выбрано такой системы, чтобы его легко можно было механизировать и вместе с этим пользоваться им вручную. Фартук над разгрузочным отверстием имеет целью заставить воздух, раньше чем войти в шахту, пройти через обожженную известь, лежащую на площадке и отдать ей свою влагу. Таким образом брикеты в шахте, омываясь сухим воздухом, не распадутся ¹⁾).

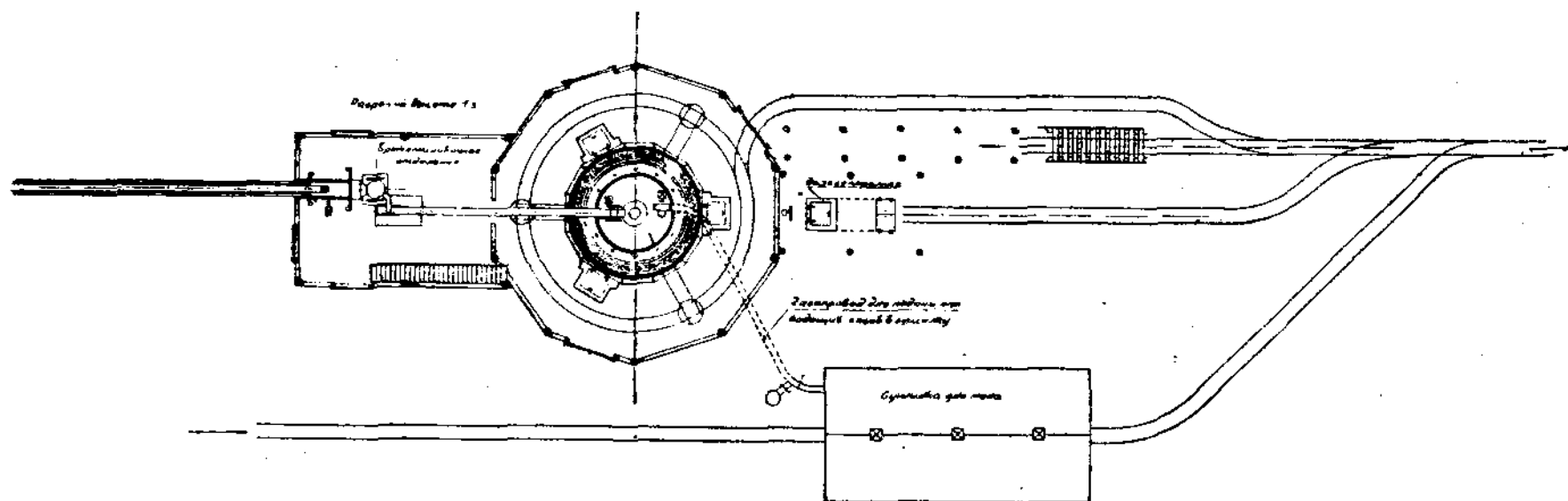
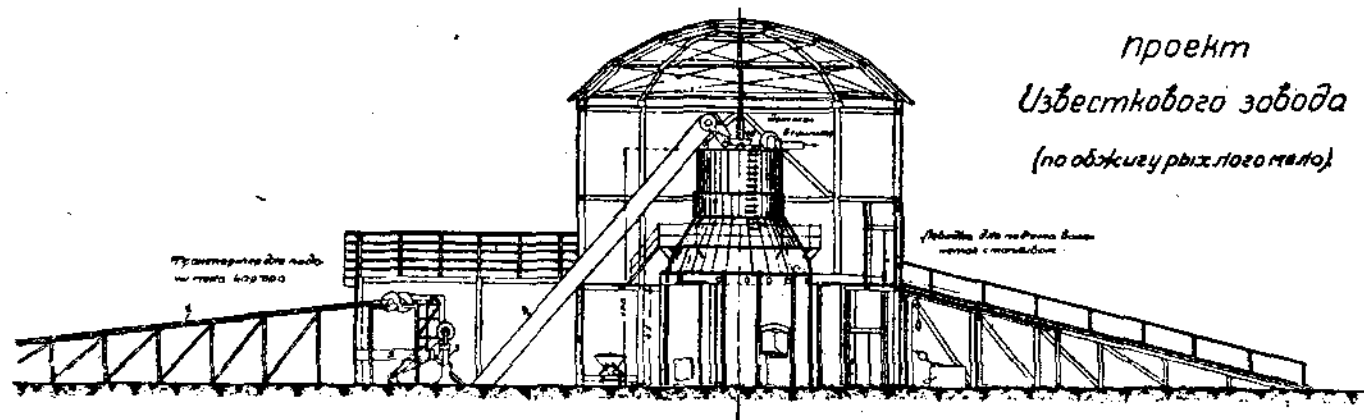
* * *

Мы дали в этой работе, являющейся результатом выполнения задания промышленности, метод обжига рыхлого мела путем брикетирования. Выбранный нами метод подкреплён экспериментальными данными и теоретическими расчетами. Для возможности практического осуществления обжига рыхлого мела по данному методу мы должны были разработать оригинальные конструкции на основе соответствующих расчетов.

Нам думается, что вопрос практического освоения рыхлого мела, как сырья для извести, можно считать принципиально разрешенным и этим самым открываются широкие возможности рационального использования этого качественно своеобразного сырья.

¹⁾ Конструктивная часть настоящей работы выполнена при помощи конструктора Белорусского научно-исследовательского института промышленности т. Бартоновского, а экспериментальная часть — при помощи сотруд. ин-та т. Шрайбман.

проект
Узбесткобного завода
(по образцу рыхлого мала)



ВЫШЛІ З ДРУКУ

наступныя працы Навукова-даследчага інстытута
прамысловасці БССР

I. Спальванне фрэзернага торфу

1. А. Б. Цыперовіч—Метады і прыёмы спальвання фрэзернага торфу.
2. А. Б. Цыперовіч—Дынаміка працэсу гарэння фрэзернага торфу.
3. А. Б. Цыперовіч—Канструкцыі ўстановак НДІ прамысловасці па спальванню фрэзернага торфу.

1934 г., цана 1 р. 40 к.

II. Известь из мела

- А. Б. Циперович—1) Теория процесса обжига
2) Расчет известковой шахтной топки.
3) Конструкция шахтной печи для обжига
рыхлого мела.

III. Мясцовая сыравіна для шкляной вытворчасці

(Частка I)

1. І. І. Кітайгародскі і Н. С. Брэгман—Выкарыстанне даламітаў у механізаванай вытворчасці шкла.
2. І. І. Кітайгародскі і І. В. Мяхлоў—Пылавідны лясак у працэсе шкла ўтварэння.
3. І. І. Кітайгародскі, В. Лапацінская і А. Розін—Лёгкаплаўкія азёрныя гліны ў шкляной вытворчасці.
4. І. І. Кітайгародскі і Д. Дзмітраў—Скарыстанне глаўканітавых парод у шкляной вытворчасці.
5. І. І. Кітайгародскі, В. Лапацінская і Д. Дзмітраў—Доследы асвятлення шкла з глаўканітавых і лёгкаплаўкіх азёрных глін.
6. С. Я. Гурэвіч і А. Я. Розін—Да праектавання новага шклазавода на базе лёгкаплаўкіх глін Асінаўскага раёна.

IV. Аэробная мочка ільну(частка I)

1. Праф. Макрынаў І. А.—Агульная характарыстыка спосабу аэробнай мочкі ільну.
2. Раро Я. С.—Грыбы ў працэсе аэробнай мочкі ільну.
3. Булгакова М. П.—Анатамічнае і мікрахімічнае даследаванне ільнянай саломы, трасты і валакна пры аэробнай мочцы.

4. Капцелава Я. Ф.—Хімічны састаў саломы, трасты, валакна і мачыльнай вадкасці азробнай мочки саломы.

5. Пескін А. Л.—Тэхналогія азробнай мочки ільну дажджаваннем

V. Будаўнічыя і вяжучыя матэрыялы на базе мясцовай сыравіны БССР (частка 1)

1. Я. С. Віткін—Кааліны БССР і іх прамысловае скарыстанне.

2. Г. М. Чарненка і І. В. Семёнаў—Агнетрывалыя гліны БССР і горных адводаў.

3. І. П. Райгарадзецкі і П. В. Захаронак—Керамзіт з глін БССР штучны пемзавідны матэрыял для цеплабетону.

4. В. А. Краснашчокаў—Трэпелы БССР, як гідраўлічная да баўка да партланд-цэменту.

5. В. А. Краснашчокаў—Уплыў тэмпературы на гідраўлічныя ўласцівасці трэпелаў.

6. В. А. Краснашчокаў—Даследванне пылавідных пяскоў, як дамешкі да партланд-цэменту.

7. І. П. Райгарадзецк —Будаўнічая цегла з глін БССР на спосаб сухаго прэсвання.

1934 г., цана 2 р. 70 к.

VI. Сушильные установки (теория, расчет, схемы конструкции) ч. I

1. И. Л. Любошиц—Камерная сушка бумаги.

2. И. Л. Любошиц—Непрерывно-действующая ленточная сушилка для мела.

VII. Мінеральныя ўгнаенні на базе сожайскіх фасфарытаў (частка 1)

1. Праф. С. І. Вальфковіч—За соцыялістычную тукавую прамысловасць БССР.

2. П. Розін—Фасфарытная база БССР (геолага-эканамічная характарыстыка сожайскага месцазалажання)

3. Д. Гурэвіч і К. Апушкін—Экстракцыя фосфарнай кіслаты сожайскага фасфарыта сярчанай кіслотой.

4. Л. Гурэвіч—Прэцыпітаванне фосфарнай кіслаты мясцовай рухляковай крэйдай.

5. Л. Гурэвіч і Р. Сіманоўская—Суперфасфаты з сожайскага фасфарыта.

6. Л. Гурэвіч і Р. Сіманоўская—Азотна-кіслотная пераапрацоўка сожайскага фасфарыта.

7. Л. Гурэвіч і Б. Прыборкін—Амафос з сожайскага фасфарыта.

8. Ф. Белаш, Р. Сіманю́ская і В. Прыборкін—Флатацыйны канцэнтрат з сожаўскага фасфарыта.

VIII. Асваенне вытворчасці (ч. 1)

(Зборнік, прысвечаны XVII Партз'езду)

1. В. Краснашчокаў—Асваенне Крычаўскага цэментнага заводу.

2. А. Б. Цыперовіч—Рэканструкцыя Дзяржынскага вапнавага завода.

3. Н. Брэгман, В. Лапацінская і Д. Дамітраў—Устаўленне правільнага рэжыму адпальвання шкла на заводзе "Окцябр".

4. М. Я. Робінаў, І. Л. Марковіч і А. Д. Шапіра—Асваенне кастры і саломы ільну-даўгунца ў папярвай вытворчасці.

5. Д. Мінкоўскі і Ю. Пяска—Да пытання асваення электраабсталявання прамысловых прадпрыемстваў.

6. А. Б. Цыперовіч—Адбор і аналіз газаў (патэнт аўтара № 18573)

Д Р У К У Ю Ц Ц А

IX. Скура (Зборнік навукова-доследчых прац, ч. 1)

1. Ф. Осіпенка—Кансерваванне скуры сабак.

2. Ф. Осіпенка—Кандыцыраванне апойка.

3. Ф. Осіпенка і С. Анцэлевіч—Дубіцелі з торфу.

4. Ф. Осіпенка і Э. Ліпкіна—Сінтэтычныя дубіцелі з торфу.

5. Ф. Осіпенка і С. Анцэлевіч—Уплыў процантнага саставу вокісу хрома і тлушчу на фізіка-механічныя ўласцівасці скуры.

6. Ф. Осіпенка і Л. Капелевіч—Уплыў прыроды тлушчу на фізіка-механічныя ўласцівасці скуры.

7. Л. Капелевіч—Уплыў захавання голля ў пікеляваным відзе на якасць скуры.

8. Ф. Осіпенка і Г. Кастэнка—Павышэнне вадаўстойлівасці казеінавых фарбавальнікаў.

Р Ы Х Т У Ю Ц Ц А Д А Д Р У К У

X. Да характарыстыкі тэхналагічных уласцівасцяў глін БССР

1. А. М. Розін—Геалагічны нарыс месцазалажанняў глін БССР.

2. П. П. Міхалап—Характарыстыка керама-тэхналагічных уласцівасцяў глін БССР.

XI. Гідроліз торфу (атрыманне спірту з торфу).

XII. Пірафіліты БССР і іх скарыстанне.

XIII. Сушыльныя і печныя установкі (ч. II).

~~29865~~

✓ Spine nonunion

4. Не практически существуют методы
модели для общего взаимодействия. Выход

SECRET

тять, что для лучшей работы печи и получения лучшей извести полезно соблюдать следующие условия.

5. Что-б толщина слоя ~~печи~~ ~~промышленного~~ пламени была бы не больше 1000 мм в горизонтальном направлении.

6. Чтобы в грузки и в грузка печи происходила непрерывно.

7. Мед анодуемый в анодотый является сам по себе широко употребляемым ценным сырьем промышленности и это приводит нас к выводу, что для лучшего использования тепла печи для обжига меда有必要 строить печи высотой в 22-24 м., как это делают иногда для известняки, а горючие рациональнее идти в сторону повышения температуры для отходящих газов на печи путем снижения высоты печи, с тем, что бы тепло уносимое этими газами использовать в сушилах для меда, которые должны быть построены при шахтных печах для обжига извести.

Вышеуказанные соображения легли в основу данного проекта закона.

ОБЩЕЕ ОПИСАНИЕ УСТАНОВКИ.

П 2.3.1

Печь имеет форму широкогорлой бутылки с полым сердечником большого диаметра в середине ее. Конфигурация печи такова, что ~~площадь~~ ~~ее~~ сечений левых близи к основанию все растут, что можно видеть на прилагаемой схеме, где на оси ординат отложены высоты, а на абсцисс — площади соответствующих данной высоте сечений печи. По периферии печи между 4-мя выгрузочными отверстиями расположены 4 полукопировочных точки для сжигания торфа. На тонких

продукты горения вертикальным каналом, идущим вверх и кольцевым, охватывающим периметр печи и зольника, впадают через входы в печь. Сердечник имеет в толще зольника сток для вертикального канала, переходящий в кольцевой канал в верхней части сердечника с вылетом в зону обжига печи. Через эти два вертикальных канала газ из генератора подается в печь; сердечник имеет центральную цилиндрическую полость диаметром в метр, что дает возможность обслуживать входы карьера изнутри.

Воздух для сжигания газа выходящего из сердечника и дополнительный воздух для дожигания продуктов горения выходящих из карьера подается в печь со стороны 4-х разгрузочных отверстий помещенных в нижней части печи между топками. Сток воздуха охлаждает выводимую из печи массу, а полученное им тепло входит обратно в печь. Иходящий из печи газосток прикрыт железными дверцами, которые закрывают воздух, вступающий в печь, равно пройти через массу лежащую в разгрузочном отверстии и, таким образом, отдавать ему свою массу что предохранит массу от выходящей из печи от распадающей.

В нижней части сердечника имеется ряд отверстий для воздуха эти отверстия могут быть регулируемыми.

ЗАГРУЗОЧНОЕ ПРИ ПОСЛАНИИ В ПЕЧЬ

Питательные барабаны.

Молодые брикеты подаваемые александром и разгрузочному отверстию печи попадают в верхнюю воронку барабанного питателя. Барабанный питатель состоит из

наружного цилиндрического кожуха с двумя отверстиями наверху и внизу к которым примыкает загрузочная и выгрузочная воронки. Внутри цилиндрического кожуха помещен барабан с 2 диаметрными отверстиями в его образующей. Барабан вращается с такой скоростью и с таким расчетом, что когда брикет выходит из верхнего отверстия кожуха питателя со стороны загрузочной воронки закрыто барабаном, и брикет в барабан не попадает при дальнейшем вращении барабана отверстие загрузочной воронки, открывається, брикет из воронки попадает в барабан. Тогда барабан своим отверстием принимает к выгрузочному отверстию кожуха, брикет выпадает из барабана и попадает на закрытый поток воздуха брикет в загрузочную производственную печь.

При таком питателе печь всегда отделена от наружного воздуха.

Распределительный механизм

Из лотка брикет попадает в воронку распределителя в которую идет. Распределитель представляет собой металлический рукав расположенный радиально в верхней части печи. Рукав этот прикреплен к вертикальной оси пропущенной через верхнюю крышку печи в ее центре. Эта ось приводится механизмом над печью во вращательное движение при помощи червяка. Таким образом рукав делает в печи вращательное движение вокруг своей оси. Рукав в верхней своей части заканчивается воронкой, которая примыкает к воронке прикрепленной к верхней части крышки печи.

Брикет попадая в рукав распределителя раскладывается им в печи у стенок лентой отдельными брикетами. Такая загрузка брикетов в печи важна в том отношении, что, во-первых, каждый брикет ложась в печь отдельно, не давленными другими брикетами не сдвигается с ними и не образует больших глыб мела, которые высыпаются в печи. Во-вторых, такая загрузка выдает ее собой, то, что поверхность загрузки печи в центре ниже, а у стенок выше, и это должно содействовать лучшему распределению продуктов горения в печи выходя их большей тигу к центру, куда они при газовой печи хуже проникают.

ВЫГРУЗКА ИЛИ ВЫВОЗ

Внутри печи около выгрузных отверстий выложены из кирпича наклонные плоскости направленные к выходным отверстиям печи. Эти плоскости должны равномерно выводить газы из печи к выгрузным отверстиям.

В выгрузных отверстиях печи поставлены во всю ширину их ленточные разгрузочные механизмы. Газы из печи скатываются в чугунный неподвижный под помещающийся в выгрузочных отверстиях. Ленточный транспортер идет над этой плитой и выводит газы с плиты печи в лагунатный механизм вокруг печи.

Ход ленточного транспортера регулируется в больших пределах. Передача движения от мотора к ленте осуществляется при помощи цепей и роликов и храпового механизма.

Т. В. Г. А

Тяга печи искусственная. При помощи

экогаустера все газы и продукты горения засасываются из печи через кольцевой канал. Для входных отверстий кольцевого канала в печь расположены тангентально к периметру печи для равномерного равномерного распределения тяги по периметру шахты.

Смотровые отверстия.

На наружной поверхности печи насажены целый ряд выделок имеющих затворы. Работники имеют возможность наблюдать за работой печи и, при надобности, железными ломками разбить на мелкие куски известня.

Газопровод и дымовая труба.

Продукты горения печи поступают в газораспределительный газопровод, который направляет их в атмосферу, а отверстие для меда или предполагаемый к устройству вывод углекислоты.

Над самой печью установлена железная дымовая труба на случай порчи экогаустера.

Брикетировочный пресс.

Пресс для брикетирования меда имеет конструкцию, которая изготовляется на машиностроительном заводе им. Горького в Москве. Пресс эксцентриковый непрерывно действующий и выпускает из своего конечного регулируемого втулка ленту брикетированную под давлением до 500 атм. В каждом из пресса лента разламывается запроектированным приспособлением на отдельные куски любого размера. Устройство этого приспособления видно на чертеже, в его работах происходит следующим образом: при каждом обороте пресса кусок на ободах жиро-

штанга нажимает на кольчатый рычаг, который через второй рычаг приподнимает площадку на которую лежит выходящая из пресса бризгуная лента вверх и отрезывает кусок брикета.

Отрезанный кусок брикета при следующем ходе пресса сталкивается в морню. Прессом разрезаются ленты на отдельные брикеты производится прессом при обратном ходе пресса.

3. 1. 2. 3. 4. 5. 6. 7. 8. 9. 10.

Оброшенные с площадки брикетировочной машины брикеты попадают на наклонный конвейерный элеватор, (морню) который подает брикет в барабан питателя, а оттуда в печь.

Г. 1. 2. 3. 4. 5. 6. 7. 8. 9. 10.

2-ро важными покупками генератора топки имеют отупенчатую решетку и скрепленные прокладки на большой подушке, топки предназначена для скрепления торфа и дров.

Г. 1. 2. 3. 4. 5. 6. 7. 8. 9. 10.

Газ для питания сердечника получается из газогенератора стоящего отдельно от печи. Топливом для газификации должен служить торф. Поскольку обычные торфяные газогенераторы плохо справляются с газификацией влажного торфа в этом генераторе сделана попытка заставить генератор работать и на более влажном торфе. Основу его конструкции положено следующее:

1. Решетка сделана в виде крыла (дакро) для обеспечения правильного удаления золь и правильного распределения газов по шахте.

Кривая разметки во время работы генератора качается, дробит спекнувшую золу и повзвелевшая топливо более правильно распределяет торф в зоне горения, что должно ододействовать лучшей газификации.

Качание дикроста производится при помощи кривошипного механизма. Величина качания регулируется. Шахта соборательно газификация имеет высоту в два метра и сужена книзу для набекания прорыва газов по поверхности отенок шахты не произвешая толку топлива. По обрм сторонам шахты для газификации имеются два выходных канала вступающие в общий газосборник откуда ка-малыми газ отводятся в печь.

Над шахтой газификации помещается шахта для сушки торфа и сушки процесса в два метра высотой, торф падает в чем поступить в зону газификации. ~~Сборный~~ ~~подсушивается~~ и частично производится в нем процесс сухой перегонки. Образовавшиеся в верхней части шахты газы смолы и пар отсасываются вентилятором, находящимся на фронтальной отене шахты, в вдуваются вместе с необходимыми засосываемыми этим же вентилятором количеством воздуха через разметку шахты в генератор. Для интенсификации сушки торфа, вентилятор просасывает через верхнюю шахту также и часть газов из нижней зоны газификации.

Более легкие смолы кои могут уноситься из зоны шахты сдут в заг-заговорообразном трубопроводе идущем к вентилятору. Ем-ностями на шахты более тяжелые смолы вместе с конденсирован. Водяными парами вводится в зону горения генератора, где разлагаются образуя горючие газы.

Между генератором и виг-заго-образным трубопроводом поставлен пылеуловитель. Главнейшее виг-заго-образного трубопровода — задержать осаждение смолы из газов, газы проходя по извилистому по пути трубопровода ударяются об его стенки покрытой смолой и осаждают на них конденсирующиеся пары смолы.

РАЗ МЕРЫ И ПОДСЧЕТЫ ОТДЕЛЬНЫХ ЧАСТЕЙ
УСТАНОВКИ.

Объем запыленной пыли.

а) Серпигия цилиндрическая часть:

$$V = 2,25 \text{ м} \text{ высота} - 3,75 \text{ метр. Объем}$$

$$V = \frac{\pi \cdot 2,25^2}{4} \cdot 3,75 = 14,92 \text{ метра}^3$$

б) Усеченный конус в. с. прилегающей
нижним цилиндром.

$$V = \frac{\pi (2,25^2 + 2,2^2 + 2,25 \cdot 2,2)}{3 \cdot 4} \cdot 1,2 = 1,83 = \frac{\pi}{4.3}$$

$$V = \frac{\pi (2,62^2 + 0,5^2 + 2,62 \cdot 0,5)}{3 \cdot 4} \cdot 0,5 = \frac{\pi}{4.3}$$

$$(4,5^2 - 2,75^2) \cdot 0,9 = 14,95 - 2,2 + 2,3 = 16,5 \text{ метр}^3 \text{ куб.}$$

в) Цилиндрическая часть до вылета
горелок.

$$V = \frac{\pi}{4} (4,5^2 - 2,75^2) \cdot 0,9 = 10,3 \text{ метр}^3 \text{ куб.}$$

д) Холодильник.

$$\frac{\pi}{4} (1,5^2 - 2,5^2) \cdot 4,45 \approx 48,7 \text{ метр}^3/\text{куб}$$

е) Об'єм холодильника ограниченный наклонными поверхностями.

$$\frac{1 + 2,1 + 1}{2} = 2,2 \text{ куб}^3/\text{метр}$$

ж) Общий об'єм наклонной печи:

$$14,92 + 18,55 + 10,3 + 18,7 - 2,2 \text{ куб}^3/\text{метр}$$

Считая, что два кубометра известняка вытесняет в выгрузочных отверстиях общий об'єм наклонной печи можно считать равным 90 кубометрам.

КОЛИЧЕСТВО МЕЛА НЕОБХОДИМОЕ ДЛЯ ПОЛУЧЕНИЯ 1-го МИЛЛИГРАММА ЧИСТОТЫ.

Принимая влажность брикетов поступающих в печь в 20%, б. дает в брикете в остатке в среднем 10% отсухового вещества мела, получаем, что на 1 кгр. известняка нужно внести в печь брикеты указанного качества в количестве M , которое найдется из уравнения:

$$M(1 - \frac{w}{100})(1 - \frac{c}{100}) \cdot 0,56 + M(1 - \frac{w}{100})$$

$$\frac{c}{100} = 1$$

Откуда $M = \frac{1}{(1 - \frac{w}{100})(1 - \frac{c}{100}) - 0,56} \cdot \frac{c}{100}$

Потребление в этом направлении известно
в 6 их вычислено 20 и 10 получен

$$H = \frac{1 - \frac{20}{100}}{(1 - \frac{20}{100})(0.56 + \frac{0.44 \cdot 10}{100})}$$

$$0.5(0.56 + 0.44) = 2.1 \text{ кгр. на 1 кгр. извести}$$

ТЕХНОЛОГИЧЕСКИЙ РАСЧЕТ ПЕЧИ.

✓ Т. А. А. А. А. А.

Теплоемкость берем тогда средней арифметической
45% элементарного остатка рабочей массы:

$$\begin{matrix} \text{Ср} & \text{Нр} & \text{Ср} & \text{Нр} & \text{Вспомог} & \text{Ав} \\ 31.1\% & 3.16\% & 17.1\% & 45\% & 3.7\% \end{matrix}$$

Теплотворная способность этого топлива
на по Бенделову:

$$0.1.31.1 + 300.0.16 - 25.10.5 - 6(9.3.17 + 45) = 2600 \text{ кал/кг}$$

Определим количество воздуха необ-
ходимого для сжигания, кг данного топли-
ва в 1 час $\alpha = 2.4$, в количестве и
состава згущенных продуктов горения и
их теплоемкость.

Эле- мент	Колич. по весу	Количес- тво при сжигании	Полученные продукты горения	Тепло- емкость
--------------	-------------------	---------------------------------	-----------------------------------	-------------------

Теплоемкость продуктов топлива	Воздух
--------------------------------------	--------

O_2 311 гр.	229 гр.	CO_2 1139 гр.	0.24
H_2O 31.5 гр.	253	H_2O 284.6 гр.	0.47
O_2 165 гр.	165	O_2 367 гр.	0.22
N_2 0.6 гр.		N_2 1286	0.25
H_2O 3.1 гр.		H_2O 460	0.47

0.272
0.133
0.587
1.07

Итого: 916.1, 40 3520 гр.
= 4282 гр.

1.773 316
0.23 1.12

20570 гр.

Определение удельного расхода топлива
Условия допустить, что температура газа на
выходе из зоны обжига фактически не может
быть ниже 900° , при этом предполо-
жим, что мелкие брикеты вступая в зону
обжига имеют среднюю температуру 850° , а
наоборот выходящая из холодильника печь
имеет среднюю температуру в 200° . Для то-
го что бы определить удельный расход то-
плива у составим баланс тепла зоны обжи-
га исходя из одного кг. извести.

Приток тепла в зону
обжига из кг. извести

Тепло вносимое топли-
вом $Y.2600 = Y.2600$

Тепло вносимое бри-
кетами в зону наг-
рева
 $2,1.0.3.0. = 300$

Тепло вносимое возду-
хом из холодильника.
 $1.0.21(1000-200)$
 $= 160$

Расход тепла на
кг. зори обжига:

Тепло идущее на
диссоциацию $2.1.0.0.0.$
 $0.9.425.2.1.0.0.0.$
 $9.380(0.21-0.35)$
 $0.21 - 0.41.0.44)$
 640.4

Тепло уносимое на-
лостью из зоны об-
жига
 $1.0.21.1000 = 210$

Тепло выносимое
в продуктах горения
из зоны обжига
 $1.77.900.Y = 1596.9$

Тепло вносимое CO_2
диссоциация $2.1.0.0.0.$
 $0.9.0.0.0.0.0.0.$
 $= 0.44$

Потери в топках.

$Y.2600.0.0. = 10.4Y$
Потери от задувания
газов в зоне обжига
 $Y.2600.0.0. = 78Y$

Итого: 7.2600 + 460

7.1777 + 994

Приведенная расход тепла в зоне обжига
его прихода находим из уравнения энергии
для

$$7.2600 + 460 = 7.1777 + 994$$

$$\text{Откуда} - 7 = \frac{634}{825} = 0,66 \text{ кгг. торфа}$$

$$825 \text{ кгг. влаги}$$

или 0,212 условного топлива.

Температура отходящих газов из печи

Температуру отходящих газов из печи
то определяем из баланса тепла для всей
печи.

Приход тепла.

Расход тепла.

Тепло приносимое га-
зами из зоны обжига

$$0,65 \cdot 1.773.90,6 +$$

$$+ 144 = 1174$$

Тепло идущее на на-
грев брикетов до тем-
пер. диссоциации

$$2,1 \cdot 0,21 \cdot 0,8 \cdot 860 +$$

$$2,1 \cdot 0,21 \cdot 0,8 \cdot 298$$

Тепло на испарение

$$\text{влаги брикетов} 2,1 \cdot$$

$$0,2 \cdot 540 = 269$$

Теплота уносимая про-
дуктами горения

$$0,65 \cdot T_0 = 1,15 T_0$$

Теплота уносимая со-
диссоциацией

$$0,8 \cdot 0,4 \cdot 0,24 \cdot T_0 =$$

$$0,8 \cdot 0,4 \cdot 0,24 \cdot T_0 = 0,16 T_0$$

Перегрев пара образу-

емого от испарения

влаги брикетов

$0,008 \cdot 0,17 (T_0 - 100) \cdot 2$
 $= 0,197 T_0 - 19,75$
 Потери в дымог. 1174. ~~1174~~
 $0,008 = 70,44$

Итого: $317,7 + 1,5 T_0$

Приведя к приход и расход тепла в печи и определяя из полученного уравнения найдем, что $T = 111,1 - 111,1 = 370$

Количество теплоты какому можно получить из отходящих из печи газов если их понизить до 100° получим из уравнения

$1,77 \cdot 0,5 \cdot 260 + 0,1 \cdot 0,47 \cdot 170 =$
 Теплота прод. горен. теплота от паров бржк.

$2,1 \cdot 0,8 \cdot 0,9 \cdot 0,44 \cdot 0,21 \cdot 370 = 399$
 теплота теплота от угля и кислоты

Если использовать отходящее тепло на сушку мела а допустить коэффициент полезного действия сушильной установки будет $0,6$ то за счет тепла получаемого из печи от исходящих газов получаемых на 1-го кгг. влаги будет можно будет испарить воду

$399 \cdot 0,6$
 $= 239,4$
 $= 0,773 \text{ кгг. воды}$

Таким образом из отходов тепла нашей печи работающей при указанных режимах можно будет поставить сушилку для мела производительности нашей сушилки будет равна $0,7$ производительности нашей печи при влажности высушиваемого мела - $25-30\%$.

Кондиту отходных газов не сумели
получить, потому будет при *желании*
далее исследовать для целей остановки
бушки и т.д.

Количественный и качественный состав
газов, получаемых из сухой печи.

	CO ₂	O ₂	N ₂
Всего в граммах	1139.0, 65. 2100.0, 8. 0,9 0,112 1408	307.0, 45. 38,1	1286.0, 652 (150 + 34) = 782 гр 177.20 = 597 182.
Объем сухого газа в литр.	770	181	2440

Таким образом продукты горения полу-
чаются при объеме 1-го кг. их состав
таков по весу - 5,317 кг., а по об-
ему - 2,99 куб. метр.

Анализа сухих газов, выходящих из печи
при выбитке воздуха α с 1,4 будет:

	CO ₂	O ₂	N ₂
По весу в 1%	31,8	5,3	63,
По об-ему	22,7	5,3	72,

При газах столь богатых углекислотой можно организовать рентабельно производство дымной углекислоты и сухого льда. Количество углекислоты, которое выводится продуктами горения из печи в сутки будет при производительности печи

в 30 м³/сек. - 5,3.0,3 3350,5

в 50 м³/сек. - 50.1,3.0,918234,3

ОПРЕДЕЛЕНИЕ ПРОИЗВОДИТЕЛЬНОСТИ ПЕЧИ

Печь по своей высоте может быть разделена на зоны, в которых имеют место следующие процессы:

- 1-ая Самая верхняя зона - сушка брикетов
- 2-ая подогрев брикетов до температуры диссоциации 850°
- 3-ая зона обжига (диссоциации)
- 4-ая зона охлаждения.

Определим продолжительность пребывания брикетов в каждой зоне в отдельности за время прохождения брикета через печь.

Зона обжига

Допустим, что брикеты вступают в зону обжига нагретые до температуры 850°. Средней же температура газов в зоне обжига 950°, принимаем эмпирически для коэффициента теплопередачи α по Греберу - 20, а коэффициент теплопередачи известна λ 38,6, тогда время τ , необходимое для проведения процесса обжига при этих условиях с цилиндрическими брикетами диаметром 60 мм

найдено по формуле (см. п. п. в *буклет*)
"Автоматизация"

$$\tau_y = \frac{425 \cdot 10^{-8}}{4 (\tau - 0,6)} \left(\frac{D_k^2}{2} + \frac{D_k^2}{4} \right) = \frac{1,5 \cdot 245}{4 (940 - 0,6)} = 6,50 \text{ часа}$$

Зона нагрева

Температура газов при выходе их из зоны обжига, как мы видели раньше будет - 900° . Брикет вступает в зону при температуре - 100° , а проходя зону нагрева, нагревается до температуры за счет газов. Следовательно газы в зоне нагрева потеряют определенное количество тепла, которое можно на нагрев брикетов найдет следующим образом: на нагрев брикетов - тепло тепла $2,1 \cdot 0,8 \cdot 0,21 (850 - 100) = 265 \text{ ккал.}$ На потери через кладку $0,65 \cdot 2600 \cdot 0,02 = 33,8$ этого газа потеряли в зоне нагрева - $298,8 \text{ ккал.}$

Понижение температуры газа в этой зоне T_k найдет из уравнения
 $(0,65 \cdot 2600) \cdot T_k = 298,8$
 $T_k = 1,01 T_k = 298,8 \text{ ккал.}$
откуда T_k т.е. понижение температур газа в зоне нагрева будет - 228°

а) Температура газов по выходе из зоны нагрева будет - $900 - 228 = 672^\circ$

Температура газов вступающих в зону нагревания, как мы видели это раньше, равно - 900° вступающих из этой зоны - 672° . Для определенная времени пребывания брикета в зоне нагрева разделим зону нагрева на три вспомогательные зоны, в каждой из которых температура газов в каждой из трех температур во вспомогательных зонах нагрева

ются, как указано на схеме:

	Средняя температура	Т-ра газа	Средняя
III зона	Ср. Т-ра газа	572°	100°
	718		
II зона	Ср. Т-ра газа	748°	350°
	786		
I зона	Ср. Т-ра газа	824°	600°
	862		
		900°	850°

Принимая с небольшой ошибкой, что в каждой вспомогательной зоне температура газов постоянно и равна средней арифметической пограничных температур газов этой зоны, как - то: в первой вспомогательной зоне температура будет

$$\frac{572 + 748}{2} = 710$$

Во второй зоне

$$\frac{748 + 824}{2} = 786$$

В третьей зоне

$$\frac{824 + 900}{2} = 862$$

Бракеты проходят через каждую из вспомогательных зон получают от газов в каждой из них одинаковое количество тепла (по скольку парная температур газов в каждой зоне одинаков), а потому температура

$$t_1 = \frac{\sqrt{R^2}}{a} = \frac{0,0009 \cdot 0,21 \cdot 1600}{0,8} = 0,39 \text{ сек}$$

В-ая восп. зона. Средняя температура брикетов в начале второй восп. зоны, как и температура воздуха будет 350°. Температура газов средней зоны - 785°, а потому температура брикетов относительная к шкале - 785-781° = 0° будет: 50-781 = -136

Эксплоатационные брикеты в начале второй зоны относительное в данной шкале будет: 2,1 · 0,21 · 100 = 192

Значение функции Ψ диаграммы Грессера для второй зоны будет

$$\Psi = \frac{88,3}{192} = 0,46$$

Значение $\Phi = 0,1$

Откуда время пребывания во второй зоне $t_2 = \frac{4 \cdot R^2}{a} = \frac{0,0009 \cdot 0,21 \cdot 1500}{0,8} = 0,34$

III восп. зона. Температура брикетов в начале зоны - 1000°, средняя температура второй зоны - 710°, температура брикетов при шкале - 710° = 0° будет - 610. Эксплоатационные брикеты в этой шкале будет 2,1 · 0,21 · 0,10 = 270

Значение Ψ будет $\frac{88,3}{270} = 0,326$

Значение $\frac{at}{R^2} = 0,5$ и время пребывания в первой зоне будет

$$t_3 = \frac{0,25 \cdot 0,0009 \cdot 0,21 \cdot 1000}{0,8} = 0,096$$

Время прохождения брикета диаметром в 6 см. через зоны нагрева будет

$$0,39 + 0,11 + 0,093 = 0,523 \text{ часа.}$$

Зона сушки

Температура газа при входе на эту зону сушки - 70° см. стр. 10 при входе 672. Средняя температура газа в этой зоне - $1912 = 521$

Пренебрегая временем идущим на нагрев брикетов до 100° по сравнению с временем иущим на испарение влаги брикетов, пользуясь формулой для определения времени испарения влаги при высоких температурах, время пребывания брикетов в зоне сушки будет найдемось из

$$\frac{20 \cdot 1,5 \cdot 510 \cdot 10}{100 \cdot 4 (521 - 100)} \left(\frac{D_n}{\alpha} + \frac{D_n^2}{4\lambda} \right) = 0,4$$

$$\frac{15000}{100 \cdot 4 (521 - 100)} \left(\frac{0,05}{20} + \frac{0,003}{4 \cdot 0,8} \right) = 0,4$$

Зона охлаждения

Из зоны обжара брикет поступает в холодильный при средней температуре 1000° . В зоне охлаждения брикет охлаждается до 200° . Температуры воздуха вступающая в холодильник - 0° .

Количество воздуха проходящего через холодильник принимаем $= 0,4$ от количества теоретически необходимого для сжигания топлива.

Температура воздуха выходящего из зоны охлаждения выдётся из уравнения:

$$(1000 - 200) \cdot 0,21 \cdot 0,95 = \frac{0,916}{0,23} \cdot 0,4 \cdot 0,22$$

$$= 0,65 T_0$$

$$\text{откуда } \theta = \frac{800.0,2.0,95.0,21}{0,916.0,4.0,22.0,65} = 702^\circ$$

Для определения времени прохождения брикета через зону охлаждения прибегнем к тому-же приему каким мы пользовались в зоне нагрева, для чего разделим зону охлаждения на три вертикальные зоны в которых перепад температур воздуха будет одинаковый и мы получим следующую схему:

Зона охлаждения	
Ср. тем. возд.	702
635	
351	468
117	234
	0

Температура брикета в первой зоне 1000⁰, температура воздуха в первой зоне - 635⁰, а потому температура брикета самая высокая на которой температуре 635⁰ соответствует 0 будет 1000 - 635 = 365⁰. Теплоемкость брикета в начале этой зоны при данной условной шкале будет - 365 . 0,21 и 74 критерий $\frac{A}{x} = \frac{20.0,03}{x}$

для этого случая будет $\frac{20.0,03}{0,6} = 1$

Брикеты проходящие через каждую зону охлаждения должны будут терять тепла

$$\frac{(1000-200) \cdot 0,21}{3} = 56 \text{ кал.} = 0,755$$

$$\text{Значение функции } \psi = \frac{56,5}{74} = 0,755$$

откуда получается значение $\frac{at}{\rho^2} = 0,95$
 Откуда время прохождения из брикета через
 первую зону охлаждения

$$t = \frac{0,95 \cdot 0,0009 \cdot 0,21 \cdot 100}{0,6} = 0,3$$

Вторая зона охлаждения.

Средняя температура брикетов в начале
 второй зоны охлаждения

$$1000 - \frac{300}{3} = 733^{\circ}$$

Средняя температура во второй зоне -
 351.

Температура брикета отнесенная к
 шкале $733 - 351 = 0$ будет

$$733 - 351 = 382$$

Теплоемкость брикета отнесенной к
 этой шкале будет $382 \cdot 0,21 = 80,5$

Значение функции

$$\psi = \frac{55}{80,5} = 0,69 = \frac{at}{\rho^2} = 0,75$$

Откуда время прохождения через вторую зо-
 ну $t = \frac{0,75 \cdot 0,0009 \cdot 0,21 \cdot 1000}{0,6} = 0,232$

Средняя температура последней зоны -
 117.

Температура брикетов воздуха послед-
 ной зоны $1000 - \frac{300,2}{3} = 467$

Температура брикет отнесенная к услож-
 ной шкале будет

$$467 - 117 = 350^{\circ}$$

Теплоемкость брикета относенная к
условной шихте будет
 $350 \cdot 0,21 = 73,5$

Брикеты должны будут терять тепло 56
кал. Откуда значенне функции $\psi = \frac{56}{73,5} = 0,765$

и $\frac{at}{\psi} = 0,8$
Откуда время прохождения через послед-
нюю зону
 $0,8 \cdot 0,0009 \cdot 1000 \cdot 0,21$
 $= 0,252$
 $0,6$

Предпожтенность прохождения брикета
через все зоны коксильника будет:

$0,6 + 0,25 + 0,25 = 0,78$
Общее время прохождения брикетов диа-
метром 20 см. через все зоны печи будет:
 $0,4 + 0,62 + 0,5 + 0,78 = 2,3$

Производительность печи исходя из ее
объема (не учитывая мощность топливного
потребства) для таких брикетов должно быть
 $90 \cdot 2,3 = 207$ тонн в сутки.

$\frac{90}{2,3} \cdot 2,3 = 60$ тонн/сутки
 $8,3$ расчет

Если для проверки возьмем брикеты 20 см
(размер шихты обыкновенно рассчитывается на
такие печи для извести), то время прохож-
дения через печь выполненная указанным ме-
тодом будет:

время обжига:
 $1,5 \cdot 210 \cdot 10 \cdot 0,2 + 0,04$
 $(950 - 850) \cdot \left(\frac{0,2}{20} + \frac{0,04}{1000} \right) = 11,5$

Зона... Критерий

$$1. \text{ Критерий } hR = \frac{20 \cdot 0,1}{0,8} = 2,5$$

Значение для $\frac{at}{R^2}$ в данном случае будет $0,4$

Откуда время прохождения через первую зону

$$t_1 = \frac{0,1 \cdot 0,01 \cdot 1500 \cdot 0,21}{0,8} = 1,58 \text{ мин.}$$

Зона... Критерий $\frac{at}{R^2} = 0,23$

$$0,23 = \frac{0,23 \cdot 0,01 \cdot 1500 \cdot 0,21}{0,8} = 0,9$$

В третьей зоне - критерий $\frac{at}{R^2} = 0,075$

$$\text{откуда } \frac{0,075 \cdot 0,01 \cdot 1500 \cdot 0,21}{0,8} = 0,314$$

Итого время пребывания в зоне нагретому $t = 1,58 + 0,54 + 0,21 = 2,33$

Время сушки анимальных по предыдущему $= 0,22$

Время охлаждения для примоток в 20 см находится следующим образом:

$$hR = \frac{20 \cdot 0,1}{0,8} = 2,5 \text{ критерий } \frac{at}{R^2} = 0,37 \text{ от-}$$

куда $t_1 = 1,3$

для второй зоны $\frac{at}{R^2} = 0,1$ $t_2 = 1,1$

третьей зоны $\frac{at}{R^2} = 0,05$ $t_3 = 1,75$

Время пребывания в колоннах брызг будет

$$1,3 + 1,1 + 1,75 = 4,15$$

пребывание на брызгах в объеме шахты на все время сушки нагретых обжар.

охлаждения будет 11,542,842,224,48

- 50 98
- Суточная производительность печи для брикетов в 20 см будет

50
--- . 24 в 42,5 тонн.

Емкость близкая к обычной, при принятой практически емкости 0,35 тонн в час с куб. метра, каждого об. см печи.

Отсюда мы видим, что печь по своему об. см. дает возможность развить производительность в больших пределах, в зависимости от производительности являться топливными устройствами и т.д.

Печь обслуживается 4-мя тоннами в генератором на дровах, газ и скармливая печь. Скармливание в каждой из тонн будет

1,1 . 1,75 = 1,92

По сколько т.т. тонн затруднена скармливание. Печи принимаем на производительность скармливания горючего тонн при скармливании т.т. 200000 на 1 кв. мтр. зер. гор.

Откуда суточная производительность печи мы получим в выражении:

200.000 . 1,92 . 5 . 24

----- -27,2 тонн в
0,05 : 2600.1000 - вост. в сут.

Установкой достаточно мощного дутья, когда разрежение в топливном колоде доведется до 5-6 мм вод. столба нагнетание скармливания горючего будет доведено до 400000 - 500000 на 1 кв. мтр. зер. гор. в производительности печи будет еще доведено некуда на размер тонн до 50-60 тонн в час в сутки при скармливании брикета

Таким образом мы видим, что на практике в конструктивных сторонах размер брикетов в силе т.т. мы можем в значительных пределах увеличить производительность печи.

Размеры отдельных элементов установки
При производительности печи в 30 и

50 Тон сутки

Т 2. Д. К. 3

напряжения зеркала горения

При производительности 30 известь

и сутки.

30.0.65.2600.1000

----- x 220000 кал/м²/час

21.5 . 1.92

При производительности 50 Тон/сут.

22600 . 50

----- x 368000 кал/м²/час

30

Создание аналогичных установок

такие же точки соприкосновения в печь через 2

метра известные размеры 0,76 . 0,25

перфорированные

для обжига извести 0,65 торфа

которые должны для этого быть в топливе соферины

дадут след. количество газов

CO₂ - 1179 . 0,65 x 740 гр.

N₂ - $\frac{916.035}{0.25}$ x 2660 г.

H₂O - (450 + 284) 0,65 x 75 гр.

по по объему при 0°

740 . 22.4

CO₂ - $\frac{740}{14}$ x 380 .

$$\begin{array}{r} 2580.2,4 \\ \hline = 2060 \text{ м.} \end{array}$$

$$\begin{array}{r} 175 \cdot 22,4 \cdot 690 \\ \hline 18 \end{array} = 6033 \text{ литр. [кг. 231}$$

Скорость газов в вылетах при их температу-
ратурах в 900° и производительности печи

$$\begin{array}{r} 3,08 \cdot 300000 \cdot (1 + \frac{900}{273}) \\ \hline 5.21.3600.0,75.028.2 \end{array} = 2,42 \text{ м/сек.}$$

$$\begin{array}{r} 242.5 \\ \hline 3 \end{array} = 80,83 \text{ м/сек.}$$

Скорость отходящих газов в каналах
печи. Сква печи примыкающие к отводному
каналу имеют сечение

$$(0,75 + 0,5) 0,5 = 0,436$$

Количество газов выходящих из печи и
приходящих на 1 кв. метр (если топливная
составляющая с избытком $\alpha = 1,4$) будет:

$$G_1 = 740 + 2,1 \cdot 8.0.9.0.14 \text{ гр.} = 1418 \text{ гр.}$$

$$M_1 = 2580.1,4 =$$

$$M_2 = 3610 \text{ гр.}$$

$$H_2O \cdot 175 \cdot 2,1 \cdot 0,4 = 895$$

По объему при 0°

$$\begin{array}{r} 105 \cdot 22,4 \\ \hline 44 \end{array} = 0,715$$

$$\begin{array}{r} 36.0 \cdot 22,4 \\ \hline 28 \end{array} = 2,88$$

$$O_2 \quad \frac{261 \cdot 665 \cdot 22,4}{32} = 0,151$$

$$H_2O \quad \frac{895}{18} \cdot 22,4 = 1,12$$

Итого 1,88

Скорость газов V в вылете печи будут

При пром 30 тонн $= \frac{1,88 \cdot 36000}{153600}$

$$\left(1 + \frac{370}{273}\right) \cdot 0,126 = 9,1 \text{ м/сек.}$$

При пром 30 тонн $= 15 \text{ м/сек.}$

Т. Е. Е.

Считая, что сопротивление в печи от-
топками газам составит 0 на первом,
метр печи по высоте, а сопротивление слан-
топки и топках 6 в.с. то общее со-
противление $62 \pm 10 + 6 = 68 \text{ м. в.с.}$

Средняя температура газов в шахте

$$\frac{900 + 370}{2} = 635^\circ \text{C}$$

В. вес газов по выходе их из печи

$$\frac{1460 + 133 + 2782 + 397}{770 + 181 + 2440 + 1115} = 1,2$$

Считая плотность воздуха 1,2 возмещен
образующаяся сажа в печи

$$1,2 \cdot \dots = \dots + \frac{245}{273} = 9 \text{ м. в. с.}$$

След. разрежение, которое должно созда-
ться вентилятором

$$99 - 9 = 90 \rightarrow 90 \text{ м. в. с.}$$

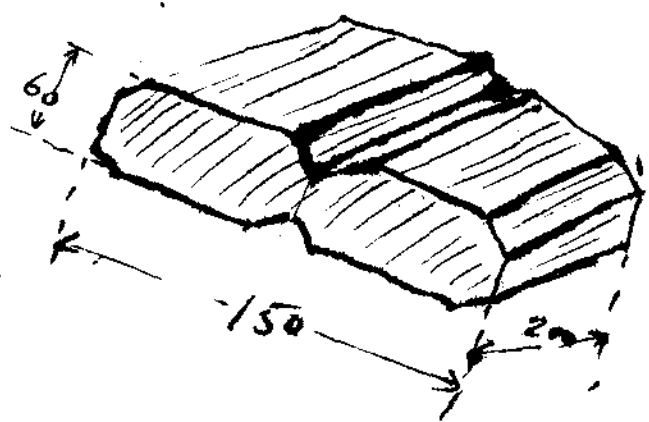
Количество газа при оторванных
вентилятором в час $1,22 \cdot 500000$
при производ. в 50 $\dots = 10200$
" " в 70 $\dots = 500 \text{ тег/час}$

Возм вентилятор Сирокко № 5
Мощность вентилятора

$$\frac{Q_n}{75 \cdot 0,45} = \frac{10000,75}{75 \cdot 0,45 \cdot 3600} \approx 5,6 \text{ л. с.}$$

Брикетирование древесных отходов

Предполагая поставить брикетировочный
пресс такой готовится на формовке по-
лучим брикеты след. формы и размера



При уд. вес. мела (20% влажности 2,4) 1-го брикета будет 1.5.0.6.2.2.2 = 4 кг

При суточной производительности прессовых колонных брикетов по 500 кг. в час будет (Работа пресса 21 часов в сутки)

Колич. 50000 . 2,4
 брикетов ----- = 12500 брик. в час
 будет 4 . 21

Число оборотов колончатого вала пресса при такой производительности

1250
 ----- = 21 об/мин.

Допускаем полезное давление пресса 50 ат. в к.г. . его 0,7 мощность двигателя для пресса 1.5.0.6.2.2.2 = 6 л.с.
 0,7.50.75

Ворма гонит и в грузке цепи брикета непрерывно по 24 брикета в минуту, захватывая каждый козлом по одному брикету раз в две секунды ковшом 0,5 м.

Когда линейная скорость цепи вормы будет 21.0.6
 ----- = 0,21 . 44 сек.

Диаметр зубч. цепи Фалей от вормы 298 мм. Число оборотов зубчатки в минуту и определител 0,2 . 0 . 0,98 п.
 Откуда 0,21 . 0

$n = \frac{21}{0,298} = 70 \text{ об/мин.}$

Мотор имеет число оборотов 94/0 об/мин. Передача от мотора к ворме

940
 ----- = 72
 13

Диаметр шкива мотора 100 |

Передача осуществлена:

2 пары шестчатых колес 600

$d_1 = 150$ $d_2 = 300$ $d_3 = 150$ $d_4 = 300$

А потому шкив на норму приводных и движущих моторов определяется *и мах шкива*

$D = \frac{100 \cdot 150 \cdot 150 \cdot 90}{1500 \cdot 300} = 100$ 4го

Размер колеса 400x200x200

Скорость мотора ~~1000 об/мин~~ *на шкив*

исоту подвешенных брикетов 600 об/мин
котлов подвешенных на единицу времени

$\frac{600 \cdot 150}{2 \cdot 1000} = 45$ кг/сек

Приводная к. и. п. установка 0,5.
мощность мотора 1,5 л.с.

$\frac{1500}{1000} = 1,5$ л.с.

Счет на мотор при помощи шкива таля
приводит в движение барабан питателя, а
потом останавливает мотор в 0,5 л.с.

Разгрузочный механизм
с автокраном и транспортом

Принимаем толщину слоя известня по
транспортеру 200 мм

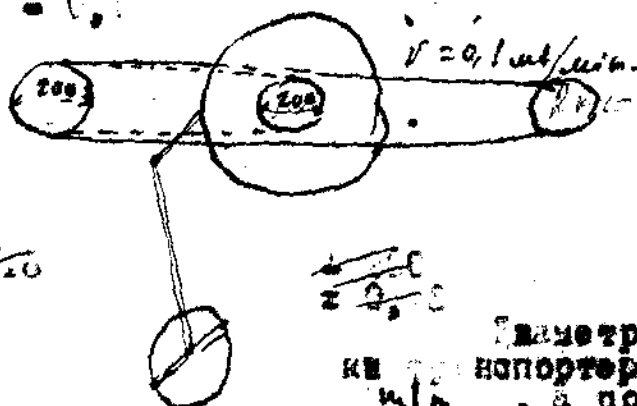
Ширина транспортера 600 мм

Скорость лент известня в бункерах 0,8

Чтобы при этих условиях осуществить че-
рес 1 разгрузочных отгрузок 30 тонную
загрузку известня на пазз при 24 часовом
работе в сутки скорость транспортера
определяется

50000

$\dots = 0,1 \text{ м/мин.}$
 $\dots 21.0, 2.1000.60.0, 2.0, 6$



Диаметр зубчатых
 колес транспортера = 200
 мм, а потому чис-
 ло оборотов в зубчатом
 транспортере определяем

$\Pi.0,7.И = 0,1 \text{ откуда}$

$И = 0,15 \text{ об/мин.}$

Зубы так сидят на одном валу с красным колесом, на нем 11 зубьев, красное колесо приводит в движение 4 красные, кои соединены друг отнюмально друг на 1/1 зуба. То пореки получают качание от редуктора с колес. передачи в 1/40, следовательно если мы ставим на редукторе шестню в 90 оборотов, то пореки сделают в минуту $90 \cdot \frac{1}{40} = 2,25$

качаний в красное колесо в одну минуту становится на

$\frac{2,25}{1} = 2,25 \text{ зубцов}$

Поскольку красное колесо должно за минуту сделать 2,25 об.р., то оно должно иметь

$\frac{2,25}{0,15} = 15 \text{ зубцов}$