

9.136
257

КНИГА 13

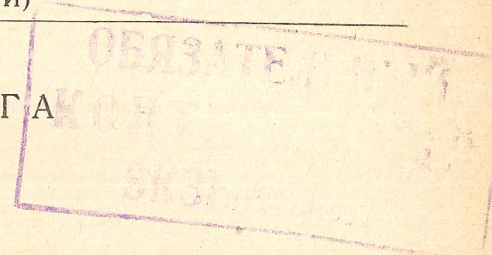
**ГАЗИФИКАЦИЯ
СОЛОМЫ**

МАШГИЗ 1949

МИНИСТЕРСТВО ТЯЖЕЛОГО МАШИНОСТРОЕНИЯ СССР
ГЛАВЛОКОМОБИЛЬДИЗЕЛЬ
НАУЧНО-ИССЛЕДОВАТЕЛЬСКИЙ ДИЗЕЛЬНЫЙ ИНСТИТУТ
(Н И Д И)

9 $\frac{136}{257}$

КНИГА
13



ГАЗИФИКАЦИЯ СОЛОМЫ

Под редакцией В. В. НИКИФОРОВА



МТМ СССР
ГОСУДАРСТВЕННОЕ НАУЧНО-ТЕХНИЧЕСКОЕ ИЗДАТЕЛЬСТВО
МАШИНОСТРОИТЕЛЬНОЙ ЛИТЕРАТУРЫ
МОСКВА 1949 ЛЕНИНГРАД



2018755738



Сборник посвящен некоторым итогам работ лаборатории газовых двигателей НИДИ в области исследования газификации соломы.

Первая статья рассчитана на инженерно-технический персонал и знакомит читателя с итогами исследования сушки соломы отработавшими газами двигателя внутреннего сгорания.

Вторая статья посвящена итогам эксплуатации в сельском хозяйстве газомоторной установки типа НИДИ-ГС2 с газогенератором для газификации соломы.

Приводимый в статье материал представляет интерес для механизаторов сельского хозяйства и специалистов, работающих в области экономики машиноиспользования.



49-49668

ЛЕНИНГРАДСКОЕ ОТДЕЛЕНИЕ МАШГИЗА
РЕДАКЦИЯ ЛИТЕРАТУРЫ ПО МАШИНОСТРОЕНИЮ

Главный редактор
инж. Ф. И. Фетисов

Л. К. КОЛЛЕРОВ

ИССЛЕДОВАНИЕ СУШКИ ГАЗОГЕНЕРАТОРНОГО ТОПЛИВА ОТРАБОТАВШИМИ ГАЗАМИ ДВИГАТЕЛЯ ВНУТРЕННЕГО СГОРАНИЯ

Статья дает краткий обзор состояния техники сушки твердого топлива отработавшими газами двигателя и приводит итоги исследования сушки соломы, в результате чего создано сушило, которым оборудована первая серия газомоторных установок НИДИ-ГС2, выпущенных МСХ СССР в 1948 г.

На основе анализа теплового баланса процесса даются пределы расхода влаги на газификацию соломы, излагаются результаты экспериментальных работ по сушке соломы, приводятся расчетные данные и принципиальная схема барабанного вращающегося сушила.

Известно, что при аналитическом подсчете низшей теплотворной способности топлива по формуле Менделеева

$$h_u = 81 C + 300 H + 26 (O - S) - 6 (9H + W) \text{ ккал/кг,}$$

так же как и по другим формулам, с увеличением влажности топлива уменьшается его низшая теплотворная способность. Причина этого заключается в том, что с увеличением тепла, потребного на испарение гигроскопической влаги, происходит уменьшение процентного содержания органической массы.

При газификации топлива по прямому процессу пары воды, полученные в верхней части газогенератора, смешиваются с генераторным газом, выходящим из зоны горения, и конденсируются на всем протяжении газового тракта.

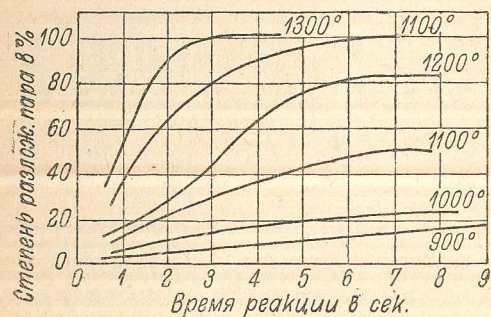
При обратном процессе пары воды проходят через восстановительный слой камеры газификации и реагируют с раскаленным углеродом по реакции водяного газа. Однако далеко не все количество паров воды участвует в этой реакции.

*

Так, например (фиг. 1), при газификации древесного угля степень разложения водяного пара достигает лишь 20% при температуре в зоне горения 1100°С с временем пребывания 0,5 сек.

В газогенераторах транспортного типа время пребывания газа уменьшается до 0,3 сек., а в горловине камеры становится еще меньшим.

При увеличении влажности топлива расход тепла на его подготовку, отнесенный к единице веса рабочего топлива, возрастает, количество же газа, которое образуется в реакционной зоне, убывает, так как падает выход окислов топлива.



Фиг. 1. Степень разложения пара в зависимости от времени реакции при различных температурах.

на течение реакций восстановления, что и приводит к ухудшению качества генерируемого газа.

Следовательно, увеличение влажности топлива влияет на температурные условия процесса газификации и определяет соотношения основных реакций генераторного процесса. Таким образом, с увеличением влажности ухудшается химический состав генераторного газа, что и приводит к снижению мощности газового двигателя.

Из приводимого на фиг. 2 графика состава генераторного газа в зависимости от влажности древесины (сосна) видно, что содержание окиси углерода с увеличением влажности значительно понижается, но вместе с тем растет содержание углекислоты. Количество водорода и метана остается примерно одинаковым.

При влажности древесины всего лишь в 2% содержание водорода лишь на 1% ниже его максимального возможного количества. Такое высокое содержание водорода при газификации почти обезвоженной древесины объясняется, видимо, выходом его за счет процесса сухой перегонки и в результате разложения смол.

Нужно, кроме того, учесть выход при сухой перегонке подсмольной воды, количество которой достигает 22—28% по весу от сухой древесины. Наличие этой воды достаточно для обра-

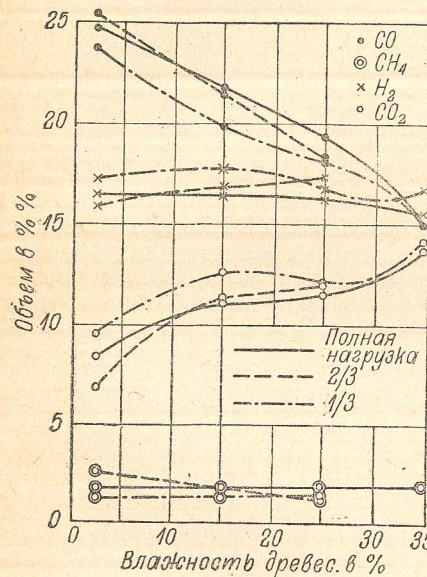
зования водорода путем разложения ее уже в количестве до 10%.

Зависимость теплотворной способности газозудной смеси от влажности топлива наглядно иллюстрируется фиг. 3, на которой приведены эти данные для трех различных типов древесных газогенераторов обратного процесса.

| | | | | | |
|----------------------------|----|----|----|----|----|
| влажность древесины в % | 13 | 18 | 23 | 30 | 38 |
| мощность двигателя в л. с. | 42 | 40 | 36 | 32 | 28 |

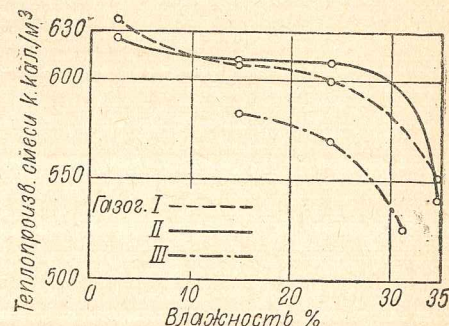
В связи с повышением влажности, таким образом, ухудшается подготовка топлива, и начиная с некоторого предела влажности в реакционную зону начинает поступать неподготовленное топливо с большим содержанием летучих и влаги.

Такой своеобразный „перенос“ подсушки топлива в реакционную зону уменьшает количество тепла, необходимое



Фиг. 2. Зависимость состава газа от влажности топлива (сосновый хворост).

Все вкратце сказанное о влиянии влажности газогенераторного топлива на параметры процесса газификации и мощность двигателя привело к установлению определенных требований на влажность топлива для газогенераторов обратного процесса.



Фиг. 3. Зависимость теплотворной способности газозудной смеси от влажности древесины для трех типов газогенераторов.

Так, для дровяных автотракторных газогенераторных установок этот предел влажности был принят в 18—20%, а для стационарных 25—30%.

Длительный срок естественной сушки древесины до одного года и более, естественно, не мог удовлетворить нужды эксплуатации, в связи с чем стали применяться искусственные виды сушки, причем работы по искусственной сушке древесины как газогенераторного топлива стали развиваться в двух направлениях: а) сушка в специальных огневых или паровых сушилах; б) сушка за счет использования физического тепла газогенера-

торного газа или тепла продуктов швелования и горения, отводимых вместе с избыточной влагой, методом обратной тяги в трубу.

Следует отметить, что этот способ наиболее успешно решен в древесных газогенераторах НИДИ, внедренных в народное хозяйство.

При этом способе подготовки газогенераторы надежно и экономично работают на топливе с влажностью до 50% при общем перерасходе тепла не более 20%.

Совершенно самостоятельное значение приобрели работы по сушке газогенераторного топлива путем использования физического тепла отработавших газов двигателя внутреннего сгорания.

Этот способ можно считать третьим направлением в развитии работ по сушке газогенераторного топлива.

Интересный по своим результатам комплекс работ, связанный с исследованием и разработкой методов сушки газогенераторного топлива, был проведен Лабораторией газовых двигателей НИДИ, где в 1947 г. был создан первый отечественный образец газомоторной установки для социалистического сельского хозяйства, работающей на соломе-сечке.

Опыт исследования газификации такой соломы подтвердил предположение о том, что для условий организации устойчивого и эффективного процесса фактор влажности и пределы этой влажности имеют совершенно самостоятельное значение, глубоко связанное с физико-химической природой соломы как топлива для газификации.

Действительно, уже сравнительная оценка удельной теплоплотности насыщенного слоя, например, соломы-сечки (200 ккал/дм³) и древесных чурок (1200 ккал/дм³) в известной мере дает возможность судить о запасе тепла в слое топлива, нормально генерирующем газ.

В связи с этим становится понятной экспериментально установленная и принятая граница предела относительной влажности соломы-сечки в 5—6%, являющаяся главнейшим показателем газификационной характеристики соломы-сечки и качества процесса в целом.

Согласно вышеизложенному, указанный предел влажности обуславливается тепловым балансом процесса и, в частности, тем максимальным количеством тепла, которое может быть израсходовано на испарение влаги в общей расходной части баланса, без снижения температур в активном слое.

Наблюдаемое улучшение процесса газификации соломы с уменьшением гигроскопической влаги объясняется, кроме экономии физического тепла, еще и тем, что процесс в этом случае начинает протекать при более высоких температурах.

Вследствие этого эндотермические реакции водяного и воздушного газов идут более интенсивно, а теплота экзотермической реакции $C + O_2 = CO_2$ не расходуется на испарение излиш-

ней влаги, а аккумулируется в генераторном газе, переходя в состояние его скрытой химической энергии.

Имея в виду, что указанный нами выше и необходимый для процесса газификации соломы-сечки процент влажности можно получить лишь в течение короткого времени уборки зерновых при солнечных днях — вопрос о решении задачи искусственной сушки соломы приобрел особое принципиальное значение и стал предметом специальных теоретических и лабораторных исследований, без которых нельзя было решать задачу создания полноценного производственного газомоторного агрегата.

1. Баланс влаги при газификации соломы

Рассмотрим на примере расчета материального баланса приход и расход влаги в процессе газификации соломы.

Состав органической массы соломы примем следующий:

| | |
|--------------------------|---------|
| C | 49,95% |
| H ₂ | 6,29 " |
| O ₂ | 42,91 " |
| N ₂ | 0,85 " |
| Зольность А | 3,5 " |
| Влажность W _p | 8,0 " |

При газификации соломы с приведенной выше органической массой был получен генераторный газ следующего состава:

| | |
|---|---------|
| CO | 19,8 % |
| H ₂ | 15,7 " |
| CH ₄ + C _n H _m | 2,96 " |
| CO ₂ | 12,2 " |
| O ₂ | 0,3 " |
| N ₂ | 49,04 " |

Указанный состав генераторного газа мы и принимаем в качестве основы расчета.

Взятый нами состав сухого генераторного газа из соломы характеризуется следующим коэффициентом доброкачественности:

$$\lambda = \frac{CO + H_2 + CH_4}{100} = \frac{19,8 + 15,7 + 2,96}{100} = 0,385. \quad (1)$$

Теплотворная способность 1 м³ газа указанного состава при нормальных физических условиях будет равна:

$$H_u = 30,35 \cdot CO + 25,7 \cdot H_2 + 85,7 \cdot CH_4; \quad (2)$$

$$H_u = 30,35 \cdot 19,8 + 25,7 \cdot 15,7 + 85,7 \cdot 2,96 = 1180 \text{ ккал/м}^3.$$

Исходя из молекулярного веса его компонентов, определим вес 100 молей генераторного газа:

$$G_{\text{газ}} = 28 \cdot CO + 44 \cdot CO_2 + 32 \cdot O_2 + 2 \cdot H_2 + 16 \cdot CH_4 + 28 \cdot N_2, \quad (3)$$

для данного состава газа:

$$G_{\text{газ}} = 28 \cdot 19,8 + 44 \cdot 12,2 + 32 \cdot 0,3 + 2 \cdot 15,7 + 16 \cdot 2,96 + 28 \cdot 49,04 = 2550 \text{ кг.}$$

Удельный вес газа при нормальных физических условиях:

$$\gamma = \frac{G_{\text{газ.}}}{2240} = \frac{2550}{2240} = 1,14 \text{ кг/м}^3. \quad (4)$$

Содержание углерода в газе:

$$C_0 = \text{CO} + \text{CO}_2 + \text{CH}_4 = 19,8 + 12,2 + 2,96 = 34,96 \text{ молей}; \quad (5)$$

водорода:

$$H_0 = 2\text{CH}_4 + \text{H}_2 = 2 \cdot 2,96 + 15,7 = 21,63 \text{ молей}; \quad (6)$$

кислорода:

$$O_0 = 0,5 \cdot \text{CO} + \text{CO}_2 + \text{O}_2 = 0,5 \cdot 19,8 + 12,2 + 0,3 = 22,4 \text{ молей}. \quad (7)$$

Наконец:

$$N_0 = N_2 = 49,04 \text{ молей}. \quad (8)$$

Определим коэффициент полноты сгорания:

$$\zeta = 0,98 - \frac{Az}{C(100+B)}. \quad (9)$$

Потери углерода в золе зависят от зольности соломы и величины z , показывающей количество углерода в очаговых остатках, приходящихся на 1 кг золы. Величина z для случая газификации соломы достаточно велика по сравнению с рядом других видов твердых топлив. Это объясняется необходимостью периодического сброса в зольник газогенератора с колосниковой решетки „пассивного“ кокса соломы, потерявшего редуционные свойства. Величина z нами определена в 0,70%.

Балласт топлива B будет равен суммарному процентному содержанию золы и гигроскопической влаги, т. е.:

$$B = A + W = 11,5\%. \quad (10)$$

Следовательно:

$$\zeta = 0,98 - \frac{3,5 \cdot 0,75}{0,499(100 - 11,5)} = 0,976, \quad (11)$$

где 0,499 — содержание углерода в органической массе соломы в долях единицы.

Коэффициент полноты сгорания дает нам возможность определить количество углерода в топливе, затраченного на получение 100 молей сухого генераторного газа:

$$C_m = \frac{C_0}{\zeta} = \frac{34,96}{0,976} = 35,6 \text{ молей}. \quad (12)$$

Тогда вес органической массы соломы, участвующей в процессе газификации, будет:

$$G_{\text{орг.}} = \frac{C_m}{\gamma} \cdot 12 = \frac{35,6}{1,14} \cdot 12 = 860 \text{ кг}, \quad (13)$$

а вес рабочего топлива:

$$G_{\text{общ.}} = \frac{G_{\text{орг.}} \cdot 100}{[100 - (A + W)]} = \frac{860 \cdot 100}{100 - 11,5} = 970 \text{ кг}. \quad (14)$$

Количество других элементов, составляющих органическую массу соломы, найдем из следующих соотношений:

$$H_m = \frac{G_{\text{орг.}} \cdot h}{2} = \frac{860 \cdot 0,063}{2} = 27,0 \text{ молей}, \quad (15)$$

$$O_m = \frac{G_{\text{орг.}} \cdot o}{32} = \frac{860 \cdot 0,429}{32} = 11,53 \text{ молей} \quad (16)$$

$$N_m = \frac{G_{\text{орг.}} \cdot n}{28} = \frac{860 \cdot 0,008}{28} = 0,245 \text{ молей}. \quad (17)$$

Найденные расчетом величины дают нам возможность определить выход сухого газа из 1 кг соломы:

$$E = \frac{2240}{G_{\text{общ.}}} = \frac{2240}{970} = 2,30 \text{ м}^3/\text{кг}, \quad (18)$$

что, примерно, соответствует результатам замера выхода газа на лабораторных моделях (2,15—2,25 м³/кг).

Перейдем к определению расхода первичного воздуха на газификацию 1000 кг рабочего топлива:

$$L = \frac{N_0 - N_m}{0,79} = \frac{49,04 - 0,245}{0,79} = 61,0 \text{ молей}. \quad (19)$$

Вес воздуха

$$L' = 61,5 \cdot 28,95 = 1790 \text{ кг}. \quad (20)$$

Всего очаговых остатков:

$$G_{\text{оч.}} = \frac{A}{100} \cdot G_{\text{об.}} \cdot (1 + z) = \frac{3,5 \cdot 970(1 + 0,7)}{100} = 58,0 \text{ кг}. \quad (21)$$

Определим количество водорода, полученного по реакции водяного газа:

$$H_{\text{H}_2\text{O}} = H_0 - H_m + 2O_m; \quad (22)$$

$$H_{\text{H}_2\text{O}} = 21,63 - 27,0 + 2 \cdot 11,53 = 17,69 \text{ молей}. \quad (23)$$

Для определения количества паров воды, приходящихся на 100 молей сухого генераторного газа, составим уравнение баланса между приходом и расходом воды.

Вес гигроскопической влаги топлива:

$$G'_{\text{H}_2\text{O}} = \frac{W}{100} \cdot G_{\text{общ.}} = \frac{8}{100} \cdot 970 = 77,5 \text{ кг}, \quad (24)$$

или

$$G_{\text{H}_2\text{O}} = \frac{W}{1800} \cdot G_{\text{общ.}} = 4,30 \text{ молей}. \quad (25)$$

Общее содержание воды в газе:

$$H_2O = G_{\text{H}_2\text{O}} - H_0 + H_m; \quad (26)$$

$$H_2O = 4,30 - 21,63 + 27,0 = 9,67 \text{ молей},$$

или

$$H_2O' = 9,67 \cdot 18 = 173 \text{ кг.}$$

Содержание водяных паров на 1 м³ влажного генераторного газа

$$g = 0,8 \frac{H_2O}{100 + H_2O} = 0,8 \frac{9,82}{100 + 9,82} = 0,072 \text{ кг/м}^3. \quad (27)$$

На основании произведенных расчетов составим материальный баланс:

| Приход | Расход |
|---------------------------------------|---|
| Вес рабочего топлива 970 кг | Вес сухого генераторного газа 2550 кг |
| „ сухого воздуха 1790 „ | Вес влаги, приходящейся на 100 молей газа 173 „ |
| Итого 2760 кг | Вес очаговых остатков 58,0 „ |
| | Итого 2781 кг |

Невязка в материальном балансе:

$$\frac{2781 - 2760}{2781} 100 = 0,7\%.$$

При расходе 970 кг соломы влажностью в 8% количество гигроскопической влаги, участвующей в процессе получения 100 молей сухого нормального газа, составит 77,5 кг.

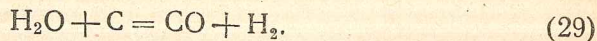
Количество химической воды (вода Дюлонга) будет равно:

$$0,01125 \cdot O_2 \cdot G_{орг.} \text{ кг} \quad (28)$$

или

$$0,01125 \cdot 42,91 \cdot 860 = 412 \text{ кг.}$$

Таким образом получается, что в процессе газификации соломы участвует 489,5 кг воды, что составляет около 50% от всего веса топлива. Из этой массы воды 316,5 кг реагирует с углеродом топлива по реакции:



Оставшиеся 173 кг переходят в газ и конденсируются в системе очистки и охлаждения.

Следовательно, даже при газификации абсолютно сухой соломы количество полученной химической воды было бы вполне достаточно для ведения реакции водяного газа.

На фиг. 4 построен график, выражающий зависимость влагосодержания генераторного газа из соломы g от относительной влажности соломы (W_p) в процентах.

Построение такого графика дает возможность воспользоваться им при проектировании системы охлаждения газа, в частности при расчете емкости отстойников и определении точек сброса конденсата по системе. По данным графика, при средней эксплуатационной влажности (относительной) соломы $W_p = 4\%$, выход конденсата составляет около 25 г/м³

газа. Эта цифра, примерно, соответствует данным, полученным в условиях лабораторных испытаний газогенератора.

На предлагаемом графике $g = 0$ при $W_p = 1,17$, т. е. началом отсчета на ординате оказывается точка, являющаяся вершиной угла, образованного положительным направлением прямой и второй осью абсцисс, проведенной через эту точку.

Угловым коэффициентом прямой равен $\text{tg } \alpha$. Характеризуя скорость изменения W_p по g , этот угловой коэффициент для разных топлив имеет свои значения, зависящие от теплофизических свойств топлива.

Остановимся на влиянии влажности соломы на теплотворную способность генерируемого из нее газа.

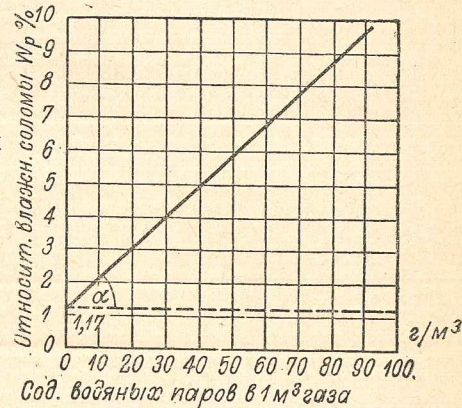
Испытания позволяют предположить, что в пределах влажности соломы от 0 до 6% теплотворная способность генераторного газа меняется незначительно, несмотря на то, что состав газа при этом существенно меняется. Однако при дальнейшем увеличении влажности соломы теплотворная способность газа начинает снижаться вместе с падением температуры слоя.

Изложенное приближенно можно иллюстрировать графиком на фиг. 5, на котором показано изменение теплотворной способности генераторного газа из соломы в зависимости от ее влажности.

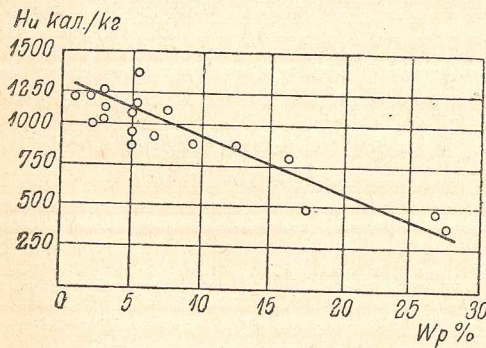
Таким образом, чтобы получить в нормальных условиях газификации соломы газ, не содержащий паров воды, необходимо газифицировать солому с таким процен-

том гигроскопической влаги, которая могла бы целиком прореагировать с углеродом по реакции водяного газа (29) и ограничить расход тепла, связанный с влагой топлива, только лишь на протекание эндотермической реакции водяного газа, т. е. в нашем случае:

$$U_{(CO+H_2)} = 28351 \cdot H_{H_2O} = 28351 \cdot 17,69. \quad (30)$$



Фиг. 4. Зависимость влагосодержания генераторного газа от влажности соломы.



Фиг. 5. Зависимость теплотворной способности генераторного газа из соломы от ее влажности.

Согласно приводимому ниже выражению, влага топлива будет равна:

$$G_{H_2O} = \frac{W}{1800} G_{\text{общ. молей}}, \quad (31)$$

где $G_{\text{общ.}}$ представляет вес влажного топлива, т. е.

$$G_{\text{общ.}} = G_{\text{орг.}} \frac{100}{100 - (A + W)} \text{ кг.} \quad (32)$$

Выше нами установлено, что

$$g = 0,8 \frac{H_2O}{100 + H_2O} \text{ кг/м}^3.$$

Если принять, что $g = 0$, то

$$0,8 \frac{H_2O}{100 + H_2O} = 0. \quad (33)$$

Это уравнение будет равно нулю, если равен нулю его числитель, т. е. если $H_2O = 0$.

Влага генераторного газа нами вычислялась по выражению:

$$H_2O = G_{H_2O} - H_0 - H_m$$

Поэтому необходимо, чтобы

$$G_{H_2O} - H_0 + H_m = 0. \quad (34)$$

Решив это уравнение относительно H_0 , найдем что

$$H_0 = G_{H_2O} + H_m, \quad (35)$$

т. е. количество молей водорода равно количеству молей гигроскопической влаги газифицируемого топлива плюс весь водород, заключенный в топливе.

Решив уравнение (34) относительно G_{H_2O} , получим:

$$G_{H_2O} = H_0 - H_m. \quad (36)$$

Поставив в это уравнение значение из уравнения (32), получим:

$$\frac{W}{1800} G \frac{100}{100 - (A + W)} = H_0 - H_m. \quad (37)$$

Решив это выражение относительно влажности топлива, найдем:

$$W = \frac{(1800 - 18A)(H_0 - H_m)}{G + 18(H_0 - H_m)} = \frac{\frac{100 - A}{G}}{\frac{G}{18(H_0 - H_m)} + 1}.$$

Таким образом, если нам необходимо получить из соломы абсолютно сухой газ, то для этого влажность соломы, выраженная в процентах (от влажной соломы), должна быть равна:

$$W = \frac{\frac{100 - A}{G_{\text{орг.}}}}{\frac{G_{\text{орг.}}}{18(H_0 - H_m)} + 1}. \quad (38)$$

Подставив в выведенное уравнение данные из вышеприведенного расчета, получим:

$$W = \frac{\frac{100 - 3,5}{860}}{\frac{860}{18(15,7 - 6,29)} + 1} = 0,0117,$$

т. е. для условий получения сухого генераторного газа из соломы исходная относительная влажность соломы должна быть равна: $W_p = 1,17\%$.

Величина g , найденная нами выше и показывающая влагосодержание 1 м³ газа, является важной величиной качественной оценки генераторного процесса.

В смысле сокращения физических потерь с уходящими газами очевидно был бы рационален такой газогенератор, где вся влага, участвующая в процессе газификации, разложилась бы по реакции водяного газа, т. е. до $g = 0$.

Однако чрезмерное уменьшение гигроскопической влаги приводит, как известно, к излишкам тепловой энергии, которая не может быть аккумулирована, а потому и вызывает повышение температурного режима процесса.

В то же время низкая точка магматического состояния золы соломы не позволяет повышать температуру слоя, и с этой точки зрения установленный экспериментально диапазон влажности соломы соответствует и этому второму условию процесса.

Иначе говоря, при газификации соломы ограничение величины ее влажности является одним из основных условий ведения бесшлакового процесса.

Экспериментально нами установлено, что с повышением влажности соломы, наряду с падением теплотворной способности газа, снижается температура слоя. Падение температуры, как известно, связано с повышающимся расходом тепла на испарение воды. В этом смысле газифицируемый слой соломы-сечки по сравнению с древесноугольным топливом, обладая в 5—6 раз меньшей удельной теплотностью, по существу располагает исключительно ограниченным запасом тепловой энергии, могущей быть использованной на испарение влаги.

Расход тепла на испарение воды определяется обычно по следующему выражению:

$$U_v = 10710 (G_{H_2O} + 2O_m) \text{ ккал.} \quad (39)$$

Численное значение U_v для влажности в пределах 1—15% приведено в табл. 1.

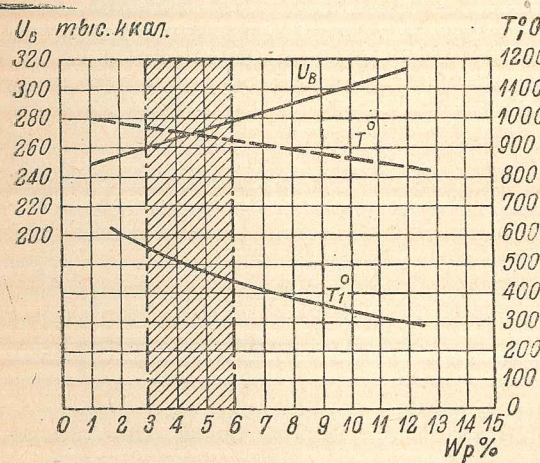
На фиг. 6 нами произведено графическое построение трех величин: U_v — расход тепла на испарение влаги, $T^\circ\text{C}$ — температура слоя в кислородной зоне и, наконец, $T_1^\circ\text{C}$ — температура газа на выходе из зольника.

На левой ординате отложены численные величины U_v в тысячах калорий, на правой ординате температура, а на оси абсцисс — относительная влажность соломы в процентах.

Таблица 1

Расход тепла на испарение воды из соломы в зависимости от ее относительной влажности

| Влажность соломы, % | $G_{H_2O} = \frac{W}{1800} \times G_{общ. моль}$ | $20_m моль$ | U_B в тыс. ккал |
|---------------------|--|-------------|-------------------|
| 1 | 0,54 | 23,06 | 250 |
| 2 | 1,08 | 23,06 | 260 |
| 3 | 1,62 | 23,06 | 264 |
| 4 | 2,15 | 23,06 | 272 |
| 5 | 2,68 | 23,06 | 275 |
| 6 | 3,24 | 23,06 | 282 |
| 7 | 3,78 | 23,06 | 288 |
| 8 | 4,30 | 23,06 | 293 |
| 9 | 4,85 | 23,06 | 298 |
| 10 | 5,40 | 23,06 | 304 |
| 11 | 5,95 | 23,06 | 310 |
| 12 | 6,45 | 23,06 | 315 |
| 13 | 7,00 | 23,06 | 322 |
| 14 | 7,50 | 23,06 | 323 |
| 15 | 8,10 | 23,06 | 334 |



Фиг. 6. Влияние влажности соломы (W_p % отн.) на U_B расход тепла на испарение влаги, T_2 °C — т-ру слоя в кислородной зоне и T_1 °C — т-ру газа на выходе из зольника.

мы для газификации, заключающийся в ее предварительной сушке.

2. Влияние влажности соломы на ее движение в шахте газогенератора

Кроме влияния влажности соломы на качественные показатели процесса газификации, о которых мы говорили выше, сте-

Характер изменения нанесенных на графике величин в достаточной мере отражает протекание теплового режима газогенератора в зависимости от исходной влажности соломы.

Границы наиболее эффективного процесса газификации соломы, таким образом, лежат в пределах 3—6% относительной ее влажности.

Достижению этого процента влажности должен быть подчинен технологический процесс подготовки соло-

мень влажности, как показывают наблюдения, значительно сказывается на динамике движения топлива по шахте.

При повышении влажности сыпучесть соломы уменьшается вследствие следующих причин:

- 1) нарастания сил внутреннего трения слоя и трения соломы о стенки шахты газогенератора;
- 2) разбухания слоя вследствие его нагрева.

Опыт показывает, что движение соломы по шахте газогенератора с металлическими стенками протекает более благоприятно, чем в шахте с кирпичными стенками.

В то же время с повышением влажности соломы сход соломы вдоль стенок формы улучшается, хотя общая подвижность частиц топлива (солома-сечка) в слое значительно падает.

В табл. 2 мы приводим зависимость коэффициента трения μ от влажности соломы W_p для наиболее типичных условий трения.

Таблица 2

Зависимость коэффициента трения от влажности соломы для наиболее типичных условий трения

| Условия трения при движениях соломы | Значения μ при влажности соломы W_p в % | | | | |
|--------------------------------------|---|------|------|------|------|
| | 5 | 15 | 25 | 35 | 45 |
| Вдоль металлической стенки | 0,40 | 0,35 | 0,31 | 0,23 | 0,24 |
| Вдоль кирпичной стенки | 0,56 | 0,52 | 0,50 | 0,48 | 0,43 |
| « деревянной (с-х. пресса) | 0,44 | 0,43 | 0,39 | 0,36 | 0,30 |

Однако следует помнить, что на торможение движения слоя оказывает известное влияние процесс возгонки и швелования соломы. Выделяющиеся в соответствующих этому процессу зонах жидкие продукты термического разложения связывают слой и значительно понижают его подвижность.

Все указанное является одной из причин неравномерной работы газогенератора. При таких условиях допустимо рассматривать слой соломы как стационарный, в котором на место выгоревшей части не будет равномерно поступать новая.

Работа газогенератора с таким слоем характеризуется частыми прогарам и образованием сводов, приводящих к зависанию топлива и полной локализации процесса.

Для работы такого слоя необходимо установление непрерывного или периодического перемешивания и опускания топлива, приводящего к значительному усложнению конструкции.

Таким образом, понижение влажности мы должны рассматривать как меру подвижности слоя, оказывающую большое влияние на качественные показатели процесса газификации в целом.

3. О динамике процесса сушки соломы

С точки зрения пирогенетической переработки твердых топлив подсушка топлива перед газификацией является первой по степени глубины этого процесса ступенью и протекает при температурах 110—115° С.

Четко установить температуру начала пирогенетического разложения нельзя, так как разложение богатого гуминовыми веществами топлива может начинаться и при температуре несколько ниже 100°. Разложение топлива в процессе подсушки проявляется обычно в слабой степени, в виде едва заметного газыделения.

Характерной особенностью процесса сушки вообще является испарение влаги, или изменение фазы влаги в материале из жидкой в газообразную.

Испарение влаги в основном происходит с поверхности материала, поэтому в первые моменты сушки концентрация влаги на поверхности оказывается меньше, чем во внутренних слоях материала. Таким образом, движущей силой перемещения влаги внутри материала является разность концентраций влаги. Переход влаги материала в окружающую среду в процессе сушки распадается на две фазы: а) движение, или диффузия, влаги из внутренних слоев к поверхности и б) испарение влаги с поверхности.

Интенсивность продвижения влаги внутри материала, при всех равных других условиях, очевидно будет прямо пропорциональна коэффициенту диффузии D и обратно пропорциональна толщине материала [1]. Этот фактор для условия сушки соломы-сечки, имеющей тонкую стенку стебля, является необычайно важным.

В этом случае интенсивность испарения влаги с поверхности соломы очевидно будет зависеть от гидродинамических условий обтекания поверхности газовой средой, от формы и состояния поверхности и влажности на поверхности материала.

В том случае, если давление пара над слоем соломы будет больше, чем парциальное давление этих паров в воздухе, очевидно, будет происходить перемещение этой влаги из материала в воздух, т. е. будет протекать процесс сушки, — при обратных условиях будет иметь место сорбция, т. е. поглощение материалом влаги.

Этот процесс будет происходить до тех пор, пока давление паров над материалом и в воздухе не сравняется. Таким образом, в результате сушки и сорбции материал приходит к определенному содержанию влаги, которая находится в равновесии с влагой, содержащейся в воздухе.

Равновесная влажность для соломы, хранящейся под навесом на воздухе, составляет примерно 16—22% и зависит от времени года. Эта величина влажности значительно выше, чем та, с которой солома пригодна для газификации. Следовательно, в задачу сушки соломы в целях ее подготовки для газификации входит почти полное удаление равновесной влаги. Во избежание сорб-

ции такая солома должна быть сразу использована для газификации или хранима короткое время в особо благоприятных условиях.

Подсушка, например, древесного топлива производится до 12—15%; дальнейшее уменьшение влажности считается нерациональным вследствие того, что при хранении древесины, даже в закрытом помещении, последняя в течение 4—5 суток вновь будет иметь влажность 12—16% (в зависимости от влажности и температуры окружающего воздуха).

В табл. 3 приводятся данные о поглощении влаги из воздуха березовой щепой в зависимости от времени пребывания ее на воздухе. Щепка имела следующие размеры: длина от 30 до 100 мм, ширина от 20 до 60 мм и толщина от 7 до 15 мм.

Опыты производились в ясные дни, щепка была предварительно подсушена до абсолютно сухого состояния, т. е. до постоянного веса.

Таблица 3

Величина поглощения влаги березовой щепой в зависимости от времени ее пребывания на воздухе

| Время нахождения щепы на воздухе в час. | Абсолютная влажность в % | Время нахождения щепы на воздухе в час. | Абсолютная влажность в % | Время нахождения щепы на воздухе в час. | Абсолютная влажность в % |
|---|--------------------------|---|--------------------------|---|--------------------------|
| 1 | 1,7 | 7 | 4,9 | 32 | 10,3 |
| 2 | 2,7 | 8 | 5,2 | 40 | 11,2 |
| 3 | 3,3 | 12 | 6,3 | 48 | 11,6 |
| 4 | 3,8 | 16 | 7,2 | 72 | 12,9 |
| 5 | 4,2 | 20 | 8,1 | 96 | 14,1 |
| 6 | 4,6 | 24 | 8,9 | 120 | 15,3 |

При нахождении щепы на воздухе больше 120 час. влажность не увеличивалась, следовательно, эта влажность соответствовала состоянию равновесия.

Приведенная в табл. 3 влажность в 15,3% соответствует полному насыщению щепы только для сентября; для зимнего времени влажность древесины должна возрасти, а для летнего — снизиться.

При высушивании соломы в первую очередь испаряется капиллярная вода, а затем коллоидальная. Небольшая часть коллоидальной и химически связанной воды остается в соломе даже после искусственной сушки при температуре 100—110° С. Влажность соломы, соответствующая моменту полного испарения капиллярной воды и началу испарения коллоидальной воды, есть точка насыщения волокна соломы.

Начиная с точки насыщения волокна, дальнейшая сушка волокна вызывает усушку соломы, величина которой для соломы-сечки при достижении влажности $W_2 = 2-3\%$ составляет 15% (по объему).

Наиболее эффективный способ сушки соломы как метод ее подготовки для газификации был достигнут при использовании для этой цели отработавших газов двигателя внутреннего сгорания. Однако были проведены исследования и других методов сушки, результаты которых хотя и были менее удовлетворительны, но полученные материалы были весьма полезны для расширения познаний в области физико-механических свойств соломы в слое.

В связи с этим мы также уделим некоторое внимание итогам этих работ.

4. Исследование методов сушки соломы

По условиям эксплуатации газомоторной установки, используемой в качестве топлива для газификации соломы, основные требования, которые должны быть предъявлены к способу сушки, заключаются в следующем:

- 1) непрерывность процесса сушки;
 - 2) обеспечение качественных и количественных ее показателей;
 - 3) минимальные материальные затраты.
- С точки зрения этих оценочных показателей мы и будем подходить к результатам изучения следующих методов сушки:
- а) воздушно-солнечная сушка;
 - б) огневая сушка;
 - в) подсушка соломы-сечки в бункере газогенератора путем отсоса из бункера части нагретых швельгазов и газов сухой перегонки в смеси с водяным паром;
 - г) сушка соломы-сечки путем использования теплоотдачи нагретых стенок первой ступени охлаждения и очистка газа;
 - д) сушка соломы-сечки отработавшими газами двигателя внутреннего сгорания.

а) Воздушно-солнечная сушка

Среди указанных выше способов сушки воздушно-солнечная сушка является наиболее доступной. Опыт этой сушки, проведенный на Украине и в колхозе „Октябрь“ Ленинградской области во время производственных испытаний газомоторной установки в 1947 г., дал возможность произвести оценку этого способа сушки соломы.

При естественной воздушной сушке влагосодержание соломы стремится к равновесному состоянию с влажностью воздуха. При большой влажности соломы и относительно малом влагосодержании воздуха происходит процесс выделения влаги из соломы в атмосферу и, наоборот, при понижении температуры воздуха и увеличении влагосодержания наблюдается увлажнение ранее высушенной соломы.

Практически солома, хорошо просушенная днем, при хранении в течение ночи на открытом воздухе, как правило, поглощает от 1 до 4% влаги.

Значительно развитая реактивная поверхность соломы повышает интенсивность влагопоглощения. Этот процесс для соломы сопровождается главным образом сорбцией и в самой небольшой степени перемещением влаги внутрь стенок стебля.

Именно наличие в соломе большого количества адсорбционной влаги объясняет сравнительно быструю отдачу влаги соломой и, наоборот, ее быстрое насыщение этой влагой. У древесины инерция влагонасыщения значительно больше, почему и период изменения влажности также значительно выше.

На фиг. 7 приведен сравнительный график скорости увлажнения древесины и соломы в зависимости от относительной влажности воздуха (33 и 69%).

Из графика видно, что поверхностный слой древесины насыщается влагой довольно быстро, перемещение же влаги внутрь образца протекает в 4—5 раз медленнее. Насыщение влагой растительной ткани соломы, при тех же значениях относительной влажности соломы, заканчивается примерно в течение 2—3 суток.

Относительная влажность воздушносухой соломы, хранимой под навесом, в среднем колеблется от 16 до 22%, причем в летние месяцы влажность уменьшается, а в осенние и зимние месяцы влажность соломы повышается.

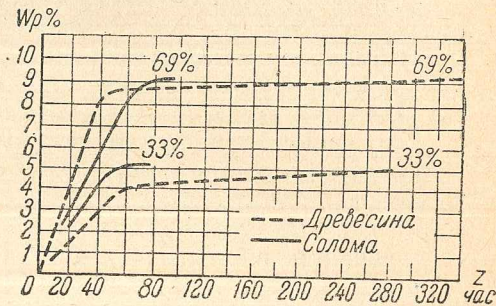
Очевидно воздушносухая солома по наличию влаги не может быть признана пригодной для газификации. Более лучшие результаты дает солнечная сушка соломы. В летние месяцы и в период уборки урожая солнечной сушкой влажность соломы можно довести до 4—5%. Однако этот способ сушки, находясь в прямой зависимости от количества солнечных летних дней, не может гарантировать непрерывность и надежность процесса сушки и по этим причинам его следует рассматривать только лишь как подсобный.

б) Огневая сушка

Огневая сушка соломы изучалась в двух направлениях:

- а) сушка в риге с нагревом печи сжиганием дров или соломы,
- б) сушка в специальных печах с шахтными жаротрубными камерами.

Основной недостаток сушки соломы в риге заключается, прежде всего в дополнительном расходе топлива, его заготовке и содержании дополнительного персонала для обслуживания риги.



Фиг. 7. Сравнительный график скорости увлажнения древесины и соломы в зависимости от относительной влажности воздуха.

Сушка соломы при этом протекает продолжительное время (насадка соломы в 200 кг с влажностью в 20—25% сохнет в 10 час.) и характеризуется неравномерностью. Обслуживание такого сушила связано с транспортом соломы с полей и вторичной ее отвозкой к работающему газогенератору. Излишки высушенной соломы требуют организации надлежащего хранения во избежание ее увлажнения.

Огневая сушка соломы в специальных сушильных устройствах возможна в двух направлениях:

1) использование физического тепла дымовых газов путем их распределения по газовым трубам, образующим как бы „под“ сушильной камеры (сушилка Быкова и Чистова);

2) создание сушильной камеры с водогрейными трубами.

Небольшие габариты упомянутых сушильных камер дают возможность сушить здесь резаную солому, солому-сечку или пресс-пакеты, уложенные в кассеты. Цикл сушки соломы с начальной влажностью в 28 до конечной влажности в 5% в такой камере равен 4—5 час.; производительность цикла 60—65 кг.

Процесс сушки соломы здесь протекает значительно равномернее, однако этому способу свойственно большинство недостатков, перечисленных выше при разборе сушки в риге.

Испытанные выше методы сушки соломы естественно не могли удовлетворить основному требованию, вытекающему из условий рациональной и эффективной эксплуатации газомоторной установки в сельском хозяйстве.

По этим причинам в основу дальнейших исследований методов сушки соломы было положено требование, по которому сушка соломы должна была рассматриваться как часть единой технологической схемы газомоторной установки. Этому условию с нашей точки зрения удовлетворяли: а) метод влагоотсоса, б) использование теплоотдачи нагретых поверхностей газогенераторной системы и, наконец, в) использование тепла отработавших газов работающего газового двигателя.

в) Сушка соломы-сечки в бункере газогенератора методом влагоотсоса

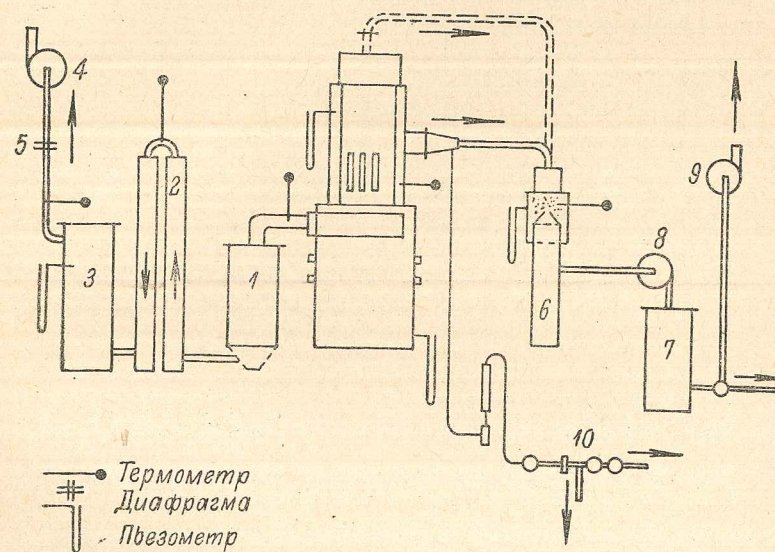
Метод сушки топлива в шахте газогенератора путем удаления избытка влаги топлива в дымовую трубу достаточно оправдал себя в газогенераторах древесного топлива. Хотя в этом случае тепловая экономичность газогенератора снижалась, однако не настолько, чтобы признавать этот способ малоэффективным. Этот способ был применен и для сушки соломы. Экспериментальная схема этой установки приведена на фиг. 8.

Шахта газогенератора была приспособлена для отсоса водяных паров двумя путями. По первому пары должны были отбираться из слоя соломы через вертикальные щели, созданные специально для этого в нижней части бункера по его окружности. В этом случае пары должны были выходить из щелей в коль-

цевое пространство, образуемое бункером и внешним кожухом, и отсасываться через патрубок в соответствующие приемники.

По второму методу пары влаги должны были отсасываться из верхней части шахты по трубопроводу, указанному на схеме пунктиром. На этой же схеме левая от газогенератора часть представляет нормальную газогенераторную систему, состоящую из циклона 1, охладителей 2 и очистителя 3. Здесь газ из газогенератора отсасывается вентилятором 4 с замером его расхода на диафрагме 5.

Правая часть схемы представляет влагоотсасывающее устройство, состоящее из фильтра-холодильника 6, второго холодиль-



Фиг. 8. Схема экспериментальной установки для исследования сушки соломы в бункере газогенератора методом влагоотсоса.

ника 7, вентилятора 8 и добавочной ротационной газовоздушной 9. Влагосодержание газа определялось на хлорокальциевой схеме 10. Общее количество конденсата по системе замерялось после окончания опыта, путем его слива в мерную посуду.

Качество газа контролировалось газовым анализом и характером факела и его расцветкой на пробной горелке.

В результате исследования сушки соломы в бункере газогенератора при боковом и центральном влагоотсосе были сделаны следующие выводы:

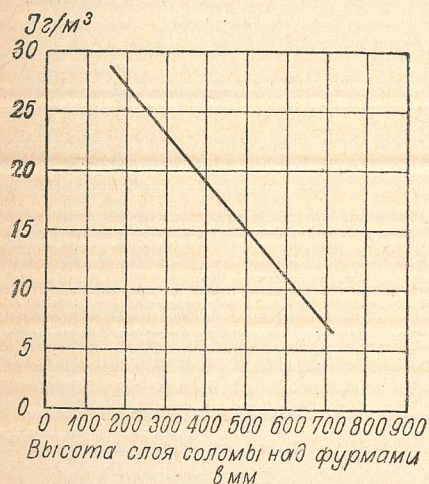
1. Высокое гидравлическое сопротивление слоя соломы-сечки в бункере газогенератора, еще более увеличивающееся в процессе нагрева слоя и его разбухания, дает возможность организовать подсушку топлива в бункере лишь при невысоком

его слое над уровнем фурм. Экспериментально эта высота установлена в 350—450 мм при производительности газогенератора, до 60 м³ газа в час.

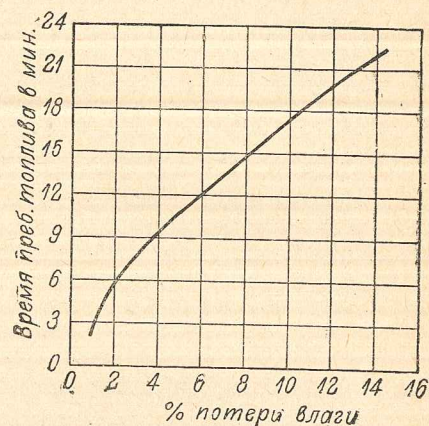
На фиг. 9 это соответствует величине влагосодержания газа, отсасываемого из бункера: $J = 19 - 23 \text{ г/м}^3$.

2. Установленная выше высота слоя обеспечивает отсос пара при значительной герметизации бункера и его загрузочной части, однако это обстоятельство исключает управление слоем сверху и засыпку топлива.

Эти операции, периодически проводимые при открытой крышке, нарушают установившийся процесс влагоотсоса.



Фиг. 9. Влагосодержание газа $J \text{ г/м}^3$, отсасываемого из бункера, в зависимости от высоты слоя соломы над фурмами.



Фиг. 10. Потеря влаги слоем соломы сечки в бункере газогенератора в зависимости от времени пребывания (высота слоя 35 см, расход топлива 14 кг/час).

3. Процесс прогрева слоя соломы протекает значительно медленнее, чем идет скорость движения топлива в бункере. Такое сокращенное время пребывания соломы в зоне подсушки не обеспечивает испарения необходимого количества влаги (фиг. 10).

Так, например, при высоте слоя соломы над фурмами в 35 см и необходимости держать слой над фурмами не менее 15 см время пребывания оставшейся части слоя высотой в 20 см будет равно всего лишь 4 мин., что дает потерю влаги около двух процентов.

4. При работе с невысоким слоем засыпки процесс газификации протекает крайне неравномерно, имеют место частые случаи самовозгорания слоя и выброс пламени, что значительно усложняет эксплуатацию газогенератора. При этом вместе с парами воды в систему влагоотсоса и конденсации поступают в значительном количестве пары смол, загрязняющие трубопроводы и отстойники.

5. Подсушка соломы указанными методами, по данным наблюдений, приводит к повышению расхода соломы на 18—25% против нормальных условий газификации кондиционной соломы. Изложенные главнейшие выводы проведенного исследования подсушки физического тепла „горячих зон“ газогенератора хотя и подтверждают принципиальную возможность этого метода, однако в применении к соломе, как очевидно и к любому другому мелкозернистому топливу, этот метод оказывается крайне неэффективным. В заключение также следует указать, что изоляция камеры газификации и части основания бункера, как это выполнено в модели газогенератора НИДИ-К17, дает реальную возможность газификации соломы с несколько более высоким процентом влажности, чем это имеет место в модели ГС-1 и ГС-2.

Так, если для этих моделей оптимальный процент относительной влажности можно считать 5%, то для газогенератора с теплоизоляцией и частичным подогревом имеется реальная возможность этот процент увеличивать до 9 и выше, хотя это и приведет к некоторому утяжелению конструкции.

По мнению автора, это безусловно применимо для случая газификации нерезаной, цельной соломы с большим, чем у соломы-сечки коэффициентом свободного пространства в слое, дающим возможность организовать процесс подсушки соломы в значительно развитом объеме бункера в специальных конструкциях стационарных газогенераторов.

Так, при испытании в 1943 г. комиссией Наркомзема СССР стационарного кирпичного газогенератора К-10 для газификации натуральной соломы, кизняка, листа и других отходов солома комбайновой уборки, поступающая в газогенератор, имела относительную влажность в 17% с продолжительностью пребывания в бункере до 30 мин., в течение которых она подвергалась достаточной для процесса подсушки.

Следует отметить, что при пуске такого газогенератора шахта предварительно прогревалась в течение 25—30 мин.

г) Подсушка соломы за счет теплопередачи нагретых стенок циклона

Сравнительно высокая температура внешних стенок циклона газогенераторной установки, доходящая до 110° С, дала возможность испытать сушку соломенной сечки путем использования теплопередачи конвекцией, принимая количество передаваемого тепла,

$$Q = K(t_1 - t_2), \text{ ккал/м}^2 \text{ час}, \quad (40)$$

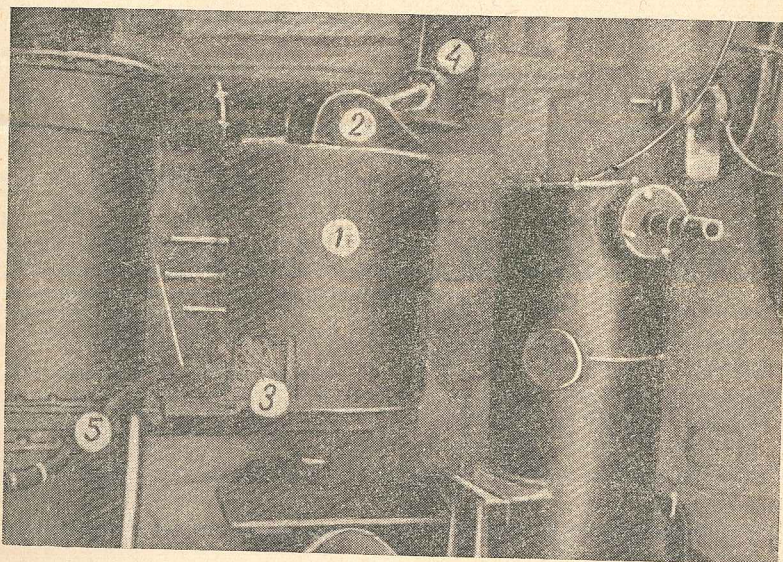
где K — коэффициент теплопередачи.

Однако в процессе теплопередачи, наряду с конвекцией, процесс сушки соломы здесь должен протекать и за счет теплоте-

редачи лучеиспусканием, таким образом количество всей переходящей теплоты здесь будет:

$$Q_{\text{общ.}} = K(t_1 - t_2) + Q_{\text{л}} \text{ ккал/м}^2 \text{ час.} \quad (41)$$

Конструктивно изложенный метод сушки был осуществлен на установке, общий вид которой мы приводим на фиг. 11. Циклон был заключен в металлический кожух 1, загрузка соломь-сечки осуществлялась через крышку 2, а ее выгрузка через два симметрично расположенных окна 3. При дополнительной продувке слоя соломы теплым воздухом последний подавался через ресивер 4, а отвод паров осуществлялся через шланг 5. Температура газов по тракту, температура стенок и слоя соломы замерялась ртутными термометрами.



Фиг. 11. Общий вид установки для исследования сушки соломы теплопередачей от стенок циклона.

Солома для испытания употреблялась в виде сечки, влажностью $W_p = 14,56\%$. Вес загрузки при этой влажности составлял 8,2 кг.

Из итогов проведенных наблюдений прежде всего следует отметить длительность периода сушки и неравномерность сушки по слою. Только лишь через 1 час. 30 мин. в своей общей массе солома достигла влажности $W_p = 5-6\%$. За этот же период газогенератором было израсходовано 22 кг соломы, что составило коэффициент запаса, равный, примерно, только 30%. Процесс подсушки соломы в верхней части циклона — сушила — протекал значительно интенсивнее. Так, через 40 мин. после начала сушки влажность соломы в этом участке равнялась 5,13%, т. е. солома была вполне пригодна для газификации, однако ее количество по весу составляло лишь 2,3 кг.

Рассмотрим выражение коэффициента теплопередачи от горячего газа к топливу через металлическую стенку. Это выражение имеет вид:

$$K = \frac{1}{\frac{1}{\alpha_1} + \frac{S}{\lambda} + \frac{1}{\alpha_2}} \text{ ккал/м}^2 \text{ час}^\circ \text{ С.} \quad (42)$$

На величину теплового потока здесь особенно сильное влияние оказывает значение коэффициента теплопередачи от стенки к топливу — α_2 , S и λ здесь постоянны, а α_1 зависит лишь от температуры генераторного газа [3 и 4].

Коэффициент α_2 определяет довольно сложную передачу тепла от горячей металлической стенки к сравнительно плотному слою соломы-сечки. Этот коэффициент является единственным фактором, на который мы можем воздействовать в целях интенсификации передачи тепла подсушиваемому топливу. Повысить значение коэффициента α_2 можно в том случае, если созданы условия для получения наибольшей разности температур между стенкой и топливом. Этому условию совершенно не удовлетворяет стационарный слой соломы-сечки, подверженный воздействию „свободной“ конвекции, возникающей в нашем сушиле вследствие самопроизвольного теплообмена.

В условиях „вынужденной“ конвекции мы можем получить значительное возрастание коэффициента теплопередачи и сделать процесс сушки высокоэффективным. Таким условиям должно наиболее полно отвечать сушило с перемешиванием, работающее на отработавших газах двигателя.

Изученная подсушка соломы за счет теплопередачи нагретых стенок циклона не может иметь самостоятельного значения в силу исключительно низкой производительности, но может быть использована как подсобная, вне связи с цикличностью питания газогенератора.

д) Сушка соломы отработавшими газами двигателя внутреннего сгорания

Сушка газогенераторного топлива отработавшими газами двигателя внутреннего сгорания в последнее десятилетие развивалась, главным образом, в газогенераторных установках автотракторного типа. Эти работы нашли наиболее широкое распространение на автотракторных базах лесной промышленности, где сейчас эксплуатируется наибольшее количество газогенераторных установок.

Чуркосушилки для сушки свежерубленой древесины созданы как для газогенераторного автомобиля ЗИС-21, так и ГАЗ-42. Конструктивно они сходны и представляют металлический ящик, установленный в передней части кузова около кабины [5 и 6]; в верхней части сушилки имеются два герметически закрываемых люка. Отработавшие газы двигателя с температурой 400—450° С подводятся от выхлопной трубы к промежуточной

трубе и далее в сушилку, под ее решетчатый стеллаж. Поднимаясь кверху, газы пронизывают слой древесных чурок и вместе с паром удаляются через газо-пароотводные патрубки, расположенные в верхней части сушильного ящика. Стенки сушильной камеры изолированы азбестом. Впуск газов регулируется двумя дросселями.

Основной недостаток упомянутых чуркосушилок заключается в неравномерном нагреве слоя заложенных для сушки чурок.

В результате со стороны входа газов в сушильную камеру древесная чурка быстро высыхает и загорается, а со стороны выхода газов чурка распаривается и слишком медленно отдает влагу.

Попытки выровнять температуру в сушилке при помощи установки различных экранов и кожухов приводили к сложным и тяжелым конструкциям.

Значительные успехи в области создания автомобильных чуркосушилок на отработавших газах двигателя были достигнуты доцентом Ленинградской лесотехнической академии С. Ф. Орловым [7]. Созданная им чуркосушилка для газогенераторного автомобиля не обладала указанными выше недостатками и создавала ровные температурные поля при сравнительно быстром процессе самой сушки.

Осуществление сушки соломы отработавшими газами двигателя, как и любого другого газогенераторного топлива, характерно тем, что сушка при таком методе входит в единый технологический цикл газогенераторной установки, повышая ее общий к. п. д. и уменьшая себестоимость подготовки топлива.

Предварительные опыты по сушке соломы-сечки отработавшими газами были организованы инж. Запорожец в полевых условиях во время эксплуатации газомоторной установки НИДИ на обмолоте зерновых в колхозе „Октябрь“ Ленинградской обл. Сушило, представляющее металлический ящик с двойным дном, было установлено на бункере установки. Отработавшие газы подводились от двигателя в сушило посредством изолированного азбестом гибкого металлического шланга.

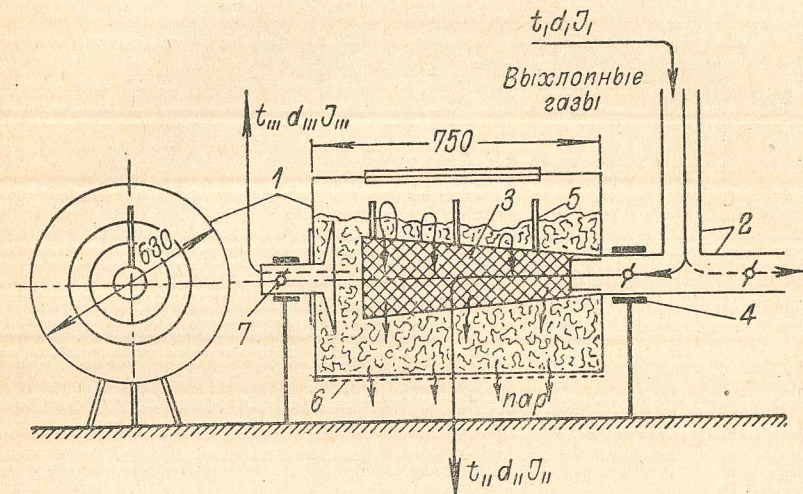
Опыт эксплуатации этого сушила показал, что, несмотря на все его несовершенство и неотработанность технологического процесса сушки, газы двигателя могут быть с успехом использованы для сушки соломы с определенным исходным процентом влаги W_p .

Неблагоприятная для свободного обтекания частиц гидравлическая характеристика слоя соломы-сечки по сравнению, например, с древесными чурками и низкий коэффициент теплопроводности соломы, равный $0,061-0,08 \text{ ккал/м}^3\cdot\text{час}^\circ\text{С}$, заставили искать иные конструктивные формы сушила, технологические приемы сушки и сам режим, заключающийся в нахождении оптимальным путем наивыгоднейших условий сушки по температуре, паронасыщению и скорости отработавших газов двигателя в рабочей полости сушила.

Для сушки соломы-сечки был избран тип барабанного сушила с перемешиванием. В процессе исследования работы этого су-

шила оказалось, что наиболее ответственной его частью является центральная газораспределительная труба. На схеме барабанного сушила (фиг. 12) мы приводим конструкцию трубы, наиболее отвечающую процессу сушки.

Как видно из приведенной схемы, сушило представляет собою металлический барабан 1 длиной 750 мм и диаметром 630 мм, объем сушила $0,24 \text{ м}^3$. Отработавшие газы поступают в тройник 2 и, в зависимости от того, работает сушило или нет, газы направляются посредством перекрытия дросселей либо в центральную газораспределительную трубу 3, либо в правую часть



Фиг. 12. Схема барабанного сушила с перемешиванием для сушки соломы-сечки отработавшими газами двигателя.

тройника — в атмосферу. Установленные в тройнике дроссели служат также для регулировки количества газов, поступающих в сушило.

Коническая газораспределительная труба по всей своей поверхности имеет перфорацию, закрытую металлической сеткой во избежание провала мелочи в полость трубы. Малый диаметр трубы — 80 мм, большой — 180 мм. Для ускорения процесса сушки, перемешивание топлива в сушиле обеспечивается периодическим поворачиванием барабана в цапфах 4, при этом слой дополнительно разрыхляется специальными пальцами 5, установленными на неподвижной газораспределительной трубе. Отвод пара осуществляется через решетчатую крышку 6 при нижнем положении этой решетки и в случае необходимости через дополнительный центральный патрубок с дросселем.

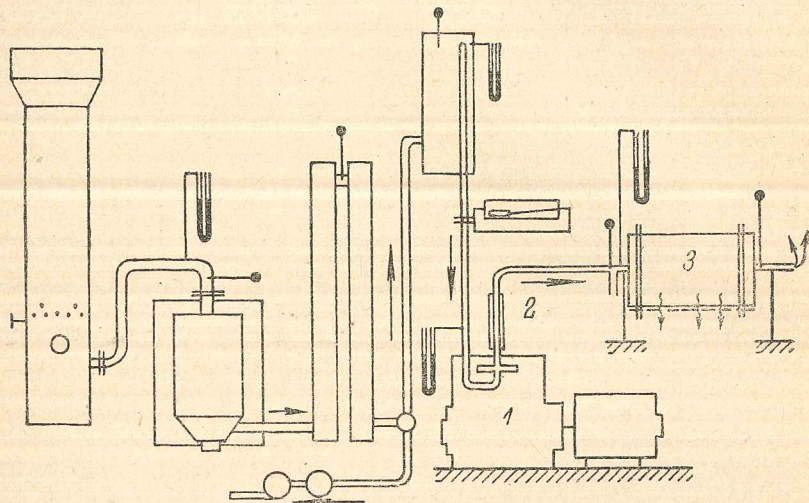
Опытная схема газомоторной установки с барабанным сушилом для сушки соломы отработавшими газами и газовым двигателем 2МЧ приведена на фиг. 13. Газогенераторная установка обеспечивает газом двигатель 1 с тормозным динамо. Отрабо-

тавшие газы по изолированному трубопроводу 2 направляются в барабанное сушило 3.

В результате проведения первых предварительных опытов было установлено:

1) метод сушки соломы отработавшими газами в барабанном сушиле с перемешиванием представляет большой практический интерес и может быть эффективно использован в эксплуатации;

2) допустимая температура отработавших газов при входе в сушило лежит в пределах 160—200°, в зависимости от исходной влажности соломы, величины засыпки и периода сушки;



Фиг. 13. Экспериментальная схема газомоторной установки с барабанным сушилом.

3) наиболее эффективно процесс сушки соломы протекает при нижнем положении пароотборной решетки.

Эти предварительные выводы явились исходными для исследования процесса сушки и установления основных расчетных показателей для барабанного сушила этого типа.

В табл. 4 мы проводим опытные данные по сушке соломы-сечки в барабанном сушиле при исходной влажности соломы $W_{p1} = 16,33$ и $18,18\%$.

Используя данные табл. 4, подведем в табл. 5 конечные итоги сушки.

Как видно из приведенных данных, газовый двигатель 2МЧ обеспечивал производительность сушила при начальной влажности соломы $W_{p1} = 16-18\%$ с коэффициентом запаса $M = 1,5-1,6$. Следует указать, что этот режим сушки возможен при перемешивании топлива (вращение барабана) в течение 5—6 раз за весь цикл сушки.

Процесс сушки при стационарном слое значительно меняется (фиг. 14). Это прежде всего касается времени сушки Z , которое

Таблица 4

Опытные данные по сушке соломы-сечки в барабанном сушиле при исходной влажности соломы $W_{p1} = 16,33$ и $18,18\%$

| № замеров | Время, час. и мин. | | Показания тормозного динамо | | Температура газа за двигателем $t^{\circ}C$ | Температура газа в сушиле | | | Влажность соломы в сушиле в процессе сушки $W_{p2} \%$ | Примечание |
|--|--------------------|----|-----------------------------|--------|---|---------------------------|----------------------|-------------|--|--------------------------------|
| | | | амперы | вольты | | вход $t_1^{\circ}C$ | выход $t_2^{\circ}C$ | $t_1 - t_2$ | | |
| Начальная влажность $W_{p1} = 16,33\%$ | | | | | | | | | | |
| 1 | 15 | 5 | 35 | 215 | 480 | 180 | 80 | 100 | 16,33 | Поворот барабана То же " |
| 2 | | 20 | 37 | 220 | 510 | 170 | 60 | 110 | — | |
| 3 | | 24 | 36 | 218 | 520 | 220 | 90 | 130 | 10,48 | |
| 4 | | 29 | 36 | 220 | 560 | 190 | 80 | 110 | 9,21 | |
| 5 | | 32 | 37 | 225 | 540 | 210 | 110 | 100 | 7,63 | |
| 6 | | 35 | 36 | 220 | 580 | 220 | 100 | 100 | 4,16 | |
| 7 | | 42 | 37 | 223 | 600 | 240 | 120 | 120 | — | |
| 8 | | 45 | 38 | 228 | 570 | 235 | 120 | 115 | 2,25 | |
| Начальная влажность $W_{p1} = 18,18\%$ | | | | | | | | | | |
| 1 | 18 | 35 | 36 | 220 | 540 | 210 | 110 | 100 | 18,18 | То же " " |
| 2 | | 40 | 37 | 225 | 560 | 220 | 107 | 113 | — | |
| 3 | | 45 | 36 | 220 | 580 | 247 | 118 | 129 | 13,0 | |
| 4 | | 50 | 36 | 221 | 620 | 220 | 119 | 101 | — | |
| 5 | | 55 | 37 | 226 | 570 | 220 | 115 | 105 | 6,2 | |
| 6 | 19 | 00 | 37 | 224 | 560 | 215 | 100 | 105 | — | |
| 7 | | 05 | 36 | 220 | 540 | 228 | 110 | 118 | — | |
| 8 | | 10 | 36 | 220 | 550 | 220 | 105 | 115 | 3,9 | |

Таблица 5

Итоговые показатели результатов сушки

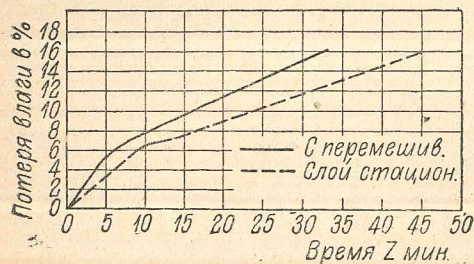
| № сушки | Время сушки в мин. | Расход соломы газогенератором в кг | | Начальная влажность соломы W_{p1} в % | Влажность в конце сушки W_{p2} в % | Вес соломы в сушиле в кг | | % усушки | Коэф. запаса сушила $M = \frac{B_2}{B_1}$ |
|---------|--------------------|------------------------------------|--------------|---|--------------------------------------|--------------------------|---------------------|----------|---|
| | | B_1 за сушки | за один час. | | | в начале сушки B_2 | в конце сушки B_3 | | |
| 1 | 30 | 6,8 | 13,6 | 16,33 | 2,25 | 11,7 | 10,3 | 11,5 | 1,52 |
| 2 | 33 | 7,4 | 15,1 | 18,18 | 3,9 | 12,1 | 10,6 | 12,0 | 1,64 |

при том же значении W_{p1} возрастает в среднем на 28%. Процесс сушки при этом протекает неравномерно и возможны случаи подгорания соломы ввиду ничтожного теплоотвода по слою соломы.

Рассмотрим режим сушила при работе на отработавших газах газового двигателя ГАЗ-МК.

Исходные данные

| | |
|---|-------------------------|
| Мощность двигателя | 20 л. с. |
| Расход соломы в час | 23 кг |
| газа | 49,5 м ³ |
| (при выходе 2,15 м ³ /кг) | |
| Объем отработавших газов в час | 106 м ³ |
| Теплосодержание отработавшего газа при t-ре входа в сушило 190° | 252 ккал/м ³ |



Фиг. 14. Время сушки соломы-сечки в стационарном слое и с перемешиванием.

Условия: $W_p = 19,10\%$ (отн.), $N_e = 13$ л. с., $t_1 = 190^\circ\text{C}$, B_c (вес засыпки) = 12 кг.

Таблица 6

Баланс работы сушила с двигателем ГАЗ-МК при различной исходной влажности соломы-сечки

| Вес соломы в сушиле в кг | Начальная влажность W_{p1} | Конечная влажность W_{p2} | Продолж. сушки z мин. | Вес соломы в конце сушки B_3 | Расход соломы газогенератором за z мин. B_1 | $M = \frac{B_3}{B_1}$ |
|--------------------------|------------------------------|-----------------------------|-----------------------|--------------------------------|---|-----------------------|
| 13,1 | 20,0 | 3,3 | 24 | 10,6 | 9,1 | 1,16 |
| 14,6 | 26,0 | 4,7 | 28 | 11,7 | 11,0 | 1,05 |
| 15,9 | 33,2 | 3,9 | 36 | 11,6 | 14,0 | 0,83 |

В табл. 6 приведены результаты сушки соломы.

Данные табл. 6 показывают, что при сушке соломы отработавшими газами, в применении к эксплуатации газомоторной установки с двигателем ГАЗ-МК, прихода-расходная часть соломы балансируется лишь в том случае, если ее исходная влажность W_{p1} не превышает 25—26%. В этом случае коэффициент запаса сушила $M \cong 1,0$, а его часовая производительность равна 24 кг, т. е. равна часовому расходу соломы газогенератором.

е) Тепловой баланс сушила

На основании данных, полученных за время испытания сушила, подойдем к расчету его теплового баланса.

Определим теплосодержание отработавших газов двигателя при входе в сушило, получающихся из 1 м³ генераторного газа из соломы, отнесенных к 0° С и 760 мм рт. ст., условно считая водяной пар идеальным газом.

Принимаем оптимальную температуру газов при входе в сушило в 190° С, т. е. несколько меньшую, чем нами получена при испытаниях, во избежание обугливания соломы.

Состав отработавших газов в процентах:

| | |
|-----------------------------|------|
| CO ₂ " | 13,5 |
| O ₂ " | 3,3 |
| CO" | 1,1 |
| N ₂ " | 73,4 |
| H ₂ O" | 8,7 |

Всего . . 100

Вычислим теплоемкость газа приведенного состава

$$c_{рт.} = \frac{1}{100} [0,410 \cdot CO_2'' + 0,312 (O_2'' + CO'' + N_2'') + 0,374 \cdot H_2O''] \text{ ккал. м}^3 \cdot ^\circ\text{C}. \quad (43)$$

Подставим значения

$$c_{рт.} = \frac{1}{100} [0,410 \cdot 13,5 + 0,312 (3,3 + 1,1 + 73,4) + 0,374 \cdot 8,7] = 0,332 \text{ ккал. м}^3 \cdot ^\circ\text{C}.$$

Объем отработавших газов, получающихся на 1 м³ генераторного газа, найдем из формулы:

$$A = \frac{200(1 + \alpha V_0) - CO' - H_2'}{200 - CO'' - H_2''}, \quad (44)$$

откуда

$$A = \frac{200(1 + 1,20 \cdot 1,117) - 8,36 - 9,65}{200 - 1,1 - 0} = 2,44 \text{ м}^3,$$

теплосодержание этого количества газа будет равно:

$$Q = 2,44 \cdot 0,332 \cdot 190 \cong 153 \text{ ккал.}$$

Определим остаток „химической теплоты“ в 1 м³ отработавших газов вследствие неполноты сгорания.

Для приведенного выше состава отработавших газов этот остаток составит:

$$30,4 \cdot CO'' = 30,4 \cdot 1,1 \cong 33,5 \text{ ккал.}$$

а на 1 м³ генераторного газа:

$$2,44 \cdot 33,5 \cong 81,7 \text{ ккал.}$$

Тогда общее теплосодержание отработавших газов на 1 м³ генераторного газа из соломы, израсходованного двигателем, составит:

$$153 + 81,7 = 234,7 \text{ ккал.}$$

что соответственно даст теплосодержание 1 м³ отработавших газов:

$$\frac{234,7}{2,44} = 96 \text{ ккал/м}^3.$$

В проведенных нами опытах за цикл сушки (30 мин.) газогенератор расходовал 7 кг соломы. Принимая выход газа с 1 кг соломы $E = 2,15 \text{ м}^3$, мы, таким образом, получаем расход газа двигателем за указанный период времени:

$$2,15 \cdot 7 = 15,05 \text{ м}^3.$$

Таким образом, общий приход тепла в сушило в течение 30 мин., при сжигании двигателем указанного количества газа, составит:

$$Q = 234,7 \cdot 15,05 \cong 3580 \text{ ккал.}$$

Статьи расхода этого тепла можно представить следующим уравнением теплового баланса барабанного сушила:

$$Q = Q_1 + Q_2 + Q_3 + Q_4, \quad (45)$$

где Q_1 — расход тепла на нагрев от τ_0 до τ и испарение удаляемой воды;
 Q_2 — расход тепла на нагрев материала и остаточной влаги от t_0 до t ;
 Q_3 — расход тепла на нагрев частей сушила;
 Q_4 — тепловые потери.

Принимая вес соломы-сечки в сушиле 12 кг при начальной влажности $W_{p_1} = 20\%$ и конечной $W_{p_2} = 3\%$, количество влаги, подлежащей испарению, составит примерно 2 кг.

Тогда:

$$Q_1 = (640 - \tau_0) W, \quad (46)$$

где τ_0 — начальная температура, равная 10° , или

$$Q_1 = (640 - 10)2 = 1260 \text{ ккал.}$$

Определим Q_2 :

$$Q_2 = G_2 \cdot C_m'' (\tau - \tau_0), \quad (47)$$

где C_m'' — теплоемкость высушенной соломы при влажности $W_{p_2} = 3\%$.

Принимая C_c — теплоемкость абсолютно сухого вещества соломы, равной 0,33, найдем значение C_m .

$$C_m = C_c \cdot \frac{100 - W_{p_2}}{100} + \frac{W_{p_2}}{100} = 0,35 \text{ ккал/кг}^\circ\text{C}, \quad (48)$$

тогда

$$Q_2 = 12 \cdot 0,35 (110 - 10) = 420 \text{ ккал.}$$

Определим Q_3 :

$$Q_3 = (F \cdot K \cdot \Delta t_{\text{ср.}}) \text{ ккал}, \quad (49)$$

где F — общая наружная поверхность сушила;

K — общий коэффициент теплопередачи ккал. $\text{м}^2/\text{час}^\circ\text{C}$;

$\Delta t_{\text{ср.}}$ — средняя разность температур, равная 80°C ;

тогда

$$Q_3 = (2,52 \cdot 8,0 \cdot 80) = 1610 \text{ ккал.}$$

Q_4 — тепловые потери; они складываются из утечек газа через неплотности в дросселях и дополнительный газоотборный патрубок. Эти потери, определяемые нами как разность, составляют 290 ккал (8%).

На фиг. 15 приводится диаграмма теплового баланса барабанного сушила для сушки соломы отработавшими газами двигателя внутреннего сгорания.

ж) Расчетные показатели

Как видно из разобранных нами материала, основным вопросом динамики сушки соломы является скорость сушки.

Для единого технологического процесса работы газомоторной установки это означает установление такого режима сушки, при котором производительность сушила (B_3) по весу была бы не менее, чем расход соломы газогенератором (B_1) за это же время. Практически целесообразно, чтобы коэффициент запаса

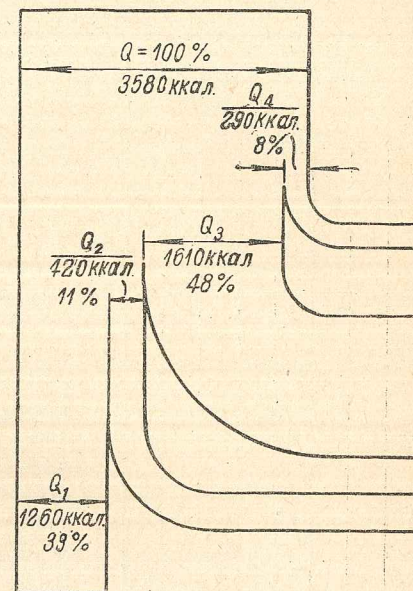
$$M = \frac{B_3}{B_1} = 1,1 - 1,3,$$

т. е. чтобы приход соломы из сушила несколько перекрывал ее расход на газификацию.

Строя зависимость средней влажности материала от времени, мы получим основную кривую сушки, где

$$w = f(z)^2. \quad (50)$$

В задачу динамики сушильного процесса входит нахождение аналитической зависимости между влажностью и временем в процессе сушки, причем вид функции f в общем случае будет зависеть от влажности соломы, ее размеров, от гидродинамических условий обтекания и от параметров газовой среды (от температуры, влажности и скорости газа).



Фиг. 15. Диаграмма теплового баланса барабанного сушила.

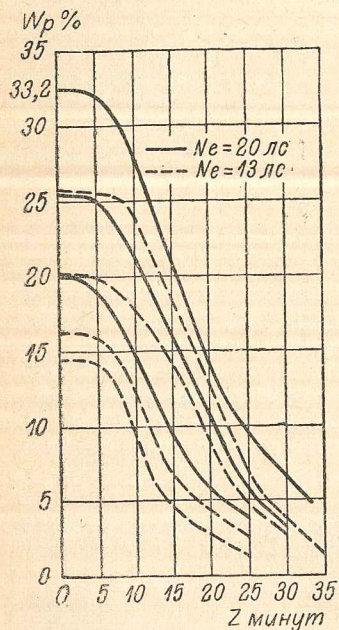
Скорость изменения средней влажности материала или изменение влажности материала в единицу времени, очевидно, будет первой производной функции, т. е.

$$-\frac{dw}{dz} = f_1(z), \quad (51)$$

или

$$-\frac{dw}{dz} = f_{II}(w). \quad (52)$$

Здесь знак минус указывает, что с увеличением времени влажность уменьшается [8].



Фиг. 16. Кривые скоростей сушки соломы-сечки в барабанном сушиле отработавшими газами двигателя.

Кривые скоростей сушки, выражающие эти зависимости, построенные для соломы-сечки по данным эксперимента, приведены на фиг. 16. Сплошными линиями изображены кривые сушки для установки с двигателем ГАЗ-МК, а пунктиром — для двигателя 2МЧ.

Исследуя эти кривые, можно отметить характерную особенность изменения скоростей сушки. Вначале, на коротком участке, скорость сушки имеет минимальную величину, соответствующую прогреву соломы и установлению равновесия между количеством тепла, сообщаемым материалу отработавшими газами и расходуемым на испарение, затем скорость значительно возрастает и остается примерно постоянной до момента, пока давление пара над поверхностью материала сравнивается с парциальным давлением паров влаги в окружающей среде (в данном случае с влажностью отработавших газов в полости сушила).

Разберем элементы, из которых складывается главнейший показатель работы барабанного сушила, — скорость сушки.

1. Природа материала. Солома-сечка относится к классу легкосохнущих материалов, допускающих быструю интенсивную сушку; этому способствует большая реактивная поверхность частиц соломы-сечки, допускающих интенсивный процесс, главным образом поверхностного испарения.

2. Интенсивность перемешивания. Этот фактор для процесса сушки имеет исключительно важное значение. При равномерной сушке установленный опытным путем период перемешивания в 4—5 мин. укорачивает период сушки в среднем на 25% и предохраняет слой от возгонки.

3. Допустимая температура сушки. Установленная опытным путем температура входящих в сушило газов не должна превышать 200—220° в начале процесса и должна быть снижена во второй половине сушки до 180°. В этих условиях пределы рабочего процесса по температуре (τ_1 — τ_2) должны быть не менее 100° С.

4. Скорость движения газов в слое. Этот фактор связан с важным процессом испарения воды со свободной поверхности. Общая теория испарения жидкости в воздух исходит из аналогии между процессами теплопередачи и диффузии, которые имеют идентичные основные дифференциальные уравнения теплопроводности и диффузии. В соответствии с этим количество испаряющейся жидкости с 1 м² в час будет иметь выражение:

$$W' = \frac{W}{zF} = f(R_e, P_r, G_r, l/d) \frac{D}{l} (C_n - C) \quad (53)$$

или

$$\frac{\beta l}{D} = f(R_e, P_r, G_r, l/d), \quad (54)$$

где $\beta = \frac{W'}{C_n - C}$ — коэффициент испарения, отнесенный к разности концентрации;

$P_r = \frac{\nu}{D}$ — критерий, аналогичный критерию P_r при теплопередаче;

D — коэффициент диффузии в м²/час или м²/сек;

$G_r = \frac{\rho \cdot g \cdot \Delta \gamma}{\nu^2 \gamma n}$ — критерий, аналогичный критерию Грасгофа в процессах теплопередачи;

l/d — критерий, учитывающий геометрическую форму частиц соломы-сечки;

$C_n - C$ — разность концентрации паров жидкости в кг/м³ на поверхности тела и в воздухе.

В исследованном нами процессе сушки, принимая $F \cong 100$ м², $W_{p1} = 20\%$, скорость испарения $W'_{исп.} = 40$ г м²/час при скорости движения горячих газов в слое от 0,16 до 0,27 м/сек.

5. Напряжение объема барабана сушила. Напряжение объема барабана сушила при температуре входящих газов $\cong 190^\circ$ принимается

$$\Psi_c = 90 \text{ кгм}^3\text{-час.}$$

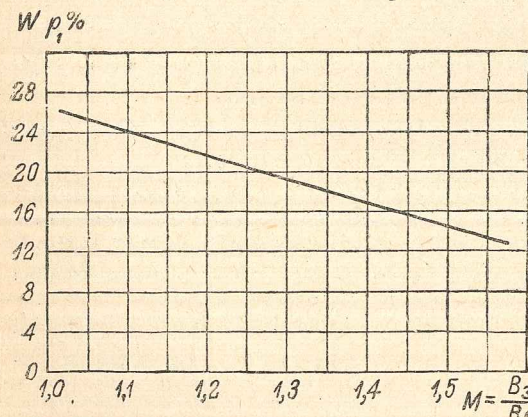
Итак, принимая коэффициент запаса сушила $M = 1,10$ — $1,15$ для максимально возможного в этих условиях значения $W_{p1} = 23$ — 24% , приведем в табл. 7 ряд расчетных данных для сушки соломы-сечки в барабанном сушиле с перемешиванием для наиболее типичных мощностей газомоторных установок с газогенераторами для газификации соломы.

Расчетные данные для сушки соломы-сечки в барабанном сушиле с перемешиванием, для наиболее типичных мощностей газомоторных установок с газогенераторами для газификации газа

| Мощность газового двигателя в л. с. | Расход топлива при $W_p=4\%$ | | Отработавшие газы | | Коэффициент запаса сушила M при $W_{p1} = 23-24\%$ $M = \frac{B_3}{B_1}$ | Рекомендуемый объем барабана в m^3 при коэф. заполнения 0,8 и расчетном напряжении $\Psi_c = 90 \text{ кгм}^2/\text{час}$ |
|-------------------------------------|------------------------------|---------------------------|---|---|---|---|
| | Соломы B_1 кг/час | Газа E $m^3/\text{час}$ | Объем отработавших газов E о. г. $m^3/\text{час}$ | Общий приход тепла в сушило при $t_{вх}=190^\circ$ и теплосодерж. отработ. газа $J=116 \text{ ккал}/m^3$ $Q_{сущ.}$ ккал./час | | |
| 10 | 11,5 | 29,0 | 62,0 | 7 200 | 1,10—1,15 | — |
| 13 | 15,0 | 32,0 | 69,0 | 8 000 | | 0,25 |
| 16 | 18,5 | 40,0 | 86,0 | 10 000 | | — |
| 19 | 22,0 | 47,0 | 100,0 | 11 600 | | — |
| 22 | 25,5 | 55,0 | 117,0 | 13 500 | | 0,32 |
| 25 | 28,0 | 60,0 | 128,0 | 14 800 | | — |
| 28 | 32,5 | 70,0 | 150,0 | 17 300 | | 0,43 |
| 31 | 35,5 | 77,0 | 165,0 | 19 100 | | — |

Примечание. В расчете принята скорость движения газа в слое соломы-сечки в сушиле $\approx 0,2 \text{ м/сек}$ при $t_{ср.сл.} = 150^\circ \text{ С}$.

С уменьшением W_{p1} будет расти коэффициент запаса сушила M , т. е. будет увеличиваться производительность сушила. Указанная зависимость нами приведена на фиг. 17.



Фиг. 17. Зависимость коэффициента запаса сушила M от начальной влажности соломы W_{p1} .

з) Конструкция барабанного сушила

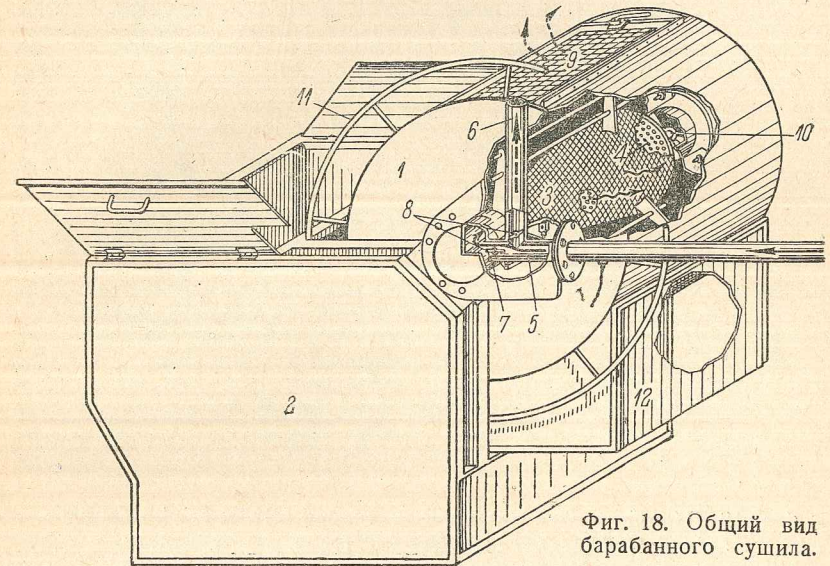
Результаты проведенных работ по исследованию сушки соломы-сечки в барабанном сушиле отработавшими газами двигателя были использованы при проектировании и постройке серийного промышленного образца газомоторной установки, работающей на соломе НИДИ-ГС-4 с газовым двигателем ГАЗ-МК.

Сушило запроектировано в едином агрегате с бункером для хранения высушиваемой соломы и является составной частью технологической схемы газомоторной установки.

Сушило запроектировано в едином агрегате с бункером для хранения высушиваемой соломы и является составной частью технологической схемы газомоторной установки.

Барабанное сушило (фиг. 18) состоит из двух основных частей: барабана 1 и бункера для хранения высушенной соломы 2. Полезный объем барабана $0,28 \text{ м}^3$. Производительность сушила за цикл сушки в 25 мин., при исходной влажности соломы $W_{p1} 20\%$ (относительная), составляет 18 кг.

Полная длина сушила 1200 мм, полная ширина вместе с бункером 1350 мм. Емкость бункера 45 кг сухой соломы ($W_{p2} = 4-5\%$).



Фиг. 18. Общий вид барабанного сушила.

В барабане сушила находится расширяющаяся к выходу газораспределительная труба 3 с отверстиями, служащими для равномерного распределения горячих газов двигателя по слою соломы и равномерного ее нагрева.

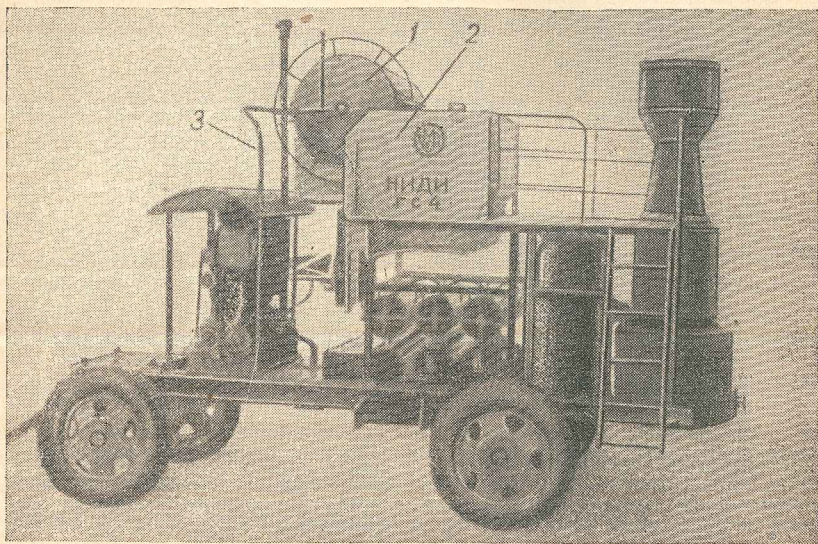
Снаружи труба закрыта металлической сеткой 4, предохраняющей трубу от попадания в ее полость мелких частиц соломы.

На входе отработавших газов в сушило установлен тройник 5. Патрубок тройника 6 служит для перепуска отработавших газов двигателя в атмосферу, а патрубок 7 служит для их направления в газораспределительную трубу сушила. Перепуск газов осуществляется двумя дросселями 8.

Выход паров воды из сушила и газов в период сушки соломы происходит через сетку загрузочной крышки 9 в барабане сушила или через клапан 10, который открывается при слишком большом парении слоя или его сильном нагреве.

Дроссели 8 в тройнике 5 связаны между собой тягой таким образом, что при поворачивании сушила на себя за обод 11 и при положении загрузочной крышки 9 с пароотборной сеткой сверху или ниже в полости бункера (для выгреба сухой соломы) дроссель, впускающий газ в сушило, закрывается, а выхлопной открывается, перепуская таким образом газ в атмосферу.

При поворачивании сушила от себя, т. е. когда загрузочная крышка с паротборной сеткой войдет в пароприемник 12, дроссель, перепускающий газ в атмосферу, закроется, а второй дроссель откроется и направит отработавшие газы двигателя в сушило.



Фиг. 19. Общий вид газомоторной установки НИДИ-ГС-4, оборудованной барабанным сушилом для газификации соломы;

1—барабан сушила; 2—бункер для хранения соломы; 3—труба, подводящая отработавшие газы двигателя в сушило.

Подобными барабанными сушилами оборудована первая серия газомоторных установок, выпущенных в 1948 г. Ленинградским моторемонтным заводом. Общий вид передвижной газомоторной установки НИДИ-ГС-4 с барабанным сушилом приведен на фиг. 19.

ЛИТЕРАТУРА

1. Лурье М. Ю., Сушильное дело, М-Л, Энергоиздат, 1938.
2. Марр, Сушка и сушила, 1932.
3. Яблонский и Шумилов, Практический курс по теории теплопередачи, 1935.
4. Бродский А. И., Современные методы вычисления термодинамических функций, Москва 1947.
5. Максимов А., Автомобиль работает на чурках из свежерубленой древесины. „Автомобиль“ № 6, 1943.
6. Максимов А., Чуркосушилка для автомобиля ГАЗ-42, „Автомобиль“, № 7—8, 1943.
7. Орлов, Росс, Жуков, Перевод передвижных электростанций лесной промышленности на древесное топливо. Научно-исследовательский сектор ЛТА, Ленинград 1946.
8. Федоров П. М., Динамика сушки тонких плоских материалов

В. В. САЛТЫКОВСКИЙ и Н. Д. ЗАПОРОЖЕЦ

ОПЫТ ЭКСПЛУАТАЦИИ ГАЗОМОТОРНОЙ УСТАНОВКИ, РАБОТАЮЩЕЙ НА СОЛОМЕ

Лабораторией газовых двигателей НИДИ создана первая в современной технике отечественная газомоторная установка, работающая на соломе. В уборочную кампанию 1947 г. установка работала в одном из колхозов Ленинградской области, показав работоспособность и ценные эксплуатационные качества. В статье приводится материал по эксплуатации газомоторной установки.

Лабораторией газовых двигателей НИДИ в результате трехлетних экспериментальных работ была решена проблема газификации соломы-сечки и создана первая в отечественной и мировой технике газомоторная установка с газогенератором для газификации соломы.

Создание газомоторной установки, работающей на соломе, имеет большое технико-экономическое значение для народного хозяйства.

Развитие энергетики социалистического сельского хозяйства требует рационального использования всех видов энергоресурсов и в том числе ежегодно возобновляемых топлив в виде избытков соломы и других сельскохозяйственных отходов. Как показывают технико-экономические исследования и практика, наше сельское хозяйство располагает такого рода энергоресурсами и, при использовании их в высокоэкономичных газомоторных установках, они могут сыграть существенную роль в деле механизации и электрификации сельского хозяйства.

Например, можно считать, что для привода молотилок при обмолоте с.-х. культур, газомоторная установка, работающая на отходах молотыбы, является во всех случаях наиболее эффективным силовым агрегатом, так как использует топливо, имеющееся непосредственно на молотильном току, и в размере всего 1—2% от его общего выхода.

1. Технико-экономическое значение газомоторных установок, работающих на соломе

Достоинства газомоторной установки особенно очевидны при сравнении ее с широко распространенным в нашем сельском хозяйстве локомотивом.

а) Тепловая экономичность локомотива и газомоторной установки

Современный сельскохозяйственный локомотив является крайне неэкономичной энергетической установкой. При работе локомотива с соломотопкой заводами-изготовителями гарантируется для него удельный расход соломы в 4 кг/э. л. с.-час. Этот расход соломы является минимальным для данных локомотивов и достигнут при сжигании в них сухой соломы с влажностью порядка 15%. Так, в испытаниях во Всесоюзном научно-исследовательском институте механизации и электрификации сельского хозяйства (ВИМЭ) в 1936 г. локомотива Херсонского локомотивостроительного завода был получен минимальный удельный расход соломы в 3,88 кг/э. л. с.-час при соломе влажностью 12—13%. Этому расходу соответствует к. п. д. локомотива в 4,4%.

На более влажной соломе порядка 20% и выше удельный расход соломы локомотивами возрастает. Например, в испытаниях на Сызранском локомотивном заводе в 1945 г. локомотива 4-ЛП-20 удельный расход соломы составил для первой группы опытов от 4,67 до 5,77 кг/э. л. с. час и для второй группы опытов от 5,99 до 6,57 кг/э. л. с.-час, что дает к. п. д. локомотива от 4,14 до 2,72%.

Газомоторная установка, разработанная НИДИ, имеет гарантийный удельный расход соломы-сечки в 1300 г/э. л. с.-час и к. п. д. не ниже 13%.

В ряде лабораторных испытаний этот расход был получен значительно меньшим.

Так, при демонстрационных испытаниях установки с моделью газогенератора НИДИ-ГС-1 для представителя Министерства совхозов СССР был получен удельный расход в 1,025 кг/э. л. с.-час.

При комиссионных испытаниях этой же установки Комиссией под председательством проф. Д. Н. Дьякова был зафиксирован удельный расход соломы-сечки в 1,013 кг/э. л. с.-час и к. п. д. в 15,6%.

Наконец, в междуведомственных испытаниях газомоторной установки НИДИ-ГС-2 в декабре 1947 г. был даже получен минимальный удельный расход в 0,9 кг/э. л. с.-час.

Эксплуатационные материалы по экономичности локомотивов и газомоторной установки дают еще более разительный пример различия их экономичности. В этом отношении интересны величины расхода соломы при применении этих установок на обмолоте с.-х. культур.

В вышеуказанных испытаниях локомотивов в ВИМЭ был получен удельный расход соломы на тонну обмолоченного зерна порядка 70 кг/т. Данные по эксплуатации локомотивов 4-ЛП-20, приведенные в журнале „Машино-тракторная станция“ № 6 за 1947 г., показывают величины удельных расходов соломы на тонну обмолота минимально в 60—80, 116 и даже 173 кг/т.

Такая исключительно низкая экономичность с.-х. локомотива вызывает то обстоятельство, что в районах с напряженным балансом соломы ее зачастую нехватает для отопления локомотивов и при этом оказывается, что локомотивы с соломотопками вообще не могут быть использованы в сельском хозяйстве.

Совершенно другую картину дает газомоторная установка. Установка НИДИ-ГС-2, работавшая в уборочную кампанию 1947 г. на обмолоте в колхозе „Октябрь“ Кингисеппского района Ленинградской обл., имела удельный расход соломы-сечки от 13,5 до 18 кг/т.

Таким образом, газомоторная установка не менее чем в 4—6 раз экономичнее с.-х. локомотива. Ее применение дает значительные дополнительные энергоресурсы для сельского хозяйства, что и позволяет ставить вопрос о широком использовании газомоторных установок на соломе как для механизации, так и для электрификации сельского хозяйства.

б) Требования к топливу и технология подготовки топлива

Как показывают эксплуатационный опыт и испытания с.-х. локомотивов на Сызранском локомотивном заводе в 1948 г., локомотивы вполне удовлетворительно работают только на соломе влажностью (относительной) до 20%. При более влажной соломе трудно получить нормальное давление пара в котле локомотива и устойчивую работу локомотива. Таким образом, в данном отношении локомотив совсем не является „всеядным“, как это иногда представляют, и предъявляет определенные требования к качеству топлива.

Для применения соломы в газогенераторе газомоторной установки необходимо ее измельчение соломорезкой на сечку и, кроме того, при влажности соломы свыше 6% сечку следует подсушивать в специальном сушиле установки, использующем для сушки отбросное тепло отработавших газов двигателя.

Поскольку для локомотива отсутствует какая-либо технология подготовки топлива, он в этом отношении имеет преимущества перед газомоторной установкой. Однако вместе с тем, как показывает практический опыт, технология подготовки топлива для газомоторной установки не так уж сложна и в целом по трудоемкости работа газогенераторщика менее напряжена и требует меньшей затраты физической энергии, чем труд кочегара, отопляющего соломой локомотив.

В отношении же требований к влажности соломы обе установки находятся примерно в одном положении, так как благо-

даря возможности сушки соломы отработавшими газами, газомоторная установка может использовать солому достаточно высокой влажности, до 25%.

в) Расход воды

Современный с.-х. локомотив, работая с выхлопом в атмосферу, без конденсации пара, требует значительного расхода воды, до 10 кг/э. л. с. час. Это обстоятельство в большинстве случаев вызывает необходимость подвоза воды к локомотиву, что усложняет эксплуатацию, а в безводных районах делает вообще невозможным применение локомотивов.

Газомоторная установка, имея на двигателе замкнутую систему охлаждения, нуждается в минимальном количестве воды для подливки в радиатор двигателя.

г) Обслуживание

Локомотив требует для своего обслуживания машиниста, кочегара и подвозчика воды, причем, как уже отмечалось, труд кочегара, отапливающего соломой локомотив, очень изнурителен, так как от него требуется почти непрерывная подача соломы в топку.

Газомоторная установка обслуживается мотористом и газогенераторщиком, причем в их обязанности входит резка и сушка соломы.

д) Пусковые свойства

Большое значение в эксплуатации имеют пусковые свойства энергетических установок.

Локомотив для поднятия давления пара до нормального и пуска в действие, при отоплении соломой, требует от 1 часа до 1 часа 30 мин., а в зимних условиях, как показали испытания в 1948 г. на Сызранском заводе, растопка локомотива может занимать до 3 час.

Газомоторная установка готова принять нагрузку через 5—7, самое большее 10 мин. после начала розжига газогенератора.

Сокращение времени пуска одновременно ведет и к значительному сокращению расхода пускового топлива и повышению эксплуатационной тепловой экономичности установки.

е) Транспортабельность

Большое различие в весе с.-х. локомотива и газомоторной установки сильно сказывается на их транспортабельных свойствах. Перевозка локомотива требует мощных перевозочных средств и сопряжена с трудностями. При перевозке локомотивов по плохим дорогам зачастую происходят застревания и поломки.

Газомоторная установка, будучи по весу почти в два раза легче локомотива, обладает значительно более высокой проходимостью при транспортировке.

ж) Производственные показатели (металлоемкость, трудоемкость, стоимость) и выводы

Вес с.-х. локомотива 4-ЛП-20 мощностью 20 л. с., стоящего на производстве отечественных локомотивостроительных заводов, составляет 3215 кг.

Вес газомоторной установки (модель НИДИ-ГС-2) с двигателем в 20 л. с. — порядка 1500 кг.

Таким образом, удельный вес локомотива равен 162 кг, а газомоторной установки 75 кг на 1 л. с.

Трудоемкости производства с.-х. локомотива 4-ЛП-20 и газомоторной установки также сильно различны и составляют 30 чел/час. на 1 э. л. с. для локомотива и 15 чел/час на 1 э. л. с. для газомоторной установки.

Наконец, и стоимость газомоторной установки значительно ниже локомотива. Отпускная цена локомотива 4-ЛП-20 равна 35 000 руб. Калькуляция стоимости газомоторной установки, даже при выпуске серии в 2000—3000 шт. в год, при использовании для установки комбайнового двигателя ГАЗ-МК (при цене его в 1500 руб.) составляет 8000 руб.

Следует еще отметить, что производство газомоторных установок ввиду несложности их конструкции и при условии получения двигателей для установок с моторостроительного завода, может быть организовано на предприятиях с простейшим оборудованием и не требует высокой технической культуры производства. Все это создает благоприятные предпосылки для развертывания массового производства газомоторных установок.

Сопоставление основных технико-экономических показателей газомоторной установки и локомотива (табл. 1) достаточно убедительно показывает ее преимущества и необходимость широкого применения в сельском хозяйстве.

Вместе с тем, конечно, нельзя ставить вопрос о полной замене локомотивов в сельском хозяйстве газомоторными установками, особенно на данной стадии их развития. Локомотив, при условии повышения его параметров, как исключительно простая, надежная и долговечная машина наряду с газомоторной установкой и другими типами двигателей должен быть на энерговооружении нашего сельского хозяйства, причем в каждом конкретном случае вопрос о выборе типа энергетической установки должен решаться с учетом всего комплекса экономических и эксплуатационных условий.

2. Сельскохозяйственная передвижная газомоторная установка НИДИ-ГС-2, работающая на соломе

Разрешение проблемы газификации соломы и создание газогенератора для получения моторного газа из соломы-сечки позволило лаборатории газовых двигателей в первой половине

Таблица 1

Итоговые технико-эксплуатационные и производственные показатели газомоторной установки на соломе НИДИ-ГС-2 и сельскохозяйственного локомобиля 4-ЛП-20

| Показатели | Газомоторная установка НИДИ-ГС-2 | Локомотив 4-ЛП-20 |
|--|----------------------------------|-------------------|
| Мощность установки в л. с. | 20 | 20 |
| Общий вес установки в кг | 1350—1500 | 3250 |
| Удельный вес установки на 1 л. с. в кг | 67—75 | 162 |
| Общий вес заготовок на 1 л. с. в кг | 100 | 360 |
| Трудоемкость на одну л. с. в чел/час. | 15 | 30 |
| Стоимость установки в руб. | 8000 | 35 000 |
| Срок амортизации | 5 лет | 17 лет |
| Время приведения установки в действие | 5—7 минут | 1 час—1 ч. 30 м. |
| Расход соломы на приведение установки в действие в кг | 1—2 | 100—150 |
| Расход пускового жидкого топлива в л | 0,5 | — |
| Часовой расход соломы в кг | 23—26 | 80—100 |
| Удельный расход соломы в кг | 1,3 | 4—5 |
| Общий к п. д. | 13—15% | 3—5% |
| Расход соломы на 1 т обмолоченного зерна в кг | 15 | 80—120 |
| Расход воды в 1 час в л. | 0,1 | 200 |
| Количество обслуживающего персонала | 2 | 3 |
| Сила тяги, необходимая для передвижения установки, при $\varphi = 0,15$ в кг | 210 | 460 |

1947 г. спроектировать и построить опытно-промышленную газомоторную установку модель НИДИ-ГС-2, работающую на соломе.

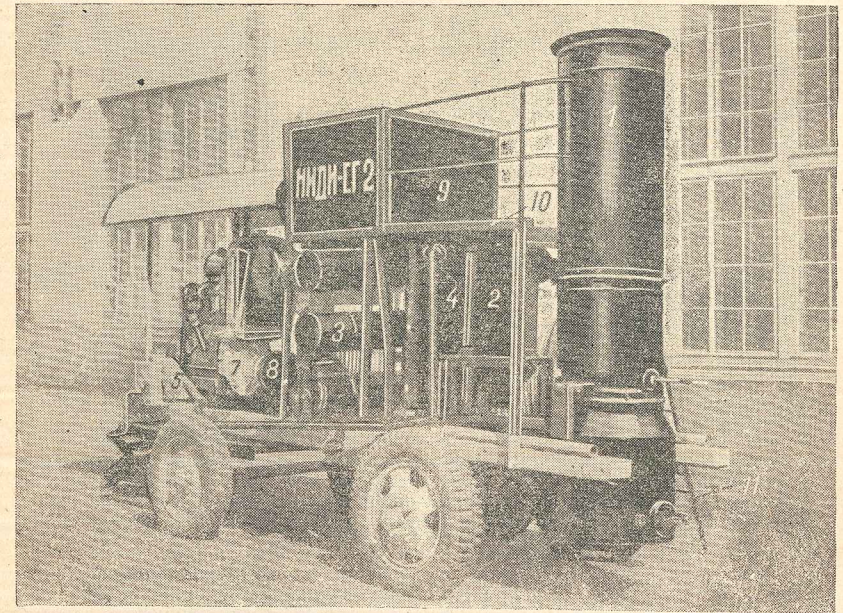
По своему назначению установка могла служить как для работы на ременную трансмиссию для привода с.-х. машин, так и для непосредственного спаривания с электрогенератором или водяным насосом, которыми установка была снабжена.

Все агрегаты газомоторной установки смонтированы на несколько видоизмененной раме автомобиля ГАЗ-АА, снабженной буксиром для перевозки установки автотракторной тягой (фиг. 1 и 2).

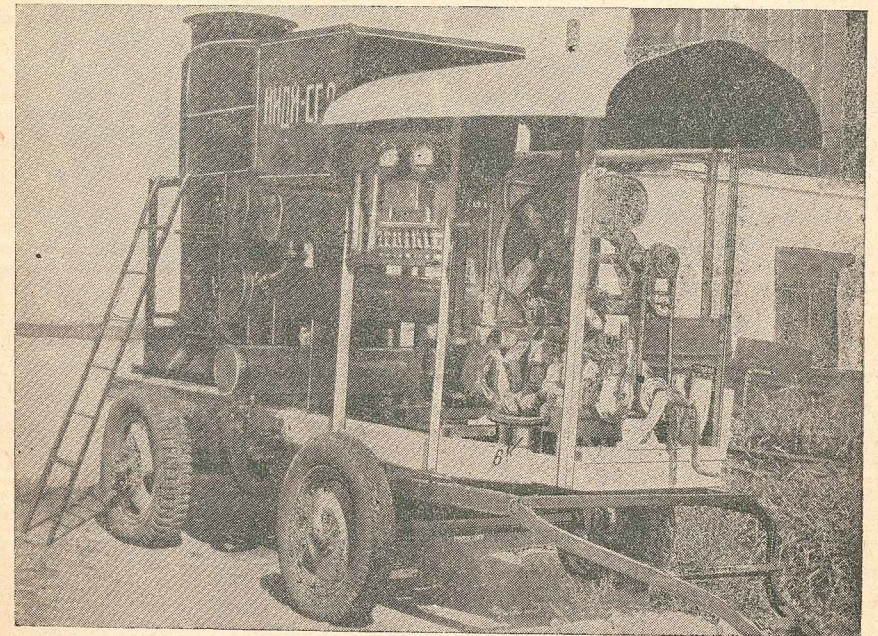
Установка имеет следующие агрегаты: газогенератор для газификации соломы-сечки 7, циклон для грубой очистки газа 2, четыре воздушных охладителя газа 3, тонкий фильтр газа 4, ручной вентилятор розжига 5, отстойник 6, газовый двигатель 7, шкив для ременного привода с.-х. машин 8, бункер для хранения запаса соломы 9, загрузочная площадка 10 и лестница 11.

Газовым двигателем установки является переоборудованный на генераторный газ комбайновый двигатель типа ГАЗ-МК производства Горьковского завода им. Молотова с мощностью на газе 20 л. с. при 1500 об/мин.

Технологическая схема газомоторной установки представлена на фиг. 3. Газ, получаемый в газогенераторе, поступает в газо-

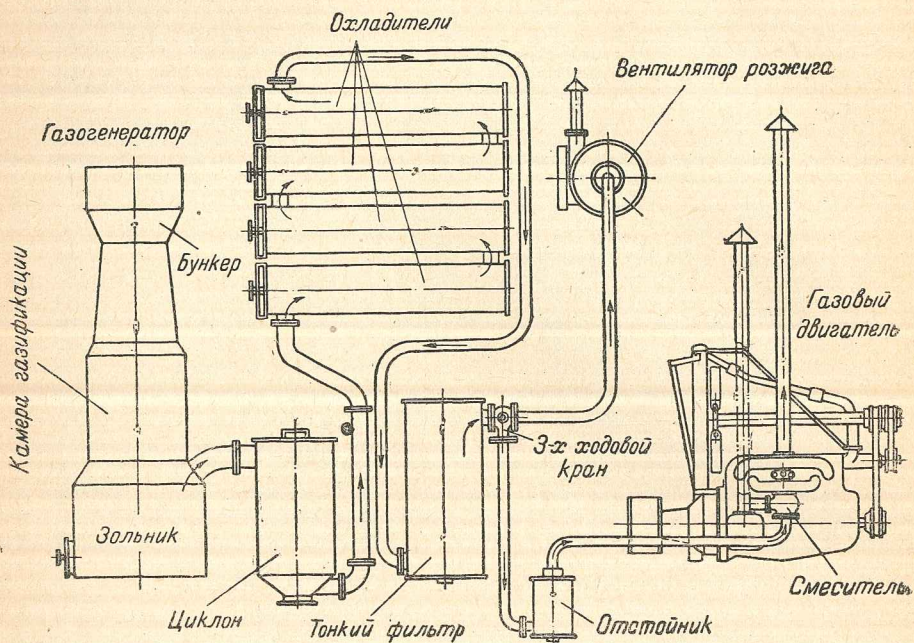


Фиг. 1. Газомоторная установка НИДИ-ГС-2 (вид сзади).



Фиг. 2. Газомоторная установка НИДИ-ГС-2 (вид спереди).

отборный патрубок и далее в циклон. Здесь, освобождаясь от механического уноса по патрубку, газ поступает в последовательно соединенные охладители. Тонкая очистка газа произ-



Фиг. 3. Технологическая схема газомоторной установки НИДИ-ГС-2.

водится в тонком фильтре. Для розжига газогенератора служит ручной вентилятор. Перепуск газа на двигатель осуществляется трехходовым краном.

ТЕХНИЧЕСКАЯ ХАРАКТЕРИСТИКА ГАЗОМОТОРНОЙ УСТАНОВКИ НА СОЛОМЕ

I. Общие данные

Тип установки с.х. перевозная, с буксировкой авто-тракторной или гужевой тягой
 Марка установки НИДИ-ГС-2

Вес

Полный сухой вес установки в сборе 1350 кг

Габариты установки

Общая длина 4130 мм
 „ ширина 1760 „
 „ высота 2030 „

Колесный ход

Тип изготовлен из автомобильной рамы ГАЗ-АА с задним скатом на пневматиках и с передним поворотным на гусениках
 База 1900 мм
 Ширина колеи 1400 „
 Клиренс 300 „

II. Топливо

Вид топлива соломенная сечка длиной 10—20 мм
 Способ получения изготавливается на соломорезке с приводом ее от основного двигателя газомоторной установки
 Рабочая влажность (относительная) соломы, загружаемой в газогенератор не свыше 60%
 Низкая теплотворная способность соломы, загружаемой в газогенератор 3750 ккал/кг
 Рабочая влажность соломы, используемой установкой не свыше 20—25%

III. Двигатель

Модель двигателя ГАЗ МК-6000
 Тип 4-тактный газовый
 Рабочий объем цилиндров 3,28 л
 Рабочее число оборотов, поддерживаемое регулятором 1500 об/мин
 Степень сжатия на газе 6,4:1 (бенз. 4,6:1)
 Номинальная мощность на газе на шкиве при рабочем числе оборотов 18 л. с.
 Максимальная мощность на газе на шкиве при рабочем числе оборотов 20 л. с.
 Смеситель двигателя-автомобиля ГАЗ-42
 Пусковой карбюратор Солекс-2
 Зажигание от магнето АТЭ-1 типа СС4, левого вращения
 Регулировка опережения зажигания ручная
 Сцепление однодисковое сухое
 Диаметр приводного шкива 225 мм
 Общий сухой вес двигателя 320 кг

IV. Газогенераторная установка

а) Газогенератор

Тип вертикальный, цилиндрический, цельнометаллический
 Способ газификации обращенный
 Общая высота 2180 мм
 Максимальный внешний диаметр рабочей части 650 „
 Производительность по топливу 27 кг/час
 Производительность по газу 60 м³/час
 Низшая теплотворная способность газа 1200 ккал/м³
 Продолжительность работы без чистки зольника 8 час.
 Сухой вес в сборе 160 кг.

б) Система очистки и охлаждения газа

Циклон

| | |
|--------------------------|----------------------------------|
| Тип | центробежный, с внешней спиралью |
| Высота (общая) | 970 мм |
| Диаметр | 400 " |
| Вес в сборе | 40 кг |

Охладители газа

| | |
|--|--|
| Тип охладителя | воздушный, цилиндрический с перфорированными дисками |
| Число охладителей | 4 |
| Общая длина охладителя | 1600 мм |
| Длина рабочей части охладителя | 1260 " |
| Диаметр охладителя | 230 " |
| Вес охладителей | 111 кг |

Тонкий фильтр

| | |
|---|--------------------------------|
| Тип | цилиндрический, сухой |
| Фильтрующий материал | древесная стружка и опилки |
| Общая высота фильтра | 1000 мм |
| Диаметр | 400 " |
| Содержание пыли и твердого уноса в газе после системы очистки | не более 0,03 г/м ³ |
| Содержание смол в газе перед смесителем | не более 0,1 г/м ³ |
| Общий вес | 37 кг |

Отстойник

| | |
|-----------------|---|
| Тип | цилиндрический, установлен перед смесителем |
| Объем | 5 л |

V. Вентилятор розжига

| | |
|--|--|
| Марка | КП-4 с ручным приводом завода „Красная Пресня“ |
| Общий напор | 60 мм вод. ст. |
| Производительность при данном напоре | до 300 м ³ /час. |

VI. Технология подготовки топлива

Солома-сечка для газогенератора готовится на соломорезке с приводом от основного двигателя установки.

| | |
|---|---|
| Тип соломорезки | РСБ-01 барабанного типа, производства з-да им. Калинина |
| Производительность при числе оборотов | 120—130 об/мин, — 210—230 кг сечки в час. |

VII. Основные технико-экономические показатели

| | |
|---|-------------------------------|
| Коэффициент полезного действия газогенератора | не менее 65% |
| Гарантийный удельный расход соломы при влажности 6% и низкой теплотворной способности топлива в 3750 кал/кг | не более 1300 г/э. л. с.-час. |
| Общий к. п. д. газомоторной установки | не менее 13% |

VIII. Обслуживание установки

Для обслуживания установки необходимо два человека: механик и газогенераторщик.

3. Эксплуатация газомоторной установки в колхозе „Октябрь“

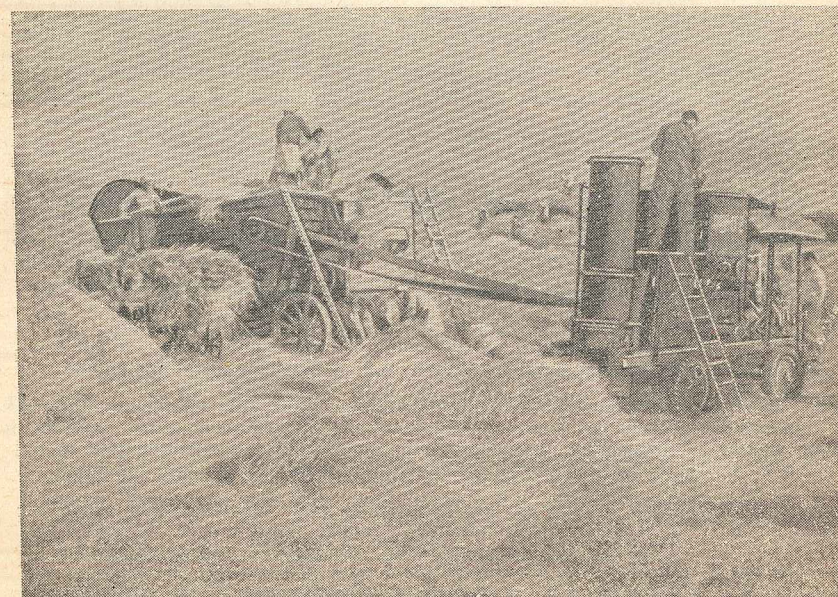
Построенная НИДИ опытно-промышленная газомоторная установка НИДИ-ГС-2, после опробования ее в лаборатории под нагрузкой в середине июля 1947 г., была отправлена на буксире автомобиля ГАЗ-АА в колхоз „Октябрь“ Кингисеппского района Ленинградской обл. для ее испытаний в хозяйственных условиях.

Колхоз „Октябрь“, будучи средним по величине колхозом по масштабам Ленинградской обл., имел под зерновыми культурами посевы на площади порядка 120 га и, кроме того, довольно развитое картофельно-овощное хозяйство.

Собственной энергетической базы для работ по механизации колхоз не имеет и все эти работы проводит по договору с МТС. В соответствии с требованиями колхоза газомоторная установка осуществляла работы по обмолоту с-х культур и по поливу овощных полей, для чего она была снабжена водяным насосом.

а) Обслуживание установки

Обслуживание установки в колхозе производил персонал лаборатории газовых двигателей НИДИ в составе механика и



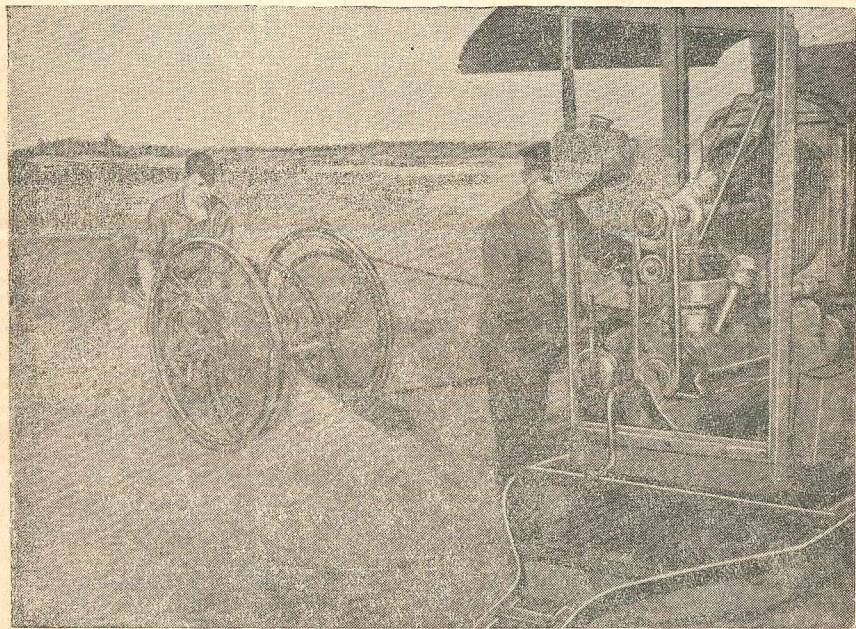
Фиг. 4. Газомоторная установка НИДИ-ГС-2 на обмолоте с-х культур.

газогенераторщика (фиг. 4). В их обязанности входило обслуживание установки и заготовка топлива, состоящая из резки соломы соломорезкой на сечку и сушки соломы.

Кроме того, во время работ по обмолоту с.-х. культур обслуживание и ремонт молотилки также производил персонал газомоторной установки.

б) Заготовка топлива

В качестве основного топлива для газомоторной установки служила ржаная солома урожая 1946 и 1947 гг.



Фиг. 5. Резка соломы соломорезкой для газомоторной установки.

Резка соломы производилась на ручной соломорезке, оборудованной шкивом для привода ее ремнем от двигателя установки, для чего и двигатель был также снабжен специальным вторым шкивом, спаренным с основным рабочим шкивом двигателя. Это давало возможность одновременно работать на две трансмиссии. На фиг. 5 показана работа по резке соломы на сечку.

При эксплуатации установки в колхозе обычно резка соломы производилась утром до начала производственной работы. Производительность соломорезки при 120—130 об/мин. ее барабана составляла 230—250 кг/час, и 30—40-минутная работа соломорезки обеспечивала заготовку топлива на дневную работу для привода молотилки.

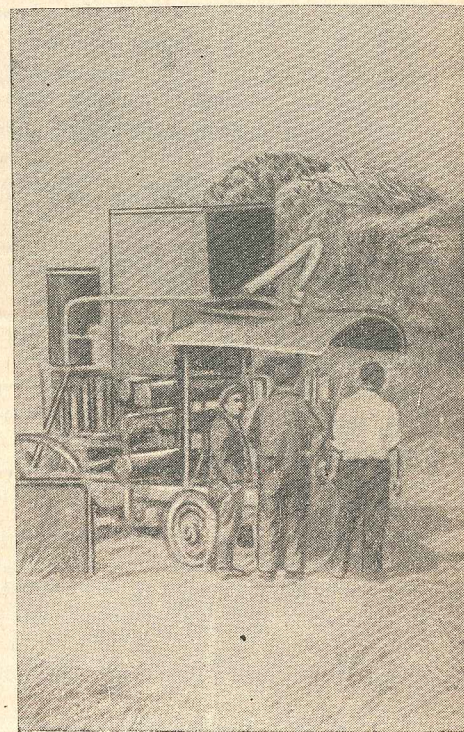
Основным трудным вопросом эксплуатации газомоторной установки явился вопрос обеспечения установки кондиционным

по влажности топливом. Только в первые несколько дней работы установки в колхозе была жаркая солнечная погода и возможно было производить воздушно-солнечную сушку соломы, дававшую более или менее удовлетворительные результаты. Далее наступила дождливая и пасмурная погода и пришлось прибегнуть к сушке соломы на риге.

Сушка соломы на риге требовала довольно большего количества дров, была длительна, трудоемка и, главное, далеко не совершенна, почему не могла быть признана технически и хозяйственно целесообразной.

Выход из затруднительного положения, грозившего сорвать работу установки, был найден в устройстве сушилки для сушки сечки, использующего тепло отходящих газов двигателя.

Это впервые примененное решение для сушки соломы вполне себя оправдало. Несмотря на примитивность и несовершенство сушилки, оно обеспечивало установку кондиционным по влажности топливом. На фиг. 6 показано указанное сушило в виде ящика, поставленного на бункер для топлива газомоторной установки.



Фиг. 6. Подсушка соломы в ящике-сушилке отработавшими газами двигателя газомоторной установки.

в) Пусковые свойства газомоторной установки

Так же как и при лабораторных испытаниях, газомоторная установка показала высокие пусковые свойства.

Пуск двигателя на бензине обычно обеспечивался вручную после 3—5 полуоборотов рукоятки двигателя. Перевод двигателя с бензина на газ, при предварительно подготовленном газогенераторе, происходил в течение 20—30 сек. Вся операция пуска установки в действие с момента розжига газогенератора ручным вентилятором до момента принятия двигателем нагрузки, при работе на газе, продолжалось 4—6 мин. При этом расходовалось 0,5—1,0 л бензина и 1,5—2,0 кг соломенной сечки.

*

г) Работа установки, неисправности

При обеспечении газогенератора кондиционным по влажности топливом, работа двигателя на газе происходила вполне удовлетворительно, очень мягко, с бесцветным выхлопом и с устойчивым числом оборотов. Никакие ненормальности в работе двигателя в виде детонационных явлений, обратных вспышек, пропусков вспышек, перегрева и т. д. места не имели.

Установка показала хорошую приемистость к переменному режиму работы на молотилку. Мгновенное включение полной нагрузки даже после довольно длительного холостого хода не вызывало сколько-нибудь большого уменьшения числа оборотов двигателя, и очень быстро двигатель принимал заданную нагрузку.

При длительной непрерывной работе не наблюдалось перегрева двигателя. За все время эксплуатации установки в колхозе не было случая вскипания воды в радиаторе, и доливка воды в него не производилась. Не было также отмечено ненормального нагрева масла.

Система зажигания работала безотказно, за время эксплуатации была заменена только одна свеча, вследствие появления трещины в керамической массе сердечника свечи. Свечи всегда были чистыми и сухими. Также безупречно работала система регулирования двигателя.

Неисправности в работе установки имели иногда место только в первый период работы в колхозе, при применении влажной соломы, когда двигатель работал неустойчиво. Кроме того, через 123 часа работы был обнаружен сильный занос сечения газопровода из газогенератора в циклон уносом из зольника газогенератора (газопровод ни разу не чистился до данного момента).

Никаких существенных поломок деталей за все время эксплуатации установки не было.

д) Технический уход, амортизация установки

Технический уход за двигателем заключался в заправке его бензином и маслом. Один раз за все время работы в колхозе снималась цилиндровая головка блока и производилась чистка камеры сгорания и клапанов, а также снимался картер для проверки подшипников.

Уход за газогенераторной установкой состоял из следующих работ.

Ежедневный уход: спуск конденсата из системы очистки и охлаждения газа, очистка зольника и циклона. Проверка плотности соединений всей газогенераторной системы.

Через 25—30 час. работы установки производилась выемка и чистка дисков охладителей. Через 50—60 час. происходила смена насадки тонкого фильтра, состоящей из древесных стружек и опилок.

При осмотре агрегатов очистки газа обычно наблюдалась следующая картина. На стенках и корпусе циклона имелся унос в виде золы и соломенного кокса с толщиной слоя 3—5 мм.

В первом охладителе, на первых по ходу газа дисках, унос также имелся, далее уноса не было. У второго охладителя диски были покрыты смолой в наибольшем количестве, в третьем охладителе до 2—3 мм толщиной слоя и в незначительном, до 0,5 мм, в четвертом. Насадка тонкого фильтра имела темнобурый цвет и следы смол. Незначительные следы смол встречались также во всасывающей системе двигателя. В целом такое состояние системы очистки газа следует считать достаточно удовлетворительным.

По окончании работ газомоторной установки в колхозе, когда она была привезена в Ленинград, установка была подвергнута разборке и осмотру. По двигателю было установлено увеличение зазоров в поршневых кольцах, необходимость подтяжки подшипников и притирки клапанов. Газогенераторная установка была в хорошем состоянии, причем наиболее ответственный ее узел—камера газификации газогенератора—не имела никаких следов выгорания и оплавления.

е) Время работы, нагрузка и экономичность газомоторной установки

Газомоторная установка НИДИ-ГС-2 находилась в колхозе „Октябрь“ в период с 16 июля по 5 октября 1947 г. Весь баланс ее производственного времени за указанный срок составил 147 час., причем на обмолоте установка проработала 106 час., на поливе овощных полей 27 час. и на резке соломы 14 час. Из затраченного времени на резку соломы 5,5 час. установка работала по заготовке сечки для отправки ее в Ленинград для экспериментальных работ.

При основной производственной работе газомоторной установки в колхозе на обмолоте зерновых культур, установка работала на привод молотилки Вольф, производительность которой, при хорошем ее состоянии и достаточном количестве людей для обслуживания молотилки, ранее доходила до 1,5—2 т/час.

При работе с газомоторной установкой, из-за сильной изношенности молотилки и недостатка людей на молотье, производительность ее составляла в среднем 1,0—1,2 т/час. Максимальная производительность молотилки была при обмолоте яровой пшеницы, когда был зафиксирован выход зерна 1530 кг/час.

Часовой расход соломы-сечки газомоторной установкой составлял от 16 до 23 кг/час. Удельный расход на тонну обмолоченного зерна лежал в пределах от 13,5 до 18 кг/т и в среднем был равен 15 кг/т. Указанный удельный расход по отношению к общему количеству выдаваемой молотилкой соломы составлял всего 1—1,5%.

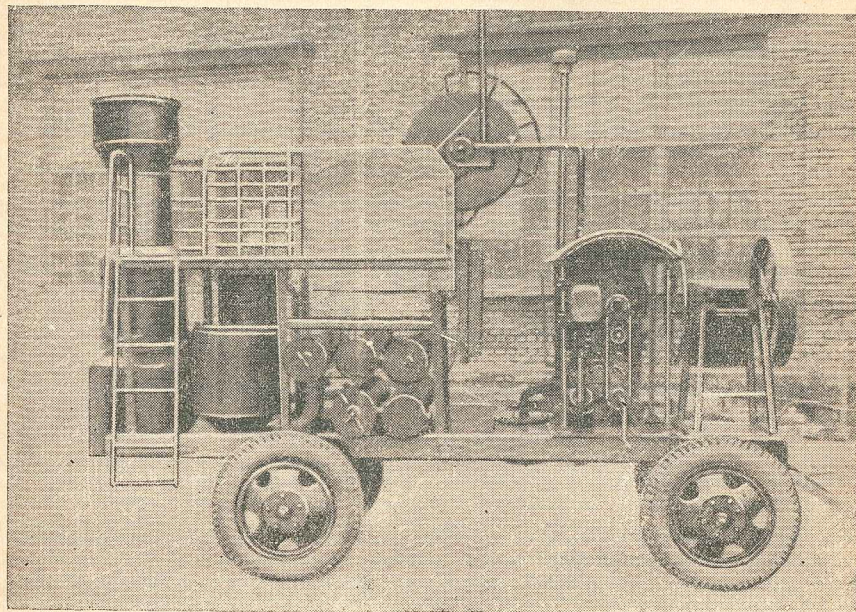
ж) Транспортабельность установки

Передвижение установки в пределах колхоза производилось по мере необходимости полугорючим грузовым автомобилем ГАЗ-АА, принадлежащим колхозу. Установка, снабженная резиновым ходом, имела хорошую проходимость по дорогам всех классов, а также и по пахоте.

Буксировка установки автомобилем ГАЗ-АА из Ленинграда в колхоз и обратно на расстоянии 254 км в оба конца, при скорости 15—25 км/час была произведена вполне благополучно без застревания и поломок.

Итоги внедрения газомоторной установки

Хозяйственно-политические итоги опыта внедрения газомоторной установки, работающей на соломе, могут быть сформулированы следующим образом.



Фиг. 7. Газомоторная установка НИДИ-ГС-4.

а) Установка, произведя своевременный и бесперебойный обмолот с.-х. культур колхоза, тем самым обеспечила успешное окончание уборочных работ в колхозе и досрочное выполнение колхозом к 15 сентября государственного плана хлебосдачи.

б) Наличие в колхозе газомоторной установки НИДИ-ГС-2 позволило высвободить для других работ трактор МТС, выделенный для производства в колхозе обмолота хлеба, что при

напряженном положении с использованием тракторов в МТС способствовало выполнению уборочных работ в районе.

в) Была получена, хотя и скромная, экономия жидкого топлива.

г) Несмотря на кратковременность работ по поливу овощных полей, эффект их был довольно значителен, так как полив был произведен в длительный засушливый период.

Участки, подвергшиеся поливу, дали более высокий сбор овощных культур, чем неорошавшиеся.

д) Новая техника, показавшая надежную и экономичную работу, завоевала в колхозе и районе авторитет и полное признание. Первоначальное недоверие колхоза к газомоторной установке сменилось желанием колхоза приобрести установку, о чем Институту было сделано предложение.

е) В результате ознакомления с работой газомоторной установки в колхозе представителем Министерства сельского хозяйства и последовавших затем междуведомственных испытаний установки в Ленинграде было принято решение о выпуске первой серии газомоторных установок, работающих на соломе.

Газомоторная установка НИДИ-ГС-4, работающая на соломе-сечке, выпуска 1948 г., построенная Ленинградским мотороремонтным заводом, показана на фиг. 7.

Выводы

1. Опыт эксплуатации опытно-промышленной газомоторной установки НИДИ-ГС-2, работающей на соломе, показал ее работоспособность и целесообразность применения в сельском хозяйстве.

2. Газомоторная установка показала высокую экономичность, значительно превосходящую экономичность с.-х. локомотива, а также целый ряд других ценных эксплуатационных свойств, не имеющих у с.-х. локомотива.

3. Межведомственная комиссия, в результате изучения итогов работ НИДИ по созданию газомоторной установки, работающей на соломе, констатировала возможность организации производства первой серии газомоторных установок.

4. Внедрение газомоторных установок на соломе и других с.-х. отходах типа костры, лузги и пр. открывает широкие перспективы их рационального использования для дальнейшего развития механизации и электрификации сельского хозяйства.

СОДЕРЖАНИЕ

| | |
|--|----|
| 1. Коллеров Л. К. — Исследование сушки газогенераторного топлива отработавшими газами двигателя внутреннего сгорания | 3 |
| 2. Салтыковский В. В. и Запорожец Н. Д. — Опыт эксплуатации газомоторной установки, работающей на соломе | 39 |

Технический редактор *Р. Г. Польская* Корректор *М. П. Бушева*

Подписано к печати 16/IV 1949 г. М 11043 Печ. листов 3¹/₂ +
1 вкладка Учетно-изд. листов 4,3 Тираж 2000 экз. Заказ № 6

1-я типография Машгиза, Ленинград, ул. Моисеенко, 10

7 ИЮН 1949