

Др 57  
354

*На правах рукописи*

**Б. С. СБИТНЕВ**

**ИССЛЕДОВАНИЕ ВЛИЯНИЯ ПОВЫШЕННОГО ДАВЛЕНИЯ  
НА ПРОЦЕСС ГАЗИФИКАЦИИ И РАБОТУ  
ДРЕВЕСНО-ЧУРОЧНОЙ ГАЗОГЕНЕРАТОРНОЙ УСТАНОВКИ**

Автореферат диссертации на соискание ученой степени  
кандидата технических наук

*Научный руководитель — доцент, кандидат технических наук  
Артамонов М. Д.*



Dr 57  
354

*На правах рукописи*

**Б. С. СБИТНЕВ**

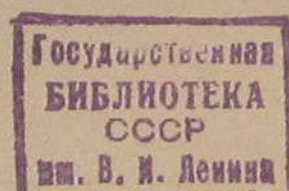
**ИССЛЕДОВАНИЕ ВЛИЯНИЯ ПОВЫШЕННОГО ДАВЛЕНИЯ  
НА ПРОЦЕСС ГАЗИФИКАЦИИ И РАБОТУ  
ДРЕВЕСНО-ЧУРОЧНОЙ ГАЗОГЕНЕРАТОРНОЙ УСТАНОВКИ**

**Автореферат диссертации на соискание ученой степени  
кандидата технических наук**

*Научный руководитель — доцент, кандидат технических наук  
Артамонов М. Д.*



Экспериментальная часть диссертации выполнена в Центральном научно-исследовательском институте механизации и энергетики лесной промышленности (ЦНИИМЭ).



## ВВЕДЕНИЕ

Современная технология лесозаготовок концентрирует большие количества неликвидных древесных отходов на нижних складах леспромхозов.

Одним из способов использования отходов является их газификация с применением полученного газа в двигателях внутреннего сгорания.

Генераторный газ, как моторное топливо, имеет ряд технических преимуществ: высокие антидетонационные свойства, хорошую смешиваемость с воздухом, а также широкие пределы устойчивого сгорания смеси газа с воздухом в цилиндре двигателя. При правильном использовании газа технико-экономические показатели газогенераторных двигателей приближаются, а зачастую и превосходят показатели двигателей, работающих на жидком топливе.

Газогенераторные установки, применяемые в лесной промышленности, имели ряд существенных недостатков, препятствующих их широкому распространению: малую экономичность, громоздкость, неудобство в обслуживании и др.

Всесторонние исследования последних лет позволили значительно улучшить технику газификации древесного топлива.

Улавливание ценных химических продуктов увеличило рентабельность установок, наддув повысил рентабельность и уменьшил громоздкость, обслуживание облегчилось автоматизацией соответствующих операций.

При переводе силовых установок на генераторный газ обычно наблюдается уменьшение мощности и экономичности установок.

Для улучшения экономических показателей, как правило, ограничивались простейшими конструктивными мероприятиями, главным образом в двигателе. Газогенераторной установке при этом уделялось незаслуженно мало внимания, ввиду незначительного влияния ее параметров на экономические показатели электростанции при нормальном давлении.

С повышением давления параметры газогенераторной установки начинают приобретать большое значение.

В современных стационарных газогенераторных установках нашло широкое применение увеличение давления выше атмосферного. В частности, опытные установки Оленинского и



Крестецкого леспромхозов уже работают с наддувом. Имеются основания увеличить степень наддува газогенераторных установок.

Повышенное давление в газогенераторных установках отражается на протекании процесса газификации, температуре газа, сопротивлении установок и др.

В настоящей работе, наряду с теоретическими вопросами, экспериментально доказано, что наддув газогенераторной установки может быть эффективен только при снижении возросших сопротивлений установки и температур газовой смеси.

Ниже приводятся результаты исследований влияния давления на процесс газификации и работу газогенераторной установки с целью определения состава газа и его теплотворности, температурного режима и гидравлической характеристики установки в зависимости от давления наддува, а также влияния этих факторов на мощностные показатели двигателя с наддувом.

Основное внимание обращено на физико-химическую сущность происходящих явлений. В исследованиях использовались данные физической химии, технической гидромеханики, теплопередачи и др., на основании которых делались выводы о характере происходящих явлений с соответствующей математической формулировкой. Экспериментальные данные подтвердили основные выводы теоретического исследования.

## ТЕОРЕТИЧЕСКОЕ ИССЛЕДОВАНИЕ

### Состав газа при наддуве

Произведенными ранее исследованиями по наддуву утверждалось, что состав газа при давлениях до 2 ата остается постоянным. В газогенераторах же высокого давления (до 20 ата) отмечалось значительное изменение состава газа с давлением. Налицо явное противоречие.

На процесс газификации обычно оказывают влияние одновременно несколько факторов, поэтому при исследованиях состава газа с наддувом возможно наличие систематических ошибок. Для проверки автором был произведен сравнительный расчет равновесного состава газа по материальному балансу для работы с наддувом.

Расчет показал изменение содержания отдельных компонентов газа до 6% при изменении давления от 0,9 до 1,7 ата.

Таким образом теоретический расчет позволил установить довольно значительное изменение состава газа при наддуве газогенераторной установки.

### Сопротивление газогенераторной установки при наддуве

Сопротивление газогенераторной установки может быть определено по формуле потерь на трение в трубах и по формуле потерь на местные сопротивления.

Предложенная методика расчета сопротивлений при наддуве базируется на общих принципах теории подобия.

Отношение сопротивлений установки на одном  $\Delta P_1$  к сопротивлению на другом режиме  $\Delta P_2$  (переменные величины, давление и расход газа):

$$\frac{\Delta P_1}{\Delta P_2} = \frac{P_1 \cdot V_1^2}{P_2 \cdot V_2^2}.$$

Считая характеристикой установки ( $\Delta P_0$ ) ее сопротивление при  $P=1$  ата и  $V=1$  м<sup>3</sup>/час, получим:

$$\Delta P_n = \Delta P_0 \cdot P_n \cdot V_n^2.$$

Характеристику установки по сопротивлению —  $\Delta P_0$  можно найти без наддува по экспериментальным данным и рассчитать сопротивление установки с наддувом. Величина  $\Delta P_0$  позволяет сравнить различные газогенераторные установки по их сопротивлению отвлеченно от режима работы для подбора наивыгоднейших установок с наименьшим сопротивлением.

В случае отсутствия подходящих по сопротивлению газогенераторных установок необходимо учитывать следующие возможности. Уменьшение сопротивлений может быть достигнуто увеличением проходных сечений или параллельным включением агрегатов. В работе выведена зависимость для подсчета сопротивлений в обоих случаях.

Из формулы потерь на местные сопротивления имеем:

$$\frac{\Delta P_1}{\Delta P_2} = \frac{W_1^2}{W_2^2} = \frac{V^2 \cdot f_2^2}{f_1^2 \cdot V^2} = \frac{d_2^4}{d_1^4};$$

аналогично из формулы потерь на трение:

$$\frac{\Delta P_1}{\Delta P_2} = \frac{d_2^5}{d_1^5}.$$

Сопротивление газогенераторной установки складывается из потерь на трение и потерь на местные сопротивления. Поэтому общее сопротивление при увеличении проходных сечений изменяется обратно пропорционально 4÷5 степени их линейных размеров:

$$\frac{b_2^4}{b_1^4} \leq \frac{\Delta P_1}{\Delta P_2} \leq \frac{d_2^5}{d_1^5}.$$



Следовательно увеличение проходных сечений является весьма эффективным мероприятием для уменьшения сопротивлений.

Для расчета сопротивлений при параллельном включении агрегатов выведена формула на основании известных соотношений:

$$\Delta P = nW^2; \quad W = \frac{V}{f},$$

где:  $n$  — коэффициент пропорциональности.

Считаем, что при параллельном включении агрегатов площади проходных сечений складываются:

$$F = f' + f''$$

и что

$$n = n' = n''.$$

После преобразования получим формулу сопротивления системы двух, параллельно работающих, элементов:

$$\Delta P = \frac{\Delta p' \cdot \Delta p''}{(\sqrt{\Delta p'} + \sqrt{\Delta p''})^2}.$$

Расчет по этой формуле показал, что сопротивление двух параллельно работающих газогенераторных установок в четыре раза меньше сопротивления каждой из них.

Индикаторная мощность двигателя при различных сопротивлениях газогенераторной установки может быть подсчитана по формуле:

$$N_i = \frac{30}{632} N_{cm} \cdot \frac{10^4 \cdot P_n (1 - 13,6 \cdot 10^{-4} \cdot \Delta P_0 \cdot V_n^2)}{R_{cm} \cdot T_{cm}} \cdot n \cdot V_h \cdot \eta_v \cdot \eta_i (\text{л.с.})$$

Указанная формула получена преобразованием известной формулы Б. С. Стечкина, в которую для удобства расчета введена величина  $\Delta P_0$ , характеризующая сопротивление определенной установки.

Тогда:

$$\gamma_{cm} = \frac{P_{cm}}{R_{cm} \cdot T_{cm}}; \quad P_{cm} = P_n - \Delta P_n;$$

$$\Delta P_n = 13,6 \cdot 10^{-4} \cdot \Delta P_0 \cdot P_n \cdot V_n^2,$$

где:

$\Delta P_n$  — сопротивление газогенераторной установки на заданном режиме (ата);

$\Delta P_0$  — характеристика сопротивления газогенераторной установки  $\left( \frac{\text{мм рт.ст.} \cdot \text{час}^2}{\text{ата} \cdot \text{м}^6} \right)$ .

Расчеты показали, что сопротивление установки при наддуве до 2-х ата увеличивается в два раза по сравнению с работой при 1 ата.

Снижение сопротивлений до прежней величины за счет реконструкции установки позволяет получить прирост индикаторной мощности газогенераторного двигателя с наддувом около 6%. Эффективная мощность двигателя при этом увеличивается на 12%.

#### Температура газа и работа системы охлаждения с наддувом

Ряд исследований зоны газификации при низких и высоких давлениях говорит о постоянстве температуры в зоне при различных давлениях. Температура газа на выходе из газогенератора с давлением увеличивается.

Рассмотрение физической сущности этого явления показывает, что причина увеличения температуры состоит в уменьшении процента отдачи тепла от газа в окружающую среду и внутри бункера. С увеличением давления теплосодержание 1 м<sup>3</sup> газа резко возрастает, количество тепла, отдаваемое от газа к воздуху и бункеру, изменяется незначительно.

В результате остаточное теплосодержание 1 м<sup>3</sup> газа и температура газа с давлением увеличиваются.

В первом приближении учитывается теплоотдача только в окружающий воздух. Это позволяет упростить задачу и рассматривать явление как уменьшение температуры газа при его движении внутри трубы. Для уточнения расчета вносится поправка на теплоотдачу внутрь бункера.

Зависимость температуры газа от температуры поверхности определяется по известным формулам:

$$t_{нов} = t_{газ} - \frac{q_1}{\Pi} \left( \frac{1}{\alpha_1 \cdot b} + \frac{1}{2\lambda} \ln \frac{D}{d} \right),$$

где:

$$q_1 = \frac{Q}{L} = \frac{\kappa_1 \cdot \Pi L (t_{газ} - t_{возд})}{L} = \kappa_1 \cdot \Pi (T_{газ} - T_{возд}).$$

После подстановки  $q_1$  и преобразования получим:

$$T_{пов} = T_{газ} \cdot \frac{\kappa_1}{\alpha_2 \cdot D} + T_{возд} \left( 1 - \frac{\kappa_1}{\alpha_2 \cdot D} \right),$$

или

$$T_{пов} = T_{газ} \cdot \Psi + T_{возд} (1 - \Psi),$$



где:

$$\Psi = \frac{K_1}{\alpha_2 \cdot D}$$

Отсюда также следует:

$$dT_{\text{нов}} = \Psi \cdot dT_{\text{газ}}$$

Величина  $\Psi$  удобна тем, что она незначительно изменяется по длине трубы, так как при изменении температуры величины  $K_1$  и  $\alpha_2$  меняются однозначно. Величину  $\Psi$  при расчетах можно принимать постоянной по длине трубы (среднее значение по длине).

Закономерность изменения температуры поверхности по длине трубы найдем, приравнявая изменение теплосодержания газа на участке  $dL$  по длине трубы и теплоотдачу в окружающую среду на этом же участке:

$$dQ_{\text{газ}} = dQ_{\text{конв}} + dQ_{\text{рад}},$$

$$-P \cdot V \cdot C \cdot dT_{\text{нов}} \frac{1}{\Psi} = \alpha \left[ (\alpha_{\text{конв}})_2 (T_{\text{нов}} - T_{\text{возд}}) \tau \cdot \Pi \cdot D \cdot dL + C_s \cdot \varepsilon \left( \frac{T_{\text{нов}}}{100} \right)^4 \cdot \tau \cdot \Pi \cdot D \cdot dL \right]$$

Здесь « $\alpha$ » — поправочный коэффициент на теплоотдачу внутри бункера.

После преобразования и интегрирования ( $P = \text{const}$ ;  $V = \text{const}$ ) получим:

$$\int \frac{dT_{\text{нов}}}{(\alpha_{\text{конв}})_2 (T_{\text{нов}} - T_{\text{возд}}) + \frac{C_s \varepsilon}{10^8} T_{\text{нов}}^4} = - \frac{\alpha \cdot \tau \cdot \Pi \cdot D \cdot \Psi_{\text{ср}}}{P \cdot V \cdot C} L$$

Интеграл левой части выражения лучше всего решается графическим способом.

Индикаторная мощность двигателя при различных температурах газовой смеси может быть подсчитана по приведенной в разделе сопротивлений формуле индикаторной мощности.

Подсчеты температуры газа, выходящего из газогенератора, показали, что при увеличении давления до 2 ата она может возрасти на 150°C (от 250°C до 400°C).

Температура газа перед смесителем при стандартной системе охлаждения достигает 60°C, температура сжатого воздуха — 110°C, температура газовой смеси — 80°C.

Если снизить температуру газовой смеси до 35°C за счет охлаждения газа и воздуха, то возможно увеличение индикаторной мощности двигателя с наддувом на 7%. Эффективная мощность увеличивается при этом на 10%.

## Уносы и работа системы очистки при наддуве

Количество механических примесей и влаги в газе при выходе из газогенератора зависит как от конструкции, так и от режима работы газогенератора. Перед смесителем их количество зависит от эффективности очистки и температурного режима системы охлаждения.

Влияние давления на уносы механических частиц выразим зависимостью критической скорости\* каждой фракции от давления наддува.

Критическую скорость частиц найдем, приравнявая силу тяжести пылинки  $G_{\text{пыл}}$  и ее лобовое сопротивление  $\Delta P_{\text{лоб}}$  (в первом приближении примем, что она имеет форму шара):

$$G_{\text{пыл}} = \Delta P_{\text{лоб}}.$$

После подстановки значений и преобразования получим:

$$W_0 = \sqrt{\frac{4 \cdot g \cdot d \cdot \gamma_{\text{топл}}}{3 \cdot \varepsilon_{\text{ш}} \cdot \gamma_{\text{газ}}}}$$

Сравнивая  $W_0$  при нормальном и повышенном давлении, а также приводя  $\gamma_{\text{газ}}$  к нормальным условиям, получим, что критическая скорость обратно пропорциональна корню квадратному из давления наддува:

$$(W_0)_2 = (W_0)_1 \sqrt{\frac{P_1}{P_2}}$$

По среднему дисперсному составу пыли генераторного газа можем найти изменение критической скорости с давлением для каждого размера частиц. Зная действительную скорость потока, нетрудно определить размер частиц, которые будут уноситься при этой скорости и найти таким образом величину уносов.

Расчеты показали, что при наддуве древесно-чурочного газогенератора уносы увеличиваются незначительно; примерно на 1% по сравнению с работой без наддува.

С увеличением давления кроме уносов растет содержание влаги в газе. При наддуве система должна быть герметичной, поэтому осадившуюся влагу следует систематически удалять.

Расчеты, произведенные по парциальному давлению паров воды в газе, показывают, что в экспериментальной установке в системе очистки выпадает в среднем 10 л воды в час при охлаждении газа до 35°C.

\* Под критической скоростью понимается такая скорость, при которой частица срывается и улетает с потоком газа.



## ЭКСПЕРИМЕНТАЛЬНОЕ ИССЛЕДОВАНИЕ

### Методика

Для выяснения влияния повышенного давления на процесс газификации и на работу всей газогенераторной установки, необходимо выявление ряда зависимостей:

1) влияния повышенного давления в газогенераторе на состав газа, его теплотворность, расход топлива и температуру газа на выходе из газогенератора:

$$\begin{aligned} \text{CO, H}_2, \text{CH}_4, \text{CO}_2 &= f(P); \\ H_{\text{газ}} &= f(P); \\ G_{\text{газ}} &= f(P); \\ t_{\text{газ}} &= f(P); \end{aligned}$$

2) количества уносов золы и частиц топлива из газогенератора, а также сопротивления газогенераторной установки в зависимости от давления воздуха:

$$\begin{aligned} G_{\text{ун}} &= f(P); \\ \Delta P &= f(P); \end{aligned}$$

3) зависимости мощности двигателя от сопротивлений установки и температуры газа (смеси) при работе с наддувом:

$$\begin{aligned} N_e &= f(\Delta P); \\ N_e &= f(t_{\text{см}}); \end{aligned}$$

В соответствии с поставленными задачами была разработана методика проведения исследования и оборудована экспериментальная установка, дающая возможность получить необходимые зависимости.

Экспериментальная установка состоит из двух параллельно подключенных стандартных газогенераторных установок ЗИС-21. Одна из установок может отключаться задвижками типа «Лудло». Рессорные крышки газогенераторов заменены резьбовыми.

Постановка двух параллельно включенных установок вызвана необходимостью проведения цикла испытаний при различных сопротивлениях установки.

В системе очистки экспериментальной установки добавлен отстойник емкостью до 10 л; резиновые трубчатые соединения заменены фланцевыми и для подвода воздуха к футорке приварена резьбовая трубка.

Газ, вырабатываемый в установке, использовался для питания двигателя ЗИС-120 со степенью сжатия  $\varepsilon=6$ ; в ряде случаев газ выбрасывался в атмосферу. Крутящий момент двигателя замерялся гидротормозом ЛЕ-53 конструкции МАИ.

Для наддува воздуха в газогенераторные установки использовался нагнетатель типа ЦНИИМЭ-1 с приводом от отдельного источника энергии, а затем от двигателя, подвергаемого наддуву. В качестве топлива при исследовании применялась березовая чурка размером  $70 \times 70 \times 70$  мм с абсолютной влажностью  $18 \div 22\%$ .

Испытания проводились на следующих режимах:

а) расходы газа — 54, 77, 100, 110, 124, 135 м<sup>3</sup>/час; (при работе с двумя газогенераторными установками расход уменьшается в два раза);

б) давление от 0,9 до 1,8 ата и в отдельных случаях до 2,0 ата.

Основным отбором газа считался отбор газа перед смесителем, производились также отборы газа за газогенератором. Для изучения процесса газификации был сделан отбор газа из различных участков зоны газификации при помощи трубки специальной конструкции (кварц в кожухе из нержавеющей стали).

Состав газа, получаемого в газогенераторах, тесно связан с температурным режимом работы, поэтому был предусмотрен замер температуры в различных точках зоны газификации и бункера.

Перед началом замеров производился прогрев газогенератора и двигателя в течение выжига одного бункера.

Замер температур в бункере и зоне газификации производился через 20 мин. после начала работы. Испытания производились в течение израсходования  $\frac{2}{3}$  объема бункера (перед началом испытаний бункер загружался полностью).

Кроме газогенератора, температура замерялась также в различных точках газогенераторной установки. Замерялись сопротивления всей установки и отдельных ее элементов.

При проведении замеров использовались следующие приборы:

а) расход газа и воздуха — трубы Вентури (по правилам № 169 палаты Мер и Весов);

б) давление газа и воздуха — U-образные водяные и ртутные манометры;

в) температура — ртутные термометры, хромель-алюмелевые и платина — платинородиевые термопары;

г) состав газа — газоанализатор ВТИ;

д) теплотворность газа — калориметр типа «Юнкерс»;

е) влагосодержание и уносы с газом — прибор конструкции ЦНИИМЭ;

ж) крутящий момент двигателя — гидротормоз МАИ;

з) числа оборотов вала — стационарный тахометр с периодической проверкой эталонным суммарным счетчиком.

Производилось измерение следующих величин:

1) температура воздуха при входе в газогенератор;



- 2) температура воздуха перед смесителем;
- 3) температура газа в камере газификации и в бункере по высоте через  $50 \div 100$  мм;
- 4) температура газа на выходе из нижней части камеры газификации;
- 5) температура газа на выходе из газогенератора;
- 6) температура газа за грубыми очистителями, за тонкими очистителями и перед смесителем;
- 7) температура смеси перед двигателем;
- 8) температура поверхности газогенератора по высоте через  $50 \div 100$  мм;
- 9) давление воздуха на входе в газогенератор;
- 10) сопротивление газогенераторной установки;
- 11) сопротивление газогенератора, грубых очистителей, тонких очистителей, отстойника и смесителя (для газа);
- 12) давление перед соплами и перепад в них (расходы воздуха и газа);
- 13) давление во впускном коллекторе двигателя;
- 14) химический состав газа по высоте камеры газификации через  $50 \div 100$  мм и на выходе из этой камеры;
- 15) химический состав газа перед смесителем (основной замер) и за газогенератором (контрольный замер);
- 16) теплотворность газа перед смесителем;
- 17) влагосодержание газа за газогенератором;
- 18) влажность топлива;
- 19) уносы механических частиц;
- 20) крутящий момент и обороты вала двигателя;
- 21) температура воды и масла в двигателе, давление масла;
- 22) температура и давление окружающей среды.

## РЕЗУЛЬТАТЫ ИССЛЕДОВАНИЯ

Анализ проб газа, отобранного перед смесителем, показал, что с увеличением давления наддува в газе увеличивается общее содержание горючих составляющих. Это говорит об активизации реакций газификации с давлением. Наблюдается увеличение содержания водорода или окиси углерода и рост теплотворности газа. Дальнейшее исследование показало, что большее содержание водорода при повышенном давлении соответствует увеличению подачи влаги в активную зону.

Опыты показали следующие изменения состава газа с наддувом по сравнению с работой без наддува.

При малой влажности с повышением давления наддува до 1,8 ата содержание окиси углерода в газе увеличивается в среднем на  $2 \div 3\%$ , количество водорода или остается прежним, или уменьшается на  $1 \div 2\%$ .

При повышенной подаче влаги процентное содержание водорода увеличивается в среднем на  $3 \div 4\%$ , а окиси углерода — уменьшается на  $2 \div 3\%$ .

Содержание метана и  $CmHn$  при увеличении давления изменяется незначительно. Содержание азота с повышением давления уменьшается на  $3 \div 4\%$ , теплотворность газа растет в среднем на  $10\%$ .

Из приведенных данных видно, что состав газа и его теплотворность заметно изменяются при применении наддува до 2 ата. Однако это изменение практически не сказывается на мощности двигателя, так как теплотворность газозоудушной смеси изменяется значительно менее, чем теплотворность газа.

Почти неощутимое влияние качества газа на мощность двигателя при наддуве, явилось основной причиной заключения различных авторов о неизменности состава газа в газогенераторах при применении наддува.

Как показали опыты, сопротивление газогенераторной установки увеличивается прямо пропорционально давлению наддува.

При наддуве мощность двигателя в значительной степени зависит от сопротивления впуска, поэтому на уменьшение сопротивлений нужно обращать серьезное внимание.

Анализ характеристики сопротивления —  $\Delta P_0$  показал, что она недостаточно универсальна, так как не учитывает форсировку газогенераторной установки по расходу газа (которую можно характеризовать жаронапряженностью); также не учитывает расхода воздуха на подсушку топлива в сырокурочных газогенераторах, который создает добавочное сопротивление.

Чтобы сделать характеристику сопротивления более универсальной, предлагается относить ее к жаронапряженности по рабочему топливу. Это отношение для различных газогенераторов колеблется в пределах от  $4 \cdot 10^{-6}$  до  $13 \cdot 10^{-6}$  (мм. рт. ст. час<sup>3</sup>/ата. м<sup>4</sup>. кг).

При проектировании установок с наддувом необходимо стремиться к низшему пределу этой величины.

Опытные данные по формуле сопротивления двух параллельно работающих агрегатов получились близкими к теоретическим.

Экспериментальная проверка мощности газогенераторного двигателя с наддувом при различных сопротивлениях газогенераторной установки подтвердила, что за счет уменьшения сопротивления стандартной установки с наддувом в два раза возможно повысить эффективную мощность двигателя на  $12\%$ .

Как показывают расчеты, подобное уменьшение сопротивления потребует увеличения поперечных линейных размеров установки для 1,8 ата только на  $13 \div 16\%$ .

Как показали опыты, температура в зоне газификации практически не меняется без наддува и с наддувом.



Температура газа на выходе из зоны (сбоку) несколько увеличивается с наддувом за счет уменьшения относительной теплоотдачи в окружающую среду, о чем уже говорилось выше. Изменение этой температуры с давлением имеет одинаковый характер для различных расходов газа и может быть выражено следующей формулой:

$$t(^{\circ}\text{C}) = 665 + 80 \cdot P,$$

где:  $P$  — в  $\text{кг/см}^2$ .

В теоретической части работы приведен метод расчета температуры газа, выходящего из газогенератора, при различных давлениях наддува. При расчете по этому методу необходимо введение поправки на теплоотдачу внутрь бункера.

Поправочный коэффициент зависит, в основном, от расхода газа. Эту зависимость можно представить в следующем виде:

$$a = 0,8 + 0,005 \cdot V,$$

где:  $V$  — в  $\text{м}^3/\text{час}$ .

Температуры, рассчитанные по предложенному методу, и опытные температуры дали удовлетворительную сходимость как по температуре поверхности, так и по температуре газа, выходящего из газогенератора. В нижней части газогенератора расхождение расчетных и опытных температур поверхности достигает 10%, так как расчет произведен для средних коэффициентов теплопередачи по высоте газогенератора; скачок же температур происходит, в основном, в нижней части газогенератора. Для более точных расчетов необходима разбивка газогенератора на зоны по высоте с резко различными перепадами температур и нахождение средних коэффициентов теплопередачи для каждой зоны в отдельности.

Опытная проверка мощности двигателя при различных температурах смеси подтвердила, что практически за счет уменьшения температуры газовоздушной смеси с  $80^{\circ}\text{C}$  до  $35^{\circ}\text{C}$  можно повысить, эффективную мощность двигателя на 10%.

Расчет уносов по среднему дисперсному составу пыли генераторного газа показал, что при давлении 1,7 ата уносы увеличиваются лишь на 1% по сравнению с работой при 1 ата. Опытные данные подтверждают практическое постоянство уносов при давлениях наддува в пределах 1,7 ата.

Проверка количества осаждаемой в системе воды при работе с наддувом подтвердила, что это количество составляет в среднем 10 л/час в случае охлаждения газа до  $35^{\circ}\text{C}$ .

Указанное обстоятельство заставляет предусмотреть соответствующую емкость в системе очистки газа и систематический выпуск влаги. Только в этом случае будет обеспечена бесперебойная работа установки и высокие ее показатели.

При работе с наддувом жаронапряженность на уровне фурм в среднем в 1,5 раза больше, чем без наддува.

Превышение предельно допустимой для данной конструкции газогенератора жаронапряженности ( $500-700 \text{ кг/м}^2\text{час}$ ) может привести к ухудшению состава газа.

Уменьшение жаронапряженности в наших опытах было достигнуто за счет параллельного подключения двух газогенераторных установок. Тот же результат может быть получен при увеличении диаметра камеры газификации (для  $P=1,8$  ата на 35%). Изменение условий работы может вызвать нарушение устойчивости процесса.

Для проверки устойчивости работы с наддувом двух газогенераторных установок ЗИС-21 с двигателем ЗИС-120 были поставлены опыты по определению степени неравномерности их работы. Полученную степень неравномерности 1,53% можно признать удовлетворительной.

Уместно оценить экономическую эффективность применения наддува в модернизированной\* газогенераторной установке.

Приведенные ниже цифры говорят об экономической целесообразности наддува в случае модернизации установки, так как эксплуатационные расходы значительно уменьшаются:

- а) при наддуве газодизеля — на 30%;
- б) при наддуве бензинового двигателя, переведенного на газ — на 44%.

## ВЫВОДЫ

Для исследования процесса газификации и работы древесно-чурочной газогенераторной установки при повышенном давлении была проведена предварительная теоретическая разработка ряда вопросов с целью уточнения физико-химической сущности явлений, происходящих в газогенераторной установке при увеличении давления. Уточнение механизма процессов позволило теоретически рассчитать необходимые количественные изменения и направить экспериментальные исследования в сторону получения удовлетворительных показателей.

1. Для расчета сопротивлений предложена характеристика сопротивления установки —  $\Delta P_0$ , а также формула расчета сопротивлений по этой характеристике:

$$\Delta P_n = \Delta P_0 \cdot P_n \cdot V_n^2.$$

Сопротивление газогенераторной установки увеличивается пропорционально давлению наддува. В установке ЗИС-21 с двигателем ЗИС-120, например, сопротивление при наддуве доходит до 100 мм рт. ст. вместо 50 мм рт. ст. — без наддува. Снижение возросшего сопротивления до 50 мм рт. ст. путем

\* Имеющей малые сопротивления и температуру газовоздушной смеси.



предлагаемой автором реконструкции установки увеличивает эффективную мощность двигателя при наддуве на 12%.

Уменьшение сопротивлений может быть достигнуто увеличением проходных сечений —  $d$  и параллельным включением агрегатов.

Увеличение  $d$  весьма эффективно сказывается на уменьшении сопротивлений, как это видно из следующего соотношения:

$$\frac{d_1^4}{d_1^4} \leq \frac{\Delta P_1}{\Delta P_2} \leq \frac{d_2^5}{d_1^5}.$$

Значительное снижение сопротивлений достигается также параллельной работой агрегатов. При параллельной работе двух одинаковых агрегатов их общее сопротивление в четыре раза меньше сопротивления каждого из них.

Для расчета сопротивления параллельно включенных агрегатов предложена формула:

$$\Delta P = \frac{\Delta p' \cdot \Delta p''}{(\sqrt{\Delta p'} + \sqrt{\Delta p''})^2}.$$

2. Для расчета температур газа, выходящего из газогенератора, предложены формулы:

$$T_{\text{газ}} = \frac{T_{\text{пов}} - T_{\text{возд}}(1 - \Psi_{\text{верх}})}{\Psi_{\text{верх}}}; \quad \Psi = \frac{K_1}{\alpha_2 \cdot D};$$

$$\int \frac{dT_{\text{пов}}}{(\alpha_{\text{конв}})_2 (T_{\text{пов}} - T_{\text{возд}}) + \frac{C_s \cdot \varepsilon}{10^8} T_{\text{пов}}^4} = - \frac{\alpha \cdot \tau \cdot \Pi \cdot D \cdot \Psi_{\text{ср}}}{R \cdot V \cdot C} \cdot L$$

Температура газа на выходе из газогенератора увеличивается на 150°C при наддуве до 2 ата.

Перед смесителем в этом случае температура газа будет 60°C, температура газовой смеси — 80°C.

Снижение температуры газовой смеси до 35°C за счет охлаждения газа и воздуха дает при наддуве увеличение эффективной мощности двигателя на 10%.

Необходимое снижение температуры воздуха практически получается при удлинении воздухопроводов (удаление нагнетателя от двигателя). Для охлаждения газа необходима установка радиатора.

3. Применение наддува воздуха в газогенераторную установку до 2 ата положительно сказывается на составе вырабатываемого в ней газа: увеличивается содержание горючих составляющих на 2÷3% и теплотворность газа на 10%.

4. При увеличении давления расчет уносов предлагается производить по изменению критических скоростей частиц:

$$W_0 = \sqrt{\frac{4 \cdot g \cdot d_0 \cdot \gamma_{\text{топл}}}{3 \cdot E_{\text{ш}} \cdot \gamma_{\text{газ}}}};$$

$$(W_0)_2 = (W_0)_1 \sqrt{\frac{P_1}{P_2}}.$$

Как показали расчеты и экспериментальные данные, унос твердых механических частиц при наддуве до 1,8 ата увеличивается не более, чем на 1%.

5. В результате произведенного теоретического и экспериментального исследования установлено, что только за счет уменьшения сопротивления установки при наддуве и снижения температуры смеси получается увеличение мощности газогенераторного двигателя типа ЗИС-120 на 15 л. с., т. е. на 20%.

Это позволяет получить мощность двигателя при работе на генераторном газе равной при работе на бензине.

6. Эксплуатационные расходы газогенераторной установки значительно уменьшаются при наддуве и снижении сопротивлений и температур смеси.

При переводе с бензина на газ уменьшение расходов составляет 44%, при переводе дизеля на газодизельный процесс — 30%.

Снижение эксплуатационных расходов делает целесообразным применение полученных результатов также и в установке со специальным газовым двигателем.

7. Результаты, полученные в настоящей работе, могут быть использованы для повышения производительности и экономичности газогенераторных установок.

#### УСЛОВНЫЕ ОБОЗНАЧЕНИЯ

- $Q$  — количество тепла (ккал);
- $P, P_n$  — давление наддува (ата; мм. рт. ст.; кг/м<sup>2</sup>);
- $\Delta P$  — перепад давления, сопротивление (ата, мм. рт. ст.; кг/см<sup>2</sup>);
- $\gamma$  — удельный вес (кг/м<sup>3</sup>);
- $W$  — скорость движения газа (м/сек);
- $V$  — объемный расход газа (м<sup>3</sup>/час; м<sup>3</sup>);
- $L$  — длина (м);
- $D, d$  — диаметр (м);
- $F, f$  — площадь (м);
- $E$  — коэффициент гидравлического сопротивления (безразмерный);
- $g$  — ускорение силы тяжести (м/сек<sup>2</sup>);
- $H_{\text{см}}$  — теплотворность смеси (ккал/кг);



$R_{см}$  — газовая постоянная смеси (кгм/кг, град);  
 $T$  — абсолютная температура ( $^{\circ}K$ );  
 $t$  — температура ( $^{\circ}C$ );  
 $n$  — число оборотов вала двигателя (об/мин);  
 $V_h$  — литраж двигателя (л);  
 $\eta_V$  — коэффициент наполнения (безразмерный);  
 $\eta_i$  — индикаторный к. п. д. (безразмерный);  
 $q_1$  — тепловой поток (ккал/м град. час);  
 $k_1$  — суммарный коэффициент теплопередачи (ккал/м град. час);  
 $\alpha_1$  — коэффициент теплоотдачи от газа стенке (ккал/м<sup>2</sup> град. час);  
 $\alpha_2$  — коэффициент теплоотдачи от стенки воздуху (ккал/м<sup>2</sup> град. час);  
 $\lambda$  — коэффициент теплопроводности (ккал/м град. час);  
 $C$  — теплоемкость (ккал/м<sup>3</sup>);  
 $\tau$  — время (час);  
 $C_s$  — коэффициент излучения абсолютно черного тела равный 4,96 (ккал/м<sup>2</sup> час);  
 $P$  — 3, 14;  
 $\varepsilon$  — степень черноты (безразмерная);  
 $G$  — расход топлива (кг/час); вес (кг)  
 $N_i; N_e$  — мощности двигателя индикаторная и эффективная (л. с.);  
 $M_i; M_e$  — крутящие моменты двигателя (кгм).

Материалы, изложенные в диссертации, опубликованы в статье «Исследование влияния повышенного давления на процесс газификации и работу древесно-чурочной газогенераторной установки» (труды ЦНИИМЭ V 1957 г.), а также в статье «Частный случай расчета теплосменных аппаратов» (журнал «Гидролизная и лесохимическая промышленность» № 5, 1958 г.).



Л-32900

Зак. 261

Типография Московского лесотехнического института