**Получение моторных топлив из газов газификации растительной биомассы**

Я. М. Паушкин, Г. С. Головин, А. Л. Лапидус, А. Ю. Крылова, Е. Г. Горлов, В. С. Ковач

Институт горючих ископаемых

Рассмотрен новый метод получения экологически чистых жидких моторных топлив из растительной биомассы. Топлива не содержат серу, а выделяющийся при их горении диоксид углерода вновь участвует в образовании растений. Топлива получаются из газов газификации биомассы воздухом при невысоком давлении и температуре. Обсуждаются проблемы ресурсов горючих ископаемых и растительной биомассы в мире и в нашей стране.

В настоящее время энергетические потребности мира составляют ~ 11—12 млрд. т условного топлива (у. т.) и удовлетворяются за счет нефти и газа на 58—60%, угля - на 30%, гидро- и атомной энергии - на 10—12% [1]. Разведанные запасы нефти, угля и газа приведены в табл. 1 и 2 [2—5].

Таблица 1

| Мировые запасы горючих ископаемых, пригодные для индустриальной добычи, млрд. т н. э. Нефть + газ | Уголь | Соотношение | Литература |
| --- | --- | --- | --- |
| 226 | 687 | 1:3,0 | [4] |
| 230 | 741 | 1:3,2 | [3] |

Таблица 2

| Извлекаемые запасы горючих ископаемых и прирост биомасссы [2, 5, 7], млрд. т н. э. Наименование | В СНГ | В мире |
| --- | --- | --- |
| Нефть | 8—10 | 145 |
| Уголь | ~ 200 | 720 |
| Газ | ~ 40 | 104 |
| Образование растительной биомассы в год | ~ 15—20 | 80 |

В качестве источника энергии используется также растительная биомасса [6] (дрова и др.) - порядка 1 млрд. т у.т., или 0,7 млрд. т нефтяного эквивалента (н. э.), что составляет почти четвертую часть из добычи и потребления нефти в мире (~3 млрд. т). Потребность в нефти и других видах современной энергии, вероятно, будет увеличиваться и одновременно будут усовершенствоваться методы энергетического использования растительной биомассы (помимо прямого сжигания).



В настоящей работе рассматриваются возможности получения компонентов жидких топлив главным образом из растительной биомассы, посредством ее газификации и синтеза из газа жидких углеводородов. В общем виде эти процессы представлены на рис. 1.

Применение возобновляемой растительной биомассы для производства моторных топлив целесообразно и даже необходимо в связи с ограниченностью запасов нефти. По данным XIII Нефтяного конгресса (1991 г.) [7], разведанные запасы нефти в мире оцениваются в 140—145 млрд. т (160 млрд. м3), которых при современном потреблении нефти в мире может хватить на 35—45 лет.

По отдельным регионам проблемы с запасами нефти стоят более остро: 76% запасов находится на Ближнем и Среднем Востоке, в Латинской Америке. На остальные регионы остается 24%, из которых 6—7% приходится на СНГ. Учитывая уровень добычи нефти в 1990 г., этих запасов может хватить на 15—18 лет.

Потребность нефти в Российской Федерации — 270—300 млн. т, в целом по СНГ — 450 млн. т (для сравнения — США потребляют около 800 млн. т нефти). В дальнейшем потребление нефти в мире будет возрастать, поэтому, учитывая дефицит нефти, необходимо развивать новые пути получения жидких моторных топлив. Производство моторных топлив из твердых горючих ископаемых не слишком обширно. Так, в ЮАР получают 5 млн. т моторных топлив, для чего затрачивается 27—30 млн. т бурого угля. Эта технология основана на парокислородной газификации угля и получении моторных топлив из синтез-газа на железном катализаторе. Производство синтетических топлив в крупных масштабах с целью замены нефти представляет трудную задачу. Для производства 150 млн. т синтетических топлив (1/2 потребности России) понадобилось бы около 1 млрд. т бурого угля (добыча угля в 1990 г. в Советском Союзе составила около 700 млн. т, в США — 800 млн. т).

Доступным и возобновляемым сырьем для производства синтетических моторных топлив является биомасса растений. Например, в Канаде лесная и лесоперерабатывающая промышленность более 70% необходимой энергии получает из отходов древесины (газификацией и другими методами). В Советском Союзе в период 1940—1950 гг. были созданы установки, работавшие на лесных и сельскохозяйственных отходах при их газификации воздухом с получением газообразного моторного топлива. Ежегодный прирост биомассы растений на Земле составляет от 170 до 200 млрд. т, считая на сухое вещество, что в пересчете на нефтяной эквивалент соответствует примерно 70—80 млрд. т [5, 6].

До середины XIX в. человечество использовало в качестве теплоносителя для бытовых и промышленных целей (металлургия, паровые машины и др.) почти исключительно биомассу растений и продукты ее переработки (древесный уголь).

При использовании в качестве энергоносителя газа, нефти и угля возникает ряд проблем, связанных с ограниченными запасами горючих ископаемых, в особенности нефти. Помимо истощения запасов нефти важными проблемами являются перевозка на большие расстояния и хранение всех видов топлив.

В связи с дефицитом нефти целесообразно использовать местные виды топлив — растительную биомассу, бурый уголь, торф, сланцы, различные твердые органические отходы (мусор в городах) при переработке в жидкое топливо. Общее количество различных твердых органических отходов (лесодобыча и лесопереработка, сельское хозяйство, промышленность, бытовой мусор в городах) может быть очень велико. Например, в США оно достигает 1—1,2 млрд. т в год. Из этого количества можно получить около 1/4 моторных топлив, т. е. более 100 млн. т. Однако большая часть отходов не используется, некоторую часть применяют для получения биогаза (смесь СН4 с СО2), другая часть сжигается.

Например, фирма “Боинг” сжигает биомассу (отходы древесины и городской мусор) для получения примерно 60% тепла, необходимого для обогрева завода “Боинг” площадью 550 тыс. м2 являющегося крупнейшим в мире производственным комплексом [8].

Ресурсы ежегодно возобновляемой растительной биомассы энергетически в 25 раз превышают добычу нефти. В настоящее время сжигание растительной биомассы составляет ~10% от потребляемых энергоресурсов (примерно 1 млрд. т у. т.), в будущем ожидается существенное расширение использования биомассы в виде продуктов ее переработки (жидких, твердых топлив и др.), и в первую очередь отходов, которые скапливаются и разлагаются, загрязняя окружающую среду [9].

Биомасса перерабатывается в топливные и химические продукты различными методами: пиролизом, гидролизом, газификацией, гидрогенизацией и др. Эти процессы осуществляются на передвижных или стационарных установках.

В Норвегии применяются передвижные установки на лесосеках, где перерабатываются растительные отходы методом пиролиза. Производительность отдельной установки от 10 до 30 т древесного угля в сутки [10]. При пиролизе из 1 т отходов (щепа) получается 280 кг угля, 200 кг смолы пиролиза и около 222 кг газообразного топлива. Газообразное топливо используется для поддержания процесса пиролиза. Смола пиролиза применяется как котельное топливо или подвергается гидрооблагораживанию под давлением водорода для получения бензина и дизельного топлива. Стационарные установки пиролиза могут иметь до 40 печей и рассчитаны на переработку 300—350 тыс. т органических отходов в год [11].

Разработан процесс ожижения растительной биомассы методом гидрогенизации при 350° С под давлением водорода при 6,4 МПа. Из 1 т биомассы получают 24 кг синтетической нефти и 160 кг остатка типа асфальта [12].

Одним из методов получения жидких моторных топлив является термическое растворение древесины в нефтяных фракциях при 380—450° С под давлением 10,0 МПа. При этом происходит ожижение древесины.

В США имеется экспериментальная установка, где из 1000 кг древесной щепы получается 300 кг топлива типа сырой нефти. Процесс ведут при давлении 28 МПа и температуре 350—375° С. В качестве катализатора применяют карбонат натрия [13].

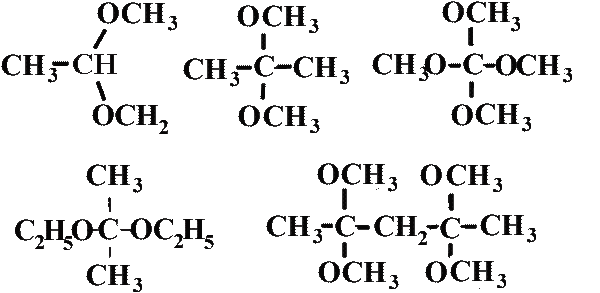
В ряде стран (Италия, ФРГ, Аргентина и др.) созданы специальные энергетические плантации быстрорастущих пород древесины и других пород на землях, не пригодных для сельского хозяйства.

Плантации ивы в Швеции на заболоченных землях дают 25 т древесины с 1 га в год. Сбор древесины осуществляется через 2 года специальными комбайнами в зимнее время года, когда заболоченная земля замерзает. С 1 млн. га получается 15 млн. т древесины в виде сухого древесного топлива, что эквивалентно 20% энергии, необходимой для этой страны [14].

В рамках Западно-Европейской программы развития возобновляемых энергоресурсов в Италии пущен крупный биоэнергетический комплекс, рассчитанный на ежегодную переработку 300 тыс. т быстрорастущей биомассы и органических отходов. Помимо газа и тяжелых остатков будет получено 20 тыс. т жидкого топлива. В Германии имеются большие плантации рапса, из которого получают смазочные масла и дизельное топливо.

В Латинской Америке, США и Франции из биомассы (отходов сахарного тростника, кукурузы и др.) получают этанол, используя обычно процессы брожения. В Бразилии получается более 10 млн. т этанола, который применяют как основное топливо для автомобилей (96%-ный этанол) или в смеси с бензином — топливо “Газохол” (22 % этанола с 78 % бензина). В США из кукурузы получают более 3 млн. т этанола, который применяют в качестве добавки к бензину (5—10%) для повышения октанового числа и улучшения процессов сгорания.

Для использования в моторных топливах предложены производные метанола и этанола, которые не корродируют аппаратуру, безвредны, хорошо смешиваются и имеют высокие антидетонационные свойства [15]:



В настоящее время в качестве добавки для повышения октанового числа используют метил-трет-бутиловый эфир.

В [16, 17] разработан новый процесс синтеза нормальных парафинов и изопарафинов, а также олефинов из нового типа исходного сырья — растительной биомассы. Биомасса превращается газификацией воздухом в генераторный газ, содержащий оксид углерода и водород. В газе содержится около 50% азота, поэтому синтез из такого газа компонентов моторных топлив состава С5 —С22 является принципиально новым. Ранее во всех технологических процессах (Фишера — Тропша, Сасол, Мобил) применяли концентрированный газ, состоящий только из СО и Н2.

Парафиновые углеводороды неразветвленного строения являются хорошими компонентами дизельных топлив. Для производства высокоцетановых моторных топлив [18] желательно смешение фракций синтетических парафинов с цетановым числом 77—90, полученных по методу Фишера — Тропша с дизельными фракциями нефти или продуктов гидрогенизации угля, которые имеют цетановое число 40—50.

Продукты синтеза, полученные посредством газификации биомассы, мог заменить нефтехимическое сырье.

Жидкие олефиновые углеводороды, которые получаются при синтезе, мог найти применение, помимо топливного назначения, для производства синтетических моющих средств. Из фракции углеводородов С2—С22, полученной биомассы, в процессе пиролиза на ванадиевом катализаторе могут быть получены этилен, пропилен и бутилены [19, 20]. При каталитическом пиролизе образует до 40—50% этилена и 60—65% суммы газообразных олефинов на исходи сырье. Проверка этого процесса в опытно-промышленных условиях [21] показал что в зависимости от применяемого сырья этилен образуется с выходом от до 40% и олефины 60—65%. При термическом пиролизе выход этилена обычно не превышает 25—26%.

Таким образом, в результате переработки растительного сырья могут бы получены жидкие углеводороды — компоненты моторных топлив и олефины, частности этилен для процессов нефтехимического синтеза.

Цель настоящего исследования — разработка процесса получения компонентов жидких топлив (бензина, дизельного топлива) из продуктов газификации растительной биомассы СхНуОг при 900—1500° С. При этом образуется газ, содержащий оксид углерода, водород, диоксид углерода и азот:

CxHyOz + O2 + N2 = CO, H2, CO2, H2O, N2

Состав продуктов газификации зависит от исходного сырья (древесная щеп солома, отходы технических культур и др.). Обычно состав газа находится пределах, %: СО 15—25, Н2 12—15, СO2 7—12, N2—50. Может присутствовать небольшое количество других примесей, например СН4.

Характерной особенностью газов газификации биомассы воздухом является большое содержание азота — 45—55%. Ранее полагали, что азот будет препятствовать синтезу жидких углеводородов из СО и Н2.

Каталитическую газификацию биомассы древесной пульпы проводят с помощью водяного пара с подводом тепла извне в трубчатых печах на никелевых катализаторах. В этом случае из 1 т биомассы получается 150—160 кг водород диоксид углерода отделяется. В процессе пиролиза расходуется 103,0 кД тепла на 1 молекулу водорода, а при сжигании 1 молекулы выделяете 285 кДж.

В промышленности для процесса Фишера — Тропша синтез-газ получают каталитической конверсией метана с водяным паром при высоких температурах.

Газификация биомассы с водяным паром несколько сложней, чем газификация с применением воздуха, так как газогенераторы такого типа не разработаны.

Рассмотрим синтез углеводородов из генераторных газов газификации воздухе растительного сырья. Газификация воздухом (при неполном сгорании) — известный технологический процесс переработки твердого органического сырья -биомассы, торфа, бурого угля.

Газы газификации воздухом в зависимости от исходного сырья [9] имеют следующий состав, об.%:

|  |  |  |  |  |  |
| --- | --- | --- | --- | --- | --- |
|  | СО | Н2 | СO2 | O2 | N2 |
| Древесная щепа | 28,1 | 15,4 | 6,8 | 0,5 | 46,3 |
| Солома | 15,4 | 14,8 | 13,2 | 0,2 | 53,0 |
| Бурый уголь | 25,5 | 14,0 | 6,2 | 0,2 | 51,7 |

Газогенераторные установки, где в качестве топлива применяли биомассу — древесину, отходы хлопка, кукурузы и др., а также уголь, ранее широко использовались. В 40-х и 50-х годах имелось более 200 тыс. различных стационарных и передвижных машин [9] и были сэкономлены миллионы тонн нефти. В 1980—1990 гг. газогенераторную технику использовали только в Канаде и США на лесозаготовках.

В Западной Европе в 1980—1990 гг. при уничтожении городского мусора применяли процессы газификации, получая генераторный газ, содержащий СО — 22, Н2 12—15, N2 45—50. Установки такого типа фирмы “Фест-Альпине” (Австрия) экологически чистые, а газ может применяться для получения жидкого топлива.

В качестве аналогов газа газификации в настоящей работе использовали смесь газов следующих составов (об.%): СО — 30, Н2 — 15, С02 — 5, N2 — 50; СО — 15, Н2 — 20, С02 — 15, N2 — 50; СО — 28, Н2 — 15, СО2 — 7, N2 — 45.

Опыты проводили при давлениях 0,1 и 1 МПа и температурах от 180 до 230° С. Применяли промышленный Co-содержащий катализатор и катализатор, который готовили смешением основного карбоната кобальта с носителем. Все катализаторы восстанавливали в потоке водорода при 450° С. Схема установки показана на рис. 2. Опыты проводили при объемной скорости (о. с.) от 50 до 200 ч-1.

Для проведения большей части опытов был выбран Co-катализатор, активный в процессе синтеза углеводородов из водяного газа (СО—Н2) по Фишеру — Тропшу. Результаты опытов, проведенных при атмосферном давлении и разном

| Основные показатели процесса синтеза углеводородов из продуктов воздушной газификации биомассы (Р-0,1 МПа, Т-190—210 °С, о. с. 100 ч-1, катализатор 32% Со—3% MgO—ЦВМ \*) Исходный газ, об.% | | | | Выход углеводородов \*\*, г/м3 | | | | Состав жидких углеводородов, % | | |
| --- | --- | --- | --- | --- | --- | --- | --- | --- | --- | --- |
| СО | Н2 | С02 | N2 | C1 | С2-С4 | >С5 | общий | олефины | парафины | |
| разветвленные | нормальные |
| 33 | 67 | - | - | 20 | 37 | 80 | 137 | 8 | 16 | 76 |
| 10 | 20 | 20 | 50 | 11/37 | 7/23 | 28/98 | 46/158 | 10 | 21 | 69 |
| 15 | 20 | 15 | 50 | 11/30 | 7/18 | 31/90 | 49/138 | 11 | 26 | 63 |
| 30 | 15 | 5 | 50 | 2/4 | Следы | 19/64 | 21/68 | 16 | 26 | 58 |

\* ЦВМ — цеолитсодержащий носитель

\*\* В числителе дроби указан выход в расчете на пропущенный газ, в знаменателе — в пересчете на СО + Н2.

Таблица 4

| Влияние состава исходного газа на синтез углеводородов (Р-1,0 МПа, о.с.- 100 ч-1 Состав исходного газа, об.% | | | | Tопт,0C | Выход углеводородов, г/м3 | | | | Состав жидких углеводородов, % | | | Среднее углеводородное число |
| --- | --- | --- | --- | --- | --- | --- | --- | --- | --- | --- | --- | --- |
| олефины | парафины | |
| СО | CO2 | H2 | N2 | C1 | С2-С4 | >С5 | общий | разветвлённые | нормальные |
| 32% Co—3% MgO—ЦВМ | | | | | | | | | | | | |
| 33 | 0 | 67 | 0 | 230 | 6 | 22 | 41 | 69 | 10 | 9 | 81 | 10, 0 |
| 30 | 5 | 15 | 50 | 230 | 3 | 9 | 52/116\* | 64 | 4 | 16 | 80 | 13, 4 |
| 15 | 15 | 20 | 50 | 220 | 8 | 9 | 35/101\* | 52 | 2 | 11 | 87 | 12, 0 |
| 32% С—2% MgO—3% ZrO2— носитель | | | | | | | | | | | | |
| 33 | 0 | 67 | 0 | 170 | 7 | 1 | 53 | 61 | 14 | 4 | 82 | 10, 4 |
| 30 | 5 | 15 | 50 | 230 | 2 | 4 | 41/92\* | 47 | 13 | 27 | 60 | 12, 8 |
| 15 | 15 | 20 | 50 | 210 | 12 | 13 | 41/117\* | 66 | 3 | 22 | 75 | 13, 3 |

\* См. табл. 3.

составе взятого для опыта газа, представлены в табл. 3. В табл. 4 приведен результаты опытов под давлением 1 МПа.

При увеличении давления с 0,1 до 1,0 МПа в присутствии Со - содержащего катализатора выход жидких углеводородов (>С5) в отдельных опытах достигал 52 г/м3 (без избыточного давления не превышал 31 г/м3). Если отнести этот выход к 1 кг использованных для газификации отходов древесины, то при 20%-ной влажности выход газа составляет 2,6—3 м3/кг. Если принять выход 2,6 м3/кг, то из 1 т отходов можно получить от 80 до 135 кг жидкого топлив Стабильность работы катализатора на газе воздушной газификации при 1,0 МГ характеризуется кривыми на рис. 3.

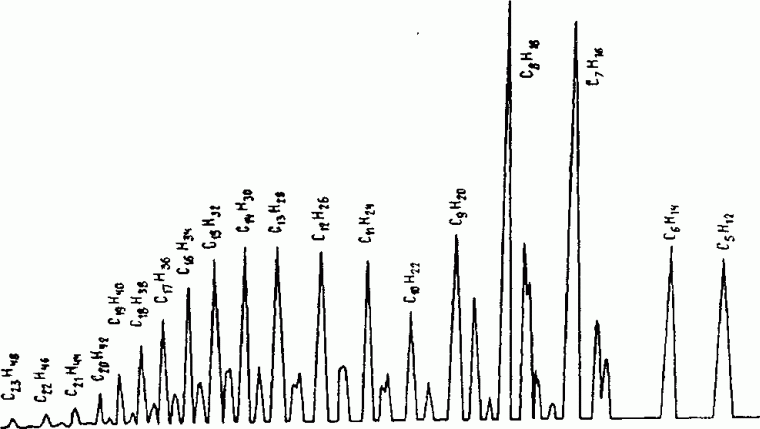


Рис 4. Типичная хроматограмма жидких продуктов синтеза углеводородов из продуктов газификации биомассы. Газ-носитель азот, капиллярная колонка длиной 50 м, жидкая фаза OV-101, 20—220° С, 8° С/мин

С учетом возможных потерь можно принять, что 1 г жидкого топлива будет получаться из 8—10 т сырья. На рис. 4 приведена типичная хроматограмма получаемой углеводородной фракции. Полученная углеводородная смесь содержит бензиновую фракцию С5—С, , и дизельную фракцию С,,—С18.

На этих примерах показано, что из газов газификации растительного сырья воздухом можно получить компоненты жидкого топлива, бензиновые и дизельные фракции, хотя в газах синтеза содержится до 50% азота.

Результаты синтеза жидких углеводородов из газов каталитической газифи-

Таблица 5

| Синтез жидких углеводородов из продуктов паровой газификации биомассы в присутствии катализатора 32% Со—2% MgO — 3%, ZrO2—кизельгур, Р-1,0 МПа, о. с, - 100 ч-1 Состав исходного газа, об % | | | ТОПТ 0С | Выход углеводородов, г/м3 | | | | Состав жидких углеводородов, % | | | Среднее углеводородное число |
| --- | --- | --- | --- | --- | --- | --- | --- | --- | --- | --- | --- |
| олефины | парафины | |
| СО | С02 | Н2 | C1 | С2-С4 | C5 — С23 | общий | разветвлённые | нормальные |
| 33 | 33 | 33 | 190 | 22 | 22 | 117 | 161 | 21 | 17 | 62 | 10,6 |
| 20 | 35 | 45 | 220 | 45 | 34 | 114 | 193 | 5 | 13 | 82 | 11,5 |
| 20 | 45 | 35 | 250 | 19 | 18 | 83 | 120 | 5 | 14 | 81 | 11,6 |
| 45 | 35 | 20 | 210 | 5 | 8 | 84 | 97 | 14 | 33 | 53 | 11,7 |
| 35 | 45 | 20 | 240 | 2 | 2 | 58 | 62 | 22 | 33 | 45 | 13,8 |
| 45 | 20 | 35 | 260 | 24 | 28 | 107 | 159 | 13 | 36 | 51 | 10,9 |
| 35 | 20 | 45 | 200 | 50 | 32 | 96 | 178 | 8 | 19 | 73 | 9,9 |

выход жидких углеводородов из 1 м3 газа (состав, об.%: СО 33, С02 33, Н2 33) достигает 114—117 г/м3, общий — 160 г/м3. Общий выход (с учетом газообразных продуктов) достигает 170—190 г/м3, аналогично процессу Фишера — Тропша из СО—Н2. Однако газ каталитической газификации биомассы с водяным паром содержит до 20—30% С02, который, вероятно, также частично входит в реакцию.

Была рассмотрена возможность создания передвижных опытных установок по переработке растительной биомассы в компоненты моторного топлива. Они включают газификацию биомассы воздухом при 900—1500° С, очистку газа и синтез жидких углеводородов. Принципиальная схема установки показана на рис. 5. Установки находятся в стадии проектирования.

Для синтеза можно использовать также газ, полученный газификацией растительной биомассы паром.

Таким образом, представлен процесс получения жидких моторных топлив из растительного сырья — отходов сельского хозяйства, лесодобычи и лесопереработки, который можно осуществить на передвижных или стационарных установках.

Процесс состоит из газификации органического сырья (неполного сгорания) воздухом при 900—1500° С, в результате чего образуется газ, содержащий СО, Н2, СО2, Н2О, N2. В результате каталитической конверсии газа при 200—250° С и 1,0 МПа получается смесь жидких углеводородов. Азот воздуха в реакцию не вступает. При этих процессах 1 т компонентов моторного топлива получается из 8 т исходного сырья. Общий КПД синтез жидкого топлива из исходного сырья (биомассы) составляет около 40%. Из лесосечных или сельскохозяйственных отходов с 1 кв. км на передвижных установках можно получить от 100 до 200 т жидкого топлива [21].

Моторные топлива [23], полученные из растительной биомассы, экологически чистые, так как не содержат серу, а образующийся при их сгорании диоксид углерода вновь вовлекается в образование растений и не накапливается в атмосфере. Утилизация растительных отходов и отходов пластмасс оздоровляет экологическую обстановку [24 ]. Это делает возможным получить дополнительное количество моторного топлива из отходов растительного и вторичного сырья, пластмасс. Помимо переработки отходов в ряде стран (Бразилия, Швеция, Италия,

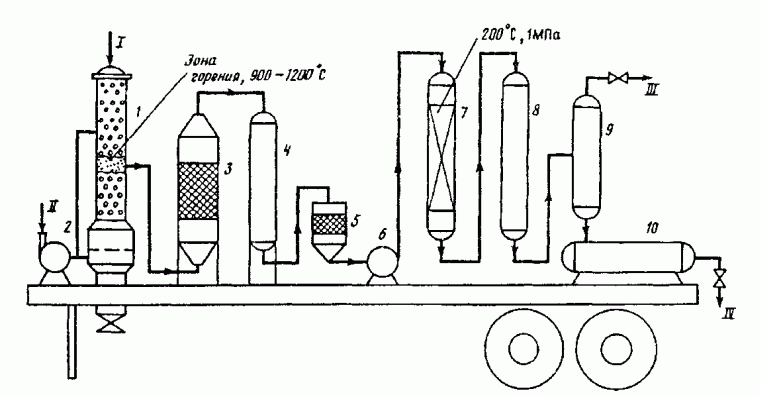


Рис. 5. Схема установки для получения жидкого топлива из растительной биомассы: 1 — газогенератор; 2 — воздушный компрессор; 3 — адсорбер; 4 — холодильник; 5 — фильтр тонкой очистки; 6 — компрессор; 7 — реактор; 8 — теплообменник; 9 — сепаратор; 10 — приемник жидкого топлива. Линии: I — биомасса, II — воздух, III — отработанный газ, IV — синтетическое жидкое топливо

Германия и др.) практикуется создание специальных энергетических плантаций из быстрорастущих пород древесины и других растений с целью последующей переработки для энергетических целей.

**Список литературы**

Storl E. // Energia. 1988. V. 10. № 1. P. 4.

Wild W. H. //Erdol-Erdgaz-Kohle. 1989. № 3. S. 101.

Ramain P. //Cah. fr. 1988. № 236. P. 15.

Otto O. //Glukauf. 1983. B. 119. S. 335.

Leth H. //Angew. Botanik. 1972. B. 46. № 1. S. 37.

Bernard B. //Afrique exp. 1984. № 4. P. 44.

Masters S. D. World Petroleum Congress, Buenos Aeres, 1991.

Frank E. //Petrol. Econ. 1984. V. 51. № 3. P. 104.

Коллеров Л. К. Газомоторные установки. М.: Машгиз, 1951.

Варфоломеев С. Д., Березин И. В. //Журн. ВХО им Д. И. Менделеева 1986 № 6. С. 489.

Kelly M. J. //Modern Power Systems. 1987. V. 7. № 1. P. 13.

Levis E. S. //Chem. Eng. 1986. V. 93. № 1. P. 11.

Slakter S. //Chem. Week 1987. V. 141 № 8. P. 14.

Kross R. //World Wood 1981. V 22. № 13. P. 20.

Паушкин Я. М., Горлов Е. Г. //Докл. АН СССР. 1984. Т. 277 № 2. С. 434

Паушкин Я. М., Головин С. Г., Горлов Е. Г. Получение моторных топлив и водорода нетрадиционными методами из угля и биомассы // Совещание по химии и технологии получения жидких топлив. Москва, 1985.

Крылова А. Ю., Лапидус А. Л. Паушкин Я, М.//Докл. АН СССР. 1989. Т. 304 № 1. С. 162.

Шпильрайн Э. Э., Навалихина М. Д. // ХТТ. 1990. № 2. С. 45.

Паушкин Я. М., Адельсон С. В. //Докл АН БССР. 1970. № 7 С. 630.

Паушкин Я. М., Аделъсон С. В. и др Способ приготовления катализаторов для пиролиза углеводородного сырья А с. 277743 СССР от 22 мая 1970 г.

Аделъсон С. В., Мухина Т. Н. // Нефтепереработка и нефтехимия. Информ сб 1991. № 7 С 30.

Варфоломеев С. Д., Калюжный С. Т., Медман С, В. // Успехи химии. 1988. № 7 С. 1201

Фукс И. Г., Евдокимов А. Ю. Топлива и смазочные масла на основе растительных соединений. М.. ЦНИИТЭНефтехим, 1992 24 Коптюг В. А//Журн. Рос. хим общ им Д. И. Менделеева 1993. Т 37 № 4. С. 4