

ГИДРОДИНАМИКА ПРОЦЕССА ПОДЗЕМНОЙ ГАЗИФИКАЦИИ

С. И. ФАЙНГОЛЬД,
кандидат технических наук

М. Я. ГУБЕРГРИЦ,
кандидат технических наук

Б. Х. БРОДСКАЯ,
кандидат технических наук

Идея подземной газификации твердого топлива, впервые выдвинутая в конце прошлого века Д. И. Менделеевым [2], предусматривает использование заложенной в нем потенциальной тепловой энергии без извлечения ископаемого на поверхность. В. И. Ленин дал высокую оценку метода подземной газификации углей, гениально предвидя революционное значение его в развитии техники [1].

В Советском Союзе в результате продолжительных исследований в течение ряда лет уже работают промышленные установки по подземной газификации углей [3, 4]. В последние годы в различных капиталистических странах в этом направлении проводятся исследовательские работы крупного масштаба [5, 6, 7]. Наибольшее распространение получил известный в литературе фильтрационный метод подземной газификации [8], сущность которого заключается в следующем.

Подготовка пласта к эксплуатационному технологическому режиму подземной газификации заключается в создании условий, при которых становятся возможными подача в пласт и эвакуация из него достаточно больших количеств воздуха и газа. Рабочий процесс газификации твердого топлива начинается с момента, когда пропускная способность дутьевой скважины обеспечивает создание необходимой напряженности теплового поля.

Большинство пластов горючих ископаемых в естественных условиях их залегания обладает известной газопроницаемостью, которая обычно снижается с увеличением глубины залегания. Пользуясь начальной газопроницаемостью, позволяющей создать (с применением повышенного давления) между скважинами направленное движение воздуха, удастся впоследствии осуществить сбойку скважин. Таким образом, подготовка пласта к ведению технологического процесса подземной газификации сводится к созданию между скважинами зоны повышенной газопроницаемости. Наиболее эффективным способом, позволяющим гидродинамически соединить дутьевую и газотводящую скважины по пласту горючего ископаемого, является, по-видимому, применение электрического тока. Этот способ дает возможность существенно снизить величину забойного давления и тем самым уменьшить расход электроэнергии, необходимый для подготовки пластов [9].

1. Общая характеристика гидродинамического режима при фильтрационном методе подземной газификации

При любом способе подготовки пласта к подземной газификации большую роль играет гидродинамический режим ведения процесса.

В настоящее время в подземной газификации принят гидродинамический режим, при котором дутье подается под давлением в ряд нагнетательных скважин, а газ извлекается из другого ряда скважин под давлением, равным примерно одной десятой от исходного. При этом основная часть давления расходуется на преодоление гидродинамического сопротивления пласта. В этих условиях, естественно, имеют место большие утечки дутья и газа в горные породы, окружающие пласт горючего

ископаемого. По мере образования между скважинами газопроницаемого канала лепестковидной формы утечки уменьшаются.

Для определения коэффициента утечки воздуха и коэффициента газопроницаемости И. А. Чарным предложен метод расчета [10]. В основу расчета положены допущения о постоянной мощности пласта и гидродинамическом совершенстве скважин; движение газов в пласте рассматривается как плоское ламинарное и установившееся. Дебиты скважин рассчитываются из условия, что в однородном пласте, ограниченном каким-либо контуром с неизменным давлением, расположены скважины известных радиусов с заданными забойными давлениями на их контурах. В часть скважин дутье нагнетается, из других дутье либо газ извлекаются.

По И. А. Чарному коэффициент утечки воздуха φ определяется по уравнению

$$\varphi = \frac{Q_1}{Q_2} = \frac{(P_1^2 - 1) \ln \frac{R}{2H} - (P_2^2 - 1) \ln \frac{R}{r_{1c}}}{(P_2^2 - 1) \ln \frac{R}{r_{2c}} - (P_2^2 - 1) \ln \frac{R}{2H}}, \quad (1)$$

где Q_1 и Q_2 — весовые дебиты скважин,

R — радиус контура нулевого давления (м),

r_{1c} и r_{2c} — радиусы скважин (м),

$2H$ — расстояние между скважинами (м),

P_1 и P_2 — забойные давления (кг/м²).

Зная «приведенный» радиус пласта или, вернее, порядок этой величины, можно вычислить коэффициент газопроницаемости K по формулам:

$$Q_1 = -\frac{\pi K \gamma_0}{\mu P_0} \frac{(P_1^2 - P_k^2) \ln \frac{R}{r_{2c}} - (P_2^2 - P_k^2) \ln \frac{R}{2H}}{\ln \frac{R}{r_{1c}} \ln \frac{R}{r_{2c}} - \ln^2 \frac{R}{2H}}, \quad (2a)$$

$$Q_2 = \frac{\pi K \gamma_0}{\mu P_0} \frac{(P_1^2 - P_k^2) \ln \frac{R}{2H} - (P_2^2 - P_k^2) \ln \frac{R}{r_{1c}}}{\ln \frac{R}{r_{1c}} \ln \frac{R}{r_{2c}} - \ln^2 \frac{R}{2H}}. \quad (2b)$$

Полагая $P_0 = 1$ ата, $P_k = 1$ ата и выражая дебиты в объемных единицах, получим

$$K = \frac{q_1 \mu}{\pi} \frac{\ln \frac{R}{r_{1c}} \ln \frac{R}{r_{2c}} - \ln^2 \frac{R}{2H}}{(P_1^2 - 1) \ln \frac{R}{r_{2c}} - (P_2^2 - 1) \ln \frac{R}{r_{1c}}} \quad (3a)$$

или

$$K = \frac{q_2 \mu}{\pi} \frac{\ln \frac{R}{r_{1c}} \ln \frac{R}{r_{2c}} - \ln^2 \frac{R}{2H}}{(P_1^2 - 1) \ln \frac{R}{2H} - (P_2^2 - 1) \ln \frac{R}{r_{1c}}}; \quad (3b)$$

q_1 и q_2 — измеряются в см³/сек на 1 см мощности пласта, μ — в сантипуазах, P_1 и P_2 — в абсолютных атмосферах. Такой гидродинамический

режим, при котором подвод дутья и эвакуация газов производится под давлением, не является оптимальным. вследствие чрезмерной продолжительности периода сбоя и больших утечек дутья. Эффективность режима работы под давлением зависит от глубины залегания пласта, физических свойств горючего ископаемого и окружающих его горных пород, а также от размеров подземного газогенератора и расстояния между скважинами.

Наиболее важным показателем при этом является радиус контура нулевого давления. При глубине залегания пласта в 60—70 м радиус контура нулевого (атмосферного) давления весьма велик и измеряется тысячами метров. Это значит, что при подводе к скважине дутья под давлением до 5—6 ати атмосферное давление отмечается лишь в скважинах, отстоящих от дутьевой на расстоянии 2—3 км. При меньшей глубине залегания пластов горючих ископаемых увеличиваются утечки через покрывающие и подстилающие породы. Радиус контура нулевого давления уменьшается. В данном случае даже при повышенной газопроницаемости пласта горючего ископаемого влияние утечки в окружающие породы возрастает. Например, в пластах горючих сланцев, залегающих на глубине 10—12 м, при подводе дутья в скважину под давлением по 3 ати радиус контура нулевого давления составляет всего 10—12 м. Естественно, что в этих условиях осуществление сбоя скважин при режиме давления при расстоянии между ними в 25 и более метров значительно затруднено.

Более рациональным является такой гидродинамический режим, при котором дутье подается под давлением, а эвакуация продуктов газификации производится под разрежением (так называемый «сбалансированный» гидродинамический режим *).

2. Сбалансированный гидродинамический режим

При сбалансированном гидродинамическом режиме значительно сокращаются утечки дутья в окружающий газифицируемый пласт горные породы. В связи с созданием некоторого разрежения в пласте на участке, примыкающем к эвакуирующим скважинам, имеют место подсосы воздуха. Опыт показал, что путем регулирования соответствующих значений давления и разрежения на головках скважин эти подсосы могут быть сведены к минимуму.

На рис. 1 представлена зависимость изменения давления в пласте от расстояния между скважинами для трех различных гидродинамических режимов: давления, разрежения и сбалансированного. Даже при таких малых величинах давления и разрежения, которые создавались при снятии представленных кривых, отчетливо видны преимущества сбалансированного режима. Абсолютные величины давления на скважине (при режиме давления) либо разрежения (при режиме разрежения) не являются единственным или преобладающим фактором, обуславливающим движение и распределение потоков воздуха и газа между скважинами. При значениях давления дутья и расходов воздуха, необходимых для создания газопроницаемого канала между скважинами, движение дутья и газа в подземной панели характеризуется наличием ламинарного и турбулентного режимов фильтрации. Скорости фильтрации, превышающие критические, имеют место в непосредственной близости от скважины, находящейся в работе, т. е. соединенной непосредственно с воздуходувкой либо

* В разработке сбалансированного гидродинамического режима, кроме авторов настоящей статьи, принимали участие А. А. Агроскин, Э. Э. Казари и А. Э. Спорнус.

компрессором (безразлично под давлением или разрежением); при этом нарушается линейный закон Дарси.

Вдали от рабочей скважины линейный закон фильтрации сохраняется. Основная доля суммарной потери напора приходится на участок, примыкающий к рабочей скважине. Движение воздуха на участках подземной панели, более всего решающих исход и продолжительность сбойки, характеризуется малыми значениями напряженности дутья и потери напора, вследствие чего движение газового потока подчиняется линейному закону фильтрации. С увеличением давления и расхода дутья на рабочей скважине неравномерность гидродинамического поля увеличивается. Это не позволяет в сколько-нибудь значительной степени интенсифицировать процесс путем повышения давления на рабочей скважине, так как последнее компенсируется увеличением потери напора у скважин, т. е. увеличением непродуваемых утечек дутья. При сбалансированном гидродинамическом режиме общий характер движения и распределения газовых потоков остается прежним, но соотношение между размерами отдельных зон изменяется в лучшую сторону. Кривая 2 на рис. 1 показывает, что при сбалансированном гидродинамическом режиме значительная потеря напора имеет место в центральной части между скважинами. Это обусловлено повышенным, по сравнению с режимами давления и разрежения, расходом дутья в основной зоне.

Таким образом, при сбалансированном режиме резко сокращаются утечки дутья, снижается величина потери напора у скважин и увеличивается интенсивность движения дутья в областях, отдаленных от скважин. Эффективность сбалансированного режима зависит от расположения зоны нулевого (атмосферного) давления. При одном и том же давлении дутья на нагнетательной скважине гидродинамический режим становится тем эффективнее, чем ближе область нулевого давления к эвакуирующей скважине. Следует отметить, что технические возможности создания разрежения существенно ограничены по сравнению с возможностью создания давления; поэтому при сбалансированном режиме большая часть подземной панели должна находиться под давлением.

По изложенной причине принятый термин «сбалансированный» режим не вполне соответствует сущности явления, поскольку разрежение, создаваемое на одной из границ пласта, не может полностью компенсировать или уравновесить давление на другой границе и взаимодействие их проявляется непосредственно только на определенном участке пласта.

3. Определение коэффициента газопроницаемости пласта при сбалансированном гидродинамическом режиме

Для определения коэффициента газопроницаемости пласта горючих ископаемых уравнение И. А. Чарного может быть применено только в тех случаях, когда радиус контура нулевого давления достаточно велик.

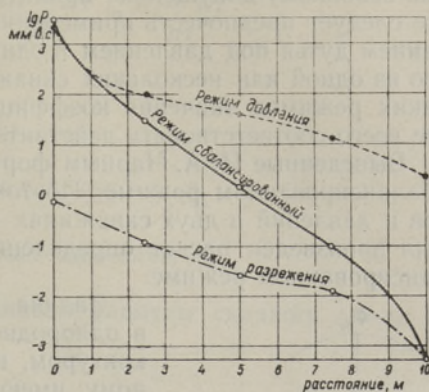


Рис. 1 Характер изменения давления в пласте при различных гидродинамических режимах.

Если же радиус контура нулевого давления не превышает нескольких десятков метров, уравнения (3) неприменимы вследствие несоответствия основному допущению, принятому при их выводе. В этом случае также следует предпочесть применение сбалансированного режима с нагнетанием дутья под давлением в одну или несколько скважин и эвакуации его из одной или нескольких скважин под разрежением. Полученные для таких режимов значения коэффициента газопроницаемости должны более всего соответствовать действительности.

Выведенные И. А. Чарным формулы не могут быть использованы при сбалансированном режиме. Поэтому, на основе данных измерения дебитов и давлений в двух скважинах — нагнетательной и отсасывающей, — был произведен расчет определения проницаемости промпачки при сбалансированном режиме.

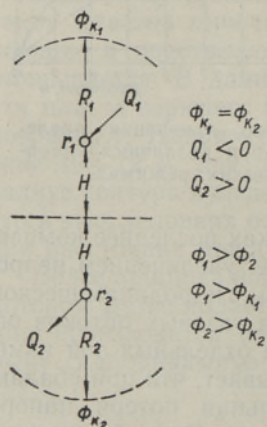


Рис. 2. Исходные условия к расчету гидродинамического сбалансированного режима.

Задача формулируется следующим образом: в однородном пласте, ограниченном каким-либо контуром, на котором давление равно атмосферному, имеются две скважины известных радиусов с заданными забойными давлениями P_1 и P_2 . В одну скважину поступает дутье под давлением, из второй извлекается под разрежением (рис. 2). Максимальное расстояние от нагнетающей скважины до контура нулевого давления по линии, проходящей через область только давления, обозначается через R_1 , и максимальное расстояние от отсасывающей скважины до контура нулевого давления по линии, проходящей через область только разрежения, через R_2 ; соответствующие этим точкам потенциалы на контуре — через Φ_{k_1} и Φ_{k_2} . Применяя принцип суперпозиции и учитывая знаки дебита скважин, потенциалы на контуре Φ_{k_1} и Φ_{k_2} могут быть определены следующим образом:

$$\Phi_{k_1} = -\frac{Q_1}{2\pi} \ln R_1 + \frac{Q_2}{2\pi} \ln (R_1 + 2H) + C, \quad (4)$$

$$\Phi_{k_2} = \frac{Q_2}{2\pi} \ln R_2 - \frac{Q_1}{2\pi} \ln (R_2 + 2H) + C. \quad (5)$$

Для точек на контурах каждой скважины получим следующие выражения для потенциалов:

$$\Phi_1 = -\frac{Q_1}{2\pi} \ln r_1 + \frac{Q_2}{2\pi} \ln 2H + C, \quad (6)$$

$$\Phi_2 = \frac{Q_2}{2\pi} \ln r_2 - \frac{Q_1}{2\pi} \ln 2H + C. \quad (7)$$

Из указанных четырех уравнений определяем Q_1 и Q_2 :

$$Q_1 = \frac{-2\pi[(\Phi_1 - \Phi_{k_1}) \ln \frac{R_2}{r_1} + (\Phi_2 - \Phi_k) \ln \frac{R_1 + 2H}{2H}]}{\ln \frac{R_2}{r_1} \ln \frac{R_1}{r_1} - \ln \frac{R_1 + 2H}{2H} \ln \frac{R_2 + 2H}{2H}}, \quad (8)$$

$$Q_2 = \frac{2\pi \left[(\Phi_1 - \Phi_k) \ln \left(\frac{R_2}{2H} + 1 \right) - (\Phi_2 - \Phi_k) \ln \frac{R_1}{r_1} \right]}{\ln \frac{R_2}{r_1} \ln \frac{R_1}{r_1} - \ln \frac{R_1 + 2H}{2H} \ln \frac{R_2 + 2H}{2H}}, \quad (9)$$

где $\Phi = \frac{k\gamma_0}{2\mu_0 P_0} P^2$,

K — коэффициент проницаемости в дарси,

μ — вязкость в сантипуазах,

γ_0 — удельный вес при атмосферном давлении P_0 .

Принимая $P_k = P_{k_2} = 1$ ата и приравнивая радиусы скважин $r_1 = r_2$, получим:

$$Q_1 = \frac{-\pi k \gamma_0 \left[(P_1^2 - 1) \ln \frac{R_2}{r} - (P_2^2 - 1) \ln \left(\frac{R_1}{2H} + 1 \right) \right]}{\mu_0 P_0 \left[\ln \left(\frac{R_1}{2H} + 1 \right) \ln \left(\frac{R_2}{2H} + 1 \right) - \ln \frac{R_2}{r} \ln \frac{R_1}{r} \right]}, \quad (10)$$

$$Q_2 = \frac{\pi k \gamma_0 \left[(P_2^2 - 1) \ln \frac{R_1}{r} - (P_1^2 - 1) \ln \left(\frac{R_2}{2H} + 1 \right) \right]}{\mu P_0 \left[\ln \left(\frac{R_1}{2H} + 1 \right) \ln \left(\frac{R_2}{2H} + 1 \right) - \ln \frac{R_2}{r} \ln \frac{R_1}{r} \right]}. \quad (11)$$

Зная Q_1 , Q_2 , R_1 и R_2 , из (10) и (11) легко найти величину коэффициента газопроницаемости K :

$$K_1 = \frac{Q_1 \mu P_0 \left[\ln \frac{R_2}{r} \ln \frac{R_1}{r} - \ln \left(\frac{R_1}{2H} + 1 \right) \ln \left(\frac{R_2}{2H} + 1 \right) \right]}{\pi \gamma_0 \left[(P_1^2 - 1) \ln \frac{R_2}{r} - (P_2^2 - 1) \ln \left(\frac{R_1}{2H} + 1 \right) \right]}, \quad (12)$$

$$K_2 = \frac{Q_2 \mu P_0 \left[\ln \left(\frac{R_1}{2H} + 1 \right) \ln \left(\frac{R_2}{2H} + 1 \right) - \ln \frac{R_2}{r_1} \ln \frac{R_1}{r_2} \right]}{\pi \gamma_0 \left[(P_2^2 - 1) \ln \frac{R_1}{r} - (P_1^2 - 1) \ln \left(\frac{R_2}{2H} + 1 \right) \right]}. \quad (13)$$

Если расхождения в результатах вычисления коэффициента газопроницаемости по обеим формулам не превышают 10%, то можно считать, что определения радиусов контуров нулевого давления произведены верно.

Практическая проверка результатов расчета показала, что удовлетворительная сходимость получается даже при установлении порядка величины радиусов контуров нулевого давления. На основании приведенной выше методики были определены значения коэффициента газопроницаемости для пластов горючих сланцев. При удовлетворительном тампонаже скважин и глубине залегания пласта около 10—12 м величина K колеблется в пределах 0,2—0,6 дарси.

4. Определение относительных утечек дутья в процессе подземной газификации

Определение величины утечек дутья в пласт и окружающие его породы при подземной газификации твердого топлива имеет большое практическое значение для правильного ведения технологического процесса. На основе приведенных выше уравнений (1)—(3) И. А. Чарный^[10] разработал методы определения утечек дутья в бесконечном или полубесконечном пласте при режиме давления. При этом учитываются утечки дутья и газа лишь в горизонтальной плоскости, так как все приведенные закономерности выводятся только для случая решения плоской, а не пространственной задачи.

В действительности же при относительно небольшой глубине залегания газифицируемого пласта или при недостаточной механической устойчивости кровли утечки дутья и газа в вертикальном направлении могут оказаться весьма существенными. Кроме того, основное выражение И. А. Чарного $\varphi = \frac{Q_1}{Q_2}$ неприменимо в условиях поддержания сбалансированного гидродинамического режима. В этом случае измеренный выход газа Q_1 , вследствие подсосов воздуха в зоне разрежения, не соответствует истинной величине; коэффициент φ явится не выражением относительных утечек дутья, а суммарным коэффициентом утечек дутья и подсосов воздуха в газ.

При подземной переработке топлив с большим выходом летучих, каковыми являются, например, многие горючие сланцы, отклонение величины φ от ее истинного значения будет еще более значительным. Это обусловлено изменением величины Q_1 за счет дополнительного выделения газа — продукта термического разложения органической массы топлива, а не его газификации путем раскисления углекислого газа и разложения водяных паров.

В связи с изложенными обстоятельствами возникает необходимость в дополнительном рассмотрении этого вопроса и внесении существенных поправок в формулы И. А. Чарного с учетом реальных условий ведения процесса, в частности — при сбалансированном гидродинамическом режиме. Метод определения утечек дутья должен базироваться на минимальном количестве опытных данных и давать хотя и приближенные, но достоверные результаты.

Ниже излагается подобный метод, основанный на анализе уравнения материального баланса газовой фазы в подземной панели:

$$Q_2 - Q_y + Q_z + Q_n = Q_1 \text{ (нм}^3\text{/час)}. \quad (14)$$

Здесь: Q_2 — расход нагнетаемого в скважины дутья,

Q_y — величина утечки дутьевого воздуха,

Q_z — количество газа, выделяющегося дополнительно в процессе термического разложения (сухой перегонки) топлива,

Q_n — количество воздуха подсосанного в газ в зоне разрежения.

Все величины приведены к нормальным условиям и отнесены к единице времени.

При этом $Q_y = K_y Q_2$; $Q_z = K_z (Q_2 - Q_y)$; $Q_n = K_n Q_1$, где K_y ,

K_z и K_n — соответственно коэффициенты утечки дутья, газовыделения и подсоса воздуха.

Подстановка указанных коэффициентов и несложные преобразования приводят к следующему модифицированному уравнению материального баланса:

$$Q_1 (1 - K_n) = Q_2 (1 - K_y) (1 + K_z). \quad (15)$$

На основании уравнения (15) представляется возможным определить значение любого из входящих в него коэффициентов при условии, что остальные члены уравнения известны. При решении относительно K_y уравнение (15) примет вид:

$$1 - K_y = \frac{Q_1 (1 - K_n)}{Q_2 (1 + K_z)}$$

$$\text{или } K_y = 1 - \varphi_0 \frac{(1 - K_n)}{(1 + K_z)}. \quad (16)$$

Значения φ_0 , K_n и K_z представляется возможным вычислить на основании измерения расходов дутья и газа, давления и температуры на нагнетающих и эвакуирующих скважинах, а также на основании результатов анализа газа. Коэффициент подсоса воздуха K_n определяется, как обычно, по содержанию кислорода в газе (естественно, в условиях нормального ведения процесса и при отсутствии «проскоков» непрореагировавшего кислорода через огневой забой). Величина коэффициента газовыделения может быть определена из соотношения содержания азота в дутьевом воздухе (79%) и газе, состав которого пересчитан с учетом подсосов воздуха (по содержанию кислорода в газе): $1 + K_z = \frac{N_2 \text{ воздуха}}{N_2 \text{ газа}}$.

Анализ уравнения (16) позволяет выявить влияние основных гидродинамических и технологических факторов на величину утечек. При неизменных относительных величинах подсоса воздуха в газ и интенсивности газообразования (K_n и $K_z \approx \text{const}$) величина утечек определяется соотношением выхода газа и расхода дутья (φ_0). При повышенном относительном расходе дутья абсолютная величина давления на нагнетательных скважинах возрастает и утечки увеличиваются.

Следует указать, что на значении K_y отражается не только величина соотношения Q_1 и Q_2 , но и порядок абсолютных величин расходов дутья и газа. Так, при одном и том же значении φ_0 коэффициент утечек будет тем больше, чем больше абсолютная величина расхода дутья. Это объясняется изложенной выше причиной — повышением абсолютной величины давления на входе в пласт, которая всегда обуславливает дополнительные утечки. Выявление сложной зависимости $K_y = f(|Q_1| |Q_2|)$ должно явиться предметом специального изучения как при испытаниях панелей подземной газификации, так и на изотермической модели. Все же не следует переоценивать значение этого явления, так как пределы колебания технологически рациональных величин расходов практически весьма ограничены.

Интенсификация газовыделения, т. е. увеличение значения K_z , влечет за собой соответственное повышение относительных утечек дутья. Это обусловлено явлением «подпора» в системе, вызванным активным газообразованием в зоне перегонки, вследствие чего сокращается область уравновешенного давления в панели.

При нормальном устойчивом технологическом режиме влияние большей части перечисленных факторов стабилизируется, и уравнение (16)

в применении к практическим целям может быть упрощено. Так, коэффициент газовыделения в случае получения энергетического газа из сланца (что видно на примере изучения состава газа из шахтных сланцеперегонных генераторов) [11] обычно составляет 0,15 — 0,25 (в среднем 0,20), и средняя величина знаменателя во втором члене правой части уравнения составляет $1 + K_2 \cong 1,20$. Среднее значение коэффициента подсоса воздуха должно составлять не более 0,05 (5%), т. е. $1 - K_n = 0,95$. Тогда

$$K_y \cong 1 - \varphi_0 \frac{0,95}{1,2} \cong 1 - 0,8 \varphi_0$$

при неизменном порядке абсолютных величин Q_1 и Q_2 .

Для использования уравнения (16) в качестве основной расчетной формулы при эксплуатации панелей для подземной газификации твердого топлива в условиях сбалансированного гидродинамического режима вполне достаточно располагать обычными эксплуатационными данными, которые основаны на повседневно регистрируемых технологических показателях процесса.

Заключение

При подземной газификации твердых топлив оптимальным гидродинамическим режимом для создания начального газопроницаемого канала и особенно дальнейшего ведения технологического процесса является так называемый сбалансированный режим, при котором дутье подается в пласт под давлением, а эвакуация газа производится под разрежением.

Приведенные в статье модифицированные уравнения для определения газопроницаемости пласта и коэффициента относительных утечек дутья являются первой попыткой создания основы расчета важнейших параметров процесса подземной газификации при сбалансированном гидродинамическом режиме. Одновременно при выводе основных уравнений учитывалось воздействие на систему ряда реальных факторов, которое не может быть отражено в должной мере при решении плоской задачи, но должно играть существенную роль при подземной переработке твердых топлив.

ЛИТЕРАТУРА

1. В. И. Ленин, Одна из великих побед техники, Сочинения, т. 19, стр. 41—42
2. Д. И. Менделеев, Собрание сочинений, т. 8, М.—Л., Изд. АН СССР, 1948.
3. Р. Н. Питин и И. Л. Фарберов, Подземная газификация, Изд. АН СССР, 1955.
4. И. Л. Фарберов и Р. Н. Питин, Подземная газификация углей, Изд. АН СССР, 1948.
5. American Elektrolinking, Elektr. Review, V. 15, 1956.
6. J. Pileog, Die Untertagsvergasung, Brennstoff Chemie, Nr. 7—8, 1953.
7. Elektrische Untertagskohlevergasung, Technische Rundschau, Nr. 17, 1953.
8. Изв. АН СССР, ОТН, № 4, 1940.
9. Ф. И. Клейменов, Подземная газификация углей и сланцев, Госуглеиздат, 1955.
10. И. А. Чарный, Подземная гидродинамика, Гостехиздат, 1948, стр. 152—161.
11. М. Я. Губергриц и Л. И. Пальме, Источники газообразования в шахтных сланцевых генераторах, Сб. «Горючие сланцы. Химия и технология», вып. 2, Таллин, 1956.

MAA-ALUSE GAASISTAMISPROTSESSI HÜDRODÜNAAMIKA

S. Faingold,
tehniliste teaduste kandidaat

M. Gubergrits,
tehniliste teaduste kandidaat

B. Brodskaja,
tehniliste teaduste kandidaat

Resümee

Tahke kütuse maa-aluse gaasistamise idee, mis esitati D. I. Mendelejevi ja kõrgesti hinnati V. I. Lenini poolt, on leidnud rakendamist Nõukogude Liidus tööstuslikus ulatuses.

Kõige enam levinud on šahtita gaasistamise viisid. Sel puhul toimub kihtide ettevalmistus gaasistamiseks nii, et puuraukude vahel luuakse tingimused gaasi läbivuseks. Selleks kasutatakse hüdrodünaamilist režiimi, kus õhk juhitakse puuraukudesse rõhu all, ei saa pidada optimaalseks. Sobivamaks režiimiks on nn. tasakaalustatud hüdrodünaamiline režiim, mille puhul õhk juhitakse rõhu all, gaasistamisproduktid aga evakueeritakse hõrenduse abil.

Tasakaalustatud hüdrodünaamilise režiimi korral vähenevad tunduvalt õhukaod gaasistatavat kihti ümbritsevas mäemassis, millest tingituna suurenevad rõhukaod keskses osas puuraukude vahel ja vähenevad puuraukude otseses läheduses.

Gaasiläbivuse koefitsiendi määramist tasakaalustatud režiimi korral ei saa teostada I. Tšarnõi [10] valemite abil, mida tavaliselt kasutatakse maa-alusel gaasistamisel. Artiklis antakse töödeldava kihi läbitavuse määramise põhiarvutused tasakaalustatud režiimi puhul õhuvoolu kulu ja rõhu mõõtmiste tulemuste alusel kahes puuraugus — suruvas ja imevas.

Gaasiläbivuse koefitsiendi arvutamiseks esitatakse valem:

$$K_1 = \frac{Q_1 \mu P_0 \left[\ln \frac{R_2}{r} \ln \frac{R_1}{r} - \ln \left(\frac{R_1}{2H} + 1 \right) \ln \left(\frac{R_2}{2H} + 1 \right) \right]}{\pi \gamma_0 \left[\left(P_1^2 - 1 \right) \ln \frac{R_2}{r} - \left(P_2^2 - 1 \right) \ln \left(\frac{R_1}{2H} + 1 \right) \right]}$$

$$K_2 = \frac{Q_2 \mu P_0 \left[\ln \left(\frac{R_1}{2H} + 1 \right) \ln \left(\frac{R_2}{2H} + 1 \right) - \ln \frac{R_2}{r_1} \ln \frac{R_1}{r_2} \right]}{\pi \gamma_0 \left[\left(P_2^2 - 1 \right) \ln \frac{R_1}{r} - \left(P_1^2 - 1 \right) \ln \left(\frac{R_2}{2H} + 1 \right) \right]}$$

kus Q_1 ja Q_2 on õhu ja gaasi kaalulised hulgad, R_1 ja R_2 — nullrõhu kontuuri raadiused, r_1 ja r_2 — puuraugu raadiused, P_1 ja P_2 — rõhud puuraukudes, $2H$ — puuraukude vahekaugus, μ — viskoossus, γ_0 — erikaal atmosfääri rõhul.

Arvutuste tulemuste praktiline kontroll näitab, et mõlemate valemite rahuldav korrelatsioon saadakse isegi nullrõhu raadiuskontuuride suuruste ligikaudsel määramisel.

Gaasi- ja õhubilansi alusel on õhukadude koefitsiendi määramiseks mäemassis antud valem, milles on arvestatud kütuse utmisel eralduvaid produkte:

$$K_v = 1 - q \left(\frac{1 - K_n}{1 - K_2} \right),$$

kus K_y , K_n ja K_2 on õhukadude, gaasisse õhu imemise ja kütuse utmisel gaasi eraldumise koefitsiendid, q — tunni kestel saadud gaasihulga suhe õhukuluga.

Selle valemi kasutamine võimaldab määrata õhukadusid reaalsetes töötingimustes ja täiendab olemasolevaid I. Tšarnõi valemiteid.

HYDRODYNAMICS OF THE UNDERGROUND GASIFICATION PROCESS

S. Faingold, M. Gubergrits, B. Brodskaya

Summary

The idea of the underground gasification of solid fuel, put forth by D. I. Mendeleev and highly appraised by V. I. Lenin has been realized on an industrial scale in the Union of SSR.

Shaftless methods are widely spread; they make possible to prepare layers for gasification by creating directed gas permeability between the wells to be gasified. The hydrodynamic regime applied for this purpose, at which the faced air blast is conveyed to the wells under pressure and the gas is recovered at a certain surplus pressure (i. e. the hydrodynamic pressure regime) is not optimal.

The so-called balanced hydrodynamic regime, at which the faced-air blast is conveyed under pressure, while the products of gasification are evacuated under vacuum, is more perfect.

With the balanced hydrodynamic regime, the leakage of the blast into surrounding rocks is considerably reduced because the loss of head in the central part between the wells is increased and the loss of head in the zones adjoining the headings is reduced.

The coefficient of gas permeability at the balanced hydrodynamic regime cannot be evaluated according to I. A. Tcharny's formulae, adopted for underground gasification. For this reason the article gives the basic formulae for computing the permeability of the industrial rider under balanced regime using data of yield and pressure measurements in two wells — in the pressure and the suction ones. For computing the coefficient of gas permeability the following equations are proposed:

$$K_1 = \frac{Q_1 \mu P_0 \left[\ln \frac{R_2}{r} \ln \frac{R_1}{r} - \ln \left(\frac{R_1}{2H} + 1 \right) \ln \left(\frac{R_2}{2H} + 1 \right) \right]}{\pi \gamma_0 \left[\left(P_1^2 - 1 \right) \ln \frac{R_2}{r} - \left(P_2^2 - 1 \right) \ln \left(\frac{R_1}{2H} + 1 \right) \right]},$$

$$K_2 = \frac{Q_2 \mu P_0 \left[\ln \left(\frac{R_1}{2H} + 1 \right) \ln \left(\frac{R_2}{2H} + 1 \right) - \ln \frac{R_2}{r_1} \ln \frac{R_1}{r_2} \right]}{\pi \gamma_0 \left[\left(P_2^2 - 1 \right) \ln \frac{R_1}{r} - \left(P_1^2 - 1 \right) \ln \left(\frac{R_2}{2H} + 1 \right) \right]},$$

where Q_1 and Q_2 are the gravimetric yields of wells, R_1 and R_2 — the radii of zero pressure contour, r_1 and r_2 — the radii of wells, P_1 and P_2 — heading pressures, $2H$ — distance between wells, μ — viscosity, γ_0 — specific gravity under atmospheric pressure.

Practical checking of the results of the computation has proved that a satisfactory convergence by both formulae is obtained even if the order of radii magnitude of zero of pressure contours is known.

On the basis of the gas phase balance in the layer an equation is given for the determination of the blast leakage coefficient under balanced hydrodynamic regime with taking into account the extraction of fuel distillation products:

$$K_y = 1 - \varphi \left(\frac{1 - K_n}{1 - K_z} \right),$$

where K_y , K_n and K_z are coefficients of blast leakage, air inflows into the gas and the gas extraction produced during the fuel distillation process, and φ — represents the ratio of gas yield per hour to the consumption of blast.

By means of this equation it is possible to determine blast leakage in practical working conditions and to develop the existing equations of I. A. Tcharny.