

ГИДРОГЕОЛОГИЯ

А. С. НЕХОРОШЕВ

К ВОПРОСУ О ТЕОРИИ ДЕЙСТВИЯ ГЕЙЗЕРОВ

(Представлено академиком Д. С. Коржинским 15 IV 1959)

Гейзером называется источник, периодически выбрасывающий на поверхность паро-водяную смесь.

Существующие теории по объяснению механизма действия гейзеров зачастую противоречат друг другу и не дают правильного объяснения этого явления (⁵⁻⁹). Более того, для объяснения причин появления гейзеров авторами привлекаются как обязательные ряд условий, которые при детальном рассмотрении их роли оказываются совершенно излишними и принципиально не меняют истинной картины этого природного явления.

Рассматривая все теории по объяснению механизма действия гейзеров и причин их периодичности, приходим к выводу, что все теории сходятся в одном: извержение воды из гейзеров связано с вскипанием на той или иной глубине перегретой воды, которая с шумом и большой силой выбрасывается вверх на десятки метров от поверхности земли. Источники нагрева в этих теориях разные. Начиная с Ланга (⁹), всеми учеными для объяснения периодичности извержения и его прекращения решающая роль приписывалась охлажденной воде, которая поступала в канал из водоносных горизонтов и прекращала фонтанирование гейзера и его пароотделение. При отсутствии притока охлаждаемой воды, по их мнению, гейзеров не было бы, а был бы кипящий источник, или фумарола, непрерывно отделяющая пар.

Наблюдение за гейзерами показывает, что их действие не имеет тесной генетической связи с притоком из вне холодных вод.

Термодинамически невозможно даже небольшие количества воды превратить полностью в пар за счет ее внутреннего теплосодержания. В пар превращается только часть воды, соответственно избыток теплосодержания воды по сравнению с ее теплосодержанием при данном давлении насыщения. Поэтому выводы (^{5,6}) о непрерывности парообразования и полном переходе нагретой воды в пар термодинамически неверны и не соответствуют действительности — от них следует отказаться.

Питание всех камчатских, ново-зеландских, исландских гейзеров осуществляется горячими водами с температурой больше 100°, циркулирующими в недрах Земли. Перед извержением пластовое давление уравновешивается давлением столба воды в канале гейзера ($P_r \approx H_{\text{скв}} \gamma_{\text{в}}$). Во время извержения давление на забой резко падает, так как часть воды из канала выброшена. Благодаря возникающему перепаду давлений в опустошенный канал поступает горячая вода из водоносного горизонта.

$$Q = 2\pi \frac{K_t M}{\ln \frac{R}{r}} S = 2\pi \frac{K_t M}{\ln \frac{R}{r}} \frac{P_r - H \gamma_{\text{см}}}{\gamma_{\text{в}}},$$

где Q — количество воды, поступающей в канал; K_t — коэффициент фильтрации (м/сек) при $t > 20^\circ$; M — мощность водоносного горизонта; R — ра-

диус влияния; r — радиус канала или скважины; S — величина понижения уровня, $P_r - H\gamma_{см}$ — разность давлений; $\gamma_v, \gamma_{см}$ — удельный вес воды, смеси, соответственно.

Если приток в канал равен m кг/сек с $t = t_0$ в момент времени τ , то из него при давлении в канале $P < P_n$ будет образовываться пар в количестве X кг. $X = \frac{i - i'}{i'' - i'} m$, где i — теплосодержание воды при давлении P ; i'' — теплосодержание образующегося пара при давлении P .

Образовавшийся пар в количестве X кг и оставшаяся вода в количестве $(m - X)$ кг будут иметь t , соответствующее t_n при данном давлении P ; $t_n < t_0$. После отделения X кг пара для поддержания процесса парообразования необходим приток тепла, который подводится с вновь поступающей водой. В следующий момент времени в канал поступает не m кг воды, а m_1 , так как оставшаяся вода $(m - X)$ кг поднялась в канале и уменьшила первоначальное понижение на величину $\frac{(m - X)v'}{\pi r^2}$, где v' — удельный объем жидкости.

В скважину приносится тепло в количестве $m_1 i$, которое идет на перегрев остывающей воды на $\Delta t (m - X)$ кг и на парообразование. Чтобы $(m - X)$ кг воды с $t = 100^\circ$ закипели, необходимо, чтобы на центрах парообразования температура была выше на Δt , чем t_n . Без этого кипение невозможно. Баланс прихода и расхода тепла, поступающего в канал, равен $m(i - i_n) = Nc\Delta t + Xr$, где m — количество питающей воды; i — теплосодержание поступающей воды; i_n — теплосодержание воды в канале при давлении насыщения; N — количество воды в канале; Δt — величина перегрева; c — теплоемкость воды; r — скрытая теплота парообразования; X — количество образующегося пара. Для нашего случая баланс равен $m_1(i - i_n) = (m - X)c\Delta t + X_1 r$. Так как по мере подъема воды в канале m уменьшается в силу уменьшения $dS/d\tau < 0$, а N растет, то количество тепла, идущего на парообразование, сокращается и, следовательно, уменьшается X ; через некоторое время τ весь излишек тепла $m(i - i_n)$, который в первоначальный момент целиком шел на парообразование, теперь должен расходоваться на перегрев воды, и на парообразование его будет не хватать.

Таким образом, уже в отсутствие посторонних факторов, которые могут оказывать охлаждающее действие, сама вода гейзера в процессе наполнения канала будет снижать парообразование и со временем сама его прекратит. Поэтому привлекать охлаждение воды, которое погашало бы процесс парообразования, совершенно излишне. Вода, вскипая за счет внутреннего теплосодержания, сама себя охлаждает.

Приток со стороны охлажденных вод только увеличивает цикл действия гейзеров, увеличивает период прогрева воды и уменьшает стадию извержения.

В постоянно действующих кипящих источниках все тепло, подводимое с водой, поступающей в канал $m(i - i_n)$, идет на парообразование (за вычетом потерь тепла в породе), которое происходит только на устье источника. При этом оставшаяся вода $(m - X)$ не остается в канале скважины, а изливается из источника.

Можно сформулировать необходимые и достаточные условия возникновения гейзерного режима.

Достаточные условия — это условия, обеспечивающие возможность вскипания перегретой воды в канале скважины, даже если эта вода перед началом извержения не доходит до поверхности.

В природных условиях отличие гейзеров от постоянно кипящих источников заключается в том, что у первых кипение начинается внутри столба воды в канале, а у вторых оно происходит только на месте выхода воды на поверхность.

Гейзеры обладают более широкими каналами, в которых вода движется с небольшой скоростью, а в источниках вода поднимается к поверхности по узким трещинам, препятствующим вскипанию ее внутри узких полостей.

Необходимые условия — это условия, при которых с определенного момента после начала извержения кипение по всему столбу жидкости в канале сменяется поверхностным кипением поступающей воды с отделением пара; охлаждающаяся после парообразования жидкость должна при этом оставаться в канале.

После начала фонтанирования гейзера кипение быстро захватывает весь объем перегретой воды, которая выбрасывается за счет увеличения объема паро-водяной смеси.

Вновь поступающая снизу перегретая вода отделяет X кг пара, остывает до t_n ; оставшиеся $(m - X)$ кг воды с $t_n < t_0$ не удаляются, а, постепенно накапливаясь в канале, прекращают парообразование.

В кипящих источниках вода после отделения пара целиком удаляется из грифона самотеком, и к устью вновь поступает перегретая вода, которая опять целиком удаляется, т. е. соблюдается условие непрерывности движения потока и сохранение теплового баланса.

Для непрерывной работы гейзера необходимы следующие условия.

1. Необходимо исключить возможность вскипания воды на глубине в канале. Этого можно достичь созданием дополнительного противодействия на устье гейзера, которое должно быть выше давления насыщения на любой глубине.

2. Нужно, чтобы вместе с X кг образовавшегося пара из канала полностью удалялась вся вода ($m_1 = (m - X)$ кг), оставшаяся после отделения пара, т. е. чтобы соблюдалось условие непрерывности движения потока.

3. Для естественной непрерывности действия необходимо, чтобы напор над поверхностью земли был выше давления насыщения для данной температуры воды.

Гейзерный режим всегда будет возникать в широких каналах, которые вскрывают водоносные горизонты с напором на устье $P \geq P_n$ и не обладают большим расходом воды на устье.

При бурении для использования горячих вод в энергетических целях следует иметь в виду появление гейзерного режима в скважинах, что является очень нежелательным явлением при их использовании. Поэтому нужно уметь предотвращать искусственно гейзерный режим.

Правильное понимание действия гейзеров и процессов парообразования в скважинах открывает большие возможности при использовании термальных вод в народном хозяйстве и особенно при разведке месторождений горячих вод. Подробнее на этом вопросе мы остановимся в особой работе.

Лаборатория вулканологии
Академии наук СССР

Поступило
14 IV 1959

ЦИТИРОВАННАЯ ЛИТЕРАТУРА

- ¹ С. С. Кутателадзе, Основы теории теплообмена, М., 1957. ² С. С. Кутателадзе, Теплопередача при конденсации и кипении, М., 1954. ³ М. А. Михеев, Основы теплопередачи, М., 1951. ⁴ А. М. Литвин, Техническая термодинамика, М.—Л., 1956. ⁵ С. И. Набоко, Тр. Лаб. вулканологии АН СССР, № 8, 1954. ⁶ Т. М. Устинова, Камчатские гейзеры, М., 1955. ⁷ E. T. Allen, A. E. Day, Hot springs of Yellowstone National Park, Carnegie Inst., 1935. ⁸ R. Bunsen, Physikalische Beobachtung über die Hauptsächlichen Geyser Islands, 1847. ⁹ H. O. Lang, Über Bedingungen der Geyser, Göttingen gelehrte Nachrichten (1880). ¹⁰ Sappa, Mercuriano, Bull. Volcanol., ser. 2, 16 (1955).