

УДК 662.997

**Варламова Наталья Николаевна**  
старший инженер,  
Институт горного дела ДВО РАН,  
680000 г. Хабаровск, ул. Тургенева, 51  
e-mail: [vnn-dvgups@mail.ru](mailto:vnn-dvgups@mail.ru)

### ПРОБЛЕМЫ НЕУСТОЙЧИВОЙ РАБОТЫ СКВАЖИНЫ ПРИ ПАРЛИФТНОЙ ДОБЫЧЕ ГЕОТЕРМАЛЬНОГО ФЛЮИДА

#### Аннотация:

Рассматривается одна из ключевых проблем эксплуатации скважин на месторождениях парогидротерм – неустойчивость при парлифтной добыче геотермального флюида. Отмечено основное условие устойчивой работы скважины с учетом современных представлений о системе добычи и транспортировки пароводяной смеси. Дана классификация видов неустойчивости, возникающей при эксплуатации пароводяных скважин в зависимости от характера ее развития, масштаба проявления и практического проявления. Установлено, что наибольшие помехи для стабильной добычи геотермального флюида представляет гейзерный режим и пульсации. Приведены примеры конкретных скважин отечественных месторождений и предприятий, столкнувшихся с данной проблемой. Опасным итогом развития неустойчивости является самозадавливание скважины. Приведен результат вынужденного применения схемы работы системы добычи и транспортировки геотермального флюида на Паужетском месторождении парогидротерм вследствие постоянно возникающей проблемы самозадавливания скважин. Выделены основные причины невозможности обеспечения парлифта. Даны краткие рекомендации по возможности способа повышения эффективности парлифта. Сделаны выводы о необходимости учета всех факторов, послуживших причиной развития неустойчивости при эксплуатации пароводяных скважин, а также рациональном подборе метода возбуждения скважины.

*Ключевые слова:* геотермальные ресурсы, парлифт, неустойчивость, скважина, месторождение парогидротерм, пароводяная смесь, двухфазный поток

DOI: 10.25635/2313-1586.2019.02.178

**Varlamova Natalia N.**  
Senior Engineer,  
Institute of Mining, FEB RAS,  
680000, Khabarovsk, 51 Turgenev Str.  
email: [vnn-dvgups@mail.ru](mailto:vnn-dvgups@mail.ru)

### PROBLEMS OF UNSTABLE WELL OPERATION AT PARLIFT EXTRACTION OF GEOTHERMAL FLUID

#### Abstract:

The paper describes one of the key problems of well operation at steam hydrothermae deposits – instability in parlift extraction of geothermal fluid. The authors have noted the main condition of stable operation of the well, taking into account the modern ideas about the system of mining and transporting the steam-and-water mixture. The paper classifies the types of instability arising from steam-and-water wells operation depending on the nature of the development, scale of manifestation and practical manifestation of this instability. It was determined that the greatest interference for stable extraction of geothermal fluid is the geyser mode and pulsation. The paper has presented the examples of specific wells of domestic deposits and enterprises that have encountered this problem. A dangerous result of instability development is self-kill. The paper has given the result of forced application of the scheme of the system operation system for mining and transporting the geothermal fluid at Pauzhetskoye deposit of steam hydrothermae due to the constantly arising problem of self-kill. The paper has identified the main reasons for impossibility of providing the parlift. The paper has given the short recommendations on the possible way to increase the efficiency of the parlift. The authors have made the conclusions about the need to take into account all factors that have caused the development of instability in the operation of steam-and-water wells, as well as rational selection of the method for rocking the well.

*Key words:* geothermal resources, parlift, instability, well, steam hydrothermae deposit, steam-and-water mixture, two-phase flow

#### Введение

Вопрос альтернативных источников энергии является одним из наиболее обсуждаемых в последние годы. Ограниченность сырьевых ресурсов, их дороговизна и сложность транспортировки в некоторые регионы способствуют развитию этого направления.

Устойчиво развивающимся направлением в этой области, которое связывают с перспективой решения мировой энергетической проблемы [1], является использование глубинного тепла земли. Более 20 стран производят электроэнергию из геотермальных

источников [2]. В Российской Федерации геотермальная энергетика получила распространение на Дальнем Востоке, где имеются пять геотермальных электростанций (ГеоЭС). Две из них расположены в Сахалинской области, и три – в Камчатском крае, среди которых Мутновское месторождение обеспечивает более 80 % выработки геотермальной энергии в России. Источником теплоносителя отечественных электростанций являются месторождения парогидротерм, а теплоносителем – пароводяная смесь. Для стабильной работы геотермальной скважины в режиме самоизлива необходимо обеспечить условия устойчивости пароводяной смеси.

Ранее при освоении отечественных месторождений парогидротерм практиковалось бурение большого количества скважин, в том числе в слабопроницаемые пласты. Например, на Паужетском месторождении (Камчатка) имеется ряд скважин, эксплуатация которых невозможна.

Целью работы является определение способов ликвидации проблем неустойчивости режима работы добычной скважины на месторождениях парогидротерм.

Задачи исследования – анализ условия устойчивого режима работы скважины, выявление основных видов неустойчивости, а также причин невозможности обеспечения парлифтной добычи геотермального флюида.

#### *Условие устойчивости потока в скважине*

Наиболее эффективной формой добычи геотермальных ресурсов является самоизлив. Так как большинство добычных скважин на российских месторождениях имеют уровень пластовых вод ниже устья, эксплуатация в режиме самоизлива возможна за счет парлифта, который обеспечивает режим работы скважин при увеличении расхода за счет облегчения флюида в стволе вследствие парообразования [3].

Определение неустойчивости можно обосновать состоянием системы, располагающей внутренними механизмами, которые способствуют нарастанию изначально малых возмущений. В свою очередь, устойчивость системы предполагает наличие механизмов, приводящих к затуханию возмущений.

Известны различные виды гидродинамической неустойчивости, в том числе и неустойчивость двухфазных течений [4, 5, 6].

Обеспечение парлифтной добычи определяется возможностью эксплуатации скважины в устойчивом режиме в соответствии с условием [7]:

$$\frac{\partial \Delta p_{int}}{\partial G} + \frac{\partial \Delta p_{tr}}{\partial G} > 0, \quad (1)$$

где  $\Delta p_{int}$  – внутренний перепад давления в скважине (или сумма перепадов давления на трение, конвективное ускорение и гравитацию);  $\Delta p_w$  – устьевое давление, определяемое течением в системе наземной транспортировки;  $G$  – массовый расход смеси.

Теоретически возможно существование течения без развития неустойчивости при несоблюдении данного условия. Однако, работа скважины в режиме парлифта возможна только при его выполнении.

Также важным моментом в вопросе обеспечения парлифта при наличии необходимого расположения рабочей точки на графике производительности скважины является выбор способа и технологии возбуждения скважины.

#### *Виды неустойчивости*

В соответствии с [3] неустойчивость работы добычной скважины можно разделить на

- макроскопическую (характерный масштаб проявления сопоставим с соответствующим размером канала);
- микроскопическую (характерный масштаб проявления намного меньше соответствующего размера канала);

– темпоральную (временную, обуславливающую развитие возмущения во времени в фиксированном объеме пространства);

– пространственную (обуславливающую развитие возмущения в пространстве).

С точки зрения практического проявления, неустойчивость режима работы скважины можно разделить на три типа: колебания, пульсации, гейзерный режим.

В свою очередь, колебания параметров течения считаются естественными для газожидкостных потоков и не представляют большой проблемы для эксплуатации добычной скважины. Пульсации представляют собой промежуточный между колебаниями и гейзером режим работы с непродолжительной фазой расхода, близкого к нулю. Гейзерный режим является ярким примером режима работы, не совместимого с эксплуатацией. В отличие от колебаний его характеризует продолжительная фаза нулевого расхода. С такой проблемой столкнулись при эксплуатации скважин 5, Р-1 на Паужетском месторождении, вскрывавших слабопродуктивный пласт.

В конечном итоге неустойчивость может приводить к невозможности обеспечить парлифт и самозадавливание скважины, то есть полному прекращению ее работы. Скважины 106, 121 Паужетского месторождения и А-2, 4-Э Мутновского месторождения, которые имеют статический уровень воды ниже устья, периодически сталкивались с этой проблемой, так как низкое значение пластового давления не могло обеспечить работу парлифта после падения расхода до нуля.

Для Паужетской ГеоЭС самозадавливание является большой проблемой. В этом случае станция лишается теплоносителя от вышедшей из рабочего режима скважины, а также части пара лишается магистральный трубопровод. В результате станция вынуждена поставлять пар с большим резервом, который сбрасывается в атмосферу, а при самозадавливании скважины переключается на станцию. Более того, со временем необходимость предотвращения самозадавливания будет возрастать [8].

#### *Основные причины невозможности обеспечения парлифта*

При проведении ряда исследований [3] были выявлены основные причины невозможности обеспечения парлифта: малое статическое пластовое давление; низкая проводимость пласта; неблагоприятные условия течения вниз по потоку от устья; несоответствующий (завышенный) внутренний диаметр обсадной колонны; технические дефекты при строительстве скважины, или возникшие в процессе ее эксплуатации или простаивания; неудачно выбранный способ и нерациональная процедура возбуждения.

Также рассматривается способность влиять на работу скважины внешней неустойчивости, возникающей в связи с распространением области кипения на пласт, который состоит из нескольких зон питания, при этом верхняя зона имеет более высокую температуру [9].

#### *Возможные способы повышения эффективности парлифта.*

Можно выделить три основных направления повышения эффективности парлифта [10]:

Во-первых, изменение характеристик пласта:

- повышение пластового давления;
- повышение водопродимости.

Во-вторых, изменение характеристики скважины:

- изменение канала скважины;
- изменение условий на устье.

В-третьих, рационализация запуска парлифта:

- выбор метода возбуждения;
- рационализация процесса возбуждения.

Для решения вопроса бесперебойного обеспечения парлифта необходимо в первую очередь определить причины их возникновения. Далее, исходя из возможных

последствий и уровня необходимых затрат, переходить к конкретным способам. В приоритете способы, которые могут вести к минимальным негативным последствиям и трудностям при дальнейшей эксплуатации скважины. Например, предполагая низкую проводимость пласта, для начала нужно попытаться решить задачу методами стимулирования пласта, и только как крайнюю меру использовать уменьшение внутреннего диаметра скважины [3].

### *Заключение*

Проблема неустойчивости при парлифтной добыче геотермального флюида является достаточно острой для современной отечественной и зарубежной геотермальной энергетики. Более того, причины ее возникновения не всегда очевидны. Установлены некоторые причины возникновения неустойчивости, решение или недопущение которых позволит предотвратить проблему при эксплуатации пароводяных скважин. Проблемы неустойчивости режима работы могут быть ликвидированы по нескольким направлениям, при выборе конкретного способа необходимо учитывать максимальное количество влияющих на работу скважины и системы в целом факторов.

### **Литература**

1. Шулюпин А.Н. Метастабильное течение в пароводяной геотермальной скважине / А.Н. Шулюпин, А.А. Чермошенцева, И.И. Чернев // Вестник КамчатГТУ. – 2018. – № 18. – С. 37 – 43.
2. Bertani R. Geothermal power generation in the world 2010–2014 update report. Geothermics, 2016.-Vol.60. - P. 31–43. doi:10.1016/j.geothermics.2015.11.003.
3. Шулюпин А.Н. Устойчивость режима работы пароводяной скважины. - Хабаровск: ООО «Амурпринт», 2018. - 136 с.
4. Boure J., Bergles A., Tong L. Review of two-phase flow instabilities // Nucl. Eng. Des. –1973. –Vol. 25. – P. 165–192.
5. Nayak A.K., Vijayan P.K. Flow instabilities in boiling two-phase natural circulation systems: A review. Science and Technology of Nuclear Installations ID 573192. - 2008. - 15 p.
6. Sandler S., Zajaczkowski B., Bialko B., Malecha Z. M. Evaluation of the impact of the thermal shunt effect on the U-pipeground borehole heat exchanger performance // Geothermics. – 2017. – Vol. 65. – P. 244 – 254.
7. Шулюпин А.Н. Новые вызовы при освоении месторождений парогидротерм с транспортировкой пароводяной смеси / А.Н. Шулюпин, А.А. Чермошенцева, Н.Н. Варламова // Горный информационно-аналитический бюллетень. – 2019. – № 2. – С. 43 – 49.
8. Шулюпин А.Н. Оценка изменения условий в термоводоносном комплексе Паужетского месторождения парогидротерм / А.Н. Шулюпин, А.А. Чермошенцева // Известия вузов. Горный журнал. – 2014. –№ 4. – С. 82 – 88.
9. Дрознин В.А. Физическая модель вулканического процесса / В.А. Дрознин. - М.: Наука, 1980. - 92 с.
10. Mubarak M.H., Zarrouk S.J. Discharge stimulation of geothermal wells: Overview and analysis // Geothermics. – 2017. –Vol. 70. – P. 17 – 37.