

сред в неоднородной капле // Письма в ЖТФ. 2015. Т. 41, № 16. С. 98–104.

4. М.В. Пискунов, П.А. Стрижак. Отличие условий и характеристик испарения неоднородных капель воды в высокотемпературной газовой среде // Журнал технической физики. 2016. Т. 86, № 9. С. 24–31.
5. R.S. Volkov, G.V. Kuznetsov, P.A. Strizhak. Experimental investigation of mixtures and foreign inclusions in water droplets influence on integral characteristics of their evaporation during motion through high-temperature gas area // Int. J. Therm. Sci. 2015. V. 88. P. 193-200.

Научный руководитель: П.А. Стрижак, д.ф.-м.н., профессор, зав. кафедрой АТП ЭНИН ТПУ.

## **АВТОМАТИЧЕСКАЯ СИСТЕМА КОНТРОЛЯ И УПРАВЛЕНИЯ ПЕТРОТЕРМАЛЬНОЙ СТАНЦИИ**

Д.И. Латников

Томский политехнический университет  
ЭНИН, АТП, группа 5БМ6Д

Существенные обстоятельства и тенденции развития энергетики позволяют предположить, что в первой половине XXI в. начнется активный переход на нетрадиционные источники энергии. Нефть, уголь, природный газ, горючие сланцы и продукты их переработки практически будут исключены из энергетического использования. Энергетический апокалипсис не за горами – в Европе его ждут к 2030 – 2040 гг [1].

На данный момент в России группой российских ученых и специалистов разработан инновационный проект «Развитие петротермальной энергетики России». Проект основан на извлечении и использовании теплоты, аккумулированной в «сухих» горячих горных породах земной коры с целью выработки на ее основе постоянных, экономически доступных электроэнергии и тепла для стабильного обеспечения отдаленных, малоосвоенных и энергодефицитных районов России. Основными проблемами развития петротермальных станций в России является дороговизна, устаревшие технологии бурения, большое количество невозобновляемых источников энергии. Мировая энергетика в настоящее время взяла курс на переход к рациональному сочетанию традиционных и новых источников энергии.

В основных производственных фондах стоимость скважин составляет 70–90%. Глубина скважин определяется петротермальными условиями и требованиями потребителя в энергетике. Для нужд теплоснабжения необходимая глубина скважин на всей территории страны лежит в пределах 3–4,5 км и не превышает 5–6 км. Выработка электроэнергии в широких масштабах вероятно потребует создания циркуляционных систем со скважинами на глубине 7–9 км. Температура теплоносителя для нужд жилищно-коммунального теплоснабже-

ния не выходит за пределы 150 °С, а для выработки электроэнергии оптимально – 220–250 °С [2].

Преимущества петротермальной энергетики следующие: повсеместное распространение, приближенность и приспособленность к потребителю, сравнительно низкие капитало- и трудоемкости при освоении, безотходность, безопасность в эксплуатации, экологическая чистота.

К недостаткам можно отнести сравнительно низкий потенциал на глубине до 3 км, нетранспортабельность, невозможность складирования, отсутствие опыта промышленного освоения в России.

Этот вид энергии может быть доступен для больших и малых территорий на Земле. Особенно на территории России. На глубине до 4 – 6 км горячие породы с температурой 100 – 150 °С распространены почти повсеместно, а с температурой 180 – 200 °С в некоторых районах Российской Федерации. Это вполне достаточно для целей теплоснабжения. На глубине 5 – 6 км в активных геодинамических слоях можно встретить массивы с температурой 250 – 300 °С.

### **HDR-технологии**

Использовать тепловую энергию, скапливающуюся на достаточно больших глубинах, для обогрева зданий, сооружений, получения электроэнергии и использования её для других хозяйственных нужд станет возможным в любых районах земного шара при бурении нагнетательных и эксплуатационных скважин и создания между ними тепловых коллекторов [3]. Для эффективной работы петротермальных циркуляционных систем (ПЦС) необходимо иметь или создать в зоне отбора тепла достаточно большую теплообменную поверхность. Такая поверхность часто встречается, на указанных выше глубинах, пористые пласты и зоны естественной трещиноватости проницаемость которых позволяет организовать принудительную фильтрацию теплоносителя с эффективным извлечением энергии горных пород, а также искусственного создания обширной теплообменной поверхности в слабопроницаемых массивах методом гидравлического разрыва.

Технологии извлечения тепла из горячих сухих подземных коллекторов получили название «Hot Dry Rock – HDR». В настоящее время такие исследования проводятся в 65 странах мира, а в некоторых уже успешно используются для отопления и кондиционирования воздуха (Франция, США, Япония, Германия и др.).



Рис. 1. Схематичное изображение петротермальной станции на HDR-технологии

Принцип реализации HDR-технологии, представлен на рисунке 1. Пробуривается две-три скважины до глубин с температурами, отвечающими требованиям теплоснабжения или производства электроэнергии. Одна из скважин является нагнетательной, подающей под давлением воду в зону нагрева, а другие - эксплуатационными, по которым образующийся пар с необходимой температурой поступает на поверхность.

Если естественная проницаемость раскаленного массива пород недостаточна, то осуществляется его гидроразрыв для образования подземного «котла». Методы гидроразрыва пластов и наклонного бурения скважин хорошо освоены нефтегазовой промышленностью и успешно применены для создания петротермальных циркуляционных систем. Трещины, образовавшиеся в породах в результате гидроразрыва, поддерживаются в раскрытом состоянии гидростатическим давлением жидкости. При этом потери теплоносителя в окружающий массив на практике составляли около 1 % его общего расхода.

Данный метод имеет серьезные недостатки:

- высокая минерализация и загрязненность теплоносителя,
- периодическая потребность в повторном гидроразрыве,
- необходимость использования износостойкого капиталоемкого оборудования и формирования сложных систем фильтрации.

Анализ температурного градиента территории России, описание принципиальной схемы

Большая часть территорий Российской Федерации имеет средний температурный градиент, в районе 20 – 30 °С на глубине 1 километр, но есть зоны с высоким, а в отдельных местах очень высоким температурным градиентом в 70-80 °С. Высокими температурами земной породы обладают юг России, такие города как, Ростов-на-Дону, Краснодар, Нальчик и др. Так же высокий температурный градиент имеет весь полуостров Камчатка [4]. В данной работе была выбрана западная часть России, а конкретно город Санкт-Петербург, с темпера-

турным градиентом 30 – 40 °С на глубину в 1 километр, для создания геотермальной станции.

Ориентировочная тепловая мощность геотермальной станции составляет (25,8 Гкал/ч), задача станции обеспечивать горячим водоснабжением и отоплением, жилой район города Санкт-Петербурга.

Принцип действия геотермальной станции следующий, из продуктивной геотермальной скважины, глубиной 3000 км закачивается теплоноситель с параметрами: температура – 70 °С, расход – 400 м<sup>3</sup>/ч, давление – 0,6 МПа. Далее теплоноситель проходит водоочистку, после чего поступает в пиковый котёл (ПК) и в систему ГВС, где нагревается до температуры 95 °С и через трёх ходовой клапан идёт на нужды отопления (с температурой 85 °С) и в подмес ГВС (с температурой 65 °С). После системы отопления теплоноситель с параметрами: температура – 45 °С, расход – 300 м<sup>3</sup>/ч, закачивается в реинжекционную скважину. Запасы теплоносителя на аварийный случай обеспечивают баки аккумуляторы.

#### ЛИТЕРАТУРА:

1. Гнатусь, Н.А. Перспективы извлечения и использования тепла «сухих горных пород» – петротермальная энергетика России // Мониторинг. Наука и технологии. – 2010. – № 2 – С. 6 – 15.
2. Гнатусь, Н.А. Петротермальная геоэнергетика и геофизика // Вестник Московского университета. Сер. 4: Геология. - 2011. - № 3. -С. 3-9.
3. Дядькин Ю.Д. Теплообмен в глубоких скважинах и зонах фильтрации при извлечении тепла сухих горных пород. - Л.: Наука, 1974. -230 с.
4. Геотермический атлас России / Под ред. А.А. Смыслова. — Электронная версия составлена ФГУП НППЦ «Недра» и СПбГИ, авторы Э.И. Богуславский, А.Б. Вайнблат, М. Гашева, Л.А. Певзнер, Б.Н. Хахаев. — СПб.; Ярославль, 2000.

Научный руководитель: П.А. Стрижак, д.ф.-м.н., зав. кафедрой АТП ЭНИН ТПУ.

### **РАЗРАБОТКА SCADA СИСТЕМЫ УПРАВЛЕНИЯ ВЕНТИЛЯТОРОМ ПРИТОЧНОЙ ВЕНТИЛЯЦИИ**

О.С. Щенникова, В.С. Полех  
Томский политехнический университет  
ЭНИН, АТП, группа 5Б4В

В настоящее время ни одна отрасль промышленного производства не обходится без внедрения автоматизированных систем управления технологическими процессами (АСУ ТП).

Современная АСУ ТП часто входит в состав интегрированной системы управления производством. Интегрированные системы управления производ-