

Для оценки эффективности использования систем ориентации фотоэлектрических панелей необходимо провести комплексное исследование в течение всего года, особенно в летние месяцы. Увеличение производительности на 13-15% для небольших солнечных станций в Уральском регионе не является достаточным, т.к. потребление энергии самим солнечным трекером составляет существенную часть от выработки электроэнергии ориентируемыми солнечными панелями, что нивелирует результаты от его внедрения. По этой причине, системы ориентации необходимо внедрять на солнечных станциях средней и большой мощности, а сам алгоритм работы трекера оптимизировать с целью снижения энергопотребления на собственные нужды.

#### Список использованных источников

1. Shcheklein S. E., Nemikhin Yu. E., Nevyantsev S. V., Korzhavin A., Postovalov A. O., Nosov D. A., and Zagafuranova Yu. Z. Renewable Energy-Based Plant Remote Monitoring Complex Using Wi-Fi Channels and Elements of Artificial Vision // WIT Transactions on Ecology and the Environment, 2014. Vol. 190. P. 1185-1194.
2. Mejia A. E., Londoño M. H. and Osorio J. C. Diseño e implementación de un seguidor solar para la optimización de un sistema fotovoltaico // Scientia et Technica. 2010. № 1 (44). P. 245–250.
3. Huang B. J., Huang Y. C., Chen G. Y., Hsu P. C. and Li K., Improving solar PV system efficiency using one-axis 3-position sun tracking // Energy Procedia, PV Asia Pacific Conference 2012. 2013. № 33. P. 280–287.
4. Tudorache T., Oancea C. D. and Kreindler L., Performance evaluation of a solar tracking PV panel // University Politehnica of Bucharest Scientific Bulletin, Series C: Electrical Engineering. 2012. № 74 (1). P. 3–10.

УДК 620.92

Никитин А. Д., Абдиракан Ш. З., Щеклеин С. Е.  
Уральский федеральный университет  
nikitin.a.d@yandex.ru

## ПРИМЕНЕНИЕ ОРС-ТЕХНОЛОГИЙ С ИСПАРИТЕЛЬНЫМИ СИСТЕМАМИ ГРУНТОВОГО РАСПОЛОЖЕНИЯ ДЛЯ ГЕОТЕРМАЛЬНОЙ ЭНЕРГЕТИКИ

**Аннотация.** Рассматривается возможность электроэнергетического использования геотермальных ресурсов с применением этанол-ацетоновых рабочих тел и испарительных систем грунтового расположения. Показано, что достаточно узкий температурный диапазон «источник – окружающая среда» предопределяет низкие термодинамические коэффициенты полезного действия геотермальных установок. Однако это не препятствует их развитию в силу отсутствия потребности в органическом топливе, а также возможности их когенерационного использования в схемах комплексного электро- и теплоснабжения.

Препятствием к электроэнергетическому использованию геотермальных ресурсов является отсутствие до последнего времени простых и надежных технологий преобразования в электрическую энергию форму геотермальной энергии со средней и низкой температурой.

В последнее десятилетие рядом стран для этих целей освоена технология применения низкокипящих органических теплоносителей (ORC-циклы) [1]. Рабочим телом в данной технологии является вещество, имеющее более низкую, чем у воды, температуру кипения. Благодаря этому, испарение рабочего тела происходит при относительно низкой температуре, что и позволяет использовать низкопотенциальную энергию. Насос закачивает рабочее тело в жидком состоянии в нагреватель, где при высоком давлении оно испаряется, далее пар попадает в турбину, в которой, расширяясь, совершает работу. Вал турбины вращается и приводит в действие электрогенератор. Отработанный пар охлаждается, и рабочее тело конденсируется. Далее вещество в жидком состоянии попадает в насос и цикл замыкается. Тепловая энергия может передаваться от источника теплоты к рабочему телу также с использованием промежуточного теплоносителя.

В ряде работ [2, 3] экспериментально исследовались эксплуатационные характеристики установок, в которых осуществляются ORC-циклы и их производительность при генерации электроэнергии. В качестве рабочего тела использовались хладагенты HCFC-123, R245fa. Температура рабочего тела в испарителе варьировалась в пределах от 77 °С до 83 °С. Установлено, что максимальное значение термической эффективности цикла может достигать 5,22 %, изоэнтропного КПД турбины 78,7 %, а генерируемой электрической мощности 32,7 кВт.

Использование в качестве рабочих тел фреонов связано с рядом ограничений экономического и технического характера, что делает данную технологию достаточно сложной и дорогостоящей. Поэтому ведутся поиски новых более простых и доступных рабочих тел для реализации данной технологии.

В данной работе приведены результаты исследований возможности применения в ORC-циклах простых этанол-ацетоновых композиций в качестве рабочих тел для производства электрической энергии от низкопотенциальных геотермальных источников. При этом предполагается, что испаритель размещается непосредственно в геотермальном массиве, а транспортировка пара к турбине, расположенной на поверхности земли, осуществляется с использованием пародинамического контура [4]. Исследования проводились на экспериментальном пародинамическом стенде (рис. 1).

Исследования проводились в нестационарном режиме при нагреве испарителя водой с температурой 90 °С, путем помещения его в бак-термостат.

В ходе экспериментов варьировалось соотношение концентраций этанола и ацетона в диапазоне от 0 до 100 %. Полученные данные по диапазону температур начала парообразования в испарителе приведены на рис. 2.

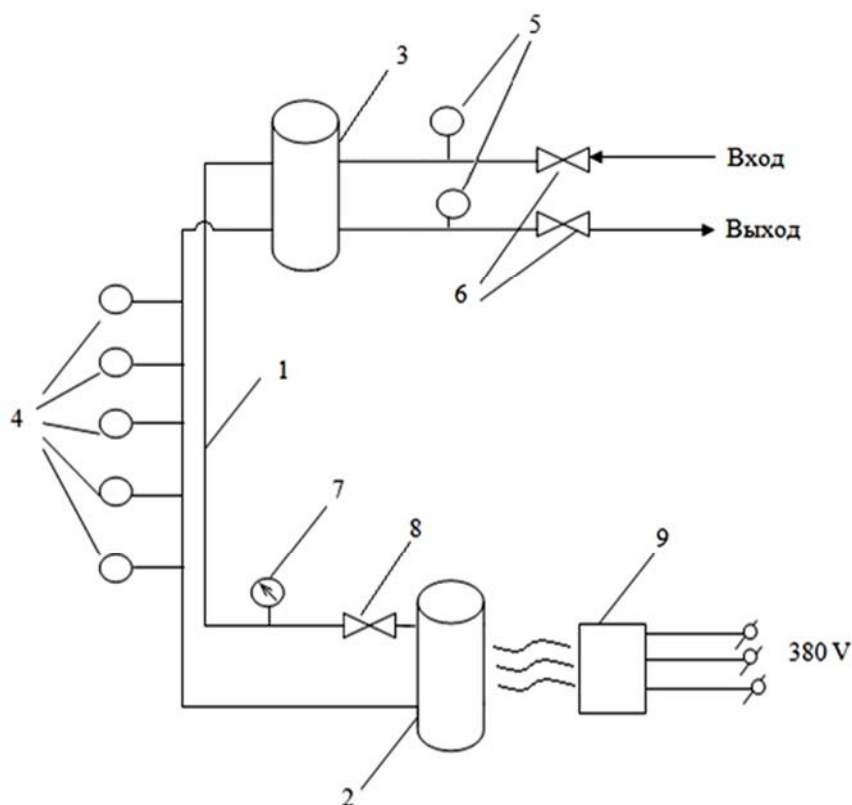


Рис. 1. Общая схема экспериментальной установки  
 1 – термосифон, 2 – испаритель, 3 – конденсатор, 4,5 – датчики температуры;  
 6, 8 – регулирующие вентили, 7 – манометр, 9 – тепловая пушка

Анализ результатов эксперимента показывает, что даже при атмосферном давлении (1 бар) диапазон температур является достаточным для получения парового рабочего тела от значительной части геотермальных источников.

При генерации пара непосредственно в геотермальном массиве с использованием контура, подобного экспериментальному стенду, и без использования промежуточных теплоносителей повышается термодинамическая эффективность данной технологии вследствие отсутствия потерь, возникающих из-за недогрева при передаче теплоты через промежуточный контур.

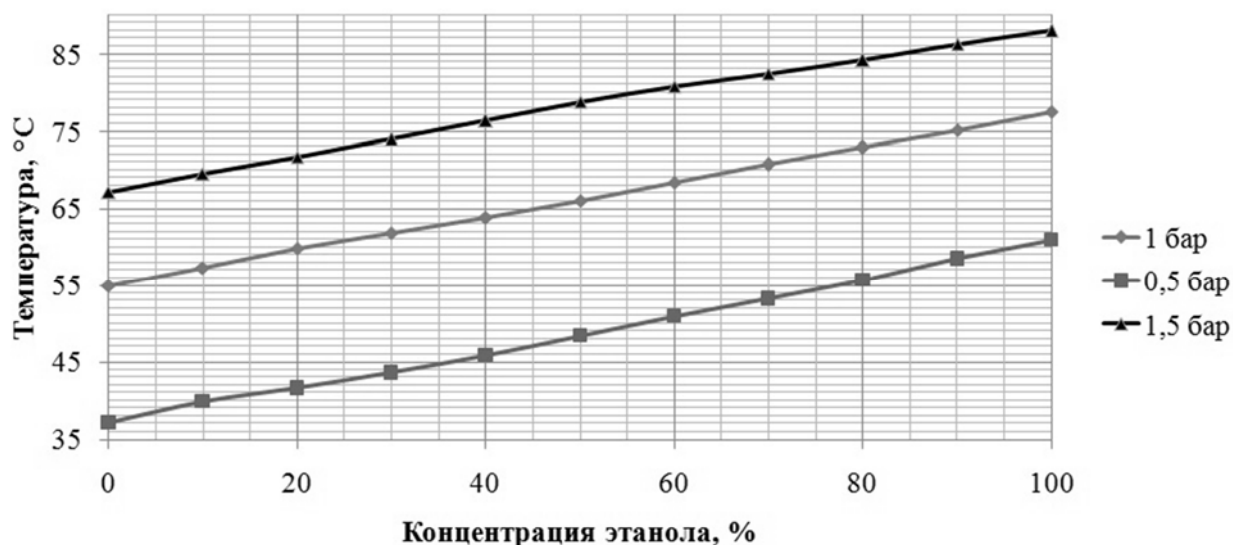


Рис. 2. Зависимость температуры начала парообразования в системе этанол-ацетон

Следует отметить, что достаточно узкий температурный диапазон «источник – окружающая среда» предопределяет низкие термодинамические коэффициенты полезного действия геотермальных установок. Однако этот факт не препятствует их развитию в силу отсутствия потребности в органическом топливе, а также возможности их когенерационного использования в схемах комплексного электро- и теплоснабжения.

#### Список использованных источников

1. Белов Г. В., Дорохова М. А. Органический цикл Ренкина и его применение в альтернативной энергетике // Наука и образование. 2014. № 2. doi: 10.7463/0214.0699165
2. Li J., Pei G., Li Y., Wang D., Ji J. Energetic and exergetic investigation of an organic Rankine cycle at different heat source temperatures // Energy. 2012. Vol. 38. № 1. P. 85–95.
3. Kang S. H. Design and experimental study of ORC (organic Rankine cycle) and radial turbine using R245fa working fluid // Energy. 2012. Vol. 41. P.514–524.
4. Щеклеин С. Е., Стариков Е. В., Немихин Ю. Е, Никитин А. Д., Жуков А. В., Коржавин С.А. Экспериментальное исследование пародинамических систем охлаждения критических элементов в аварийных ситуациях // Альтернативная энергетика и экология. 2015. № 8-9. С. 86-92. doi: 10.15518/isjaee.2015.08-09.011

УДК 620.92

Никитин А. Д., Акифьева Н. Н.  
Уральский федеральный университет  
nikitin.a.d@yandex.ru

## МОДЕЛЬ АВТОНОМНОЙ ВЕТРОТУРБИНЫ С ПЕРЕМЕННОЙ РЕГУЛИРУЮЩЕЙ НАГРУЗКОЙ И РЕЗЕРВНЫМ ИСТОЧНИКОМ ЭНЕРГИИ

**Аннотация.** Проведено математическое моделирование работы автономной системы, включающей ветровую турбину, асинхронный генератор, синхронный компенсатор, дизельный двигатель в качестве резервного источника и переменную регулируемую нагрузку. По результатам моделирования при номинальной мощности системы 275 кВт и линейном напряжении 380 В, колебания частоты при регулировании не превышают 1 Гц, колебания напряжения менее 15 В.

Одной из проблем ветроэнергетики является значительная неравномерность выработки энергии ветроустановкой (ВЭУ) в течение времени. Известно, что вырабатываемая ВЭУ мощность пропорциональна кубу скорости ветра, и, так как скорость ветра стохастически изменяется, то соответственно изменяется и мощность ВЭУ. В результате измерения выработки энергии ВЭУ нарушается баланс энергосистемы, в которой функционирует ВЭУ, вследствие чего изменяются частота и напряжение переменного тока в энергосистеме. Однако для нормальной работы потребителей электроэнергии необходимо поддерживать частоту и напряжение постоянными и равными регламентированным значениям.