doi: 10.15518/isjaee.2015.21.005

# ХАРАКТЕРИСТИКИ БИНАРНОЙ ЭНЕРГОУСТАНОВКИ ПРИ ИСПОЛЬЗОВАНИИ РАЗЛИЧНЫХ ОДНОКОМПОНЕНТНЫХ РАБОЧИХ ТЕЛ

### Г.В. Томаров, А.А. Шипков, Е.В. Сорокина

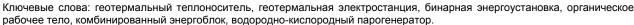
ООО «Геотерм-ЭМ» 111250 Москва, ул. Лефортовский вал, д. 24 Тел.:+7(495)918-00-04, e-mail: geotherm@gmail.com

Заключение совета рецензентов: 01.11.15 Заключение совета экспертов: 05.11.15 Принято к публикации: 09.11.15



International Publishing House for scientific periodicals "Space

Рассматриваются тенденции развития геотермальных энергетических технологий, использующих теплоноситель различной температуры. Показано, что в последние годы увеличивается количество стран, где прирост установленной мощности геотермальных электростанций осуществляется в основном за счет сооружения энергоблоков с бинарным циклом. Это позволяет значительно расширить ресурсную базу геотермальной энергетики путем освоения низкотемпературных геотермальных источников, общий потенциал которых превышает высокотемпературные ресурсы. Отмечается, что низкотемпературные геотермальные источники имеют широкое распространение и фактически могут быть выведены на поверхность Земли практически в любом регионе мира. Проведен анализ масштабов и географии применения бинарных энерготехнологий для освоения геотермальных ресурсов. Показаны особенности использования низкокипящих органических рабочих тел в бинарных энергоустановках. Определены основные типы и принципы выбора оптимальных рабочих тел для бинарных энергоблоков. Представлены результаты расчетных исследований влияния выбора рабочего тела на технические характеристики бинарных энергоустановок. Рассмотрены вопросы применения водородно-кислородного парогенератора для перегрева геотермального пара комбинированных энергоблоков с бинарным циклом.



## INVESTIGATION OF A BINARY POWER PLANT USING DIFFERENT SINGLE-COMPONENT WORKING FLUIDS

G.V. Tomarov, A.A. Shipkov, E.V. Sorokina

LLS "Geotherm-EM"
24 Lefortovsky val, Moscow, 111250, Russia
tel.: +7(495)918-00-04, e-mail: geotherm@gmail.com

Referred: 01.11.15 Expertise: 05.11.15 Accepted: 09.11.15

The tendencies of the development of geothermal energy technologies on the base of utilizing geothermal fluid of different temperature are revealed. It is shown that in recent years there are an increasing number of countries where the growth of installed capacity of geothermal power plants is mainly due to the construction of power units with a binary cycle. It allows to expand the resource base of geothermal energy through the development of low-temperature geothermal sources, the total capacity of which exceeds the one of high-temperature resources. It is noted that the low-temperature geothermal sources are widely available and in fact can be utilized almost anywhere in the world. The analysis of the scale and geography of the application binary energy technologies for the development of geothermal resources are shown. The features of the use of organic working fluids in binary power plants are described. The basic principles of the optimal working fluid selection for binary plant are explained. The results of numerical modeling of the working fluid selection on the performance of binary power plants are presented. It is shown, that use of the hydrogen-oxygen steam generator in combined power plants can increase the effectiveness of geothermal utilization.

Keywords: geothermal fluid, geothermal power plant, binary cycle power plant, organic working fluid, combined power plant, hydrogen-oxygen steam generator.



Международный издательский дом научной периодики "Спейс



Валентинович Томаров Grigory V. Tomarov

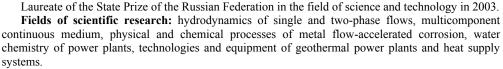
Сведения об авторе: ген. директор ООО «Геотерм-ЭМ», д-р техн. наук, профессор, член Научного Совета ОЭММПУ РАН отделения энергетики, машиностроения, механики и процессов управления РАН по ВИЭ, эксперт от РФ в рабочей группе МАГАТЭ по проблемам эрозиикоррозии металла, руководитель рабочей группы по геотермальной энергетике технологической платформы «Перспективные технологии возобновляемой энергетики», эксперт экспертной комиссии фонда «Сколково», эксперт РФФИ, эксперт «Российского научного фонда», член редколлегии журнала «Новое в российской электроэнергетике», член HTC OAO «РусГидро», член докторского диссертационного совета НИУ «МЭИ».

Лауреат Государственной премии РФ в области науки и техники (2003).

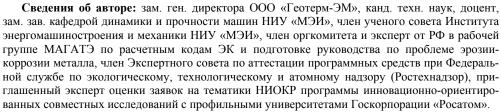
Область научных интересов: гидродинамика одно- и двухфазных потоков, многокомпонентные дисперсные среды, физико-химические процессы эрозии-коррозии металла, воднохимические режимы энергетических установок, технологии и оборудование геотермальных электростанций и систем теплоснабжения.

Публикации: более 200, более 20 патентов.

Author information: General Director of LLS "Geotherm-EM", Doctor of Engineering Science, Professor, member of the Scientific Council of RAS – Branch Energy, Engineering, Mechanics and Control Processes of RAS on renewable energy, expert from the Russian Federation to the IAEA Working Group on flow-accelerated corrosion of metal, head of the working group on geothermal energy of technology platform "Advanced technologies for renewable energy", the expert of the expert committee of the Russian Innovation Center "Skolkovo", expert of RFBR, expert "Russian Science Foundation", a member of the editorial board of the journal "New in the Russian Power Engineering," a member of the "RusHydro" Scientific and Technical Council, a member of the Doctoral Dissertation Council in National Research University "Moscow Power Engineering Institute".



**Publications:** more than 200, more than 20 patents.



Участие в руководстве и выполнении научно-исследовательских и опытно-конструкторских работ в области геотермального энерго- и теплоснабжения (включая бинарные энерготехнологии), проблем коррозионно-механического повреждения и повышения эрозионно-коррозионной стойкости металлов ТЭС, ПГУ, ГеоЭС и АЭС по заказу Минобрнауки РФ, РФФИ, ОАО «Концерн Росэнергоатом», ОАО «РусГидро» и др.

Лауреат Государственной премии РФ для молодых ученых за выдающиеся работы в области науки и техники (2003).

Область научных интересов: разрушение деформируемых тел, прочность, живучесть и разрушение материалов и конструкций, математическое моделирование технических систем, коррозионно-механическое повреждение и разрушение материалов, эрозия-коррозия металлов, вычислительная гидродинамика, автоматизация инженерных расчетов, проблемно-ориентированные базы данных, возобновляемые источники энергии, геотермальная энергетика и теплоснабжение, бинарные электростанции, термодинамические процессы в технических системах, проблемы создания энергетического оборудования.

Публикации: более 150, 6 патентов.

Author information: Deputy General Director of LLS "Geoterm-EM", PhD, Associate Professor, Deputy Head of the Department of Dynamics and Strength of Machines in National Research University "Moscow Power Engineering Institute", Member of the Scientific Council of the Institute of Power Engineering and Mechanics of National Research University "Moscow Power Engineering Institute", a member of the Steering Committee and an expert from the Russian Federation in IAEA Coordinated Research Project on Flow-Accelerated Corrosion Guidelines and Benchmarking, a member of the Expert Council on software certification under the Federal Environmental, Industrial and Nuclear Supervision Service (Rostechnadzor), invited expert to evaluate the applications for R&D projects of innovation-oriented joint research with specialized universities of the State Corporation "Rosatom".

№ 21 (185)



International Publishing House for scientific periodicals "Space"

Андрей Анатольевич Шипков Andrey A. Shipkov





Participation in guiding and implementation of research and development works in the field of geothermal energy and heat supply (including binary energy technologies), problems of corrosion-mechanical damage and increase of flow-accelerated corrosion resistance of metals in fossil, combined-cycle/HRSG, geothermal and nuclear power plants ordered by the Ministry of Education and Science, the RFBR, JSC "Concern Rosenergoatom", JSC "RusHydro" and others.

Laureate of the State Prize of the Russian Federation (2003) for outstanding works in the field of science and technology.

**Fields of scientific-research activity:** fracture mechanics of solids and structures, the strength and vitality of materials and structures, mathematical modeling of technical systems, corrosion-mechanical damage and fracture of materials, flow-accelerated corrosion of metals, computational fluid dynamics, computer-aided engineering, problem-oriented databases, renewable energy, geothermal energy and heat supply, binary power plants, thermodynamic processes in technical systems, problems of power equipment design.

**Publications:** more than 150, 6 patents.

Сведения об авторе: аспирант МАМИ, кафедра «Термодинамика, теплопередача и энергосбережение».

**Область научных интересов:** гидродинамика одно- и двухфазных потоков, технологии и оборудование геотермальных электростанций и систем теплоснабжения, внедрение бинарных геотермальных энерготехнологий.

**Author information:** postgraduate student of MAMI, Department "Thermodynamics, thermotechnics and energy conservation".

**Fields of scientific research:** hydrodynamics of single and two-phase flows, technologies and equipment of geothermal power plants and heat supply systems, creation and practical use of binary geothermal power technologies.



Евгения Владимировна Сорокина Evgeniya V. Sorokina

#### Введение

Современная геотермальная энергетика характеризуется возрастающим интересом к бинарным энерготехнологиям, позволяющим существенно расширить ее ресурсную базу за счет вовлечения низкотемпературных источников в электрогенерацию. В бинарной энергоустановке предусматривается передача тепла геотермального теплоносителя другому низкокипящему веществу, которое является рабочим телом второго замкнутого контура.

Развитие геотермии изначально базировалось на освоении геотермальных высокотемпературных ресурсов, в первую очередь в виде перегретого пара. В последующем основным первичным источником для ГеоЭС стал геотермальный влажный пар или пароводяная смесь. На современном этапе развитие геотермальной энергетики во многих странах осуществляется за счет утилизации тепла низкотемпературного геотермального теплоносителя, а также сбросного сепарата действующих ГеоЭС на основе применения бинарных энергоустановок.

Применение во втором контуре бинарных энергоустановок низкокипящих органических рабочих тел позволяет утилизировать тепло теплоносителя с температурой от 80 до 250 °C. Построенные в России ГеоЭС (всего 12 энергоблоков общей мощностью более 80 МВт) используют геотермальный теплоноситель в виде пароводяной смеси, закачивая обратно

в пласт жидкую фазу (сепарат). Применение бинарных энергоустановок, утилизирующих тепло этого сбросного теплоносителя, должно обеспечить увеличение на 20-25% мощности отечественных ГеоЭС без бурения дополнительных скважин.

Международный издательский дом научной периодики "Спейс

#### Особенности использования низкокипящих органических рабочих тел в бинарных энергоустановках

Впервые в мире в 1967 г. в России на Камчатке была построена геотермальная электростанция с бинарным циклом (Паратунская ГеоЭС) [1]. В качестве рабочего тела во втором контуре использовался фреон, который при нагреве горячей геотермальной водой с температурой около 90 °С превращался в пар и использовался в турбогенераторе для выработки электроэнергии.

По данным WGC-2015 [2], к 2015 г. общая установленная мощность геотермальных энергоблоков с бинарным циклом в 25 странах составила 1790 МВт, из них 873 МВт в США, 265 МВт – в Новой Зеландии, 219 МВт – на Филиппинах. В России разработан и смонтирован пилотный геотермальный энергоблок с бинарным циклом на Паужетской ГеоЭС мощностью 2,5 МВт, который предназначен для утилизации тепла сбросного геотермального теплоносителя действующей ГеоЭС [3, 4].





Международный издательский дом научной периодики "Спейс"

В настоящее время эксплуатируются бинарные энергоблоки, использующие геотермальный теплоноситель различного температурного уровня. На рис. 1 представлены сведения о распределении количества бинарных энергоблоков, работающих на теплоносителе различного потенциала. Подавляющее большинство действующих бинарных энергоблоков утилизируют тепло геотермального теплоносителя с температурой в диапазоне 100-200 °C.

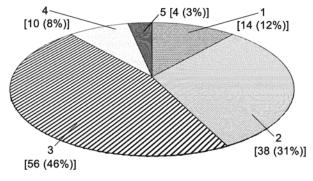


Рис. 1. Сведения о количестве бинарных энергоблоков, утилизирующих геотермальный теплоноситель различного потенциала: 1 – менее 100 °C; 2 – 100-150 °C; 3 - 150-200 °C; 4 - 200-250 °C; 5 - более 250 °C Fig. 1. Information on the number of binary power plants, utilizing geothermal fluid of different potential: 1 - less than 100 °C; 2 - 100-150 °C; 3 - 150-200 °C; 4 - 200-250 °C; 5 - more than 250 °C

Выбор рабочего тела является одной из наиболее сложных и ответственных задач при разработке и создании бинарных энергоблоков. Физико-химические свойства рабочего тела, а также параметры геотермального теплоносителя и технические условия (зависящие от месторасположения ГеоЭС) оказывают существенное влияние на оптимальную тепловую схему, конструкцию и технические характеристики оборудования бинарных энергоустановок.

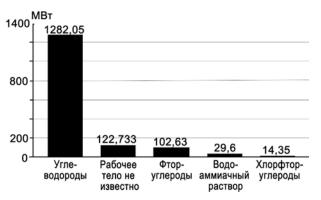


Рис. 2. Сведения о суммарной установленной мощности бинарных электростанций

и используемых на них рабочих телах Fig. 2. Information about the total installed capacity of binary power plants and their working fluids

При выборе низкокипящего органического рабочего тела необходимо стремиться, чтобы оно было стабильным, негорючим, взрывобезопасным, нетоксичным, инертным к применяемым конструкционным материалам, не оказывающим вредного воздействия на окружающую среду. Оптимальный выбор рабочего тела затруднен тем, что одни требования часто противоречат другим. Фактически сегодня в основном геотермальные бинарные энергоблоки работают на углеводородах (рис. 2) [5].

Относительно дешевые углеводороды (пентан, изобутан, изопентан и др.), отличающиеся хорошими термодинамическими и теплофизическими свойствами, являются взрывопожароопасными и могут использоваться лишь в энергоустановках открытой компоновки, что неприемлемо для России и регионов с отрицательными зимними температурами.

#### Сравнительные показатели бинарных энергоустановок на различных рабочих телах



При обосновании выбора низкокипящего органического рабочего тела бинарных энергоустановок, предназначенных для эксплуатации на Камчатке и в других регионах России с отрицательными температурными показаниями в зимний период, был выполнен комплекс расчетных исследований влияния различных рабочих веществ на основные технические характеристики бинарных энергоустановок. В таблице представлены исследуемые низкокипящие органические вещества. В рамках этих работ необходимо было оценить возможности и особенности применения различных фторуглеродов в качестве рабочих тел для отечественных бинарных энергоблоков. Сравнительные расчеты проведены для традиционной тепловой схемы бинарного энергоблока с испарителем-пароперегревателем, турбиной, конденсатором и питательным насосом.

Перечень и свойства исследуемых рабочих тел The list and the properties of the investigated working organic working fluids

Показатель	Рабочее тело			
	RC-318	R-134a	R-152a	Пропан
Химическая формула	C <sub>4</sub> F <sub>8</sub>	$C_2H_2F_4$	$C_2H_4F_2$	$C_3H_8$
Молярная масса, кг/кмоль	200,03	102,03	66,05	44,1
Критическая температура, °С	115,2	101,1	113,2	96,7
Критическое давление, МПа	2,78	4,059	4,52	4,25

Исследуемые рабочие тела имеют достаточно близкие значения критической температуры и относятся к различным классам безопасности. Так, R-134а и RC-318 соответствуют классу A1, т.е. не горючие и не взрывоопасные, R-152а - классу А2 (не

№ 21 (185)



взрывоопасное, но горючее), пропан - класс А3 (взрывоопасен и горюч). Все вещества имеют одинаковую предельно допустимую концентрацию в окружающей среде, равную 1000 мг/м<sup>3</sup>.

В расчетах принята исходная температура геотермального теплоносителя, равная 120 °C, а температура охлаждающей воды 8 °C. Кроме того, задана единичная мощность энергоустановки: 2630 кВтбрутто (что соответствует 2500 кВт-нетто).

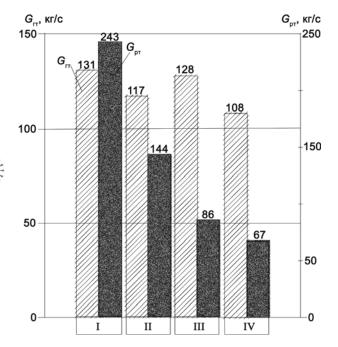
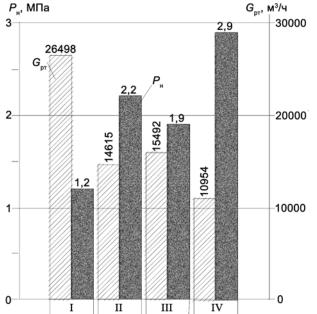


Рис. 3. Расчетные значения расходов геотермального теплоносителя ( $G_{rr}$ ) и рабочего тела ( $G_{pr}$ ) бинарной установки мощностью 2630 кВт при использовании различных органических рабочих тел: I – RC-318: II – R-134a: III – R-152a: IV – пропан **Fig 3.** The calculated values of geothermal fluid  $(G_{rr})$  and working fluid ( $G_{p\tau}$ ) flow rate for a 2630 kW-binary power plant with different organic working fluids: I - RC-318; II - R-134a; III - R-152a; IV - propane

На рис. 3 представлены результаты расчетных исследований влияния выбранного рабочего тела на значения расхода геотермального теплоносителя (или сепарата для случая российских ГеоЭС, когда имеется геотермальный теплоноситель в качестве пароводяной смеси) и расхода рабочего органического тела бинарной установки. Наибольший расход геотермального теплоносителя для исследуемого энергоблока соответствует использованию RC-318 и R-152a, а наименьший – R-134a и пропану. Так, для обеспечения заданной мощности бинарной установки, работающей на органическом веществе R-134a, требуется расход геотермального теплоносителя (жидкой фазы), равный 117,9 кг/с. При этом расход рабочего тела R-134a составит 144,8 кг/с, что существенно меньше, чем при использовании RC-318, но выше, чем для R-152a и пропана.

Следует отметить, что применение рабочего тела R-134a практически не требует увеличения расхода геотермального теплоносителя по сравнению с широко используемым в бинарных энергоустановках органическим веществом типа пропан.

Расчетные данные о влиянии выбора органического рабочего тела на такие расчетные характеристики бинарной турбины, как давление пара на входе в проточную часть и объемный расход пара на выходе из турбины, показаны на рис. 4. Снижение почти на четверть давления пара на входе в турбину при использовании R-134a по сравнению с пропаном положительно влияет на ее конструкцию, в том числе уменьшает металлоемкость. При этом важным является тот факт, что объемный расход пара на выходе из турбины при переходе от пропана к R-134а меняется незначительно.



Международный издательский дом научной периодики "Спейс

Рис. 4. Расчетные значения давления на входе в турбину  $(P_{H})$  и объемного расхода пара  $(G_{p\tau})$  на выходе из турбины бинарного энергоблока различных рабочих тел: I – RC-318; II – R-134a; III – R-152a; IV – пропан Fig. 4. The calculated values of the pressure at the turbine inlet ( $P_H$ ) and the volume flow rate ( $G_{p\tau}$ ) at the turbine outlet for a binary power plant with different organic working fluids:

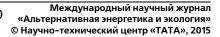
I - RC-318; II - R-134a; III - R-152a; IV - propane

Для бинарных энергоблоков, как правило, являются характерными достаточно высокие значения затрат на собственные нужды, что, как следствие, негативно сказывается на величине КПД-нетто. Поэтому важно оценить влияние выбора органического рабочего тела на этот параметр бинарной установки. На рис. 5 представлены расчетные данные о значениях затрат на собственные нужды (в процентном выражении их доли от мощности брутто) бинарного энергоблока при использовании различных органических веществ. Применение органического рабочего тела R-134a вме-

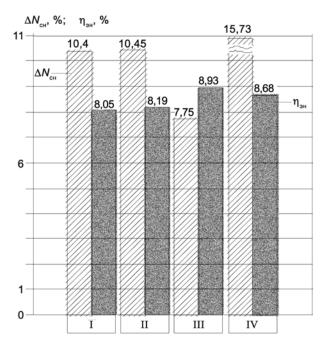


40





сто пропана позволяет почти на треть, т.е. с 15,73% до 10,45%, снизить величину доли затрат мощности на покрытие собственных нужд. Расчетные значения КПД-нетто бинарной энерго-установки при использовании различных органических веществ меняется несущественно в диапазоне от 8,05 до 8,93%.



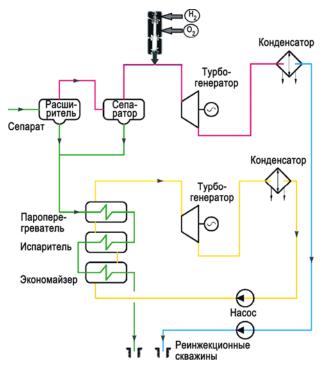
**Рис. 5.** Расчетные величины собственных нужд ( $\Delta N_{\rm ch}$ ) и электрического КПД-нетто ( $\eta_{\scriptscriptstyle 3H}$ ) бинарного энергоблока при различных рабочих телах:

I – RC-318; II – R-134a; III – R-152a; IV – пропан Fig 5. The calculated values of auxiliaries ( $\Delta N_{cH}$ ) and a net electrical efficiency  $(\eta_{\mbox{\tiny 3H}})$  for a binary power plant with different organic working fluids: I - RC-318; II - R-134a; III - R-152a; IV - propane

#### Применение перегрева пара в геотермальных комбинированных энергоблоках с бинарным циклом

Основным направлением развития геотермальной энергетики на современном этапе является реализация проектов по увеличению установленной мощности действующих отечественных и зарубежных Гео-ЭС за счет утилизации сбросного сепарата на основе применения энергоустановок с комбинированным и бинарным циклами без бурения новых производительных скважин. Одним из перспективных путей совершенствования комбинированных геотермальных электростанций с бинарным циклом, работающих на пароводяной смеси, является применение перегрева геотермального пара перед турбиной. Это способствует уменьшению степени влажности пара в проточной части турбины и приводит к повышению ее КПД, а также снижению интенсивности каплеударной эрозии сопловых и рабочих лопаток. При повышении температуры пара перед турбиной с помощью использования водородно-кислородного парогенератора повышается и общая эффективность термического цикла [6].

Увеличение установленной мощности Мутновской ГеоЭС за счет использования тепла сбросного сепарата в комбинированном энергоблоке с бинарным циклом является одним из наиболее перспективных отечественных геотермальных проектов. Суть проекта заключается в утилизации тепла сбросного сепарата от 1-й очереди Мутновской ГеоЭС в турбоустановках прямого и бинарного цикла (т.е. в реализации комбинированного цикла). Вторичный пар, полученный при расширении сбросного сепарата, используется в паровых турбинах, а оставшийся сепарат направляется в бинарные турбоустановки. В данном случае планируется в качестве прототипа бинарной установки использовать проект пилотного бинарного энергоблока на Паужетской ГеоЭС [7], работающей на органическом рабочем теле (R-134a). Реализация проекта позволит повысить эффективность использования добываемого геотермального теплоносителя и получить дополнительную мощность на Мутновской ГеоЭС.



Международный издательский дом научной периодики "Спейс'

Рис. 6. Принципиальная тепловая схема комбинированного энергоблока с пароводяным и бинарным циклами и встроенным водородно-кислородным пароперегревателем Fig. 6. Principal balance of plant diagram of a combined (steamand-binary) power plant with hydrogen-oxygen steam generator

Энергоустановка геотермального энергоблока комбинированного цикла состоит из двух контуров. В первом контуре рабочим телом является геотермальный теплоноситель и получаемые из него в расширителе пар и сепарат. Во втором контуре исполь-



зуется органическое рабочее тело. В соответствии с принципиальной схемой (рис. 6) геофлюид от геотермального поля и действующей МГеоЭС-1 поступает в расширитель. Вторичный пар пониженного давления после расширителя направляется в сепаратор, далее в паровую турбину первого контура, где он совершает работу, затем в конденсатор, где конденсируется, а затем закачивается в скважины реинжекции.

Сепарат из расширителя и сепаратора поступает в теплообменные аппараты (пароперегреватель, испаритель и экономайзер), где отдает тепло органическому рабочему телу, и далее по трубопроводу закачивается в реинжекционные скважины. Пар рабочего тела после пароперегревателя поступает в бинарную турбину, где расширяется, после чего конденсируется в конденсаторе и далее конденсат питательными насосами подается в испаритель.

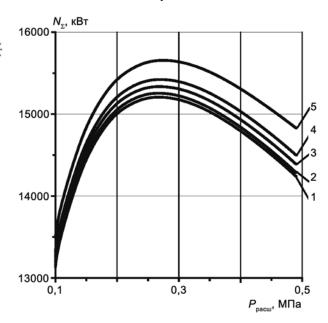


Рис. 7. Результаты расчетов влияния давления расширения  $(P_{\text{расш}})$  теплоносителя на мощность геотермального комбинированного энергоблока с бинарным циклом при давлении в конденсаторе  $P_{\text{out}} = 0,007$  МПа и различной тепловой мощности водородно-кислородного парогенератора:  $1-Q_{\text{H2O2}}=0$  кВт;  $2-Q_{\text{H2O2}}=200$  кВт;  $3-Q_{\text{H2O2}}=600$  кВт;  $4-Q_{\text{H2O2}}=1000$  кВт;  $5-Q_{\text{H2O2}}=2000$  кВт Fig. 7. Investigation on the influence of pressure expansion  $(P_{\text{расш}})$  values of geothermal fluid on combined power plant (with binary cycle) output at a condensing pressure  $P_{\text{out}}=0,007$  MPa, and various thermal power of a hydrogen-oxygen steam generator:  $1-Q_{\text{H2O2}}=0$  kW;  $2-Q_{\text{H2O2}}=200$  kW;  $3-Q_{\text{H2O2}}=600$  kW;  $4-Q_{\text{H2O2}}=1000$  kW;  $5-Q_{\text{H2O2}}=2000$  kW

С целью повышения эффективности геотермального комбинированного энергоблока с бинарным циклом предложено установить в технологической схеме энергоблока встроенный водородно-кислородный пароперегреватель (см. рис. 6). Дополнительная электрическая мощность геотермального энергоблока комбинированного цикла может быть получена при использовании водородно-кислородного парогенератора благодаря как увеличению расхода пара, так и его дополнительному перегреву при смешении с паром от пароперегревателя. При проведении расчетных оптимизационных исследований рассматривалось повышение мощности энергоблока, связанное только с увеличением перегрева пара. Такой подход позволяет получить оценки «снизу» по эффективности применяемого перегрева геотермального пара, т.к. с точки зрения термодинамики наиболее эффективно использовать водородное топливо при совместном увеличении расхода пара и его дополнительном перегреве.

Расчетные зависимости мощности геотермального комбинированного энергоблока с бинарным циклом от давления расширения при различной тепловой мощности водородно-кислородного парогенератора представлены на рис. 7. Установлено, что в оптимальном диапазоне значений давления расширения сепарата от 2,5 до 3,0 МПа наибольший прирост мощности геотермального комбинированного энергоблока с бинарным циклом соответствует тепловой мощности водородно-кислородного парогенератора 2000 кВт. Применение системы перегрева пара на входе в турбину с помощью водороднокислородного парогенератора может оказаться перспективным способом повышения надежности и эффективности эксплуатации геотермальных комбинированных энергоблоков с бинарным циклом.

Международный издательский дом научной периодики "Спейс

Представленные в статье результаты получены при финансовой поддержке Министерства образования и науки Российской Федерации (соглашение о предоставлении субсидии №14.576.21.0046) в рамках выполнения федеральной целевой программы «Исследования и разработки по приоритетным направлениям развития научно-технологического комплекса России на 2014-2020 годы».

#### Список литературы

1. Томаров Г.В., Никольский А.И., Семенов В.Н., Шипков А.А. Геотермальная энергетика: Справочнометодическое издание. М.: «Интехэнерго-Издат», «Теплоэнергетик», 2015.

#### References

1. Tomarov G.V., Nikol'skij A.I., Semenov V.N., Šipkov A.A. Geotermal'naâ ènergetika: Spravočnometodičeskoe izdanie. M.: «Intehènergo-Izdat», «Teploènergetik», 2015.



- 2. Bertani R. Geothermal Power Generation in the World 2010-2014 .Update Report. Proc.WGC-2015. Melbourne, Australia, 19-25 April, 2015. 3. Nikolskiv A., Shipkov A., Semenov V., Tomarov
- G. Russian Geothermal Power Equipment with ORCunits. Proc. WGC-2015. Melbourn, Australia, 19-25 April, 2015.
- 4. Томаров Г.В., Шипков А.А. Утилизация геотермальных ресурсов на основе преобразования энергии однофазного водного теплоносителя в бинарных установках // Альтернативная энергетика и экология – ISJAEE. 2014. № 18(158). С. 55-64.
- 5. Rahm Orenstein, Ben Delwiche, James Lovekin, Campbell. The Geothermal Project Development of a Low-Temperature Resource. Proceedings World Geothermal Congress 2015. 19-25 April, 2015. Melbourne, Australia.
- 6. Малышенко С.П., Счастливцев А.И. Термодинамическая эффективность геотермальных станций с водородным перегревом пара // Теплоэнергетика. 2010. № 11. C. 23-27.
- 7. Томаров Г.В., Никольский А.И., Семенов В.Н., Шипков А.А. Оборудование геотермального энергоблока с бинарным циклом на Паужетской ГеоЭС // Теплоэнергетика. 2014. № 6. С. 22-27.

- 2. Bertani R. Geothermal Power Generation in the World 2010-2014 .Update Report. Proc.WGC-2015. Melbourne, Australia, 19-25 April, 2015.
- 3. Nikolskiv A., Shipkov A., Semenov V., Tomarov G. Russian Geothermal Power Equipment with ORCunits. Proc. WGC-2015. Melbourn, Australia, 19-25 April, 2015.
- 4. Tomarov G.V., Šipkov A.A. Utilizaciâ geotermal'nyh resursov na osnove preobrazovaniâ ènergii odnofaznogo vodnogo teplonositelà v binarnyh ustanovkah // Al'ternativnaâ ènergetika i èkologiâ -ISJAEE. 2014. № 18(158). S. 55-64.
- 5. Rahm Orenstein, Ben Delwiche, James Lovekin, Don A. Campbell. The Geothermal Project Development of a Low-Temperature Resource. Proceedings World Geothermal Congress 2015. 19-25 April, 2015. Melbourne, Australia.
- 6. Malyšenko S.P., Sčastlivcev Termodinamičeskaâ èffektivnost' geotermal'nyh stancij s vo-dorodnym peregrevom para // Teploènergetika. 2010. № 11. S. 23-27.
- 7. Tomarov G.V., Nikol'skij A.I., Semenov V.N., Šipkov A.A. Oborudovanie geotermal'nogo ènergobloka s binarnym ciklom na Paužetskoj GeoÈS Teploènergetika. 2014. № 6. S. 22-27.

Транслитерация по ISO 9:1995





43