

УДК 620.9.001; 620.97

РАЗВИТИЕ ГЕОТЕРМАЛЬНОЙ ЭНЕРГЕТИКИ В МИРЕ

Долинский А.А., д.т.н., академик НАН Украины, Ободович А.Н., д.т.н., Резакова Т.А., к.т.н.

Институт технической теплофизики НАН Украины, ул. Желябова, 2а, Киев, 03680, Украина

За матеріалами Всесвітнього геотермального конгресу 2015 року дано огляд розвитку геотермальної енергетики в світі. За останні п'ять років ця галузь енергетики набула швидкий розвиток: встановлені потужності геотермальних електростанцій зросли на 16 %, виробництво теплоти геотермальними тепловими станціями збільшилось на 45 %. Невичерпність даного джерела енергії, нові технології буріння і технології використання геотермальної теплоти в централізованих опалювальних системах залучили в цю галузь значні інвестиції. Собівартість енергоносіїв, вироблених геотермальними станціями, значно нижче в порівнянні з іншими поновлюваними джерелами енергії і традиційними станціями. Геотермальні станції є екологічно чистими системами.

По материалам Международного геотермального конгресса 2015 года дан обзор развития геотермальной энергетики в мире. За последние пять лет эта отрасль энергетики начала быстрое развитие: установленные мощности геотермальных электростанций увеличились на 16 %, производство теплоты геотермальными тепловыми станциями увеличилось на 45 %. Неисчерпаемость данного источника энергии, новые технологии бурения и технологии использования геотермальной теплоты в централизованных отопительных системах привлекли в эту отрасль значительные инвестиции. Себестоимость энергоносителей, произведенных геотермальными станциями, значительно ниже по сравнению с другими возобновляемыми источниками энергии и традиционными станциями. Геотермальные станции являются экологически чистыми системами.

According to the materials of the World Geothermal Congress 2015 provides an overview of the development of geothermal energy in the world. Over the past five years, the energy industry began a rapid development: geothermal power installed capacity increased by 16 %, production of geothermal heat power plants increased by 45 %. Inexhaustibility of the energy source, new technology and drilling technology of geothermal heat in central heating systems have attracted significant investment in this sector. Cost of energy produced by geothermal plants is much lower compared to other renewable energy sources and conventional stations. Geothermal plants are environmentally friendly systems.

Библ. 13, табл. 2, рис. 6.

Ключевые слова: геотермия, производство электроэнергии, геотермальное теплоснабжение, экономия газа.

Нефть и газ со временем будут залегать в таких сложных геологических условиях, что их добыча будет все значительно дороже. Таким образом, необходимо развивать альтернативные отрасли энергетики, использующие возобновляемые источники энергии. К таким отраслям относятся: геотермальная энергетика – использование глубинной теплоты Земли; использование энергии ветра; солнечная энергетика; использование энергии приливов и отливов; биоэнергетика.

Когда заходит речь о возобновляемых источниках энергии, первое, что приходит на ум – это солнечные панели и ветровые установки. Геотер-

мальные источники вспоминаются значительно реже. Между тем, они – мощный и чистый источник, отличающийся от ветра и солнца большей стабильностью.

Геотермальная энергетика на сегодняшний день является наиболее разработанной и экономически эффективной. Геотермальные ресурсы представляют собой практически неисчерпаемый, возобновляемый и экологически чистый источник энергии, который будет играть существенную роль в энергетике будущего.

Одной из важных характеристик геотермальной энергетики является фактор высокой нагрузки, это означает, что каждый МВт мощности

производит значительно больше электроэнергии в течение года чем МВт ветро- или солнечной энергоустановки.

В последние несколько лет в мире появился большой интерес к развитию геотермальной энергетики, о чем свидетельствует быстрый рост установленной мощности. Это обусловлено стремлением стран к энергетической независимости от внешнего топливного рынка.

Более 80 стран в мире используют геотермальную энергию для производства теплоты и электричества. Суммарная мощность геотермальных тепловых и электрических станций – почти 83 ГВт, из них 15 % приходится на производство электроэнергии, а 85 % – на производство теплоты.

Производство электроэнергии. В 24 странах мира геотермальную энергию используют для получения электроэнергии. Суммарная мощность всех геотермальных электростанций

со-ставляет 12,6 ГВт. Годовая выработка электроэнергии на геотермальных электростанциях мира в 2014 г. составила 73,55 тыс. ГВт·часов [1, 2], что в газовом эквиваленте составляет 7,94 млрд. м³ природного газа. За последние пять лет, 2010...2015 годы, установленная мощность геотермальных электростанций в мире увеличилась на 1,7 ГВт (около 16 %), в среднем примерно 350 МВт в год (в период 2000 – 2005 годы увеличение мощностей составляло 200 МВт). По прогнозам Международного Геотермального Агентства (IGA) к 2020 году установленные мощности геотермальных электростанций достигнут более 21 ГВт (рис. 1).

Лидерами по установленной электрической мощности геотермальных станций являются США – 3098 МВт, Филиппины – 1931 МВт, Мексика – 958 МВт, Индонезия – 1197 МВт, Новая Зеландия – 762 МВт.

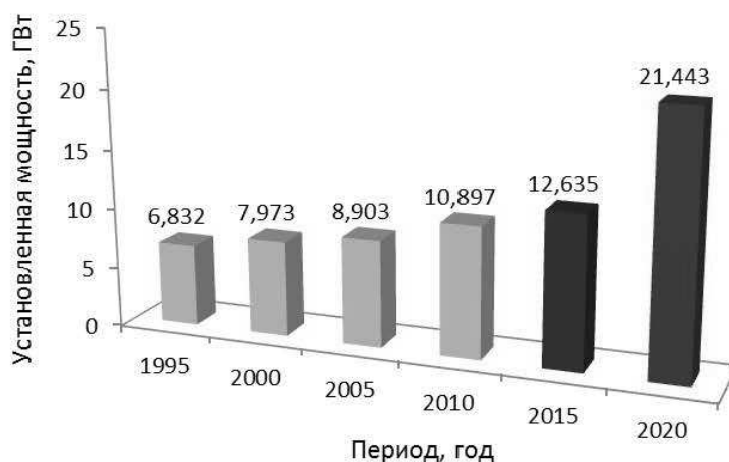


Рис. 1. Увеличение установленной мощности электрических геотермальных станций в мире, 1995 ... 2015 годы.

Производство теплоты. 82 страны в мире используют геотермальную энергию для производства теплоты. Установленная мощность теплогенерирующих установок составляет 70,38 ГВт, которые производят 163,29 тыс. ГВт·ч теплоты в год. По сравнению с 2010 годом (рис. 2) мощности тепловых станций увеличились почти на 45 %, производство теплоты увеличивалось на 6,8 % в год [3].

При температуре воды менее 100 °С геотер-

мальная энергия используется для локального отопления зданий и сооружений, после подогрева до 100 °С она может использоваться в системах централизованного теплоснабжения. При температуре 50...60 °С геотермальная вода используется в системах горячего водоснабжения, а ниже 40 °С – для теплоснабжения теплиц и в геотермальных холодильных установках (тепло в холод).

В период с 2010 по 2015 г.г. в 42 странах были

пробурены 2218 скважин, в 49 странах в геотермальные проекты было инвестировано 20 млрд. долларов США.

Сферы использования геотермальной теплоты. Широкий спектр сферы использования тепло-

ты, производимой геотермальными системами. На диаграмме рис. 3 показано как увеличиваются потребляемые мощности геотермальной энергии в различных сферах использования [3]. Наибольшее динамичное развитие в последние годы получило

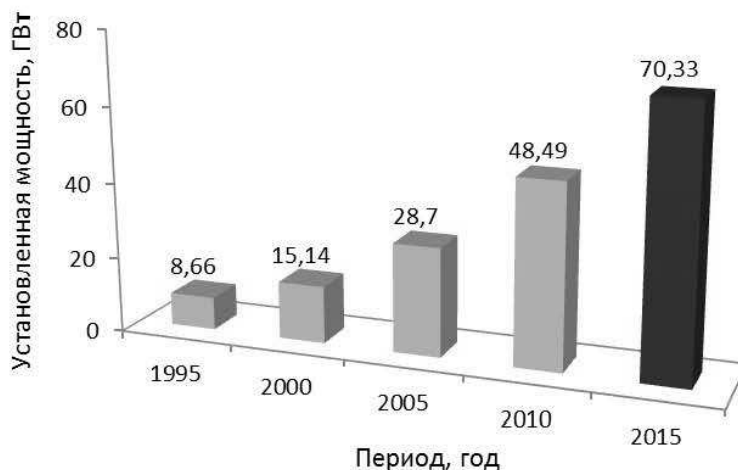


Рис. 2. Увеличение установленной мощности тепловых геотермальных станций в мире, 1995...2015 годы.

геотермальное теплоснабжение и централизованное отопление, 11,5 % вырабатываемой теплоты используется для отопления помещений. Устанавливаются новые системы центрального геотермального отопления, реконструируются старые. Например, вокруг Парижа создается сеть геотермальных тепловых станций. Уже 170 000 зданий отапливаются геотермальной энергией, к 2016 г. планируется обеспечить геотермальным теплоснабжением 50 % населения города [4,5,6].

Также теплота от геотермальных станций используется для отопления теплиц, в промышленности, в сельскохозяйственной сушке, для обогрева тротуаров, таяния снега, охлаждения и др.

Большими темпами развиваются технологии использования низкопотенциальных георесурсов, геотермальных тепловых насосов. 55,3 % производимой геотермальной теплоты в мире используется в теплонасосных технологиях (рис. 4) [3]. Общая установленная мощность теплонасосных систем составляет 15723 МВт, при годовой выработке теплоты 86673 ТДж. В таких системах в качестве первичного источника теплоты используется низкопотенциальная термальна вода (температурой до 55 °С) и энергия верхних слоев земной коры.

При использовании теплоты грунта применяются грунтовые теплообменники, размещаемые либо в вертикальных скважинах глубиной до 300 м, либо на некоторой глубине горизонтально. Геотермальные теплонасосные системы теплоснабжения используются в 32 странах мира со средним коэффициентом преобразования $K_p = 3,5$. Наибольшее развитие эти технологии получили в США, Германии, Канаде. В США 69 % общего прямого использования геотермальных ресурсов реализуется на основе применения тепловых насосов. В Германии общая тепловая мощность геотермальных систем составляет 505 МВт, из которых 400 МВт – на основе применения тепловых насосов, использующих теплоту грунта.

Экономические показатели геотермальных станций. Производство теплоты и электроэнергии на геотермальных станциях зависит от многих факторов, таких как, геология и геохимия местности, инфраструктура в районе строительства и качества энергетических ресурсов (дебет, засоленность воды, ее температура, др.). Как правило, строительство геотермальных станций связано с долгосрочной стратегией и имеет определенный финансовый риск. Поэтому при создании геотермальных электростанций (ГеоЭС) боль-

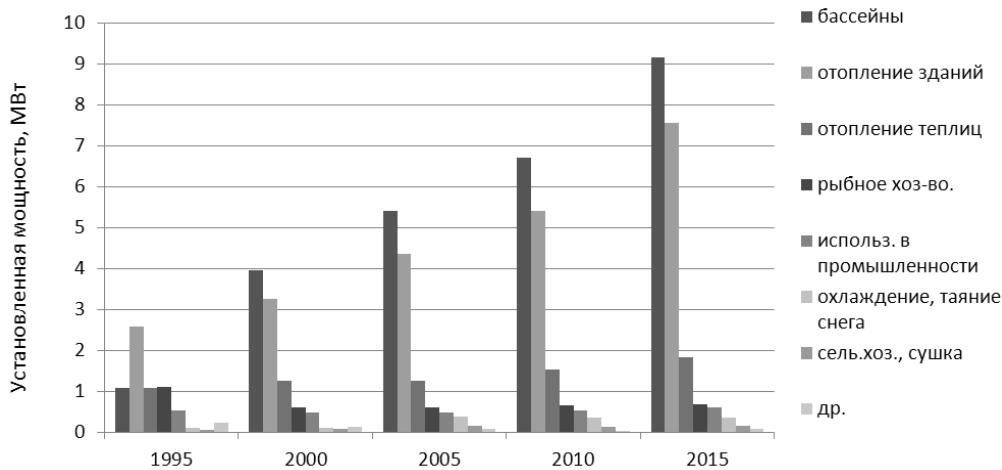


Рис. 3. Сферы использования и динамика роста потребления геотермальной теплоты за 20 лет.

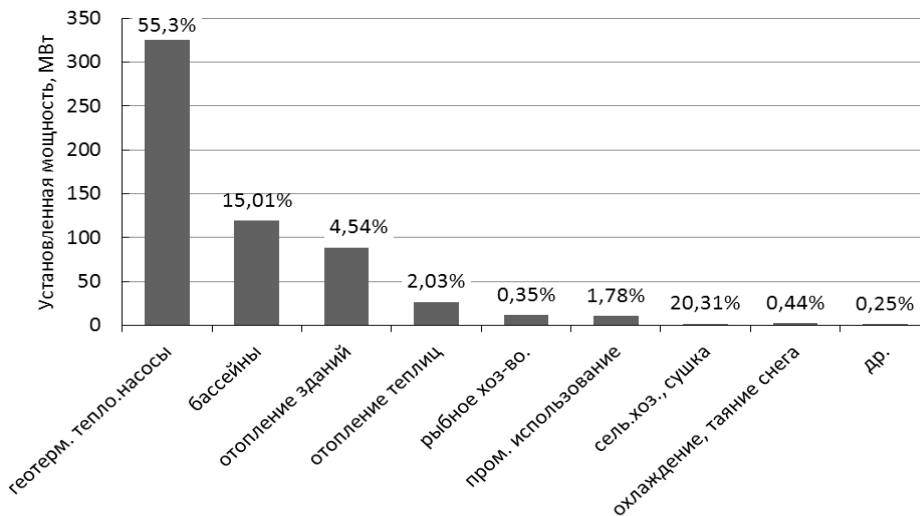


Рис. 4. Распределение использования геотермальной теплоты для различного применения в % в 2015 г.

шинство стран предпочитает строить станции средней мощности – 30...60 МВт. Строительство ГеоЭС обычно занимает 3...7 лет в зависимости от конкретных условий и мощности станции, а ее жизненный цикл составляет 30 лет. В таблице 1 представлена осредненная (минимум-максимум) оценка стоимости строительства ГеоЭС электрической мощностью 50 МВт со сроком строительства 7 лет [7,8,9]. Общая стоимость строительства составляет 196 млн. долл. США, или 3920 долл. США за 1 кВт установленной мощности.

В соответствии с представленными данны-

ми стоимость 1 кВт установленной мощности ГеоЭС не превышает стоимости ТЭС с системой полной очистки продуктов сгорания, которая сегодня составляет до 5000 долл. США, стоимости атомных электростанций (с системой утилизации отработанных продуктов) – 5000 долл. США, стоимости мощных гидроэлектростанций с коэффициентом использования мощности на уровне 60 % – 4400 долл. США (табл. 2).

Расходы на эксплуатацию ГеоЭС достаточно стабильны, т.к. они практически не за-

висят от конъюнктуры рыночных цен на органические энергоносители. При годовой загрузке ГеоЭС на уровне 80 % капитальные и эксплуатационные затраты составляют 444 долл. США на 1 кВт·час произведенной электрической энергии. Для дизельных электростанций этот показатель составляет 868 долл. США на 1 кВт·час, для угольных – 658 долл. США на 1 кВт·час и для газовых турбин комбинированного цикла на природном газе – 453 долл. США на 1 кВт·час (табл. 2).

Несмотря на самые высокие капиталовложения в использование геотермальных энергоносителей, себестоимость произведенной теплоты является самой низкой по сравнению с другими возобновляемыми источниками энергии: 2,5...3,0 центов США за 1 кВт·час (рис. 5).

По сравнению с традиционными электростанциями, строительство геотермальных станций требует меньших капиталовложений, и себестоимость получаемой электроэнергии ниже, чем на традиционных станциях [10,11,12].

Таким образом, геотермальная энергетика является конкурентоспособной с другими электростанциями по стоимости и срокам сооружения.

Преимущества геотермальной энергетики. Новейшие энергетические технологии с использованием геотермальных ресурсов отличаются экологической чистотой и по эффективности приближаются к традиционным. Это объясняется неисчерпаемостью данного вида энергии и практически постоянной электрической нагрузкой ГеоЭС в течение всего жизненного цикла. На современных ГеоЭС коэффициент использо-

Табл. 1. Предварительная оценка стоимости создания геотермальной электростанции мощностью 50МВт

Показатель	Ед. измерения	Минимальная оценка	Средняя оценка	Максимальная оценка
Мощность	МВт	50	50	50
Число часов работы в год	Час	7884	7884	7884
Тариф	Долл. США/кВт·ч	0.12	0.12	0.12
Инвестиционная стоимость	Млн. долл. США	142.00	196.00	274.00
Удельные капитальные затраты	Млн. долл. США/МВт	2.80	3.92	5.60

Табл. 2. Сравнение величины капиталовложений и стоимости электроэнергии, произведенной различными электростанциями

Удельные капитальные вложения на 1 кВт установленной мощности		Стоимость 1 кВт·ч произведенной электроэнергии	
Вид станции	Стоимость, Долл. США/кВт	Вид станции	Стоимость Долл. США/кВт·ч
ГеоЭС	3020	ГеоЭС	444
ТЭС	до 5000	Дизельные ЭС	868
АЭС	5000	Угольные ЭС	658
ГЭС	4400	Газовые ЭС	453

вания мощности достигает 92 %, что в 3...4 раза выше, чем для технологий с использованием других возобновляемых источников энергии и традиционных станций (атомная энергетика в мире – 90 %, угольная – 85 %, ветровая – 38 %, солнечная – 20 %).

Основными преимуществами геотермальной энергетики являются относительно низкие выбросы углекислого газа и канцерогенных продуктов в атмосферу - 91 г на 1 кВт·час, тогда как при сжигании угля на ТЭС эта величина составляет 955 г на 1 кВт·час (рис. 6). На ГеоЭС, использу-

ющих циркуляционную технологию и бинарный цикл, полностью исключаются выбросы диоксида углерода в атмосферу, что является важнейшим экологическим преимуществом таких энергетических установок. В мире экономия энергии геотермальными станциями составляет 58, 3 млрд. м³ в газовом эквиваленте, 46 млн. тонн угля, производство теплоты геотермальными станциями в мире сокращает выбросы углекислого газа на 148 млн. т CO₂ в год [8,13].

Геотермальная электростанция не требу-

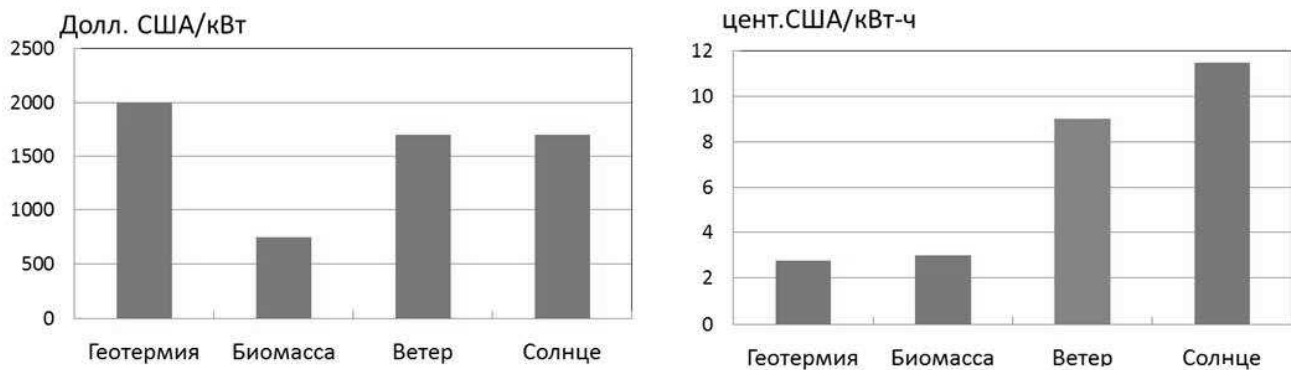


Рис. 5. Сравнение капитальных затрат (а) и себестоимости произведенной теплоты (б) станциями от различных возобновляемых источников энергии.

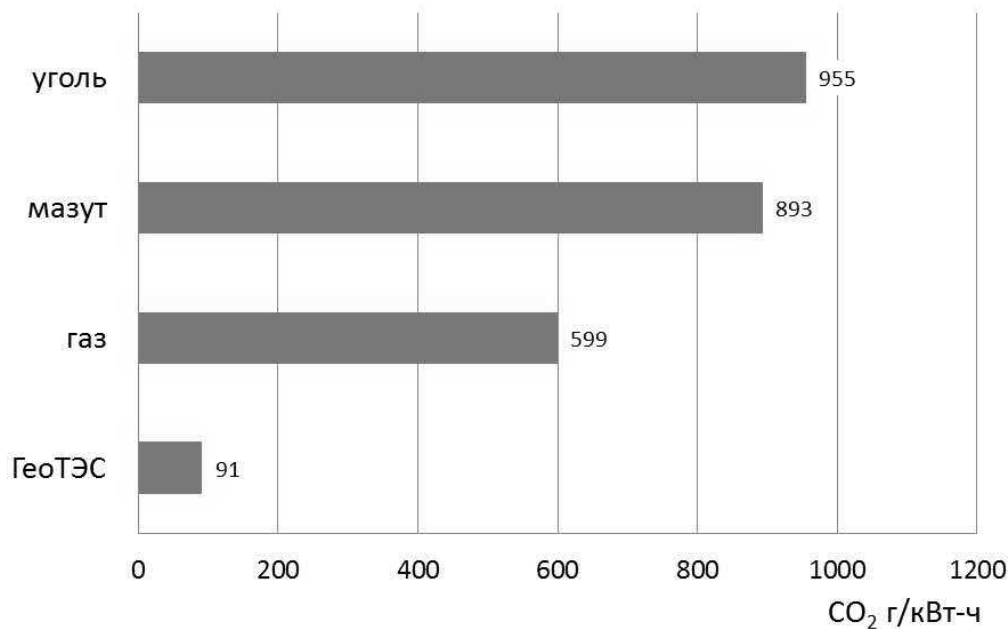


Рис. 6. Сравнительные показатели эмиссии CO₂ при сжигании различных видов топлива.

ет больших площадей, в среднем она занимает 0,4 м² в расчёте на 1 МВт·час выработанной электроэнергии, в то время как для угольной ТЭС – эта величина в 9...10 раз больше.

В настоящее время чрезвычайно актуальной является проблема замены углеводородных топлив возобновляемыми источниками энергии, в т.ч. геотермальными. Преимуществами геотермальной энергии является ее повсеместное распространение, доступность и близость к потребителю. Мировой опыт показывает, что использование глубинной теплоты земных недр возможно для производства тепло- и электроэнергии.

В Украине имеются все предпосылки для развития и создания значительных мощностей на основе геотермальных циркуляционных систем. В настоящее время в Украине слабо развито направление исследований извлечения глубинной теплоты Земли, унификации технологических схем и оборудования геотермальных циркуляционных систем. Разработка и освоение интенсивных технологий извлечения теплоносителей и создание эффективных систем использования теплоты недр является главной научной и инженерно-технической проблемой энергетики, которая может частично решить проблему замещения природного газа.

ЛИТЕРАТУРА

1. *Ruggero Bertani*, Geothermal Power Generation in the World 2010-2014 Update Report (Electronic resource) / Bertani R. // Proceedings World Geothermal Congress – 19-25 April 2015, Melbourne, Australia. – Mode of access: www.geothermal-energy.org; <https://pangea.stanford.edu>
2. *World energy council* (Electronic resource) – Mode of access: www.worldenergy.org
3. *John W. Lund, Tonya L. Boyd*. Direct Utilization of Geothermal Energy 2015 Worldwide Review (Electronic resource) // – Mode of access: <https://pangea.stanford.edu>; <http://www.geothermal-energy.org>
4. *French know-how* in the field of GEO-

THERMAL ENERGY District heating and electricity generation systems // – Mode of access: www.ademe.fr

5. *Drilling of the geothermal doublet at Gentilly: marking the rebirth of geothermal in France* (Electronic resource) // – Mode of access: www.engie.com/geothermal

6. *l'expert de la géothermie au service des villes durables* (Electronic resource) // – Mode of access: <http://www.cofelyreseaux-gdfsuez.com>

7. *Geothermal Handbook* (Electronic resource) // – Mode of access: http://www.esmap.org/esmap/Geothermal_Handbook

8. *Medium-Term Renewable Energy Market Report 2014* (Electronic resource) – Mode of access: <http://www.bp.com/statisticalreview>; www.iea.org

9. *Walter Gerardi, Stephen Hinchliffe*. Valuing Geothermal Projects Using an Enhanced Levelised Cost Framework (Electronic resource) // Proceedings World Geothermal Congress – 19-25 April 2015, Melbourne, Australia. – Mode of access: <http://www.geothermal-energy.org/>

10. *Electronic resource* – Mode of access: <http://www.bp.com/statisticalreview>.

11. *Фортон В.Е., Попель О.С.* Возобновляемые источники энергии в мире и в России // Материалы Первого Международного форума "Возобновляемая энергетика. Пути повышения энергетической и экономической эффективности REENFOR-2013". 22-23 октября 2013 г. / под ред. д.т.н. О.С. Попеля – М.: ОИВТ РАН, 2013. – С. 12-22.

12. *Свен Теске, Владимир Чупров*. Энергетическая революция перспективы формирования энергетической без-опасности России [Электронный ресурс] – Режим доступа: <http://www.energyblueprint.info>.

13. *Drilling Down on Geothermal Potential: An Assessment for Central America* (Electronic resource) – Mode of access: <https://www.esmap.org>; <http://www.bp.com>.

THE DEVELOPMENT OF GEOTHERMAL ENERGY IN THE WORLD

Dolinsky A.A., Obodovich A.N., Rezakova T.A.

Institute of Engineering Thermophysics of the National Academy of Sciences of Ukraine, 2a, Zhelyabova str., Kyiv, 03680, Ukraine

According to the materials of the World Geothermal Congress 2015 provides an overview of the development of geothermal energy in the world. Over the past five years, the energy industry began a rapid development: geothermal power installed capacity increased by 16 %, production of geothermal heat power plants increased by 45 %. Inexhaustibility of the energy source, new technology and drilling technology of geothermal heat in central heating systems has attracted significant investment in this sector. Cost of energy produced by geothermal plants is much lower compared to other renewable energy sources and conventional stations. Geothermal plants are environmentally friendly systems.

References 13, tables 2, figures 6.

Key words: geothermal energy, power generation, geothermal heating, gas savings.

1. *Ruggero Bertani*, Geothermal Power Generation in the World 2010-2014 Update Report (Electronic resource) / Bertani R. // Proceedings World Geothermal Congress – 19-25 April 2015, Melbourne, Australia. – Mode of access: www.geothermal-energy.org; <https://pangea.stanford.edu>

2. *World energy council* (Electronic resource) – Mode of access: www.worldenergy.org

3. John W. Lund, Tonya L. Boyd Direct Utilization of Geothermal Energy 2015 Worldwide Review (Electronic resource) // – Mode of access: <https://pangea.stanford.edu>; <http://www.geothermal-energy.org>

4. *French know-how* in the field of

GEOTHERMAL ENERGY District heating and electricity generation systems // – Mode of access: www.ademe.fr

5. *Drilling of the geothermal doublet at Gentilly: marking the rebirth of geothermal in France* (Electronic resource) // – Mode of access: www.engie.com/geothermal

6. *l'expert de la géothermie au service des villes durables* (Electronic resource) // – Mode of access: <http://www.cofelyreseaux-gdfsuez.com>

7. *Geothermal Handbook* (Electronic resource) // – Mode of access: http://www.esmap.org/esmap/Geothermal_Handbook

8. *Medium-Term Renewable Energy. Market Report 2014* (Electronic resource) – Mode of access: <http://www.bp.com/statisticalreview>; www.iea.org

9. *Walter Gerardi, Stephen Hinchliffe. Valuing Geothermal Projects Using an Enhanced Levelised Cost Framework* (Electronic resource) // Proceedings World Geothermal Congress – 19-25 April 2015, Melbourne, Australia. – Mode of access: <http://www.geothermal-energy.org/>

10. *Electronic resource* – Mode of access: <http://www.bp.com/statisticalreview>.

11. *Fortov V.E., Popel O.S. Renewable energy in the world and in Russia* // Proceedings of the First International Forum "Renewable Energy. Ways to improve the energy and economic efficiency REENFOR-2013." 22-23 October 2013 / ed. dts OS Popiel - M. : High Temperatures Russian Academy of Sciences, 2013. - S. 12-22. (Rus.)

12. *Sven Teske, Vladimir Chuprov Energy Revolution prospects for the formation of energy, without the danger of Russia* (Electronic resource) – Mode of access: <http://www.energyblueprint.info> (Rus.)

13. *Drilling Down on Geothermal Potential: An Assessment for Central America* (Electronic resource) – Mode of access: <https://www.esmap.org>; <http://www.bp.com>.

Получено 29.03.2016

Received 29.03.2016