

УДК 662.997

А. А. РЕДЬКО, канд. техн. наук

Донбасская национальная академия строительства и архитектуры, г. Макеевка

Ю. В. БЕРЕЖКО, аспирант, А. А. ОНИЩЕНКО, аспирант

С. В. ПАВЛОВСКИЙ, аспирант, И. Н. ЗАГРЕБЕЛЬНЫЙ, аспирант

Харьковский государственный технический университет строительства и архитектуры,  
г. Харьков.**СОВРЕМЕННОЕ СОСТОЯНИЕ МИРОВОЙ ГЕОТЕРМАЛЬНОЙ ЭНЕРГЕТИКИ**

*Приводятся современные данные об использовании геотермальной энергии для выработки электрической энергии и теплоты в различных странах мира.*

*Наводяться сучасні данні з використання геотермальної енергії для видобування електричної енергії та теплоти в різних країнах світу.*

**Введение**

За рубежом в странах с различной экономикой использование геотермальной энергии ежегодно увеличивается. В энергетическом балансе некоторых стран доля геотермальной энергии составляет 11–15 %, что сокращает потребление органических топлив и позволяет улучшить экологическое состояние атмосферного воздуха.

В апреле 2010 г. состоялся Мировой геотермальный конгресс (WGC 2010, Bali, Indonesia 25–29 April 2010), на котором были представлены доклады из 70 стран, в том числе из Украины [1, 2]. Было заявлено 1450 докладов, опубликовано 1032 статьи, 652 устных докладов включены в программу конгресса, 194 – находятся в резерве; было обсуждено 185 стендовых докладов (194 – резервных); в подготовке и работе конгресса приняло участие 85 стран, число непосредственных организаторов конгресса составило 262 человека, всего участников – более 2000 специалистов. Научная программа конференции была разбита на 4 раздела: основные темы, изучение природных объектов, инженерное обеспечение, специальные темы. Каждый из разделов включал от 5 до 11 направлений, например: разведка месторождений, геология, геохимия, бурение, тепловые насосы, здоровье-бальнеология-туризм и др.

**Основная часть**

Количество стран, использующих геотермальную энергию увеличилось от 72 (данные WGC 2005 Турция) до 78 в 2010 г. В 2000 г. таких стран было 58 (данные WGC 2000 Япония) и 28 в 1995 г. (данные WGC 199 Италия).

Из табл. 1 видно, что установленная мощность установок, использующих геотермальную энергию, на конец 2009 г. во всех странах составляет 50583 МВт, по сравнению с 2005 г. мощность увеличилась на 79 %, возрастая ежегодно на 12,3 % с коэффициентом использования 0,27.

Тепловая энергия, которая используется, составляет 438071 ТДж/год, по сравнению с 2005 г. использование увеличилось на 60 %, возрастая ежегодно на 9,9 %.

Распределение тепловой энергии по категориям потребителей следующее. Около 49,9 % используют геотермальную энергию с помощью тепловых насосов; 24,9 % – для купания и плавания (включая бальнеологию); 14,4 % – для подогрева (из них 85 % для теплоцентралей); 5,3% – для оранжерей и нагревания открытого пространства; 2,7 % – для нагревания в производственных процессах; 2,6 % – для водных культур водоемов; 0,4 % – для сельскохозяйственного осушения; 0,5 % – для таяния снега и охлаждения и 0,2 % – для другого использования.

Экономия энергии ежегодно составляют 307,8 млн баррелей (46,2 млн т) эквивалентной нефти, предотвращая выбросы в атмосферу 46,6 млн т. углерода и 148,2 млн т CO<sub>2</sub>.

Таблица 1

Данные об использовании геотермальной энергии в мире 2010

Страна	Мощность, МВт	Ежегодное использование, ТДж / год	Ежегодное использование, ГВт·час / год	Коэффициент использования
Албания	11,48	40,06	11,2	0,11
Алжир	55,64	1,723,13	478,7	0,98
Аргентина	307,47	3,906,74	1,085,3	0,40
Армения	1	15	4,2	0,48
Австралия	33,33	235,1	65,3	0,22
Австрия	662,85	3,727,7	1,035,6	0,18
Белоруссия	3,422	33,79	9,4	0,31
Бельгия	117,9	546,97	151,9	0,15
Босния и Герцеговина	21,696	255,36	70,9	0,37
Бразилия	360,1	6,622,4	1,839,7	0,58
Болгария	98,3	1,370,12	380,6	0,44
Канада	1126	8,873	2,464,9	0,25
Карибские острова	0,103	2,775	0,8	0,85
Чили	9,11	131,82	36,6	0,46
Китай	8,898	7,5348,3	20,931,8	0,27
Колумбия	14,4	287	79,7	0,63
Коста Рика	1	21	5,8	0,67
Хорватия	67,48	468,89	130,3	0,22
Чешская республика	151,5	922	256,1	0,19
Дания	200	2,500	694,5	0,40
Эквадор	5,157	102,401	28,4	0,63
Египет	1	15	4,2	0,48
Эль Сальвадор	2	40	11,1	0,63
Эстония	63	356	98,9	0,18
Эфиопия	2,2	41,6	11,6	0,60
Финляндия	857,9	8370	23,25,2	0,31
Франция	1345	12,929	3591,7	0,30
Грузия	24,51	659,24	183,1	0,85
Германия	2,485,4	12,764,5	3,546,0	0,16
Греция	134,6	937,8	260,5	0,22
Гватемала	2,31	56,46	15,7	0,78
Гондурас	1,933	45	12,5	0,74
Венгрия	654,6	9767	2,713,3	0,47
Исландия	1,826	24,361	6,767,5	0,42
Индия	265	2,545	707,0	0,30
Индонезия	2,3	42,6	11,8	0,59
Иран	41,608	1,064,18	295,6	0,81
Ирландия	152,88	764,02	212,2	0,16
Израиль	82,4	2,193	609,2	0,84
Италия	867	9,941	2,761,6	0,36

Продолжение таблицы 1

Япония	2,099,53	15,697,94	7,138,9	0,39
Иордания	153,3	1,540	427,8	0,32
Кения	16	126,624	35,2	0,25
Южная Корея	229,3	1,954,65	543,0	0,27
Латвия	1,63	31,81	8,8	0,62
Литва	48,1	411,52	114,3	0,27
Македония	47,18	601,41	167,1	0,40
Мексика	155,82	4,022,8	1,117,5	0,82
Манголия	6,8	213,2	59,2	0,99
Марокко	5,02	79,14	22,0	0,50
Непал	2,717	73,743	20,5	0,86
Нидерланды	1,410,26	10,699,4	2,972,3	0,24
Новая Зеландия	393,22	9,552	2,653,5	0,77
Норвегия	3,300	25,200	7,000,6	0,24
Папуа Новая Гвинея	0,1	1	0,3	0,32
Филиппины	3,3	39,58	11,0	0,38
Польша	281,05	1,501,1	417,0	0,17
Португалия	28,1	386,4	107,3	0,44
Румыния	153,24	1,265,43	351,5	0,26
Россия	308,2	6,143,5	1,706,7	0,63
Сербия	100,8	1,410	391,7	0,44
Республика Словакия	132,2	3,067,2	852,1	0,74
Словения	104,17	1,136,39	315,7	0,35
Южная Африка	6,01	114,75	31,9	0,61
Испания	141,04	684,05	190,0	0,15
Швеция	4,460	45,301	12,584,6	0,32
Швейцария	1,060,9	7,714,6	2,143,1	0,23
Таджикистан	2,93	55,4	15,4	0,60
Таиланд	2,54	79,1	22,0	0,99
Тунис	43,8	364	101,1	0,26
Турция	2,084	36,885,9	10,246,9	0,56
Украина	10,9	118,8	33,0	0,35
Великобритания	186,62	849,74	236,1	0,14
США	12,611,46	56,551,8	15,710,1	0,14
Венесуэла	0,7	14	3,9	0,63
Вьетнам	31,2	92,33	25,6	0,09
Йемен	1	15	4,2	0,48
Общее количество	3,583	438,071	121,696,0	0,27

Темп роста установленной мощности и ежегодного использования энергии за прошлые 15 лет показаны на рис. 1.

Уменьшение коэффициента использования происходит из-за увеличения количества геотермальных тепловых насосов, у которых низкий коэффициент использования 0,19 во всем мире. Растущее понимание и популярность геотермальных тепловых насосов оказали значительное влияние на прямое использование геотермальной энергии. Ежегодное

использование энергии с применением тепловых насосов увеличивалось в 2,45 раза по составному годовому показателю 19,7 %. Установленная мощность тепловых насосов увеличивалась в 2,29 раза по составному годовому показателю 18,0 %.

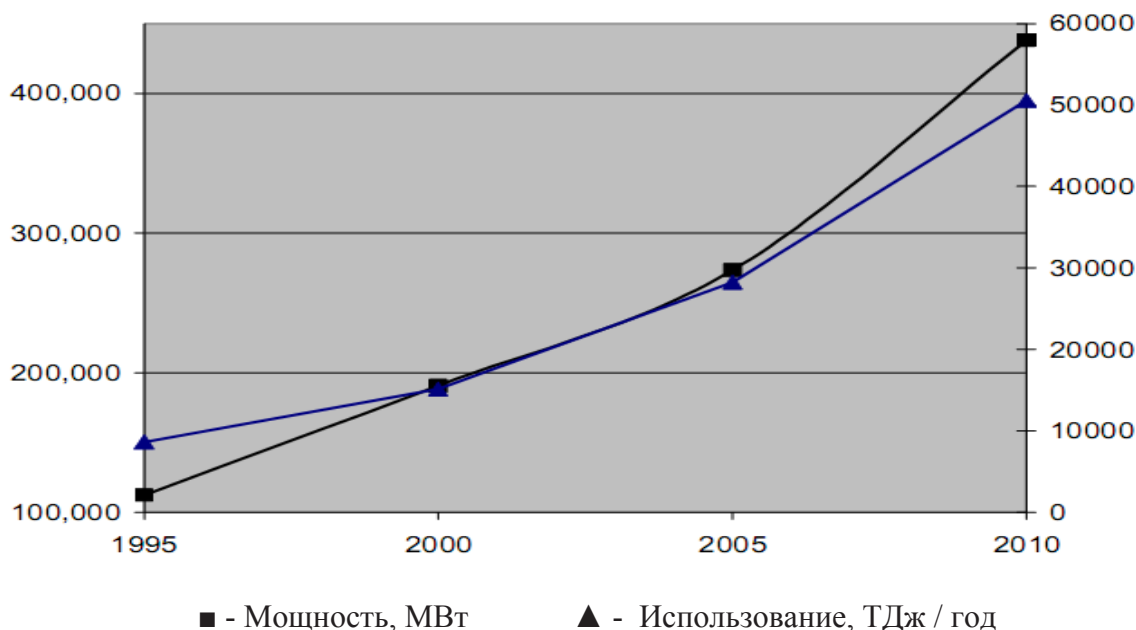


Рис. 1. Темпы роста установленной мощности и ежегодного использования от 1995–2010 г.г..

Наибольшая установленная мощность наблюдается в 5 странах: США, Китай, Швеция, Норвегия и Германия, составляющая 60 % мирового значения установленной мощности. Страны с наибольшим ежегодным использованием геотермальной энергии: Китай, США, Турция, Швеция и Япония, составляющим 55 % мирового использования.

Анализ с точки зрения удельного использования (на душу населения) показывает, что здесь лидируют небольшие страны преимущественно скандинавские, лучшие пять из них по установленной мощности (МВт/население): Исландия, Швеция, Норвегия, Новая Зеландия и Швейцария; (МВт/область) Дания, Нидерланды, Исландия, Швейцария и Венгрия. По ежегодному использованию тепловой энергии (ТДж/население): Нидерланды, Швейцария, Исландия, Норвегия и Швеция.

Наибольшее увеличение установленной мощности геотермальных установок за прошедшие пять лет наблюдается в Великобритании, Корее, Ирландии, Испании и Нидерландах и наибольшее увеличение ежегодного использования тепловой энергии (ТДж/год) за прошедшие пять лет наблюдается в Великобритании, Нидерландах, Корее, Норвегии и Ирландии. Увеличение установленной мощности и потребление теплоты в этих странах происходит в основном из-за увеличения количества геотермальных тепловых насосов.

Если в 1985 г. только 11 стран сообщили об установленной мощности более 100 МВт, то в 2009 г. количество стран увеличилось до 36.

В табл. 2 и на рис. 2 данные разделены по категориям использования с указанием мощности и коэффициента использования.

Наиболее крупными потребителями являются теплонасосные установки, курорты и бассейны, сельское хозяйство, промышленность.

Проанализируем наиболее крупные категории потребителей геотермальной энергии.

Данные различных категорий прямого использования в мире в период 1995–2010 г.г.

Мощность, МВт				
	2010	2005	2000	1995
Геотермальные тепловые насосы	35,236	15,384	5,257	1,854
Космическое тепло	5,391	4,366	3,263	2,759
Подогрев оранжерей	1,544	1,404	1,246	1,085
Нагревание водоемов с водными культурами	653	616	605	1,097
Сельскохозяйственное осушение	127	157	74	67
Индустриальное использование	533	484	474	544
Купание и плавание	6,689	5,401	3,957	1,085
Охлаждение и таяния снега	368	371	114	115
Другое	41	86	137	238
Общее количество	50,583	28,269	15,145	8,664
Использование, ТДж / год				
	2010	2005	2000	1995
Геотермальные тепловые насосы	214,782	87,503	23,275	14,617
Космическое тепло	62,984	55,256	42,926	38,230
Нагрев оранжерей	23,264	20,661	17,864	15,742
Нагревание водоемов с водными культурами	11,521	10,976	11,733	13,493
Сельскохозяйственное осушение	1,662	2,013	1,038	1,124
Индустриальное использование	11,746	10,868	10,220	10,120
Купание и плавание	109,032	83,018	79,546	15,742
Охлаждение и таяния снега	2,0126	2,032	1,063	1,124
Другое	956	1,045	3,034	2,249
Общее количество	438,071	273,372	190,699	112,441
Коэффициент использования				
	2010	2005	2000	1995
Геотермальные тепловые насосы	0,19	0,18	0,14	0,25
Космическое тепло	0,37	0,40	0,42	0,47
Нагрев оранжерей	0,48	0,47	0,45	0,46
Нагревание водоемов с водными культурами	0,56	0,57	0,61	0,39
Сельскохозяйственное осушение	0,42	0,41	0,44	0,53

Продолжение табл.2

Индустриальное использование	0,70	0,71	0,68	0,59
Купание и плавание	0,52	0,49	0,64	0,46
Охлаждение и таяния снега	0,18	0,18	0,30	0,31
Другое	0,73	0,39	0,70	0,30
Общее количество	0,27	0,31	0,40	0,41

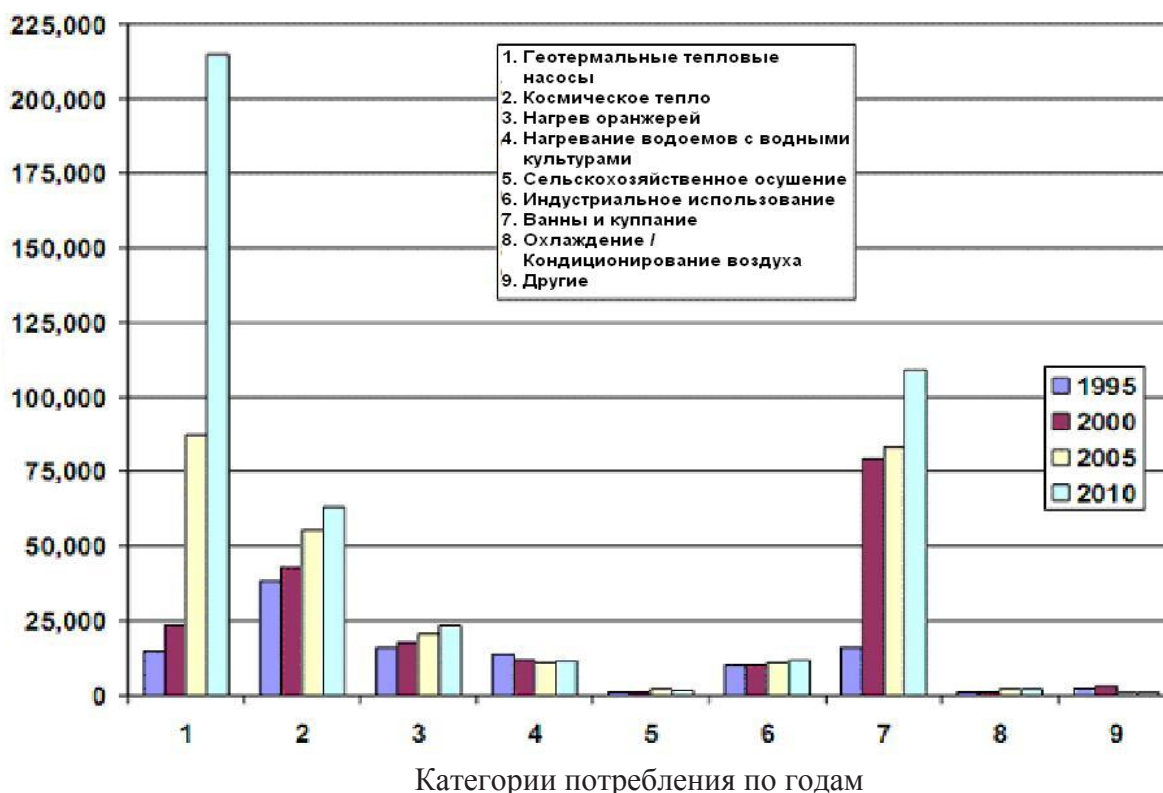


Рис. 2. Сравнение международной энергетики в ТДж / год на 1995, 2000, 2005 и 2010:  
 1 – геотермальные тепловые насосы; 2 – космическое тепло; 3 – нагрев оранжерей;  
 4 – нагревание водоемов с водными культурами; 5 – сельскохозяйственное осушение;  
 6 – индустриальное использование; 7. ванны и купание; 8. купание и плавание; 9. другие.

Геотермальные тепловые насосы (ТН). ТН наиболее полно используют геотермальную энергию и установленную мощность, составляя 69,7 % и 49,0 % международной мощности и использования. Установленная мощность – 35236 МВт и ежегодное использование энергии 214782 ТДж/год с коэффициентом использования 0,19. Почти все установки находятся в Северной Америке, Европе и Китае, увеличивая при этом количество стран с 26 в 2000 г. до 43 в 2009 г. Эквивалентное число установленных единиц мощностью 12 кВт составляет около 2,94 млн. Страны, лидирующие по количеству установленных установок – США, Китай, Швеция, Норвегия и Германия.

Курорты, купание и плавание (включая бальнеологию). Эта категория является самой трудной для определения количества. Почти у каждой страны есть курорты, на которых нагревают воду и плавательные бассейны с геотермальной водой. По данным [3] установленная мощность составляет 6689 МВт, а ежегодное использование энергии – 109032 ТДж/год, выше на 24 % и 31 % соответственно за 2005 год.

Коэффициент использования ((ежегодное использование энергии в ТДж/год / установленная мощность в МВт) × 0,1317) изменяется от 0,09 до 0,99 для различных стран и от 0,18 до 0,70 для категорий использования. Среднее значение коэффициента использования понизилось от 0,40 (2000 г.) до 0,31 (2005 г.) и до 0,27 (2009 г.) из-за увеличения использования геотермальных тепловых насосов. Более высокие значения коэффициента использования отмечаются в странах с высоким промышленным использованием (например, Новая Зеландия).

Страны, лидирующие в использовании геотермальной энергии:

Китай. Правительство Китая поощряет развитие систем использования геотермальной энергии, наряду с другими возобновляемыми источниками энергии. Использование геотермальной энергии в теплоснабжении увеличивается на 10% ежегодно, увеличивается мощность установленных тепловых насосов от 383 МВт (2005 г.) до 5210 МВт (2009 г.). Используется геотермальная энергия на курортах для купания, в сельском и рыбном хозяйствах. Общее количество использования геотермальной энергии 898 МВт и 75348,3 ТДж/год.

США. В стране увеличивается количество и установленная мощность геотермальных ТН. За последние 15 лет количество геотермальных ТН увеличилось до 120000. Общее количество установленной мощности и используемой энергии 12611,46 МВт и 56551,8 ТДж/год.

Турция. В стране геотермальная энергия используется для отопления, централизованного теплоснабжения, отопления оранжерей и курортов. Общее количество установленной мощности 2084 МВт и 36885,9 ТДж/год.

Исландия. Благоприятные условия в стране позволяют использовать геотермальную энергию для выработки электроэнергии и теплоты. В Рейкьявике эксплуатируется наибольшая геотермальная система теплоснабжения, обслуживая 197404 человек с установленной мощностью 264 МВт и пиковой нагрузкой 924 МВт, обслуживается около 135 плавательных бассейнов. Используется геотермальная энергия в промышленности (производство углекислого газа, производство соли), рыбном и сельском хозяйстве и других. Общее количество установленной мощности и используемой теплоты: 1826 МВт и 24361 ТДж/год.

Япония. Установленная мощность составляет 2099,53 МВт, используемое количество теплоты – 25697,94 ТДж/год.

Таблица 3

Международное сбережение энергии углерода и парниковых газов, используя геотермальную энергию в качестве горючего включая геотермальное охлаждение тепловых насосов

	Горючее		Углерод	CO <sub>2</sub>	SO <sub>x</sub>	NO <sub>x</sub>
	bb1*	ТОЕ**	ТОЕ	ТОЕ	ТОЕ	ТОЕ
Электричество	307,8	46,2	46,62	148,19	0,98	0,28
Высокая температура	153,9	23,1	23,21	74,1	0,49	0,14

\* bbl - баррель (bbl), barrel. Равен 158,987294928 литров (точно).

\*\* ТОЕ – миллионов тонн.

Развивается так же направление преобразования геотермальной энергии в электрическую. За последние пять лет прирост установленных установок по выработке электроэнергии составил 400 МВт [4]. Данные приведены в табл. 4.

Таблица 4

Установленная электрическая мощность (МВт) и объемы выработки электрической энергии (ГВт / час) в пяти лидирующих странах [4]

Страна	2005 г., МВт	2005 г., ГВт/час	2010 г., МВт	2010 г., ГВт/час
США	2,564	16,6840	3,060	14,533
Филиппины	1,930	9,253	1,904	10,311
Индонезия	797	6,085	1,197	9,600
Мексика	953	6,282	958	7,047
Италия	791	5,340	843	5,520

### Выводы

Мировая геотермальная энергетика за последние годы выделяет лидеров стран потребителей, а в большинстве стран использование геотермальной энергии развивается медленно. Главный источник энергии это органическое топливо, а развитие геотермальной энергетике не находит дальнейшего развития из-за спада в мировой экономике и высоких начальных инвестиционных затрат. Однако исследования в различных странах продолжают в направлении снижения энергозатрат систем трансформации геотермальной энергии; развитии законодательства на льготное использование возобновляемых источников энергии. Перспективным является широкое использование теплонасосных установок, комбинированных топливно-геотермальных установок. Поскольку нефтяные ресурсы истощаются, а цены на поставки газа увеличиваются, геотермальная энергия становится экономически конкурентоспособным источником экологически безопасной энергии.

### Список литературы

1. Andrey Red'ko, Dyonis Kharlampidi, Sergey Pavlovsky «The Analysis of Operating Conditions of Geothermal Heat Pump Units» Proceedings World Geothermal Congress 2010 Bali, Indonesia
2. Andrey Red'ko, Dyonis Kharlampidi «Heat Pumps with High Temperature Heat-Carrier in Decentralized System of Building Heating» Proceedings World Geothermal Congress 2010 Bali, Indonesia
3. Lund J.W., Freeston D.H., Boyd T.L., 2010. «Direct Utilization of Geothermal Energy 2010 Worldwide Review». Proceedings World Geothermal Congress 2010-Bali,Indonesia.
4. Bertani, 2010 (<http://www/wgc 2010.org>)

## MODEM STATE OF WORLD GEOTHERMAL ENERGY

A. A. RED'KO, Cand. Tech. Sci., Ju. V. BEREZHKO  
A. A. ONISHHENKO, S. V. PAVLOVSKIJ. I. N. ZAGREBELNYJ

*Modern data over are brought about the use of geothermal energy for making of electric energy and warmth in the different countries of the world.*

*Поступила в редакцию 04. 09 2010 г.*