

МЕЖДУНАРОДНЫЙ ГЕОТЕРМАЛЬНЫЙ КОНГРЕСС (WGC-2005) (АНТАЛИЯ, ТУРЦИЯ)

24-29 апреля 2005 г. в Анталии (Турция) состоялось еще одно значительное научное событие – Международный Геотермальный Конгресс (WGC-2005). Актуальность использования геотермальной энергии возрастает по мере увеличения цены органических энергоносителей, а также с учетом Киотского протокола, регламентирующего квоты выбросов CO₂ (каждая тонна CO₂, выброшенная в атмосферу, обойдется производителю в 5 долларов США).

За три дня до начала конгресса состоялись короткие курсы по теме «Разработка геотермального проекта». Спонсором проведения курсов был Мировой Банк, в котором создан Геотермальный Фонд в размере 3.2 млрд. долл. США. Геотермальный бизнес, как и всякое новое дело, нуждается в начальном импульсе. В качестве такого импульса может быть использован кредит. Например, строительство и быстрый ввод в эксплуатацию Мутновской

ГеоЭС на Камчатке мощностью 50 МВт в 2000-2002 гг. были осуществлены за счет кредита ЕБРР 99.8 млн. долл. США. МБ, в лице своего российского консультанта А. Аверченкова, заявил что согласен оказывать финансовую поддержку по следующим позициям: (1) предпроектная оценка геотермальных ресурсов, (2) технико - экономическое обоснование геотермального проекта, (3) бурение геотермальных скважин, (4) испытания геотермальных скважин. Очень интересные и содержательные лекции были сделаны также J.Lovekin (GeothermEX, USA), G. Bloomquist (Washington Univ., USA). Существенное увеличение эффективности разведки геотермальных месторождений может быть получено при бурении “Slim Holes” –скважин с небольшим диаметром (51 мм) и глубиной в первые сотни метров, все шире применяются бинарные ГеоЭС, которые позволяют использовать для получения электроэнер-

гии геотермальные месторождения с температурой 100-200°C с эффективностью использования теплоносителя от 50 до 12 кг/с на МВт эл.

В работе WGC приняло участие 1500 специалистов из 83 стран, было представлено около 700 докладов в форме устных сообщений и постеров. Председателем конгресса был James Koenig (США) спонсорами проведения – Международная геотермальная ассоциация (президент – J. Lund, США), и Турецкая геотермальная ассоциация – (O. Mertoglu).

Все доклады проходили 1.5 годовую процедуру отбора, рецензирования и редактирования. После первого дня пленарных заседаний работа конгресса проводилась по параллельным техническим секциям, которые включали следующие проблемы и направления, связанные с изучением и использованием геотермальной энергии: (1) обзор по странам, (2) экология и социальные аспекты, (3) юридические аспекты, (4) финансово-экономические аспекты, (5) устойчивость эксплуатации, (6) геология, (7) геофизика, (8) геохимия, (9) история эксплуатации, (10) бурение, (11) инженерия резервуаров, (12) реинжекция, (13) генерация энергии, (14) прямое использование, тепловые насосы, (15) комбинированные системы, (16) новые технологии (HDR, EGS), (17) программное обеспечение, (18) неотектоника, (19) гидрогеология, (20) коррозия, (21) бальнеология и туризм, (22) энергетическая политика, (23) теплоснабжение и сельское хозяйство, (24) управление эксплуатацией, (25) разведка.

В обобщающих докладах по использованию геотермальной энергии отмечалось, что в настоящее время общемировая установленная мощность ГеоЭС составляет 8900 МВт эл (фактически используемая – 8000), что соответствует среднегодовому приросту 12% за период 2000-2005 гг. (R. Bertani). Общее использование геотермальной энергии составляет 72 622 ГВт-часа в год (8290 МВт тепл.), включая тепловые насосы (33%), теплоснабжение (29%), бассейны (20%), тепличное хозяйство (7.5%), сельское хозяйство (4%), промышленные процессы (4%) и др. (J. Lund).

Как показывает опыт США, в правовом отношении геотермальная энергетика нуждается в поддержке, включая разнообразные льготы по налогообложению основных средств. Например, уже долгое время лоббируется законопроект о ТРС (Tax Production Credit), который бы позволил геотермальным компани-

ям не платить налог с прибыли и выйти по цене за 1 кВт-час на уровень газовой промышленности – 5 центов.

Устойчивый режим эксплуатации геотермальных месторождений возможен, но в большинстве случаев для его обеспечения необходимо бурение дополнительных эксплуатационных скважин, так как расход отбора флюида, в среднем, на порядок превышает естественный приток глубинного теплоносителя в геотермальный резервуар (S. Sanjal). При этом принципиально выделяются три режима эксплуатации геотермальных месторождений, в зависимости от расхода отбора: (1) возобновляемый, (2) устойчивый (с бурением дополнительных эксплуатационных скважин) и (3) коммерческий-неустойчивый (при котором бурение дополнительных скважин не дает эффекта и экономически нецелесообразно). По данным эксплуатации 35-ти геотермальных месторождений соотношение устойчивого расхода (эксплуатационных запасов) и возобновляемого (расход притока глубинного теплоносителя) составляет, в среднем, около 5.3. В каждом конкретном случае этот коэффициент зависит от гидрогеологических условий месторождения, планируемого времени эксплуатации и режима реинжекции.

Структурно-гидрогеологические условия геотермальных месторождений – ключ к эффективной эксплуатации и снижению затрат на бурение скважин: при низкой проницаемости массивов вмещающих горных пород, непродолжительной по времени и умеренной по интенсивности вулканической деятельности формируются в основном геотермальные резервуары трещинно-жильного типа (“single fault type geothermal fields”) со средней продуктивностью в первые десятки МВт (Япония, Камчатка, Невада США), в мощных современных вулкано-генных бассейнах Филиппин и Индонезии формируются геотермальные месторождения-гиганты, способные продуцировать сотни МВт электроэнергии. Два геотермальных пародоминирующих месторождения-гиганта: Гейзеры (США) 1400 МВт установленных (900 МВт фактических) и Лардарелло (Италия) 700 МВт, сформировавшиеся в осадочных бассейнах, продолжают оставаться «исключениями» в геотермальном списке.

Пример перегрузки (полное выкипание жидкой фазы в геотермальном резервуаре с последующим резким падением давления и паде-

нием продукции эксплуатационных скважин) при эксплуатации геотермального месторождения Гейзеры (США) и положительный эффект реинжекции (начиная с 1999 г.), позволившей стабилизировать продукцию (на 30% увеличить продуктивность, по сравнению с вариантом без реинжекции) - показывает необходимость применения методов инженерии геотермальных резервуаров для понимания термодинамических и газогидрохимических процессов в ходе эксплуатации. Эффект перегрузки при эксплуатации достаточно явно проявлен также на геотермальном месторождении Мираваллес (Коста-Рика), где к 2003 г мощность ГеоЭС достигла 162.5 МВт.

Глобальная оценка наиболее вероятного значения технически доступного потенциала геотермальных ресурсов составляет 240 ГВт (для выработки электроэнергии) и 4400 ГВт (для прямого использования тепла) (V. Stefansson). Одна из стратегических целей US DOE (Министерства энергетики США) в области геотермальной энергетики — достижение рубежа 40 ГВт эл. (R. Mink). Кроме этого, предпринимаются попытки развития новых технологий для извлечения геотермальной энергии: (1) технология HDR (Hot Dry Rock) извлечения энергии с помощью гидроразрыва «сухих горячих пород», Хиджиори, Япония, (2) технология EGS (Enhanced Geothermal Systems) увеличения размеров существующего геотермального резервуара, что позволило, например, получить в Косо, Калифорния, дополнительно 20 МВт эл., и др., (3) Технологии использования суперкритического флюида (Исландия).

Вычислительный код TOUGH2 (K. Pruess) стал стандартным языком, с помощью которого осуществляется проверка предположений об условиях теплового и водного питания геотермальных резервуаров, оценка эксплуатационных запасов геотермальных месторождений (sustainable capacity). «Инженерный» подход к проблеме изучения геотермальных месторождений, основанный на применении численного моделирования (TOUGH2), позволяет оценить параметры источников теплового питания геотермальных резервуаров (тепловую мощность, в т.ч. расход восходящего потока глубинного теплоносителя и его энтальпию). При таком подходе нет необходимости в выяснении геометрии и состояния питающих магматических систем. Для анализа совмещенных термодинамических-химических процессов в гео-

термальных резервуарах начинает все шире использоваться «дочерний код» TOUGH2 и EQ3/6 (химическая термодинамика) — TOUGHREACT.

Современное понимание процессов тепло-массопереноса и химического взаимодействия в гидротермальных системах может быть представлено следующими образом. Холодная метеорная вода из областей питания опускается по субвертикальным проницаемым зонам (разломы, жерла вулканов, контакты интрузий). На глубине эта вода преобразуется в высокотемпературный обогащенный NaCl и CO₂ «родительский геотермальный флюид» за счёт теплового и химического обмена с магматическими газами и вмещающими породами. Как правило, исходный «родительский геотермальный флюид» в геотермальных системах имеет две компоненты: метеорную воду и магматический флюид. Магматический флюид глубинной генерации является поставщиком таких газов как HCl, HF, SO₂, H₂O, CO₂ и H₂S, которые преобразуются в форму NaCl-CO₂ флюида за счёт взаимодействия с вмещающими магматическими породами. Далее восходящие потоки теплоносителя поднимаются по проницаемым зонам («геотермальным резервуарам»), достигая земной поверхности в виде горячих источников и фумарол. Циркуляция от областей водного питания до областей разгрузки управляется перепадом давления и вариациями плотности флюида (вынужденная и свободная конвекция) и проницаемостью вмещающих горных пород. Двухвековая история развития представлений о механизме теплового и водного питания низкотемпературных геотермальных месторождений (A. Bjornsson) весьма поучительна. Итогом её является достаточно универсальная концептуальная модель, основанная на принципе «теплоизвлечения из массива вмещающих горных пород за счёт распространения трещины в массив, по мере его охлаждения» (R. Bunzen, G. Bodvarsson).

Российское участие в конгрессе было представлено делегацией РАО ЕС России, АО «Геотерм», АО «Наука», сотрудниками институтов РАН и геотермальных компаний. Камчатку на конгрессе представляли: Ю.П. Трухин (Председатель КНЦ ДВО РАН), А.В. Кирюхин, С.Н. Рычагов, Е.Г. Калачева (ИВиС ДВО РАН), В.И. Лузин, И.И. Чернев (АО «Геотерм»), Н.И. Кирюхина (Камчатскбургеотермия). РАО ЕС организовало в Шератоне приём для участников конгресса, итоги которого в местной



Рис. 2. Горячие источники Памуккале.



Рис. 3. Термальные бани выложенные из блоков известняка.

прессе назвали «русским прорывом» в геотермальной энергетике (имея в виду конечно недавний ввод в эксплуатацию Мутновской ГеоЭС мощностью 50 МВт).

На заключительном заседании конгресса было объявлено о месте проведения следующего конгресса: им станет в 2010 г. о. Бали в Индонезии.

После окончания конгресса состоялась полевая экскурсия на геотермальное месторождение Кизилдере (рис. 1 на 3 стр. обложки, разлом в известняках на границе грабена, температура 240 °С, установленная мощность 20 МВт эл.) и горячие источники Памуккале (рис. 2), на источниках с температурой 31-35 °С, знаменитых мощными травертиновыми отложениями (CaCO₃); еще во времена Римской империи был город Хиерополис, до сих пор в хорошем состоянии сохранился амфитеатр,

торговые ряды и бани на горячих источниках). Термальные бани производят впечатление толщиной своих стен, выложенных из блоков известняка для повышения теплоизоляции (рис. 3). За день пришлось одолеть 600 км по горным дорогам, стараясь не отстать от автобусов с участниками экскурсии (все места в автобусах были зарезервированы задолго до начала конгресса, поэтому пришлось арендовать а/машину).

В день отъезда удалось немного осмотреть Анталию, древний город, испытавший влияние Римской, Византийской и Османской империй: помимо древних достопримечательностей, мечетей и отелей, повсюду на крышах домов - панели солнечных батарей и бочки с водой, нагревающиеся от солнца, которого здесь хватает с избытком.

А.В. Кирюхин
д.г.-м.н., проф.

*Зав. лабораторией теплопереноса
ИВиС ДВО РАН*