

ЕЭК ООН

**Применение Рамочной классификации
ресурсов Организации Объединенных
Наций (РКООН) к геотермальным
энергетическим ресурсам**
Отдельные примеры проектов



Серия публикаций ЕЭК ООН по энергетике



ОРГАНИЗАЦИЯ ОБЪЕДИНЕННЫХ НАЦИЙ

ЕВРОПЕЙСКАЯ ЭКОНОМИЧЕСКАЯ КОМИССИЯ ОРГАНИЗАЦИИ ОБЪЕДИНЕННЫХ НАЦИЙ

**Подготовлено Группой экспертов
по классификации ресурсов ЕЭК ООН**

СЕРИЯ ПУБЛИКАЦИЙ ПО ЭНЕРГЕТИКЕ № 51



ОРГАНИЗАЦИЯ ОБЪЕДИНЕННЫХ НАЦИЙ
Нью-Йорк и Женева, 2017 год

ПРИМЕЧАНИЕ

Употребляемые обозначения и изложение материала в настоящем издании не означают выражения со стороны Секретариата Организации Объединенных Наций какого бы то ни было мнения относительно правового статуса страны, территории, города, района или их властей или относительно делимитации их границ.

Упоминание каких-либо фирм, лицензированных процессов или коммерческих продуктов не означает их одобрения Организацией Объединенных Наций.

ECE/ENERGY/110

ИЗДАНИЕ ОРГАНИЗАЦИИ ОБЪЕДИНЕННЫХ НАЦИЙ

eISBN 978-92-1-362724-2

Авторские права © Организация Объединенных Наций, 2017 год

Все права защищены во всем мире

Издание Организации Объединенных Наций,
выпущенное Европейской экономической комиссией (ЕЭК)

Предисловие

За последнее столетие различные энергетические и сырьевые секторы, а также страны приняли разнообразные подходы к классификации ресурсов и управлению ими. Однако в последние годы в области производства, распределения и использования энергии и сырьевых материалов возникли новые проблемы, которые требуют применения инновационных подходов к системе комплексного управления ресурсами. В Повестке дня в области устойчивого развития на период до 2030 года четко определен путь целостного решения этих проблем.

Рамочная классификация ресурсов Организации Объединенных Наций (РКООН) была разработана под эгидой Европейской экономической комиссии Организации Объединенных Наций профильным сообществом экспертов, работающих в различных областях, но преследующих общую цель, которая заключается в разработке применимой в международных масштабах системы классификации энергетических и минеральных ресурсов, представления отчетности о них и управления ими. Хотя изначально РКООН разрабатывалась для минерального и нефтегазового секторов, в последнее время ее охват был расширен за счет включения в классификацию возобновляемой энергии. Более широкая информированность о ресурсах возобновляемой энергии и растущий интерес к ним, включая геотермальные ресурсы, высветили необходимость стандартизации системы классификации потенциала возобновляемой энергии и представления отчетности о нем.

Для содействия улучшению глобальной коммуникации в геотермальном секторе Группа экспертов по классификации ресурсов ЕЭК разработала в соответствии с Меморандумом о взаимопонимании между Европейской экономической комиссией Организации Объединенных Наций и Международной геотермальной ассоциацией (МГА) спецификации для применения РКООН к геотермальным энергетическим ресурсам. Эти спецификации были выпущены в сентябре 2016 года.

В целях содействия лучшему пониманию спецификаций и единообразному применению РКООН к геотермальным ресурсам в настоящей публикации приводятся 14 примеров проектов, осуществленных в Австралии, Венгрии, Германии, Исландии, Италии, Нидерландах, Новой Зеландии, Российской Федерации и Филиппинах. Эти примеры применения классификации иллюстрируют методику классификации ряда различных сценариев разработки геотермальных ресурсов, которая согласуется с классификацией других энергетических ресурсов. Такой подход выдает также полезную информацию о ценности РКООН в качестве средства поддержки осуществления Целей в области устойчивого развития.

Для экспертов в области геотермальных энергетических ресурсов, а также экспертов, работающих в других энергетических и минеральных секторах, эта подборка примеров проектов явится полезным справочным пособием в их усилиях по внедрению применимой в глобальных масштабах системы комплексного управления ресурсами. Я воздаю должное тем, кто участвовал в подготовке, рецензировании и верификации этих примеров проектов, и в частности благодарю Международную геотермальную ассоциацию за ее поддержку.

Ольга Алгаерова

Исполнительный секретарь
Европейская экономическая комиссия Организации Объединенных Наций

Выражение признательности

Подготовкой примеров проектов занималась подгруппа (Рабочая группа) экспертов-добровольцев под руководством Джиои Фальконе (руководитель), в состав которой входили в качестве членов Миклош Антич, Рой Бариа, Лэрри Бэйрант, Паоло Контти, Малколм Грант, Роберт Хогарт, Эджил Джулиуссон, Хармен Мийнлиэфф, Аннамария Надор, Грэг Ушшер и Кейт Янг и в качестве наблюдателей – Грэм Бирдзмор и Хорст Рейтер.

Международная геотермальная ассоциация (МГА) активно поддерживала эту работу через свой Комитет по ресурсам и запасам МГА (председателем которого является Грэм Бирдзмор). ЕЭК ООН и МГА подписали Меморандум о взаимопонимании с целью разработки спецификаций и руководящих указаний по применению РКООН к геотермальным энергетическим ресурсам.

Проведение очных совещаний Рабочей группы в форме периодических семинаров-практикумов стало возможным благодаря поддержке со стороны Программы содействия управлению энергетическим сектором Всемирного банка (ЕСМАП), Министерства энергетики Соединенных Штатов (МЭ) и Совета по геотермальным ресурсам (СГР). При этом логистическим обеспечением занималась Сервисная компания МГА. Рабочей группе по классификации возобновляемых энергетических ресурсов Группы экспертов по классификации ресурсов ЕЭК ООН, в частности ее председателю Фрэнку Денеллю, выражается благодарность за поддержку и руководство в процессе подготовки и рецензирования примеров конкретных проектов.

Содержание

Предисловие	iii
Выражение признательности	iv
Содержание	v
Введение	1
Пример проекта 1: Нгатамарики	2
Краткое описание проекта	2
Проект Нгатамарики	3
Количественный анализ	3
Вид продукта	3
Контрольная точка	4
Геотермальные энергетические ресурсы	4
Классификация по РКООН-2009	4
Классификация и подклассификация по категориям оси E	4
Классификация и подклассификация по категориям оси F	5
Классификация и подклассификация по категориям оси G	5
Геотермальные энергетические ресурсы по РКООН-2009	6
Справочная литература	6
Пример проекта 2: Хабанеро	7
Краткое описание проекта	7
Проект Хабанеро	8
Количественный анализ	9
Геотермальный энергетический продукт	9
Контрольная точка	9
Геотермальные энергетические ресурсы	9
Классификация по РКООН-2009	9
Категория E	9
Категория F	10
Категория G	10
Геотермальные энергетические ресурсы по РКООН-2009	10
Справочная литература	10
Диаграмма 1 – Наведенная микросейсмичность в Хабанеро	8

Пример проекта 3: Инсхайм	11
Краткое описание проекта.....	11
Инсхаймский проект	12
Количественный анализ.....	13
Электричество.....	13
Тепло.....	14
Вид продукта	14
Контрольная точка	14
Геотермальные энергетические ресурсы	14
Электричество.....	14
Возможная дополнительная электроэнергия при скорости циркуляции жидкости, равной 85 л/с	14
Тепло.....	15
Классификация по РКООН-2009	15
Классификация и подклассификация по категориям оси E.....	15
Классификация и подклассификация по категориям оси F.....	16
Классификация и подклассификация по категориям оси G	16
Классификация и подклассификация по категориям оси E.....	17
Классификация и подклассификация по категориям оси F.....	17
Классификация и подклассификация по категориям оси G	18
Классификация и подклассификация по категориям оси E.....	19
Классификация и подклассификация по категориям оси F.....	19
Классификация и подклассификация по категориям оси G	19
Справочная литература.....	20
Пример проекта 4: Геотермальный проект «Ротлигенд-3».....	21
Краткое описание проекта.....	21
Количественный анализ.....	21
Контрольная точка	23
Геотермальные энергетические ресурсы	24
Классификация по РКООН-2009	24
Классификация и подклассификация по категориям оси E.....	24
Классификация и подклассификация по категориям оси F.....	25
Классификация и подклассификация по категориям оси G	25
Классификация и количественный анализ по РКООН-2009.....	26
Оговорка	26
Справочная литература.....	26
Диаграмма 1 – Входные данные для ориентировочной оценки геотермальных энергетических ресурсов проекта.....	22
Диаграмма 2 – Результаты расчетов вероятностным методом.....	23

Пример проекта 5: Нидерландская часть Ротлигендского месторождения – вся территория страны	27
Краткое описание проекта.....	27
Классификация геотермальных ресурсов, относящихся к геотермальным проектам Ротлигендского месторождения	29
Проекты по добыче	29
Геологоразведочные проекты.....	31
Оценка ресурсов Ротлигендского месторождения	32
Оценка ресурсов Ротлигендского месторождения	32
Оговорка	33
Справочная литература.....	33
Диаграмма 1 – Карта-схема с характеристикой данных, используемых для оценки гидротермального Ротлигендского месторождения	28
Таблица 1 – Перечень оценок ресурсов каждого проекта на основе установленной мощности и оценок числа часов использования максимума нагрузки. Класс: E1.2; F1.1; G1, 2, 3	30
Таблица 2 – Классификация с учетом оценок ресурсов Ротлигендского месторождения по РКООН-2009.....	32
Таблица 3 – Наилучшая оценка потенциальных геотермальных ресурсов на Ротлигендском месторождении в Нидерландах	33
Пример проекта 6: Централизованное отопление в Ходмезёвашархее.....	34
Краткое описание проекта.....	34
Количественный анализ.....	36
Вид продукта	36
Контрольная точка	36
Жизненный цикл проекта	36
Ресурсы геотермальной энергии	36
Классификация по РКООН-2009	37
Классификация и подклассификация нынешнего проекта по категориям оси E	37
Классификация и подклассификация нынешнего проекта по категориям оси F	38
Классификация и подклассификация нынешнего проекта по категориям оси G	38
Классификация и количественный анализ по РКООН-2009	38
Классификация и подклассификация потенциального(ых) будущего(их) проекта(ов) по категориям оси E	39
Классификация и подклассификация потенциального(ых) будущего(их) проекта(ов) по категориям оси F	39
Классификация и подклассификация потенциального(ых) будущего(их) проекта(ов) по категориям оси G	39
Классификация и количественный анализ потенциального(ых) будущего(их) проекта(ов) по РКООН-2009	40
Справочная литература.....	40
Диаграмма 1 – Распределение видов использования геотермальных вод в Ходмезёвашархее Годовой объем производства в масштабе всей каскадной системы (2009): 1 605 407 м ³	35

Добавление 1 – Допущения, принятые для объемной оценки по методу Монте-Карло	41
Оценка областей питания добычных скважин.....	41
Диаграмма 1 – Проект «Ходмезёвашархей» – добычные скважины	41
Таблица 1 – Значения входных данных для моделирования по методу Монте-Карло	41
Пример проекта 7: Проект «Альто Пик»	42
Краткое описание проекта.....	42
Проект «Альто Пик».....	43
Количественный анализ.....	43
Вид продукта	44
Контрольная точка	44
Геотермальные энергетические ресурсы	44
Классификация по РКООН-2009	44
Классификация по категориям оси E.....	44
Классификация и подклассификация по категориям оси F.....	45
Классификация по категориям оси G	46
Классификация и количественный анализ по РКООН-2009.....	46
Оговорка	46
Справочная литература.....	47
Пример проекта 8: Проект «Баслай-Даун».....	48
Краткое описание проекта.....	48
Проект «Баслай-Даун».....	48
Количественный анализ.....	49
Вид продукта	49
Контрольная точка	49
Геотермальные энергетические ресурсы	49
Классификация по РКООН-2009	50
Классификация и подклассификация по категориям оси E.....	50
Классификация и подклассификация по категориям оси F.....	50
Классификация по категориям оси G	51
Классификация и количественный анализ по РКООН-2009.....	51
Оговорка	51
Справочная литература.....	52

Пример проекта 9: Геотермальная система централизованного теплоснабжения Канавезе	53
Краткое описание проекта.....	53
Местные и гидрогеологические условия	53
Описание ТЭЦ «Канавезе».....	54
Количественный анализ.....	54
Вид продукта	55
Контрольная точка	55
Классификация по РКООН-2009	57
Классификация и подклассификация по категориям оси E.....	57
Классификация и подклассификация по категориям оси F.....	57
Классификация по категориям оси G	58
Классификация и количественный анализ по РКООН-2009.....	58
Справочная литература.....	58
Диаграмма 1 – Контрольные точки для проведения оценки проектов с использованием ГТН, работающих в режиме обогрева.....	56
Диаграмма 2 – Упрощенная схема ТЭЦ «Канавезе» с указанием потоков энергии	56
Таблица 1 – Номинальные показатели мощности и производительности ТЭЦ «Канавезе»	56
Таблица 2 – Количественные энергетические показатели, рассчитанные за весь период эксплуатации проекта (20 лет), и точки оценки	57
Пример проекта 10: Теплонасосная установка с вертикальным грунтовым теплообменником	59
Краткое описание проекта.....	59
Здание, на базе которого осуществляется проект, и его тепловая нагрузка	59
Подземный резервуар	59
Грунтовые теплообменники (вертикальные скважинные теплообменники).....	60
Теплогенераторы: ТНГ и резервный модуль	60
Количественный анализ.....	61
Вид продукта	61
Контрольная точка	61
Классификация по РКООН-2009	62
Классификация и подклассификация по категориям оси E.....	62
Классификация и подклассификация по категориям оси F.....	62
Классификация и подклассификация по категориям оси G	63
Классификация и количественный анализ по РКООН-2009.....	63
Справочная литература.....	65
Таблица 1 – Показатели отопительной и охлаждающей нагрузки здания	59
Таблица 2 – Теплофизические свойства грунта, а также теплофизические и геометрические характеристики СТО	60
Таблица 3 – Номинальные параметры производительности ТНГ при работе в разных режимах.....	60

Таблица 4 – Номинальные параметры производительности ВТН при работе в разных режимах.....	61
Таблица 5 – Количественные энергетические показатели, рассчитанные за весь период эксплуатации проекта (20 лет), и соответствующие точки оценки	62
Таблица 6 – Основные показатели производительности и данные за период эксплуатации (20 лет)	64
Диаграммы 1 а) и 1 б) – Контрольные точки для проведения оценки проектов с ГТН, работающими в режиме обогрева и охлаждения	64
Диаграмма 1 а) – режим обогрева.....	64
Диаграмма 1 б) – режим охлаждения	64
Пример проекта 11: Агрегированный потенциал ГТН в Северной Рейн-Вестфалии	66
Краткое описание проекта исследования потенциала использования ГТН в Северной Рейн-Вестфалии (Германия)	66
Количественный анализ.....	67
Вид продукта	68
Контрольная точка	68
Классификация и количественный анализ по РКООН-2009	69
Классификация по категориям оси Е.....	69
Классификация и подклассификация по категориям оси F.....	70
Классификация по категориям оси G	70
Справочная литература.....	70
Диаграмма 1 – Контрольные точки для проведения оценки проектов с использованием ГТН в режиме обогрева	68
Пример проекта 12: Паужетское геотермальное месторождение.....	71
Краткое описание проекта.....	71
Количественный анализ.....	73
Электроэнергия.....	73
Тепло.....	73
Вид продукта	73
Контрольная точка	73
Геотермальные энергетические ресурсы	73
Выработка электроэнергии на ГеоЭС с одноступенчатым циклом	73
Потенциальная выработка электроэнергии на ГеоЭС с бинарным энергоблоком.....	74
Тепло.....	74
Классификация по РКООН-2009	74
Классификация и подклассификация по категориям оси Е.....	74
Классификация и подклассификация по категориям оси F.....	75
Классификация и подклассификация по категориям оси G	75
Классификация и подклассификация по категориям оси Е.....	76
Классификация и подклассификация по категориям оси F.....	76
Классификация и подклассификация по категориям оси G	77

Классификация и подклассификация по категориям оси Е.....	78
Классификация и подклассификация по категориям оси F.....	78
Классификация и подклассификация по категориям оси G	78
Справочная литература.....	78
Пример проекта 13: Геотермальное месторождение Крабла	80
Краткое описание проекта.....	80
Количественный анализ.....	82
Вид продукта	83
Контрольная точка	83
Классификация по РКООН-2009	84
Классификация и подклассификация по категориям оси Е.....	84
Классификация и подклассификация по категориям оси F.....	84
Классификация и подклассификация по категориям оси G	84
Геотермальные энергетические ресурсы по РКООН-2009	85
Справочная литература.....	85
Пример проекта 14: Геотермальное поле Крабла: повышение мощности энергопроизводства на 50 МВт.....	86
Краткое описание проекта.....	86
Количественный анализ.....	88
Вид продукта	89
Контрольная точка	89
Классификация по РКООН-2009	90
Классификация и подклассификация по категориям оси Е.....	90
Классификация и подклассификация по категориям оси F.....	90
Классификация и подклассификация по категориям оси G	90
Геотермальные энергетические ресурсы по РКООН-2009	91
Справочная литература.....	91

Введение

Для того чтобы понять возможности применения РКООН-2009¹ к геотермальным энергетическим ресурсам с использованием Спецификаций для применения Рамочной классификации ископаемых энергетических и минеральных запасов и ресурсов Организации Объединенных Наций 2009 года (РКООН-2009) и спецификаций возобновляемых энергетических ресурсов, следует протестировать на практике классификацию, предложенную в примерах геотермальных проектов.

С этой целью в настоящем документе приводятся примеры упрощенного применения классификации для описания различных возможных ситуаций (например, готовые/неготовые проекты, общенациональная перспектива–взгляд со стороны оператора, глубинные геотермальные системы–тепловые насосы, использующие теплоту грунта, индивидуальная классификация проекта–агрегирование) и логики классификации связанных с ними геотермальных энергетических ресурсов по РКООН-2009.

Особое внимание в рамках примеров применения РКООН-2009 уделяется не количественному анализу, а классификации оценочных количеств с целью дополнения РКООН-2009 в качестве рамочной классификационной системы. Когда это уместно, делаются ссылки на внешние материалы, в которых читатель сможет найти более подробную информацию о регистрируемых количествах.

Примеры применения классификации не являются примерами официальной отчетности или раскрытия информации. РКООН-2009 представляет собой добровольную систему и не устанавливает никаких правил, по которым должна раскрываться информация о категориях ресурсов. Раскрытие информации о количестве ресурсов в соответствии с РКООН-2009 полностью зависит от отчитывающегося субъекта, если только ее раскрытие не предусмотрено или не ограничено правительством или каким-либо другим регулирующим органом. Это касается и применения РКООН-2009 к геотермальным энергетическим ресурсам независимо от конкретных категорий и подкатегорий, фигурирующих в примерах применения классификации, приведенных в данной публикации.

Поскольку никакой типовой формы представления отчетности по РКООН-2009 в настоящее время не предлагается (не вводится), приведенные в данной публикации примеры применения классификации соответствуют общему формату, разработанному исключительно с целью согласованной подачи материала общественности в данном документе, а не с намерением закрепить такой формат в качестве обязательного.

Примеры применения классификации приводятся в качестве руководства, и никаких правил применения РКООН-2009 к геотермальным энергетическим ресурсам не устанавливают.

¹ Рамочная классификация ресурсов Организации Объединенных Наций (РКООН) стала так называться в апреле 2017 года. До этого РКООН означала Рамочную классификацию ископаемых энергетических и минеральных запасов и ресурсов Организации Объединенных Наций 2009 года (РКООН-2009). Во всей данной публикации используется сокращение РКООН-2009.

Пример проекта 1: Нгатамарики

Место осуществления проекта: Нгатамарики, Новая Зеландия

Данные по состоянию на 2011 год

Время оценки: май 2015 года

Метод количественного анализа: моделирование

Вид оценки (детерминистская/вероятностная): детерминистская

Краткое описание проекта

Впервые месторождение Нгатамарики в Новой Зеландии было разведано в 1980-е годы, после чего никаких работ на нем не велось вплоть до 2004 года, когда там была проведена геофизическая и геохимическая съемка, а затем в 2008 году возобновилось разведочное бурение. Данное месторождение находится в вулканической зоне озера Таупо на Северном острове Новой Зеландии. Оценка ресурсов и проведение работ по освоению основывались на имитационной модели с использованием данных о естественном состоянии и испытании на интерференцию, однако история добычи отсутствовала. Само месторождение и поисково-разведочные работы на нем описаны в ряде публикаций Боузли и др. (2010 а, б), Гранта и Биксли (2011).

На глубине был обнаружен восходящий водный поток с температурой около 285 °С, который поступает в резервуар с нейтральной хлоридной водой высокой проницаемости. Был также обнаружен ограниченный восходящий поток воды из верхней части резервуара в северо-центральной части месторождения, который поступает в высокопроницаемый горизонт подземных вод. Важной чертой этого месторождения, которая, вероятно, может влиять на управление резервуаром, является связь между глубинным высокотемпературным резервуаром и этим неглубоко залегающим водоносным горизонтом. Геохимический анализ свидетельствует о том, что геотермальная жидкость поднимается из высокотемпературного резервуара и поступает в этот водоносный горизонт, где она смешивается с холодными подземными водами, а затем течет в северном направлении, поддерживая поверхностную активность.

Эта концептуальная модель взаимосвязанных между собой глубоко расположенного резервуара и неглубоко залегающих водоносных горизонтов была положена в основу моделирования. В модели использовался единый показатель пористости. Модель предполагала наличие глубинной высокотемпературной подпитки и восходящих потоков (представлены в модели скважинами), заканчивавшихся ключами. Была произведена подгонка резервуарных температур во всех скважинах. Было проведено испытание на интерференцию между глубокими скважинами путем закачки воды в три скважины на протяжении различных периодов времени и контроля давления в скважине NM2. Затем эта модель была использована для имитации последствий добычи и закачки в течение более 50 лет. Для расчета оседания использовались параметры давления и температуры. Поскольку провести калибровку ввиду отсутствия истории добычи было невозможно, модель содержит не все ограничения, и результаты моделирования могут иметь значительные погрешности. Однако эта модель позволила выявить важные физические процессы, которые могут контролировать долгосрочное поведение резервуара. Моделирование выявило возможность значительного потока холодных жидкостей из неглубоко залегающих холодных водоносных горизонтов в глубинный резервуар, что ограничивает количество возможных вариантов разработки, при этом планы регулирования указывают на то, что важным элементом является сохранение давления.

Прогнозирование показало, что проект может обеспечить генерирование 82 МВт_э (нетто). Результаты этих прогнозов были использованы в заявке на получение разрешений на эксплуатацию ресурсов (прав на эксплуатацию ресурсов окружающей среды Новой Зеландии) и в решении девелопера о начале работ. Для предполагаемой добычи требовалось пробурить несколько дополнительных скважин, некоторые из которых были пробурены по широкому диаметру, с тем чтобы использовать

преимущества хорошей проницаемости. На месторождении будет иметься центральная группа добывающих скважин, при этом нагнетательные скважины будут располагаться на северной и южной оконечностях месторождения.

Была произведена оценка времени, которое потребуется для выдачи разрешений на эксплуатацию ресурсов и получения одобрения от внутренних финансовых органов. В настоящее время разработчик получил доступ к земле, пробурил и опробовал несколько добывающих скважин и одну нагнетательную скважину, получив по всем скважинам хорошие результаты. Были подготовлены планы, касающиеся схемы парогенерирования и энергетической установки.

Эта оценка производится исключительно на основе общедоступной информации и информации, приведенной в четырех справочных материалах, указанных ниже.

Проект Нгатамарики

Район месторождения Нгатамарики был определен с помощью съемки методом сопротивлений (МТ). К концу 2009 года имелась следующая информация: было пробурено шесть скважин, четыре из которых являлись добывающими. Одна из четырех добывающих скважин была предназначена для нагнетания. На всех скважинах были полностью проведены подготовительные работы, а на добывающих скважинах были проведены испытания на приток и, кроме того, было выполнено испытание на интерференцию. С использованием этой информации было проведено моделирование резервуара. Это позволило произвести подгонку к первоначальным термобарическим условиям и данным испытания на интерференцию. История добычи отсутствует, и, соответственно, подгонка модели на основе данных о разработке не проводилась.

Количественный анализ

Моделирование являлось одним из компонентов заявки на получение разрешения и предполагало выработку 82 МВт_э (нетто) на протяжении 50 лет, однако сам проект разработки был рассчитан на 35 лет. Оценка плотности энерговыделения предполагает добычу 86 МВт_э в течение 30 лет и используется для подтверждения классификации по G1.

Количественная оценка основывается на результатах моделирования резервуара и показателе плотности энерговыделения. Это – детерминистская оценка, в рамках которой был опробован единственный план добычи. Был представлен лишь один сценарий моделирования. Моделирование дает наилучшую оценку (G1 + G2). Затем в качестве второй оценки используется плотность энерговыделения: вокруг добывающих скважин NM2, NM3, NM5 и NM7 были очерчены 500-метровые круги, за исключением скважины NM6, которая должна использоваться для нагнетания. Площадь каждого круга составляет 4,3 км². При температуре резервуара в 275 °С и хорошей проницаемости на аналогичных полях достигается плотность энерговыделения, равная 20 МВт_э/км², что соответствует мощности в размере 86 МВт_э в течение 30 лет или 82 МВт_э в течение 31,5 года.

Экономические предположения были подготовлены для теплоэлектростанции, отвечающей существующим стандартам проектирования геотермальных станций, которая подает энергию в национальную сеть Новой Зеландии. Девелопером является предприятие по производству и продаже электроэнергии, имеющее доступ на соответствующий рынок.

Вид продукта

Продуктом является электричество.

Контрольная точка

Контрольной точкой является распределительное устройство станции, из которого энергия подается в национальную сеть. Внутреннее потребление энергии из общего объема энергии, подаваемой в сеть, вычтено.

Геотермальные энергетические ресурсы

Геотермальные энергетические ресурсы:

Низкая оценка: 80 ПДж

Наилучшая оценка: 89 ПДж

Классификация по РКООН-2009

Классификация и подклассификация по категориям оси E

<i>Категория</i>	<i>Определение по РКООН-2009</i>	<i>Основания для классификации</i>
E1	Подтверждена экономическая целесообразность добычи и сбыта	Испытание скважин и моделирование подтвердили возможность устойчивого выхода теплоносителя, при этом скорость потока является экономичной. Разрешения на эксплуатацию ресурсов в рамках проекта и окончательное финансовое одобрение были получены в 2011 году. Разрешения были выданы на 35 лет и, таким образом, данный проект рассчитан именно на этот период. Классификация E1.1 применима к энергии, которая будет добыта только в течение этого периода
<i>Подкатегория</i>	<i>Определение по РКООН-2009</i>	
E1.1	Добыча и сбыт являются рентабельными в текущих рыночных условиях и при реалистичных сценариях будущих рыночных условий	
<i>Категория</i>	<i>Определение по РКООН-2009</i>	<i>Основания для классификации</i>
E3	Нельзя предполагать, что добыча и сбыт в обозримом будущем станут экономически целесообразными, либо оценки произведены на слишком ранней стадии, не позволяющей определить экономическую целесообразность	Моделирование показало, что добыча может вестись в течение 50 лет. Однако предлагается вести добычу только в течение 35 лет. Дополнительный 15-летний период будет охватываться отдельным проектом и относиться к этой же категории

Классификация и подклассификация по категориям оси F

Категория	Определение по РКООН-2009	Основания для классификации
F1	Обоснованность добычи при реализации определенного проекта разработки или при проведении горных работ подтверждена	Планы разведки, испытания скважин, моделирования и добычи подготовлены
Подкатегория	Определение по РКООН-2009	
F1.3	Завершены достаточно подробные исследования, доказывающие обоснованность добычи при реализации определенного проекта разработки или при проведении горных работ	
F2	Целесообразность добычи при реализации определенного проекта разработки или при горных работах требует дальнейшей оценки	Предварительные исследования (например, моделирование) свидетельствуют о возможности продолжения добычи по истечении 35 лет, и проект по оценке этого ресурса будет относиться к данной категории

Классификация и подклассификация по категориям оси G

Категория	Определение по РКООН-2009	Основания для классификации
G1*	Количества, сконцентрированные на известном месторождении, которые можно оценить с высокой степенью достоверности	Высокая степень достоверности оценки обеспечивается сочетанием метода оценки плотности энерговыделения и моделирования
G2*	Количества, отнесенные к известному месторождению, которые можно оценить со средней степенью достоверности	Скважины были испытаны и моделирование проведено на основе информации о естественном состоянии и интерференции. История добычи отсутствует, и, соответственно, обратной адаптации модели не проводилось. Ввиду отсутствия истории добычи степень достоверности является средней

* Следует иметь в виду, что классификация по G1 и G2 основывалась на оценке только общедоступной информации, и для того, чтобы получить представление о степени неопределенности оценки, потребуется окончательная классификация, включая представление оценки по G3.

Геотермальные энергетические ресурсы по РКООН-2009

<i>Классификация</i>	<i>Количество энергии</i>	<i>Дополнительная информация</i>
Класс РКООН-2009	Единицы энергии	
E1.1; F1.3; G1	80 ПДж* (2 500 [#] МВт ₃ -год)	82 МВт ₃ за 31,5 года
E1.1; F1.3; G2	9 ПДж* (300* МВт ₃ -год)	82 МВт ₃ за 3,5 года; приращение к G1, при этом G1+G2 представляют собой наилучшую оценку

* Округлено до одной значащей цифры.

Округлено до двух значащих цифр.

Справочная литература

Boseley, C., Cumming, W., Urzúa-Monsalve, L., Powell, T., & Grant, M., 2010a «A resource conceptual model for the Ngatamariki geothermal field based on recent exploration well drilling and 3D MT resistivity imaging», World Geothermal Congress.

Boseley, C., Grant, M. A., Burnell, J. & Ricketts, B. 2010b. Ngatamariki Project Update. Transactions, Geothermal Resources Council, v34, pp. 177–182.

Grant, M.A., & Bixley, P.F., 2011 «Geothermal Reservoir Engineering, 2nd Edition» Academic Press, New York.

<http://www.voxy.co.nz/national/ngatamariki-consents-granted-ew-and-taupo-dc/5/48346>

Пример проекта 2: Хабанеро

Место осуществления проекта: Иннаминка, Южная Австралия, Австралия
Данные по состоянию на 30 июня 2014 года
Время оценки: ноябрь 2016 года
Метод количественного анализа: термодинамическое моделирование
Вид оценки (детерминистская/вероятностная): детерминистские сценарии

Краткое описание проекта

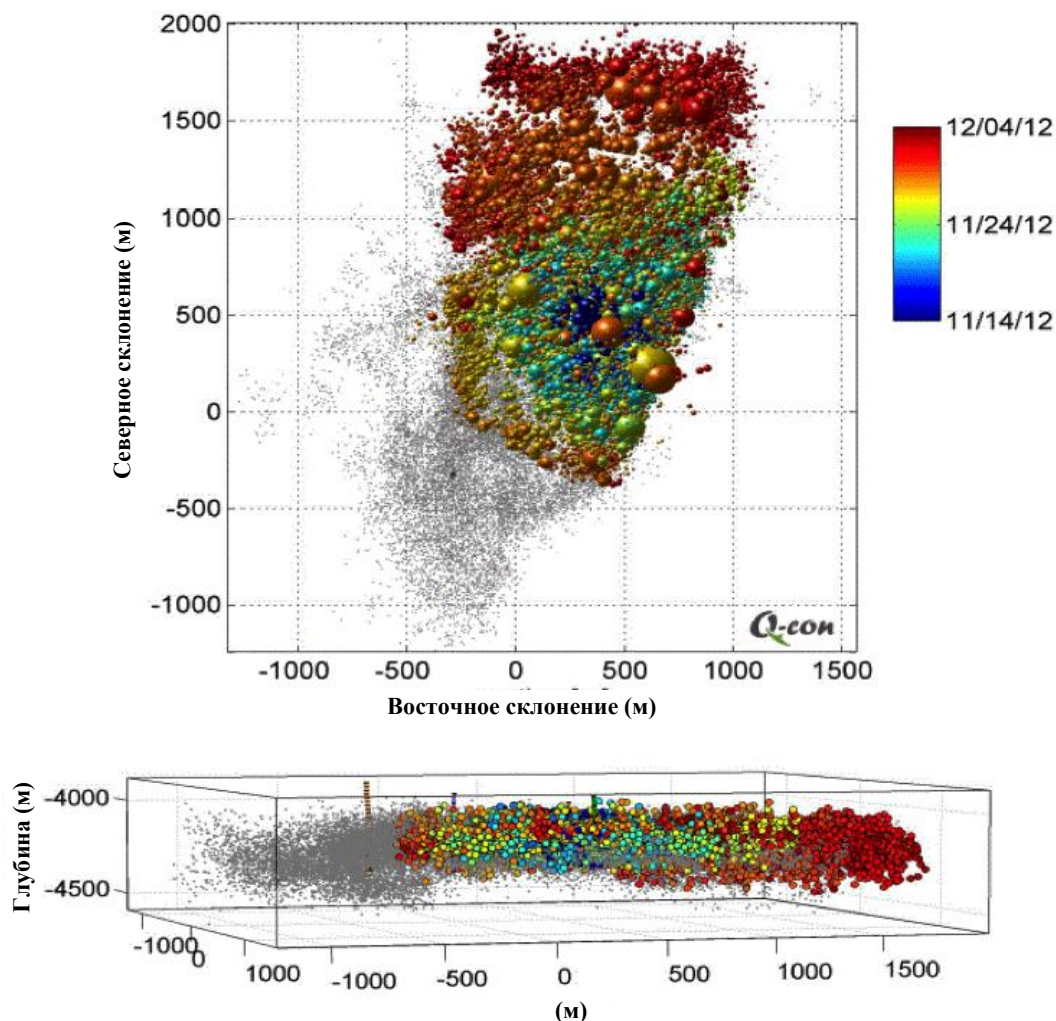
Хабанеро является ресурсом Усовершенствованной геотермальной системы (УГС), который расположен в горячем гранитном массиве близ города Иннаминка в северо-восточной части Южной Австралии. Потенциальный источник геотермальной энергии был впервые обнаружен в ходе бурения поисково-разведочной скважины на газ и нефть, когда выяснилось, что на глубине 3 748 м находится горячий массив гранита. Анализ гравиметрических данных района показал, что гранитный батолит имеет площадь, превышающую 1 000 км². «Джеодайнемикс лимитед» приобрела лицензии на эксплуатацию геотермальных энергетических ресурсов, которые охватывали 991 км² гравитационной аномалии, и впоследствии они были конвертированы в лицензии на эксплуатацию геотермального источника. Компания пробурила четыре полномерных геотермальных скважины в гранитный массив в Хабанеро в 10 км к югу от Иннаминка. Еще две полномерных поисково-разведочных скважины были пробурены в гранитный массив в Джолокии в 10 км к западу от Хабанеро и Савине в 10 км к юго-западу от Джолокии. Все шесть из этих глубоких скважин свидетельствовали о наличии разломов в граните.

Все четыре скважины, пробуренные в Хабанеро, также позволили получить различные данные о наличии разрывов или разломов в граните. Однако значительная часть потока жидкости, поступающей в гранитный батолит или вытекающей из него, концентрируется в пределах небольшого участка интенсивных разрывных нарушений, известного в настоящее время как Хабанерский разлом. В эту структуру были пробурены все четыре скважины в Хабанеро, и она считается взбросом породы с уклоном под углом в приблизительно 10° в западном–юго-западном направлении.

Моделирование Хабанерского разлома было проведено на трех скважинах (Хабанеро 1, 3 и 4), в которые под давлением закачивались большие объемы воды с целью расщепления разлома. После последнего моделирования Хабанеро 4 размеры облака микросейсмических явлений, которое, как считается, отражает степень имитационного моделирования разлома, составляли более 4 км² (диаграмма 1).

На скважинах в Хабанеро были проведены два испытания закрытого цикла на приток и на приемистость скважин; в первом испытании участвовали скважины Хабанеро 1 и Хабанеро 3, а во втором – Хабанеро 1 и Хабанеро 4. В обоих случаях скорость циркуляции ограничивалась низким показателем приемистости скважины Хабанеро 1, которой был нанесен значительный ущерб в результате попадания глины в разлом во время бурения. Однако, несмотря на это, испытание скважин Хабанеро 1–4 показало, что скорость циркуляции составляет 19 кг/сек, а продуктивная температура равняется 215 °С, причем к моменту завершения испытания показатели как скорости, так и температуры неуклонно росли.

Диаграмма 1
Наведенная микросейсмичность в Хабанеро*



* На диаграмме сверху показано расположение гипоцентров сейсмичности по результатам моделирования Хабанеро 4. Каждое сейсмическое явление обозначено сферой, размер которой соответствует магнитуде сейсмического явления. Цветовой маркировкой обозначено время явления согласно перечню условных обозначений. Предыдущая сейсмическая активность обозначена серыми точками. На диаграмме внизу показано расположение гипоцентров при виде сбоку в направлении ВЮВ. Сейсмические явления показаны точками с цветной кодировкой, отражающей время сейсмического явления.

Несмотря на наведенную сейсмичность в процессе моделирования, оба испытания в режиме замкнутого цикла показали, что во время операций в этом режиме сейсмичность была незначительной либо вообще отсутствовала. В ходе обоих испытаний в режиме замкнутого цикла осуществлялся контроль мечеными атомами, и результаты этих испытаний использовались для калибровки термодинамической имитационной модели для целей планирования разработки месторождения. Было установлено, что на теплообменниках образуется накипь, но эта проблема была решена путем периодического промывания оборудования раствором каустической соды. При испытании работы скважин Хабанеро 1–4 в режиме замкнутого цикла были проведены испытания на коррозию, и их результаты использовались для отбора приемлемых материалов для скважин и наземного оборудования.

Проект Хабанеро

В свете успешных результатов технического испытания Хабанеро 1–4 в режиме замкнутого цикла «Джеодайнемикс» изучила техническую осуществимость нового масштабного проекта УГС по снабжению теплом местного потребителя вблизи

Иннаминки. Единственными потенциальными потребителями в настоящее время в этом районе являются производители газа, которым требуются значительные количества тепла для переработки газа.

Геотермальный проект, предполагающий бурение шести скважин – трех нагнетательных и трех добывающих – на расстоянии 1 200 м друг от друга, был тщательно изучен, и был подготовлен проект плана разработки. На основе испытаний на приемистость и продуктивность скважин, проведенных на неповрежденных скважинах в Хабанеро, предполагается, что в каждую скважину можно будет нагнетать или из каждой скважины получать от 25 до 45 кг/с минерального раствора при приемлемых перепадах давления менее 100 бар. Термодинамическое моделирование добычи в Хабанеро показало, что даже при расстоянии между скважинами, равном 1 200 м, производственные температуры снизятся приблизительно на 30 °С за планируемый 15-летний срок осуществления проекта. Но даже в этом случае ожидается, что средняя производственная температура будет составлять около 214 °С. Для того чтобы избежать образования накипи, было решено, что температура обратно закачиваемой жидкости будет составлять 80 °С.

Количественный анализ

Оценка ресурсов была подготовлена с использованием сценариев, увязанных с результатами термодинамической модели. Были рассмотрены три сценария, предполагавших закачку и выход теплоносителя со скоростью 25, 35 и 45 кг/с при коэффициентах производительности, равной 94%, 96% и 98% соответственно. Считается, что эти три сценария отражают низкую, наилучшую и высокую оценки геотермальных энергетических ресурсов в рамках проекта добычи, предусматривающего бурение шести скважин.

Геотермальный энергетический продукт

Тепло для использования при переработке газа.

Контрольная точка

Предполагается, что потеря тепла на отрезке между добывающими скважинами и потребителем является ничтожной, и поэтому контрольной точкой служит вход в газоперерабатывающий завод.

Геотермальные энергетические ресурсы

Геотермальные энергетические ресурсы:

Низкая оценка:	19 ПДж _т (610 МВт-год)
Наилучшая оценка:	28 ПДж _т (880 МВт-год)
Высокая оценка:	36 ПДж _т (1 150 МВт-год)

Классификация РКООН-2009

Категория E

В зоне отложений над и вокруг Хабанерского разлома проводилась активная разведка на газ. Спрос со стороны нескольких новых заводов по сжижению газа возрастает, и, соответственно, успешная программа разведки может привести к строительству нового предприятия по переработке газа. Вероятно, что такие газоперерабатывающие предприятия будут нуждаться в тепле для переработки газа. «Джеодайнамикс» успешно пробурила шесть полномерных глубоких геотермальных скважин и построила и ввела в эксплуатацию экспериментальную энергетическую станцию, демонстрируя свою способность регулировать строительные риски, экологические последствия и проблемы социального характера. Однако в настоящее время считается, что разумных перспектив для рентабельной добычи и сбыта

тепла в обозримом будущем не существует. Соответственно, проект классифицируется как E3.3.

Категория F

План разработки месторождения Хабанеро составлен, и вся необходимая технология для такой разработки уже существует. Однако фактически план предполагает, что последние 100 м каждой скважины должны быть пройдены методом колтюбинга. Колтюбинг не является новым методом, однако в граните на таких глубинах и при таких температурах и давлении он еще не был опробован. Соответственно, эти геотермальные энергетические ресурсы следует классифицировать как F2 до тех пор, пока не будет продемонстрировано применение колтюбинга.

В настоящее время фирма «Джеодайнемикс» оставила все скважины в Хабанеро и заявила о своем намерении выйти из бизнеса, связанного с добычей геотермальной энергии. Поскольку никаких планов по разработке месторождения или получению дополнительных данных в настоящее время не существует, считается, что данный проект относится к подкатегории F2.3.

Категория G

В Хабанеро было пробурено четыре скважины, все из которых достигли Хабанерского разлома. Этот разлом был успешно смоделирован по трем скважинам, и были проведены два испытания на продуктивность и приемистость скважин в режиме замкнутого цикла. Соответственно, геотермальный ресурс Хабанеро можно считать «известным», и все геотермальные энергетические ресурсы должны обозначаться категориями G1, G2 и G3.

Геотермальные энергетические ресурсы по РКООН-2009*

<i>Классификация</i>	<i>Количество энергии</i>	<i>Дополнительная информация</i>
E3.3; F2.3; G1	19 ПДж _т (610 МВт-год)	Низкая оценка геотермальных энергетических ресурсов
E3.3; F2.3; G2	9 ПДж _т (270 МВт-год)	Приращение в интервале между наилучшей и низкой оценками
E3.3; F2.3; G3	8 ПДж _т (270 МВт-год)	Приращение в интервале между высокой и лучшей оценками

* Количество энергии округлены.

Справочная литература

Geodynamics Limited, 2014; «Habanero Geothermal Project Field Development Plan». Web site, www.geodynamics.com.au.

Hogarth, R. & Bour, D., 2015; «Flow Performance of the Habanero EGS Closed Loop». Proceedings, World Geothermal Congress 2015.

McMahon, A. & Baisch, S., 2015; «Seismicity Associated with the Stimulation of the Enhanced Geothermal System at Habanero, Australia». Proceedings, World Geothermal Congress 2015.

Пример проекта 3: Инсхайм

Место осуществления проекта: Инсхайм, Германия

Данные по состоянию на 2015 год

Время оценки: январь 2016 года

Метод количественного анализа: экстраполяция истории добычи

Вид оценки (детерминистская/вероятностная): детерминистские сценарии

Краткое описание проекта

Геотермальный проект в Инсхайме осуществляется в западной части долины Верхнего Рейна в Германии. На момент представления отчетности данное предприятие являлось одной из четырех действующих геотермальных станций, расположенных в долине Верхнего Рейна.

Идея осуществления инсхаймского проекта родилась в процессе реализации в рамках европейских Улучшенных геотермальных систем (УГС) в Сульц-су-Форэ (Франция, Garnish et al., 1994; Varia et al., 1995) исследовательского проекта, который направлен на изучение геомеханического поведения крупных глубинных естественных разломов. В рамках этого проекта используются естественно проницаемые разломы, для которых требуется относительно малое гидравлическое стимулирование. Была пробурена одна продуктивная и одна нагнетательная скважина на глубине примерно 3 800 м. Глубинный поток жидкости проходит через нормальные разломы меридионального простирания в напластованиях нижнего триаса и гранитной подстилающей породе. В проекте используется система замкнутого цикла, которая не требует добавления воды и не выбрасывает в атмосферу никаких вредных продуктов.

Геологическая информация в Инсхайме была в основном получена в результате бурения нескольких скважин и сейсмической разведки по методу отраженных волн, проведенной нефтедобывающими предприятиями в прошлом, а также в результате использования дополнительных общих геологических знаний.

На этапе подготовки к добыче и проведения испытаний стало ясно, что нагнетательная скважина не обеспечивает достаточной проницаемости. Гидравлическое стимулирование позволило улучшить ситуацию, но в недостаточной степени. Вследствие этого на глубине 2 500 м из нагнетательной скважины был пробурен боковой ствол, и теперь нагнетание производится через оба отдела в нижней части ствола скважины. Это намного повысило показатели приемистости и циркуляции, которые достигли 85 л/с и в настоящее время могут поддерживаться при приемлемых нагрузках насоса.

Инсхаймский проект обеспечивает выработку энергии непрерывно начиная с 2012 года. Бизнес-план предполагал постепенное увеличение расхода жидкости с 65 л/с в течение первого года до 75 л/с в течение второго года и 85 л/с начиная с третьего года и далее (Baumgartner et al., 2013). Однако разрешения регулирующих органов в настоящее время ограничивают скорость циркуляции жидкости 65 л/с во избежание наведенной сейсмичности. Есть основания предполагать, что этот предел можно будет повысить до запланированных 85 л/с в будущем. Была спроектирована и построена установка, обеспечивающая скорость циркуляции в 85 л/с.

В районе Инсхайма общественность выражала некоторую озабоченность в связи с допущением наведенной сейсмичности и возможным образованием радиоактивной накипи. Проблему, связанную с сейсмическими явлениями, удалось решить путем установки системы постоянного сейсмического наблюдения и утверждения согласованного всеми заинтересованными сторонами плана санкционирования и реагирования. В рамках достигнутой договоренности скорость циркулирующего потока была ограничена приблизительно 65 л/с. Что касается возможности осаждения на трубе радиоактивного материала, то для решения этой проблемы используются методы, уменьшающие такие осаждения путем удержания радиоактивного материала в растворе за счет применения ингибиторов и контроля давления, циркуляции и pH. Все

потенциальные радиоактивные вещества удаляются в соответствии с существующими нормами.

На момент составления описания проекта реализовывалась стадия планирования строительства системы централизованного теплоснабжения, использующая сбросное тепло электростанции. На энергостанции установлен теплообменник, однако распределительную систему еще предстоит построить.

Инсхаймский проект

Инсхаймская бинарная геотермальная теплоэлектростанция непрерывно работает начиная с 2012 года, и остающийся срок ее эксплуатации из номинальных 30 лет по проекту составляет 26 лет. Инсхаймский проект состоит из одной продуктивной и одной нагнетательной скважины, глубина которых составляет около 3 800 метров. Температура в устье скважины составляет около 165 °С. В качестве рабочей жидкости применяется изопентан. Для добычи используется насос с трансмиссионным валом. Номинальная установленная мощность бинарной геотермальной электростанции составляет 4,8 МВт_э, и за последние четыре года она работала в среднем по 8 000 часов в год. Внутренние потребности в энергии (т. е. паразитная нагрузка) обеспечивались за счет подачи электроэнергии из внешних сетей, а валовой объем производимой электроэнергии сбывался в соответствии с германскими законами о стимулирующих тарифах.

На момент составления описания проекта нормативные требования ограничивали скорость циркуляции 65 л/сек в качестве меры, направленной на недопущение наведенной сейсмичности. До введения такого ограничения система демонстрировала устойчивую скорость потока, равную 85 л/сек. Имеются основания полагать, что когда-то в будущем это нормативное ограничение будет повышено до 85 л/сек.

Цифровое моделирование позволило убедиться в том, что жидкость циркулирует между нагнетательной и продуктивной скважинами на большой глубине по горячему контуру вдоль отклоняющегося от вертикали нормального разлома и что сколь-либо существенного снижения температуры в течение остающихся 26 лет реализации проекта ожидать не следует. Аналогичным образом сколь-либо существенного уменьшения нынешней скорости потока, равной 65 л/сек, также не ожидается, однако существует понижающий риск, в частности риск того, что с течением времени максимальная скорость потока, равная 85 л/сек, может уменьшиться.

На момент составления описания данного проекта распределительная система находилась на этапе планирования. Она нужна для того, чтобы сбывать тепло отработанной на электростанции жидкости на местном рынке централизованного теплоснабжения, охватывающем 600–800 домохозяйств, с целью удовлетворения сезонного спроса. Технико-экономическое обоснование системы централизованного отопления показало, что в финансовом отношении она будет являться привлекательной (Heck et al., 2009). Теплообменники уже установлены. Эта система будет представлять собой систему каскадного использования геотермального энергетического ресурса: отработавшая геотермальная жидкость будет отводиться от электростанции, при этом ее температура будет понижаться, что, однако, не приведет к уменьшению производства электроэнергии. Согласно прогнозам, система централизованного теплоснабжения будет использовать в среднем 31% от 76 500 МВт_т ч. тепла, ежегодно сбрасываемого электростанцией (при расходе 85 л/сек) (Heck et al., 2009). Прогнозируется, что среднегодовая потребность в тепле составит 23 700 МВт_т ч. тепла. Однако основная часть спроса приходится на зимний период, когда пиковый спрос может достигать 96% от максимальной теплопроизводительности геотермального ресурса. При меньшей скорости циркуляции жидкости, равной 65 л/сек, может использоваться до 41% теплотворной способности месторождения.

Ниже приводятся соответствующие параметры проекта:

- Температура в устье скважины: 165 °С
- Температура жидкости, сбрасываемой электростанцией: 70 °С
- Максимальная скорость потока жидкости: 85 л/сек

- Разрешенная скорость потока жидкости на данный момент: 65 л/сек
- Максимальная тепловая энергия, подаваемая на электростанцию: 34 МВт_т
- Установленная на данный момент тепловая энергия, подаваемая на электростанцию: 26 МВт_т
- Максимальная электроэнергия в контрольной точке: 4,8 МВт_э
- Установленная на данный момент электроэнергия в точке отсчета: 3,7 МВт_э
- Среднегодовое количество часов выработки электроэнергии в 2012–2015 годах: 8 000 часов
- Температура жидкости, подаваемой в систему централизованного теплоснабжения: 70 °С
- Температура жидкости, сбрасываемой из централизованной системы отопления: 45 °С
- Скорость подачи теплоносителя в централизованную систему отопления: 65 л/сек
- Предполагаемый процент использования: 41%
- Остающийся срок осуществления проекта: 26 лет.

Количественный анализ

Электричество

Эта потенциальная дополнительная извлекаемая энергия рассчитывается и классифицируется отдельно. В настоящее время не ясно, может ли поддерживаться скорость циркуляции теплоносителя на уровне 85 л/сек на протяжении всего срока эксплуатации станции. Расчеты допускают возможное сокращение максимальной скорости циркуляции жидкости на 10% в качестве низкой оценки.

Ниже приводятся:

- Температура на входе и выходе из электростанции: 165 °С/70 °С;
- Время работы (низкое/среднее/высокое): 7 600/8 000/8 400 часов в год;
- Предполагаемый коэффициент преобразования тепловой энергии в электроэнергию: 14,2%.

Остающийся срок эксплуатации месторождения составляет 26 лет. Максимальная мощность брутто электростанции в Инсхайме составляет 4,8 МВт_э. Электроэнергия, необходимая для работы оборудования, в частности насоса с трансмиссионным валом, поступает из национальной энергосети, и таким образом вся производимая станцией энергия экспортируется. Максимальная мощность брутто достигается при скорости циркуляции жидкости, равной 85 л/сек. Производство в настоящее время ограничивается нормой, разрешающей циркуляцию в объеме 65 л/сек. Имеются основания полагать, что этот предел когда-то в будущем будет повышен до 85 л/сек.

Подсчет количества вырабатываемой электроэнергии на протяжении остающегося времени осуществления проекта основан на экстраполяции отмеченных показателей производства электроэнергии за первые четыре года эксплуатации. Средняя оценка исходит в того, что производство будет продолжаться при скорости циркуляции жидкости, равной 65 л/сек, и исчисляться 8 000 часов в год (91% от общего показателя использования мощностей возможной продолжительности) на протяжении оставшегося срока осуществления проекта. Существует риск того, что возможности эксплуатации станции с течением времени сократятся по техническим причинам, что приведет к снижению производственных показателей. Низкая оценка основана на среднем сокращении коэффициента использования мощностей до 87% (7 600 часов в год) в течение остающегося срока эксплуатации станции по сравнению с средним показателем в прошлом. Существует потенциальная возможность увеличения среднего коэффициента использования мощностей станции с течением времени по мере

повышения эффективности управления ею. Потенциал повышения производительности основан на возможности достижения 96-процентного использования мощностей (8 400 часов в год).

Имеются основания предполагать, что нормативы будут изменены в обозримом будущем, в связи с чем скорость циркуляции теплоносителя можно будет увеличить до 85 л/сек в остающийся срок осуществления проекта, наряду с повышением всех других параметров:

- Скорость циркуляции жидкости: 65 л/сек;
- Возможные скорости циркуляции в будущем (низкая/средняя/высокая): 76,5/85/85 л/сек.

Тепло

Подсчет извлекаемого тепла основан на смоделированном спросе на тепло для централизованной системы теплоснабжения. Предполагается, что спрос будет в среднем составлять 23 700 МВт_т ч. в год (Nesek et al., 2009). Верхняя и нижняя оценки основаны на том, что для среднего показателя фактор неопределенности будет составлять $\pm 10\%$

- Температура на входе/выходе из системы теплоснабжения: 70 °C /45 °C;
- Годовой спрос на тепло (низкий/средний/высокий): 21 300/23 700/26 100 МВт_т;
- Остающийся срок эксплуатации: 26 лет.

Вид продукта

Два энергетических продукта: электричество и тепло.

Контрольная точка

Контрольной точкой для электричества является распределительное устройство станции, с которого вся произведенная на станции энергия поступает в национальную сеть. Внутренние потребности в энергии покрываются за счет поставки электроэнергии из сети.

Контрольной точкой для тепла является место измерения в системе распределения тепла.

Геотермальные энергетические ресурсы

Электричество

Электричество:

Низкая оценка:	2,63 ПДж,	(3,7 МВт _э x 7 600 часов x 26 лет)
Наилучшая оценка:	2,77 ПДж,	(3,7 МВт _э x 8 000 часов x 26 лет)
Высокая оценка:	2,91 ПДж,	(3,7 МВт _э x 8 400 часов x 26 лет)

Возможная дополнительная электроэнергия при скорости циркуляции жидкости, равной 85 л/с

Возможная дополнительная электроэнергия при скорости циркуляции жидкости, равной 85 л/с:

Низкая оценка:	0,43 ПДж,	(0,6 МВт _э x 7 600 часов x 26 лет)
Наилучшая оценка:	0,82 ПДж,	(1,1 МВт _э x 8 000 часов x 26 лет)
Высокая оценка:	0,86 ПДж,	(1,1 МВт _э x 8 400 часов x 26 лет)

Тепло

Тепло:

Низкая оценка:	1,99 ПДж _Т	(21,300 МВт _Т ч. х 26 лет)
Наилучшая оценка:	2,22 ПДж _Т	(23,700 МВт _Т ч. х 26 лет)
Высокая оценка:	2,44 ПДж _Т	(26,100 МВт _Т ч. х 26 лет)

Классификация по РКООН-2009

Классификация	Количество энергии	Дополнительная информация
Класс РКООН-2009	Продукт: электричество	Инсхаймская станция вырабатывает электроэнергию непрерывно с 2012 года. Предполагаемый остающийся срок эксплуатации: 26 лет
E1.1; F1.1; G1	2,63 ПДж _э	Консервативная оценка, основанная на пятипроцентном сокращении использования мощностей
E1.1; F1.1; G2	0,14 ПДж _э	Дополнительная энергия в результате непрерывного производства при нынешней скорости циркуляции и степени использования мощностей для оставшегося срока осуществления проекта
E1.1; F1.1; G3	0,14 ПДж _э	Дополнительная энергия с учетом увеличения коэффициента использования мощностей на 5%

Классификация и подклассификация по категориям оси E

Категория	Определение по РКООН-2009	Основание для классификации
E1	Добыча и сбыт являются рентабельными в текущих рыночных условиях и при реалистичных сценариях будущих рыночных условий	В настоящее время электростанция является коммерческим предприятием, использующим действующую на рынке германскую схему стимулирующих тарифов, функционирование которой гарантировано на протяжении всего срока эксплуатации электростанции
Подкатегория	Определение по РКООН-2009	
E1.1	Добыча и сбыт являются рентабельными в текущих рыночных условиях и при реалистичных сценариях будущих рыночных условий	

Классификация и подклассификация по категориям оси F

Категория	Определение по РКООН-2009	Основание для классификации
F1	Обоснованность добычи при реализации определенного проекта разработки или при проведении горных работ подтверждена	Энергия успешно добывается и перерабатывается в электроэнергию при этом обеспечивается требуемая рентабельность
<i>Подкатегория</i>	<i>Определение по РКООН-2009</i>	
F1.1	В настоящее время ведется добыча на месторождении	

Классификация и подклассификация по категориям оси G

Категория	Определение по РКООН-2009	Основание для классификации
G1	Количества, сконцентрированные на известном месторождении, которые можно оценить с высокой степенью достоверности	В Инсхайме было пробурено две скважины. Нагнетательная скважина была возбуждена. Были произведены испытания на приток и на приемистость. В настоящее время система функционирует. Таким образом, инсхаймский геотермальный энергетический источник может рассматриваться как «известный» и все ресурсы классифицируются как G1, G2 и G3. Если результаты моделирования подтвердили высокую степень достоверности того, что показатели температуры и потока будут сохраняться на протяжении всего срока работы электростанции, то в отношении коэффициента использования мощностей станции определенность отсутствовала. Он может снизиться в результате более высоких, чем предполагалось, эксплуатационных требований или увеличиться в результате повышения эффективности
G2	Количества, отнесенные к известному месторождению, которое можно оценить со средней степенью достоверности	
G3	Количества, отнесенные к известному месторождению, которое можно оценить с низкой степенью достоверности	

<i>Классификация</i>	<i>Количество энергии</i>	<i>Дополнительная информация</i>
Класс РКООН-2009	Продукт: Электричество	Инсхаймская электростанция могла бы вырабатывать дополнительное количество электроэнергии, если бы нормами допускалось увеличение скорости циркуляции жидкости до 85 л/с
E2; F1.3; G1	0,43 ПДж,	Консервативная оценка, основанная на 5-процентном сокращении коэффициента использования мощностей и 10-процентном сокращении потока жидкости
E2; F1.3; G2	0,39 ПДж,	Дополнительная энергия с учетом непрерывного производства при сохранении нынешних эксплуатационных показателей и коэффициента использования мощностей на протяжении остающегося срока осуществления проекта
E2; F1.3; G3	0,04 ПДж,	Дополнительная энергия в случае повышения коэффициента использования мощностей на 5%

Классификация и подклассификация по категориям оси E

<i>Категория</i>	<i>Определение по РКООН-2009</i>	<i>Основания для классификации</i>
E2	Предполагается, что добыча и сбыт будут экономически рентабельны в обозримом будущем	Весьма вероятно, что в обозримом будущем регулирующие органы повысят предельную скорость циркуляции жидкости с 65 л/с до 85 л/с

Классификация и подклассификация по категориям оси F

<i>Категория</i>	<i>Определение по РКООН-2009</i>	<i>Основания для классификации</i>
F1	Была подтверждена возможность добычи в рамках определенного проекта разработки месторождения или проведения горных работ	Станция проектировалась с учетом того, что скорость циркуляции жидкости будет составлять 85 л/с. Характеристики существующей электростанции позволяют получать и перерабатывать дополнительное количество энергии
Подкатегория	Определение по РКООН-2009	
F1.3	Завершены достаточно подробные исследования с целью продемонстрировать целесообразность добычи путем реализации определенного проекта разработки или горных работ	

Классификация и подклассификация по категориям оси G

Категория	Определение по РКООН-2009	Основания для классификации
G1	Количества, отнесенные к известному месторождению, которые можно оценить с высокой степенью достоверности	<p>В Инсхайме было пробурено две скважины. Нагнетательная скважина была возбуждена. Были произведены испытания на приток и на приемистость. В настоящее время система функционирует. Таким образом, инсхаймский геотермальный энергетический источник может рассматриваться как «известный», и все ресурсы классифицируются как G1, G2 и G3.</p> <p>Если результаты моделирования подтвердили высокую степень достоверности того, что показатели температуры и потока будут сохраняться на протяжении всего срока работы электростанции, то в отношении коэффициента использования мощностей станции определенность отсутствовала. Он может снизиться в результате более высоких, чем предполагалось, эксплуатационных требований или увеличиться в результате повышения эффективности</p>
G2	Количества, отнесенные к известному месторождению, которые можно оценить со средней степенью достоверности	
G3	Количества, отнесенные к известному месторождению, которые можно оценить с низкой степенью достоверности	

Классификация	Количество энергии	Дополнительная информация
Класс РКООН-2009	Товар: Тепло	В настоящее время строительство сети централизованного теплоснабжения в Инсхайме находится на этапе планирования. Теплообменник уже установлен, и ведется работа над распределительной сетью, которая будет обслуживать приблизительно 600–800 домохозяйств
E1.1; F1.3; G1	1,99 ПДж _т	Консервативная оценка, основанная на меньшем на 10% спросе на тепло по сравнению с тем, который предсказывался для 26-летнего срока осуществления проекта
E1.1; F1.3; G2	0,23 ПДж _т	Дополнительная энергия на основе предсказуемого спроса на 26-летний срок осуществления проекта
E1.1; F1.3; G3	0,22 ПДж _т	Дополнительная энергия на основе на 10% более высокого спроса на тепло по сравнению с тем, который прогнозировался на 26-летний срок осуществления проекта

Классификация и подклассификация по категориям оси E

Категория	Определение по РКООН-2009	Основания для классификации
E1	Добыча и сбыт являются рентабельными при текущих рыночных условиях и реалистичных прогнозах будущих рыночных условий. Есть разумные основания полагать, что все разрешения/договоры будут получены и заключены в течение разумного периода времени	Местный рынок тепла хорошо изучен и обеспечивает надежную коммерческую основу для создания системы централизованного теплоснабжения. Есть разумные основания предполагать, что все разрешения/договоры будут получены/заключены в течение разумного периода времени
Подкатегория	Определение по РКООН-2009	
E1.1	Добыча и сбыт являются рентабельными при текущих рыночных условиях и реалистичных прогнозах будущих рыночных условий	

Классификация и подклассификация по категориям оси F

Категория	Определение по РКООН-2009	Основания для классификации
F1	Возможность добычи путем реализации определенного проекта подтверждена	В настоящее время сеть централизованного теплоснабжения в Инсхайме находится на стадии планирования. Технология уже была продемонстрирована в рамках аналогичных проектов, реализованных в Рейнском грабене
Подкатегория	Определение по РКООН-2009	
F1.3	Завершены достаточно подробные исследования с целью продемонстрировать целесообразность добычи путем реализации определенного проекта разработки	

Классификация и подклассификация по категориям оси G

Категория	Определение по РКООН-2009	Основания для классификации
G1	Количества, отнесенные к известному месторождению, которые можно оценить с высокой степенью достоверности	В настоящее время сбрасываемое электростанцией в Инсхайме тепло является достаточным для удовлетворения спроса на тепло в Инсхайме. Увеличение скорости потока до 85 л/с позволит получать еще большее количество дополнительного тепла. Неопределенность связана с прогнозируемым спросом
G2	Количества, отнесенные к известному месторождению, которые можно оценить со средней степенью достоверности	
G3	Количества, отнесенные к известному месторождению, которые можно оценить с низкой степенью достоверности	

Справочная литература

Garnish, J., Baria, R., Baumgärtner, J., Gérard, A., (1994). The European Hot Dry Rock Programme 1994-1995, *GRC Trans.*

Baria R, Garnish J, Baumgartner J, Gerard A, Jung R, (1995). Recent development in the European HDR research programme at Soultz-Sous-Forêt (France). Proceeding of the World Geothermal Congress, Florence, Italy, International Geothermal Association, Vol. 4, 2631-2637, ISBN 0-473-03123-X.

Baumgärtner, J., Teza, D. and Wahl, G. (2013). Gewinnung geothermischer Energie durch Entwicklung und Zirkulation eines Störungssystems im Kristallin und deren mikroseismische Überwachung am Beispiel des Geothermieprojektes Insheim (Extraction of geothermal energy through the development and circulation of controlled systems in the crystalline basement and their microseismic monitoring, using the example of the geothermal project Insheim). Final report to Bestec GmbH. Accessed online 4 Feb 2016: <http://edok01.tib.uni-hannover.de/edoks/e01fb14/777426781.pdf>.

Baumgärtner, J. and Lerch, C. (2013): Geothermal 2.0: The Insheim Geothermal Power Plant. The second generation of geothermal power plants in the Upper Rhine Graben. Third European Geothermal Review. Geothermal Energy for Power Production. June 24-26, 2013, Mainz, Germany.

Baumgärtner, J., Hettkamp, T., Teza, D., Kölbel, T., Mergner, H., Schlagermann, P. and Lerch, C. (2013): Betriebserfahrungen mit den Geothermiekraftwerken Landau, Insheim und Bruchsal. bbr Fachmagazin für Brunnen- und Leitungsbau.

Gérard, A., Baumgärtner, J., Baria, R., 1997. An attempt towards a conceptual model derived from 1993-1996 hydraulic operations at Soultz. In: *Proceedings of NEDO International Geothermal Symposium*, Sendai, 2, pp. 329–341.

Heck, P., Anton, T., Oßwald, D., Müller, J. and Speicher, M. (2009). Entwicklung der Gemeinden Insheim und Rohrbach zu „Geowärmedörfern« (Development of Local Insheim and Rohrbach to "Geothermal Energy villages"). Institute for Applied Material Flow Management Research Report. Accessed online 4 Feb 2016: 00ea http://www.wald-rlp.de/index.php?eID=tx_nawsecuredl&u=0&g=0&t=1454652674&hash=bed002693004cf203761dfc53e7679858a461768&file=fileadmin/website/fawfseiten/projekte/downloads/Insheim.pdf.

Weblink: <http://www.geothermie-insheim.de>

Пример проекта 4: Геотермальный проект «Ротлигенд-3»

Место осуществления проекта: Нидерланды

Данные по состоянию на 2010 год

Время оценки: май 2015 года

Метод количественного анализа: стохастические расчеты, основанные на неопределенности параметров гидротермального резервуара и стандартной двухскважинной/дуплексной схеме разработки

Вид оценки (детерминистская/вероятностная): вероятностная

Краткое описание проекта

Проект по проведению разведки геотермальных энергетических ресурсов «Ротлигенд-3» был запущен в 2010 году. Цель проекта – обеспечить покрытие базовой тепловой нагрузки теплиц и замену значительного объема тепловой энергии, поступающей от работающих на газе теплоэлектроэнергетических систем. Рассматриваемый участок был отобран для дальнейшего изучения по итогам построения региональной карты потенциальных геотермальных энергетических ресурсов. Изучение предполагало построение детального геологического профиля с применением поднабора данных, взятых из общедоступного набора геологических данных Нидерландов. Этот набор включал скважинные данные, полученных на пяти опорных скважинах, и наборы данных сейсморазведки в форматах 3D и 2D.

Исходя из предполагаемой целевой схемы размещения скважин и разницы в давлении между добытыми и нагнетательными скважинами, с использованием программного обеспечения «DoubletCalc» была рассчитана ориентировочная оценка геотермальных энергетических ресурсов (МВт), выраженная как P90, P50 и P10 [1]. Срок действия лицензии на разработку месторождения в Нидерландах, как правило, составляет 35 лет. Ожидаемое число скважино-часов на паре скважин составляет 7 000 часов в год. Предварительные расчеты показывают, что через 55 лет термический разрыв приведет к утрате рентабельности; но имеются все основания полагать, что лицензия на разработку месторождения будет продлена на весь технический срок службы системы.

На указанное время настоящей оценки лицензия на разведку была выдана; существует высокая степень уверенности в том, что все лицензии на разведочное бурение также будут выданы уже в ближайшем будущем, а в случае его успешного проведения, будет выдана лицензия на добычу. На заключительном этапе подготовки финансирования проекта ожидается предоставление гранта на установление льготного тарифа на подачу в сеть [3] и гранта для гарантийного фонда [4].

Количественный анализ

Оценка количественных характеристик получена на основе стандартизированных ориентировочных расчетов геотермальных энергетических ресурсов с использованием программного обеспечения «DoubletCalc», проведение которых является предварительным условием для задействования схемы государственной финансовой поддержки. Эта стохастическая оценка основана на учете неопределенности геологических параметров: общей мощности, отношения эффективной мощности к общей проницаемости, глубины залегания и минерализации воды в породе-коллекторе (диаграмма 1). Технические и монтажные проекты, а также эксплуатационные параметры соответствуют принятой в Нидерландах стандартной практике.

Диаграмма 1
Входные данные для ориентировочной оценки геотермальных энергетических ресурсов проекта

Doublet Calculator 1.4.3

number of simulation runs (-) 5000 Calculate! Open Scenario Save Scenario Exit Program

file: c:\users\mjnlieffhfiga_resource_classification\iga_rotliegend_application_example2.xml

Геотехнические входные данные

А) Характеристики пород-коллекторов

Характеристика	мин.	средн.	макс.
проницаемость коллектора (мД)	175	310	600
отношение эффективной мощности коллектора к общей (-)	0,98	0,99	1,00
общая мощность коллектора (м)	85	95	115
мощность кровли коллектора у добычной оазаины (м ФБГ)	1665,0	1850	2035,0
мощность кровли коллектора у нагнетательной оазаины (м ФБГ)	1638,0	1820	2002,0
минерализация водные коллекторе	120000	180000	200000

Характеристика	значение
отношение горизонтальной проницаемости коллектора к вертикальной (отношение k _г /k _в коллектора)	1
температура на поверхности (°C)	10
геотермический градиент (°C/м)	0,031
[средняя температура у забоя добычной оазаины (°C)]	0
[персональное давление у забоя добычной оазаины (бар)]	0,0
[персональное давление у забоя нагнетательной оазаины (бар)]	0,0

В) Характеристики пары скважин и насосов

Характеристика	значение
температура на выходе из теплообменника (°C)	25
расстояние между скважинами на уровне коллектора (м)	1460
КПД насосной системы (-)	0,60
глубина установки насоса в добычной оазаине (м)	500
перепад давления, создаваемый насосом (бар)	65

С) Характеристики скважин

длина рассчитываемого участка (м)

Добычная оазаина

конечный диаметр добычной оазаины (дюймы)	8,5
оазаин-фактор у забоя добычной оазаины (-)	0
угол наклона добычной оазаины (град.)	40
оазаин-фактор, обусловленный углом наклона добычной оазаины (-)	-0,52

Обсадня колонна	обсадные трубы добычной оазаины (м вдоль оси оазаины)	глубина обсадных труб (м ФБГ)	внутренний диаметр труб добычной оазаины (дюймы)	шероховатость поверхности труб добычной оазаины (милли-дюймы)
1	500	500	5	1,2
2	1054	1054	12,375	1,2
3	1930	1850	8,625	1,2
4				
5				
6				
7				
8				

Нагнетательная оазаина

конечный диаметр добычной оазаины (дюймы)	8,5
оазаин-фактору забоя нагнетательной оазаины (-)	0
угол наклона нагнетательной оазаины (град.)	40
оазаин-фактор, обусловленный углом наклона нагнетательной оазаины (-)	-0,52

Обсадня колонна	обсадные трубы нагнетательной оазаины (м вдоль оси оазаины)	глубина обсадных труб нагнетательной оазаины (м ФБГ)	внутренний диаметр труб нагнетательной оазаины (дюймы)	шероховатость поверхности труб нагнетательной оазаины (милли-дюймы)
1	50	50	5	1,2
2	1054	1054	12,375	1,2
3	1930	1820	8,625	1,2
4				
5				
6				
7				
8				

[] Факультативно

Диаграмма 2
Результаты расчетов вероятностным методом*

Geotechnical parameters (input data)				Geotechnical parameters (output data)			
Characteristic	min.	aver.	max.	Parameter, calculated by Monte Carlo (stochastic input data)	P90	P50	P10
коэффициент проницаемости коллектора (мД)	175,0	310,0	600,0	эффективная горизонтальная проницаемость коллектора (эффективная мД коллектора)	22,26	30,17	45,26
отношение эффективной мощности коллектора к общей (-)	0,98	0,99	1,0	весовой расход жидкости (кг/сек)	58,01	73,05	94,15
общая мощность коллектора (м)	85,0	95,0	115,0	объемная производительность насоса (м³/ч)	188,0	237,6	306,5
мощность кровли коллектора у добычной скважины (м ФВГ)	1665,0	1850,0	2035,0	необходимая мощность насоса (кВт)	565,8	715,1	922,4
мощность кровли коллектора у нагнетательной скважины (м ФВГ)	1638,0	1820,0	2002,0	оценка ресурса геотермальной энергии (МВт)	6,38	8,34	10,95
минерализация воды в коллекторе	120000,0	180000,0	200000,0	КПД (кВт/кВт)	10,6	11,6	12,7
Characteristic	value			Parameter, calculated by Monte Carlo (stochastic input data)	P90	P50	P10
количество протонов в моделирующей программе (-)	5000,0			давление у забоя добычной скважины (бар)	181,0	192,75	204,76
отношение горизонтальной проницаемости коллектора к вертикальной (отношение мД/м коллектора) (-)	1,0			давление у забоя нагнетательной скважины (бар)	178,5	189,6	200,59
температура на поверхности (°C)	10,0			перепад давления в добычной скважине (бар)	18,88	21,9	23,67
геотермический градиент (°C/м)	0,031			перепад давления в нагнетательной скважине (бар)	29,43	34,12	36,86
средняя температура у забоя добычной скважины (°C)	0,0			температура у забоя добычной скважины (°C)	65,68	68,85	72,02
первоначальное давление у забоя добычной скважины (бар)	0,0			температура на выходе из теплообменника (°C)	64,79	67,9	70,99
первоначальное давление у забоя нагнетательной скважины (бар)	0,0			базовый вариант (исходные данные с медленными значениями)	значение		
температура на выходе из теплообменника (°C)	35,0			эффективная мД коллектора (мД)	29,16		
расстояние между скважинами на уровне коллектора (м)	1460,0			весовой расход жидкости (кг/сек)	70,65		
КПД насосной системы (-)	0,6			объемная производительность насоса (м³/ч)	228,7		
глубина установки насоса в добычной скважине (м)	500,0			необходимая мощность насоса (кВт)	688,1		
перепад давления, создаваемый насосом (бар)	65,0			оценка ресурса геотермальной энергии (МВт)	7,97		
номинальный диаметр добычной скважины (дюймы)	8,0			КПД (кВт/кВт)	11,6		
скин-фактор у забоя добычной скважины (-)	0,0			давление у забоя добычной скважины (бар)	193,2		
скин-фактор, обусловленный углом наклона добычной скважины (-)	20,52			давление у забоя нагнетательной скважины (бар)	189,96		
обсадные трубы добычной скважины (м вдоль осей скважины)	500,0; 1054,0; 1930,0			перепад давления в добычной скважине (бар)	22,14		
глубина обсадных труб добычной скважины (м ФВГ)	500,0; 1054,0; 1850,0			перепад давления в нагнетательной скважине (бар)	34,61		
внутренний диаметр труб добычной скважины (дюймы)	5,0; 12,38; 8,62			температура коллектора у забоя добычной скважины (°C)	68,82		
внутренний диаметр труб добычной скважины (дюймы)	1,2; 1,2; 1,2			температура на выходе из теплообменника (°C)	67,83		
номинальный диаметр добычной скважины (дюймы)	8,5			давление на выходе из теплообменника (бар)	24,73		
скин-фактор в забое нагнетательной скважины (-)	0,0			* Средняя глубина залегания коллектора.			
скин-фактор, обусловленный углом наклона нагнетательной скважины (-)	-0,52						
обсадные трубы нагнетательной скважины (м вдоль осей скважины)	50,0; 1054,0; 1930,0						
глубина обсадных труб нагнетательной скважины (м ФВГ)	50,0; 1054,0; 1820,0						
внутренний диаметр труб нагнетательной скважины (дюймы)	5,0; 12,38; 8,62						
шероховатость поверхности трубы нагнетательной скважины (милли-дюймы)	1,2; 1,2; 1,2						

* Экономические допущения приняты для отопления теплиц. Поставка тепла гарантирована тем, что оператор проекта является пользователем поставляемого тепла.

Производимым продуктом/товаром является тепло.

Контрольная точка

Контрольной точкой является место определения льготного тарифа на основе данных измерений произведенного тепла на выходе из вторичного контура теплообменника, которые производятся согласно спецификациям, подробно изложенным в документах, регулирующих механизм установления льготных тарифов на подачу энергии в сеть. Энергия, использованная для собственных потребностей, уже была вычтена.

Геотермальные энергетические ресурсы

Геотермальные энергетические ресурсы:

Низкая оценка (P90):	8,3 ПДж _т (330 МВт-год);	6 МВт _т за 55 лет при 7 000 скважино-часов/год
Наилучшая оценка (P50):	11,1 ПДж _т (440 МВт-год);	8 МВт _т за 55 лет при 7 000 скважино-часов/год
Высокая оценка (P10):	15,2 ПДж _т (605 МВт-год);	11 МВт _т за 55 лет при 7 000 скважино-часов/год

Классификация по РКООН-2009

Классификация и подклассификация по категориям оси E

Категория	Определение по РКООН-2009	Основание для классификации
E2	Предполагается, что добыча и сбыт станут экономически целесообразными в обозримом будущем	<i>Рентабельность</i> Экономический анализ ориентировочных оценок геотермальных энергетических ресурсов позволил доказать, что рентабельность проекта обеспечивается при оценке геотермальных ресурсов, равной P90
<i>Подкатегория</i>	<i>Определение по РКООН-2009</i>	
	Неприменимо	<p><i>Финансирование</i></p> <p>Поданы заявки на применение принятых правительством схем по «установлению льготных тарифов на подаваемую в сеть энергию» и выделению средств «гарантийному фонду»; ожидается, что они будут удовлетворены. Банковские кредиты предоставляются при условии удовлетворения заявок на применение схем государственной финансовой поддержки. Кредиты на уровне провинции предоставлены</p> <p><i>Лицензирование</i></p> <p>Необходимая для проведения разведки лицензия получена. Техническая оценка буровых работ еще не проверена органом горного надзора. Если испытания разведочных скважин дадут уверенность в рентабельности разработки, то вопрос о выдаче лицензии на добычу можно считать решенным</p> <p><i>Социальные вопросы</i></p> <p>Со стороны широкой общественности не ожидается выступлений за приостановку или прекращение процесса выдачи необходимых лицензий, поскольку общественность рассматривает использование геотермальной энергии для отопления теплиц как благоприятный для окружающей среды и предпочтительный вариант перехода на «зеленую» энергию в тепличном хозяйстве, который обеспечивает эксплуатационную безопасность процесса</p>

Классификация и подклассификация по категориям оси F

Категория	Определение по РКООН-2009	Основание для классификации
F3	Обоснованность добычи при реализации определенного проекта разработки или при горных работах не может быть оценена из-за недостатка технических данных	<p><i>Геологические исследования</i></p> <p>В целях надлежащей оценки геотермального потенциала были проведены подробные исследования недр, с использованием соответствующих скважинных данных и данных сейсморазведки в 2D и 3D. Доклады об оценке геотермального потенциала являются основой для проектирования скважин и составления плана буровых работ. Доклад о плане буровых работ представлен в соответствующий орган</p> <p><i>Технические исследования</i></p> <p>Представлен доклад о предварительном проекте скважин. Доклад о предварительном проекте монтажных работ на поверхности также представлен. Эти доклады использованы при проведении экономической оценки. Предполагается, что все выявленные технические вопросы будут решены в рамках стандартной отраслевой практики</p>
Подкатегория	Определение по РКООН-2009	
F3.1	Если в результате проведения геологических исследований и геологоразведочных работ на каком-либо конкретном участке с достаточной степенью достоверности была выявлена потенциальная возможность обнаружения отдельного месторождения и существует необходимость проведения бурения или испытаний для подтверждения наличия такого месторождения в такой форме, такого качества и такого количества, что это позволит провести оценку обоснованности добычи	

Классификация и подклассификация по категориям оси G

Категория	Определение по РКООН-2009	Основание для классификации
G4	Оцененные количества, отнесенные к потенциальному месторождению, которые основаны главным образом на косвенных данных	<p>Геотермальный проект рассматривается в качестве геологоразведочного проекта, поскольку:</p> <p>в соответствии с лицензией на проведение геологоразведочных работ скважины не были пробурены</p>
Подкатегория	Определение по РКООН-2009	
G4.1	Низкая оценка количеств	<p>Ближайшая опорная скважина расположена примерно в 20 км. Полученные на этой скважине данные дают высокую степень уверенности в наличии коллектора, но не в его продуктивности, поскольку «корреляционный интервал» соответствующих коллекторских свойств значительно ниже</p>
G4.2	Увеличение объема до категории G4.1, с тем чтобы сумма $G4.1 + G4.2$ соответствовала наилучшей оценке количеств	
G4.3	Увеличение объема до $G4.1 + G4.2$, с тем чтобы сумма $G4.1 + G4.2 + G4.3$ соответствовала высокой оценке количеств	

Классификация и количественный анализ по РКООН-2009

Классификация	Количество энергии	Дополнительная информация
Класс РКООН-2009	Используемые единицы энергии: петаджоули (ПДж) = ($\times 10^{15}$ Дж)	
E2; F3.1; G4.1	8,3 ПДж	Эта оценка соответствует P90
E2; F3.1; G4.2	2,8 ПДж	Пошаговое приращение между наилучшей и низкой оценками. Оценка, соответствующая P50-P90 (11,1–8,3 ПДж). Следовательно, G4.2 является пошаговым приращением к G4.1
E2; F3.1; G4.3	4,2 ПДж	Пошаговое приращение между высокой и наилучшей оценками. Оценка, соответствующая P10-P50 (15,2–11,1 ПДж)

Оговорка

В примере представлены факты и цифры, которые в общих чертах позаимствованы из реализуемого в Нидерландах проекта «Кукуксполдер». С данными и информацией можно ознакомиться на веб-сайте RVO² [5].

Справочная литература

- [1] DoubletCalc, <http://nlog.nl/nl/geothermalEnergy/tools.html>
- [2] ThermoGis, www.thermoGis.nl
- [3] Application documents Guarantee fund: www.RVO.nl
- [4] Feed in Tariff information, www.rvo.nl/
- [5] S. Henares, M. R. Bloemsma, M. E. Donselaar, H. F. Mijnlief, A.E. Redjosentono, H. G. Veldkamp, G. J. Weltje. 2014, The role of detrital anhydrite in diagenesis of Aeolian sandstones (Upper Rotliegend, The Netherlands), Implications for reservoir-quality.

² <http://www.rvo.nl/subsidies-regelingen/projecten/eerste-aardwarmtecluster-koekoekspolder>.

Пример проекта 5: Нидерландская часть Ротлигендского месторождения – вся территория страны

Место осуществления проекта: Нидерланды, нидерландская часть Ротлигендского гидротермального резервуара
Данные по состоянию на 2014 год
Время оценки: май 2015 года
Метод количественного анализа: стохастические расчеты, основанные на неопределенности параметров гидротермального резервуара и стандартной двухскважинной/дуплексной схеме разработки

Краткое описание проекта

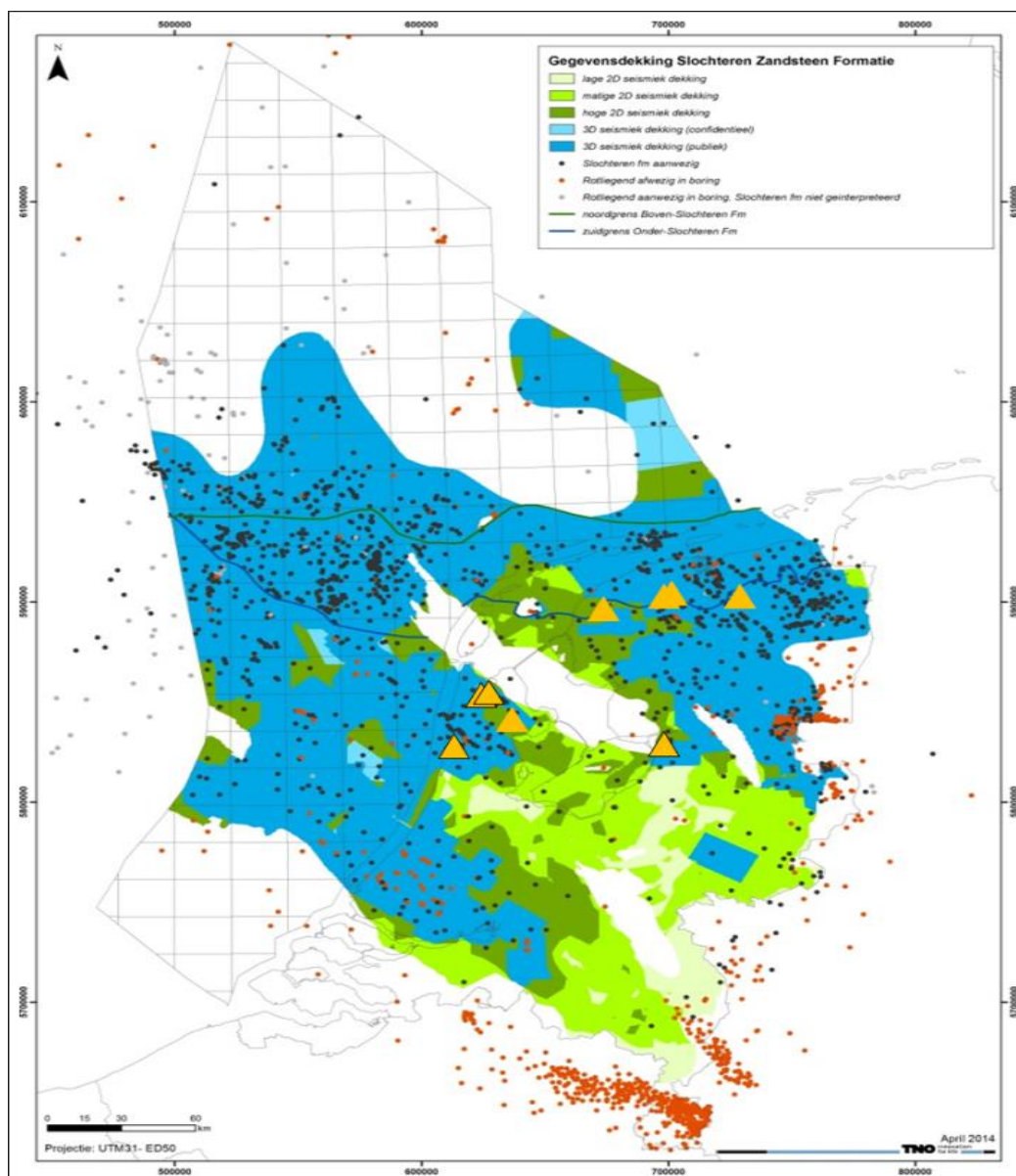
Представленная пермскими отложениями ротлигендская свита пользуется широкой известностью в качестве высокопродуктивной газовой залежи, присутствующей в Нидерландах. Бурение на разведку и добычу газа на Ротлигендском месторождении проводилось более тысячи раз. Места залегания и качество гидротермального месторождения/резервуара изучены относительно хорошо. В последнее десятилетие нидерландские владельцы парниковых хозяйств проявили особый интерес к смене источника тепла для своих теплиц, т. е. переходе с природного газа на геотермальную энергию. Карта геотермального месторождения была построена с использованием общедоступных данных бурения и сейсморазведки (van Wees et al., 2012, ThermoGIS). На диаграмме 1 приведена информация о наличии данных для оценки резервуара. В пределах Ротлигендского геотермального месторождения реализуется и запланировано к реализации несколько геотермальных проектов (диаграмма 1).

В настоящее время действует чуть менее 70 лицензий на проведение работ, связанных с геотермальными ресурсами (МЕА 2015). В соответствии с тремя такими лицензиями произведено успешное бурение Ротлигендского геотермального резервуара, позволившее наладить его разработку четырьмя парами скважин. Примерно 6 из этих 70 лицензий до сих пор относятся к стадии геологоразведки Ротлигендского резервуара. 11 лицензий на проведение геологоразведочных работ на Ротлигендском резервуаре либо истекли, либо были отозваны.

По всем разведочным лицензиям, на выдачу которых были поданы заявки или которые уже были выданы, правительство Нидерландов имеет одну или более ориентировочную оценку энергетических ресурсов в рамках предлагаемого проекта, который будет выполняться в соответствии с лицензией. По геотермальным системам на этапе добычи правительство Нидерландов получает данные о добыче. Оператор геотермального месторождения также представляет свой производственный план, включая характеристики (будущей) добычи и/или оценку установленной мощности, а также ожидаемое годовое число часов использования максимума нагрузки на протяжении жизненного цикла проекта. Лицензии на добычу, как правило, предоставляются на 35 лет, если данные моделирования не покажут, что холодный водный фронт не перейдет через границу лицензионного участка до истечения этого срока. В случае успешного продолжения работ с точки зрения эксплуатации, а также охраны труда, безопасности и окружающей среды предполагается, что никаких препятствий для продления срока действия лицензии не возникнет.

Различные определенные проекты могут быть классифицированы по РКООН-2009, а ориентировочные оценки энергетических ресурсов пересчитаны в произведенную на протяжении жизненного цикла проекта энергию.

Диаграмма 1
 Карта-схема с характеристикой данных, используемых для оценки гидротермального Ротлигендского месторождения*



* Выделенные цветом участки указывают на присутствие Ротлигендского месторождения. Синий цвет указывает на наличие общедоступных данных сейсморазведки в 3D, голубой цвет означает, что данные сейсморазведки в 3D до сих пор являются конфиденциальными, темно-зеленый цвет указывает на высокую плотность наблюдений сейсморазведки в 2d, светло-зеленый цвет – на низкую плотность (как правило устаревшего) сейсморазведочного профиля в 2D. Черными точками обозначены скважины, который доказали присутствие Ротлигендского месторождения, красными точками – скважины, доказавшие отсутствие Ротлигендского месторождения (причина не раскрыта: не сформировалось, геологическое нарушение, эрозия). Зелеными точками обозначены скважины, который доказали наличие ротлигендской свиты пластов, но не обнаружили породы-коллекторы. Оранжевые треугольники обозначают местоположение целых пар скважин Ротлигендского месторождения. Треугольники, стороны которых выделены черным цветом, обозначают пробуренные/эксплуатационные пары скважин, треугольники, стороны которых не выделены, – пары скважин на стадии перспективного планирования.

Классификация геотермальных ресурсов, относящихся к геотермальным проектам Ротлигендского месторождения

Проекты по добыче

В настоящее время добыча на Ротлигендском месторождении ведется в пределах четырех геотермальных систем. Все системы находятся в эксплуатации, т. е. выданы все лицензии на добычу или на продолжительное испытание, при этом считается, что вероятность получения лицензии на официальную добычу составляет 100%. Такое положение дел соответствует определению E1 и дополнительному пояснению *«Добыча и сбыт являются рентабельными в текущих рыночных условиях и при реалистичных сценариях будущих рыночных условий. Все необходимые одобрения/контракты либо уже оформлены, либо есть разумные основания полагать, что все такие одобрения/контракты будут получены в течение разумных сроков. Экономической целесообразности не угрожают кратковременные неблагоприятные рыночные условия, если долгосрочные прогнозы будут оставаться положительными»*.

Кроме того, в определении категории E1.1 сделан акцент на текущие и будущие рыночные условия (*Добыча и сбыт являются рентабельными при текущих рыночных условиях и реалистичных прогнозах будущих рыночных условий.*) в отличие от определения категории E1.2, в соответствии с которым экономически проект зависит от (целевых) государственных субсидий и/или других факторов (*Добыча и сбыт не являются рентабельными при текущих рыночных условиях и реалистичных прогнозах будущих рыночных условий, но станут экономически эффективными при государственных субсидиях и/или других факторах*).

В разделе I.2. «Виды политической поддержки», содержащемся в документе «Спецификации РКООН-2009» применительно к геотермальным энергетическим ресурсам признается, что:

- во всем мире существуют разнообразные механизмы политической поддержки, нормативные документы и финансовые стимулы (например, механизмы образования льготных тарифов на поставку, премиальные надбавки, гранты, налоговые льготы и т. д.), которые отражают то значение, которое покупатели или государства придают возобновляемым источникам энергии (или конкретно геотермальной энергии);
- некоторые энергетические субсидии могут предоставляться для реализации каждого отдельного проекта, в то время как другие распространяются на все такие предлагаемые на рынке проекты, относящиеся к использованию возобновляемой/геотермальной энергии;
- как правило, энергетические субсидии постепенно сворачиваются с течением времени или после того, как возобновляемые источники энергии, отвечающие условиям предоставления субсидий, достигают определенной доли в общем объеме производства энергии.

Улучшению экономических характеристик рассматриваемых проектов способствует оказываемая им поддержка в рамках нидерландской системы поддержки устойчивой энергетики (SDE+), которая представляет собой общую систему формирования тарифов, стимулирующих реализацию проектов в области устойчивой энергетики. Вместе с тем эту систему можно рассматривать как механизм для создания единых правил игры для всех энергоносителей, уравнивающих эффект различных поддерживающих (позволяющих компенсировать издержки налоговых/политических/природоохранных) мер для неустойчивых энергоносителей, и в этой связи как часть рыночных условий, которые дают основание для классификации по подкатегории E1.1. Однако определение, содержащееся в разделе I.2, должно толковаться *sensu stricto*. Поэтому если по оси E проект классифицируется как E1.2: «в настоящее время ведется добыча», то по F-оси проект классифицируется как F1.1.

Таблица 1

Перечень оценок ресурсов каждого проекта на основе установленной мощности и оценок числа часов использования максимума нагрузки. Класс: E1.2; F1.1; G1, 2, 3

Проект	Оценка мощности (МВт)			Оценка числа часов максимума нагрузки /год			Жизненный цикл проекта (лет)	Оценка энергии за жизненный цикл проекта (ПДж)			
	Низкая	Наилучшая	Высокая	Низкая	Наилучшая	Высокая		P90	P50	P10	
I	3	5	7	7 800	8 160	8 700	35	4	5	6	
II	8	10	14	7 200	7 800	8 640	35	9	10	12	
III	7	9	11	6 600	7 200	7 920	35	7	8	9	
IV	7	9	10	7 800	8 160	8 640	35	7	8	9	
Всего	Стохастическая сумма будущего производства энергии в рамках четырех проектов								30	32	35

Ниже указаны следующие оценки классифицированных по РКООН-2009 ресурсов для «агрегированных» добывающих геотермальных систем:

Класс РКООН-2009	Степень достоверности	Оценка ресурсов (ПДж)
E1.2; F1.1; G1	Высокая степень достоверности	30
E1.2; F1.1; G2	Средняя степень достоверности	2
E1.2; F1.1; G3	Низкая степень достоверности	3

Эксплуатируемые в настоящее время геотермальные системы (таблица 1) имеют более продолжительный жизненный цикл по сравнению с периодом, указанным в лицензии на их эксплуатацию. Ресурсы, считающиеся технически извлекаемыми после истечения срока действия лицензии, который выходит за временные рамки «обозримого будущего», составляющие пять лет (раздел I.1 документа Спецификации РКООН-2009 применительно к геотермальным энергетическим ресурсам), по оси E следует (*sensu stricto*) классифицировать как E3. Однако исследования показали высокую вероятность того, что с технической точки зрения производство может начаться после истечения действия имеющейся в настоящее время лицензии – с учетом традиционной политики Нидерландов продления действия лицензии также весьма вероятно, – и поэтому допустимо отклониться от строгого соблюдения определения, соответствующего пятилетнему периоду, и рассматривать обозримое будущее как весь период до завершения технического жизненного цикла проектов. Поэтому, *sensu largo*, классификация как E2 будет более правильной также и для геологоразведочных проектов класса E3.2, которые в настоящее время классифицируются как незрелые.

В настоящее время ведется добыча, и поэтому проекты этой категории также могли бы быть отнесены к классу F1.1.

Проект	Оценка мощности (МВт)			Оценка числа часов максимума нагрузки /год			Жизненный цикл проекта (лет)	Оценка энергии за жизненный цикл проекта (ПДж)			
	Низкая	Наилучшая	Высокая	Низкая	Наилучшая	Высокая		P90	P50	P10	
I	3	5	7	7 800	8 160	8 700	10	1,2	1,5	1,8	
II	8	10	14	7 200	7 800	8 640	20	5	6	7	
III	7	9	11	6 600	7 200	7 920	15	3,1	3,5	4	
IV	7	9	10	7 800	8 160	8 640	5	1,0	1,2	1,3	
Всего	Стохастическая сумма будущего производства энергии в рамках четырех проектов								11	12	13

Ниже указаны следующие оценки классифицированных по РКООН-2009 ресурсов для «агрегированных» производящих геотермальных систем:

Класс РКООН-2009	Степень достоверности	Оценка ресурсов (ПДж)
E2; F1.1; G1	Высокая степень достоверности	11
E2; F1.1; G2	Средняя степень достоверности	1
E2; F1.1; G3	Низкая степень достоверности	1

Геологоразведочные проекты

Выдано шесть лицензий на проведение геологоразведочных работ на основе относительно продвинутых исследований по оценке ресурсов на конкретных участках. В этой связи эти проекты классифицированы как F3.1: «Если в результате проведения геологических исследований и геологоразведочных работ на каком-либо конкретном участке с достаточной степенью достоверности была выявлена потенциальная возможность обнаружения отдельного месторождения и существует необходимость проведения бурения или испытаний для подтверждения наличия такого месторождения в такой форме, такого качества и такого количества, что это позволит провести оценку обоснованности добычи».

Выданные лицензии и гранты позволяют классифицировать проекты как E2: «Предполагается, что добыча и сбыт станут экономически целесообразными в обозримом будущем». По большинству проектов еще предстоит окончательно определиться с порядком проведения подземных работ, оценкой рисков и некоторыми окончательными решениями по оформлению финансирования, прежде чем начнется бурение первой разведочной скважины. Оценки ресурсов в рамках каждого проекта производятся путем стохастических расчетов, основанных на ряде оценок энергетических ресурсов, которые были получены с учетом результатов исследований на конкретных участках, и на ряде оценок годового числа часов использования максимальной нагрузки. Поскольку эти проекты реализуются независимо друг от друга, впоследствии также производится стохастическое сложение оценок ресурсов этих шести геологоразведочных проектов для получения агрегированной оценки ресурсов по этому классу.

Проект	Оценка мощности (МВт)			Оценка числа часов максимума нагрузки /год			Жизненный цикл проекта (лет)	Оценка энергии за жизненный цикл проекта (ПДж)		
	Низкая	Наилучшая	Высокая	Низкая	Наилучшая	Высокая		P90	P50	P10
V	15	21	28	7 500	8 400	8 700	35	18	22	26
VI	6	8	10	7 500	8 400	8 700	40	8	9	10
VII	6	12	17	7 500	8 400	8 700	45	12	16	20
VIII	13	20	30	7 500	8 400	8 700	35	17	22	27
IX	7	13	28	7 500	8 400	8 700	50	16	23	34
X	10	15	29	7 500	8 400	8 700	45	18	23	32
Всего	Стохастическая сумма будущего производства энергии в рамках четырех проектов							11	12	13

Ниже указаны следующие оценки классифицированных по РКООН-2009 ресурсов для «агрегированных» производящих геотермальных систем:

Класс РКООН-2009	Степень достоверности	Оценка ресурсов (ПДж)
E2; F3.1; G4.1	Высокая степень достоверности	104
E2; F3.1; G4.2	Средняя степень достоверности	12
E2; F3.1; G4.3	Низкая степень достоверности	13

Оценка ресурсов Ротлигендского месторождения

Оценки ресурсов в масштабе месторождения были проведены с использованием оценки геотермального потенциала Ротлигендского месторождения Kramer et al., 2012. Согласно этой оценке количество тепловой энергии в месте залегания в Ротлигендском резервуаре составляет 409 000 ПДж. На потенциально извлекаемую тепловую энергию, по оценкам, приходится порядка 111 000 ПДж. Определение концептуальных проектов и применение общих экономических ограничений и ограничений по потокам к карте потенциально извлекаемой тепловой энергии позволяет оценить объем извлекаемой тепловой энергии примерно на уровне 27 000 ПДж.

Разработка концептуальных проектов в обозримом будущем не предусматривается, поэтому применяется классификация E3. Общая экономическая оценка извлекаемой тепловой энергии позволяет классифицировать по подкатегории E3.2: «Экономическая целесообразность добычи не может быть определена из-за недостатка информации». Данные об извлекаемой тепловой энергии являются частью оценки потенциально извлекаемой тепловой энергии. Таким образом, оставшая часть потенциально извлекаемой тепловой энергии может рассматриваться как «пока нерентабельная» и быть классифицирована как E3.3.

Все приведенные выше цифровые данные о ресурсах, которые были указаны в работе Kramer et al., 2012, относятся к концептуальным проектам геологоразведки спаренными скважинами на основе региональной карты Ротлигендского гидрогеотермального резервуара (ThermoGis). По оси F такие концептуальные проекты можно классифицировать как F3 («степень проработки исследований и принятых обязательств»). Количество данных, лежащих в основе карты-схемы гидротермального резервуара, носит характер локального геологического исследования, и, следовательно, классификацию можно уточнить как F3.2: «Если результаты местных геологических исследований и геологоразведочных работ указывают на потенциальную возможность обнаружения одного или нескольких месторождений в каком-либо районе геологической провинции, однако для приобретения достаточной уверенности в этом необходимо собрать дополнительные данные и/или разработать дополнительные оценки, для того чтобы предложить провести бурение и испытания для подтверждения существования месторождения такой формы, такого качества и такого количества, что это позволит оценить обоснованность добычи».

Оценки рассматриваются как наилучшие оценки будущих условных геологоразведочных проектов. РКООН-2009 гласит: «Если используется только одна категория G4, то она должна отражать величину наилучшей оценки и быть равной сумме G4.1 + G4.2». В таблице 2 показана классификация вышеупомянутых оценок ресурсов по РКООН-2009.

Таблица 2

Классификация с учетом оценок ресурсов Ротлигендского месторождения по РКООН-2009

Классификация	Оценка (ПДж)
E3.2; F3.2; G4 (G4.1+G4.2)	27 000
E3.3; F3.2; G4 (G4.1+G4.2)	84 000

Оценка ресурсов Ротлигендского месторождения

При формировании портфеля проектов или для целей национальной отчетности, как правило, присутствует желание придерживаться единой наилучшей оценки ресурсов. Показатели действующих геотермальных систем могли бы быть включены при условии упоминания разных категорий (РКООН-2009, часть II, раздел IV). При включении оценок ресурсов геологоразведочных проектов данные следует надлежащим образом оценить по степени риска. Для геологоразведочных проектов (E2; F3.1; G4) риск не получить экономически жизнеспособный проект рассматривается как

низкий. Вероятность открытия (ВО), составляющая 80%, рассматривается как реалистичная. Показательным является относительно большое количество истекших или отозванных лицензий на проведение геологоразведочных работ в пределах Ротлигендского резервуара. Для этого класса ресурсов ВО оценивается на уровне 50%. Вероятность открытия остающейся части потенциально извлекаемых ресурсов тепловой энергии (E3.3; F3.2; G4) является весьма низкой. Вместе с тем как реалистичный рассматривается показатель ВО, равный 10%. В таблице приводятся результаты агрегирования данных об описанных геотермальных ресурсах.

Таблица 3

Наилучшая оценка потенциальных геотермальных ресурсов на Ротлигендском месторождении в Нидерландах

<i>Класс РКООН-2009</i>	<i>Оценка ресурсов (ПДж)</i>	<i>ВО (проценты)</i>	<i>Оценка ресурсов с учетом рисков (ПДж)</i>
E1.1; F1.1; G1+G2	32	-	32
E2; F1.1; G1+G2	12	-	12
E2; F3.1; G4 (G4.1+G4.2)	116	80	93
E3.2; F3.2; G4 (G4.1+G4.2)	27 000	50	13 500
E3.3; F3.2; G4 (G4.1+G4.2)	84 000	10	8 400
Всего ресурсов с учетом рисков			22 037

Оговорка

Все представленные цифровые данные не являются данными оператора, поскольку они имеют конфиденциальный характер. Приведенные цифровые данные представляют собой ориентировочные оценки, основанные на данных о добыче и региональных данных о геологическом строении, а также усредненных эксплуатационных данных. ВО и, следовательно, объемы, связанные с риском, являются лишь предварительными оценками. Эти значения не должны использоваться для отчетности, поскольку они приводятся только для иллюстрации портфеля проектов или отчетности о национальных ресурсах, описанной в разделе IV части II РКООН-2009, озаглавленной «Национальная отчетность по ресурсам».

Справочная литература

ThermoGis: http://www.thermogis.nl/thermogis_en.html

Kramers, L., van Wees, J.-D., Pluymaekers, M.P.D., Kronimus, A. & Boxem, T., 2012, Direct heat resource assessment and subsurface information systems for geothermal aquifers; the Dutch perspective. Netherlands Journal of Geosciences – Geologie en Mijnbouw, 91–4, pp 637–649.

UNFC-2009, United Nations Framework Classification for Fossil Energy and Mineral Reserves and Resources 2009. (UNFC-2009) http://www.unece.org/energy/se/unfc_2009.html.

MEA 2015, NATURAL RESOURCES AND GEOTHERMAL ENERGY IN THE NETHERLANDS. 2014 Annual review. An overview of exploration, production and underground storage (http://www.nlog.nl/resources/Jaarsverslag2014/ENGLISH%20Natural%20Resources%202014%20final_v1.pdf).

van Wees J.-D., Kronimus A., van Putten M., Pluymaekers M.P.D., Mijnlief H., van Hooff P., Obdam A. & Kramers L., 2012, Geothermal aquifer performance assessment for direct heat production – Methodology and application to Rotliegend aquifers. Netherlands Journal of Geosciences – Geologie en Mijnbouw. 91–4, 651–665.

Пример проекта 6: Централизованное отопление в Ходмезёвашархее

Мест осуществления проекта: Ходмезёвашархей, Венгрия

Данные по состоянию на 2012 год

Время оценки: январь 2016 года

Метод количественного анализа: оценка объемного содержания тепла

Вид оценки: вероятностная

Краткое описание проекта

Ходмезёвашархей представляет собой город средних размеров, в котором насчитывается 47 668 жителей; он расположен в юго-восточной части Среднедунайской низменности, Венгрия, Центральная Европа. Геотермальный потенциал Среднедунайской низменности уникален для Европейского континента, поскольку местом его залегания является характерная положительная геотермальная аномалия с плотностью теплового потока в диапазоне от 50 до 130 МВт/м² при среднем значении, равном 90–100 МВт/м², и геотермическом градиенте, равном почти 45 °С/км (Dövényi and Horváth, 1988). Этот повышенный тепловой поток связан с породами бассейна, относящимися к раннему-среднему миоцену, когда происходили увеличение и уменьшение толщины литосферы (вследствие этого толщина земной коры составляет «всего лишь» 22–26 км) и приближение горячей астеносферы к поверхности (Horváth and Royden, 1981).

В процессе термального прогибания бассейна сформировалась глубокая депрессия, которую заняло огромное озеро (Паннонское море), которое постепенно заполнилось отложениями осадочных пород, переносимых реками из окружающих поднятий, образуемых альпийской и карпатской горными цепями (Bérczi and Phillips, 1985; Magyar et al., 1999).

Эти многослойные пористые отложения толщиной в несколько тысяч метров («Паннонская секвенция», относящаяся к верхнему миоцену-плиоцену) имеют низкий коэффициент теплопроводности и состоят из последовательно перемежающихся глинистых и песчаных отложений. В пределах этой заполняющей бассейн последовательности во внутренней части бассейна на глубине 800–2 000 м залегают водоносные песчаные породы с температурой воды в пределах 60–90 °С. Они образуют регионально расширенный геотермальный резервуар, ресурсы которого во многих частях Среднедунайской низменности, особенно в Юго-Восточной части Венгрии, где также расположен город Ходмезёвашархей, широко используются непосредственно для отопления, а также в бальнеологических целях.

На протяжении более чем 20 лет принадлежащая муниципалитету Ходмезёвашархей компания эксплуатирует каскадную систему из 10 скважин (8 добычных и 2 реинжекционных) (Ádok, 2012). Первая скважина была пробурена в 1954 году для использования воды в медицинских целях и организации централизованного теплоснабжения. Эти скважины имеют многоцелевое назначение, обеспечивая подачу воды для централизованного теплоснабжения, коммунального горячего водоснабжения, а также для ее использования в бальнеологических целях (диаграмма 1). С учетом химического состава вода, добываемая на 3 скважинах, отнесена к категории лечебной. Действующая система состоит из двух отдельных геотермальных контуров. Термальная вода с высокой температурой (80–90 °С) сначала направляется в теплообменники станций централизованного теплоснабжения. Затем охлажденная вода (при температуре около 50 °С) на выходе частично подается во второй контур, а именно в трубопровод коммунального горячего водоснабжения, а частично подвергается обратной закачке (при температуре 35 °С). Часть воды, используемой для коммунального горячего водоснабжения, используется также в бальнеологических целях (смешивается с холодной водой). Система обеспечивает отопление 2 725 квартир и 130 общественных учреждений, включая здание

муниципалитета, больничные учреждения, музеи, школы, торговые центры и т. д. Система развивалась в несколько этапов (1967, 1984, 1994–1998, 2007 годы) за счет частичного совместного финансирования по линии Энергетической и экологической оперативной программы Европейского фонда регионального развития, но главным образом – за счет выделяемых на ее развитие ресурсов муниципалитета.

Температура теплоносителя на 6 добычных скважинах, подаваемого для целей централизованного теплоснабжения и горячего водоснабжения, колеблется в диапазоне 65–90 °С; средняя глубина скважин составляет от 1 800 до 2 400 м. Скважины подведены к пластикам-коллекторам с высоким коэффициентом проницаемости ($1,15\text{--}5,8 \times 10^{-5}$ м/с) и эффективной пористостью (0,13–0,16) (Szanyi and Kovács, 2010), за счет чего дебит термальной воды может достигать до 30 л/с. Однако в процессе эксплуатации максимальный дебит составляет 20 л/с. (Другие 2 скважины, технически также являющиеся частью каскадной системы, используются для хозяйственно-питьевого водоснабжения и бальнеологических целей. Эти 2 скважины пробурены в коллекторах более мелкого залегания и с более низкими температурами, и в настоящем примере не рассматриваются).

Интенсивное использование скважин, пробуренных и оборудованных песчаных пластах-коллекторах Верхней Паннонии в 1970-х и 1980-х годах, вело к непрерывному снижению гидростатического напора, что обусловило необходимость повторной закачки отработанного теплоносителя. В 1998 и 2007 годах были пробурены 2 реинжекционные скважины. Однако повторно закачивается только около 50% от общего объема воды, добываемой для отопительных целей (Ádok, 2012). Реинжекция не развивается главным образом из-за засорения поровых каналов. Один раз в два года необходимо проводить техническое обслуживание скважин, прочищая их водой под давлением, поскольку фильтрация закачиваемой воды осуществляется с использованием микроволоконной фильтровальной системы. Средняя температура закачиваемой воды составляет 35 °С, что свидетельствует о высоком тепловом КПД (температура добываемого теплоносителя колеблется в пределах 80–90 °С). Благодаря высокой теплоемкости матрицы породы к настоящему времени не произошло снижения температуры в коллекторе на расстоянии 300 м от забоя реинжекционной скважины (Szanyi and Kovács, 2010).

Диаграмма 1

Распределение видов использования геотермальных вод в Ходмезёвашархее
Годовой объем производства в масштабе всей каскадной системы (2009): 1 605 407 м³



Со времени расширения геотермальной системы (в 1993 году) потребление газа на теплоцентралях резко сократилось (с 4,6 млн м³ до 0,5 млн м³). В 2011 году общая доля геотермального отопления составила около 86%, в то время как на газ пришлось 14%.

Более широкое использование геотермальной энергии оказывает весьма позитивное воздействие на качество воздуха; расчетная ежегодная экономия газа составляет 4,5 млн м³, что эквивалентно 4 680 т выбросов CO₂.

Количественный анализ

Представленный количественный анализ проведен с использованием методов двух видов (подробнее см. в разделе РКООН-2009, посвященном классификации): простого прогноза добычи в рамках реализуемого в настоящее время проекта и объемного метода с использованием моделирования по методу Монте-Карло, позволяющего оценить весь (будущий, еще неиспользуемый) потенциал резервуара на основе концептуального проекта.

Количественный анализ оценки ресурсов был проведен с применением объемного метода путем моделирования параметров резервуара (площади, мощности, температуры, пористости), а также коэффициента извлекаемости по методу Монте-Карло. Допуски в отношении объема резервуара основаны на данных бурения и данных об общей площади зоны питания отдельных скважин, полученных на основе гидродинамического моделирования. Данные о температурах связаны с глубиной проходки скважин и рассчитаны на основе температур подаваемого по ним теплоносителя. В основу количеств, связанных с высокой, средней и низкой степенями достоверности, положены 90-й, 50-й и 10-й процентиля соответственно полученной совокупной функции распределения вероятностей. Подробную информацию см. в добавлении 1.

Вид продукта

Теплоноситель (энергия для отопления).

Контрольная точка

Контрольной точкой является место поступления флюида в теплообменник. Благодаря близкому расстоянию между скважинами и теплоцентралью и современным методам изоляции потери тепла между скважиной и теплообменником незначительны (измеренное снижение температуры в трубе составляет 0,1 °С/км).

Жизненный цикл проекта

Нынешний проект в Ходмезёвашархее реализуется уже в течение почти 20 лет (со все большим количеством скважин), а прогнозируемый срок его дальнейшего существования на дату вступления оценки в силу составляет еще 25 лет. Такая же продолжительность жизненного цикла здесь предполагается и для национального проекта.

Ресурсы геотермальной энергии

Потенциальные ресурсы геотермальной энергии нынешнего проекта в Ходмезёвашархее:

- наилучшая оценка: 5 ПДж

Потенциальные ресурсы геотермальной энергии в гидротермальном резервуаре в Ходмезёвашархее (национальный проект):

- низкая оценка: 93 ПДж
- наилучшая оценка: 210 ПДж
- высокая оценка: 366 ПДж

Классификация по РКООН-2009

Согласно представленным оператором данным о добыче в рамках реализуемого в Ходмезёвашархее проекта централизованного теплоснабжения, начиная с 1994 года ежегодно добывается около 0,2 ПДж тепловой энергии (в зависимости от спроса на тепло). Вместе с тем прогнозируемое количество доступных ресурсов в масштабах всего гидротермального резервуара (93 ПДж – Р90, 210 ПДж – Р50, 366 ПДж – Р10) является на несколько порядков выше благодаря его исключительным коллекторским свойствам и в первую очередь высокой интенсивности подпитывания. Из этого следует, что в рамках нынешнего проекта централизованного отопления извлекается только малая часть потенциально извлекаемого теплоносителя, который можно использовать в будущем в рамках другого(их) проекта(ов) либо параллельно реализации нынешнего проекта, либо после его завершения. В этой связи существуют два способа классификации по РКООН-2009: а) классификация реализуемого в настоящее время зрелого проекта с учетом данных о добыче за время осуществления (указывающих на извлечение только небольшой доли имеющегося теплоносителя; и б) классификация возможного(ых) будущего(их) проекта(ов) по использованию имеющихся ресурсов. Ниже представлены оба сценария:

Классификация и подклассификация нынешнего проекта по категориям оси Е

Категория	Определение по РКООН-2009	Основание для классификации
Е1	Добыча и сбыт являются рентабельными при текущих рыночных условиях и реалистичных прогнозах будущих рыночных условий	
Е1.1	Добыча и сбыт являются рентабельными при текущих рыночных условиях и реалистичных прогнозах будущих рыночных условий	<ul style="list-style-type: none"> • Проект реализуется в течение 20 лет и, исходя из всей совокупности накопленного опыта предполагается, что его реализация продолжится как минимум еще в течение 25 лет. Общая цена геотермального теплоносителя (4,0 венгерских форинта (HUF)/МДж) составляет около 2/3 цены на импортируемый газ (5,58 HUF/МДж) (данные за 2012 год, 300 HUF = 1 евро), поэтому в текущих рыночных условиях проект является рентабельным, обеспечивая покрытие существенной доли поставок на современный рынок тепловой энергии • Он оказывает весьма позитивное и поддающееся количественной оценке воздействие на снижение потребления газа и выбросов CO₂

Классификация и подклассификация нынешнего проекта по категориям оси F

Категория	Определение по РКООН-2009	Основание для классификации
F1	Обоснованность добычи при реализации определенного проекта разработки или при проведении горных работ подтверждена	
F1.1	В настоящее время ведется добыча	Проект постепенно расширялся со времени начала его реализации в 1954 году. Имеются все лицензии на производство, при этом они гарантированы на долгосрочную перспективу

Классификация и подклассификация нынешнего проекта по категориям оси G

Категория	Определение по РКООН-2009	Основание для классификации
G1	Количества, сконцентрированные на известном месторождении, которые можно оценить с высокой степенью достоверности	Исходя из прогноза добычи, имеющего среднюю степень достоверности, в ближайшие 25 лет количество извлекаемой тепловой энергии составит 5ПДж (25 x 0,2 ПДж)
G2	Количества, отнесенные к известному месторождению, которые можно оценить со средней степенью достоверности	
G3	Количества, отнесенные к известному месторождению, которые можно оценить с низкой степенью достоверности	

Классификация и количественный анализ по РКООН-2009

Классификация	Количество энергии	Дополнительная информация
E1.1; F1.1; G1+G2	5 ПДж	Прогноз добычи на основе данных за весь период осуществления проекта

Классификация и подклассификация потенциального(ых) будущего(их) проекта(ов) по категориям оси E

Категория	Определение по РКООН-2009	Основание для классификации
E3	Нельзя предполагать, что добыча и сбыт в обозримом будущем* станут экономически целесообразными, либо оценки произведены на слишком ранней стадии, не позволяющей определить экономическую целесообразность	С учетом современного опыта реализации проекта и рыночных условий ожидается, что аналогичный(ые) проект(ы) по добыче еще имеющихся ресурсов станет(ут) экономически жизнеспособными в течение ближайших 5–10 лет

* Следует обратить внимание на то, что «обозримое будущее» в контексте геотермальной энергетики определено как период, не превышающий пяти лет; ожидание, что концептуальный проект станет экономически жизнеспособными в следующие 5–10 лет обуславливает использование категории E3.

Классификация и подклассификация потенциального(ых) будущего(их) проекта(ов) по категориям оси F

Категория	Определение по РКООН-2009	Основание для классификации
F2	Целесообразность добычи при реализации определенного проекта разработки или при горных работах требует дальнейшей оценки	На данный момент нет конкретных планов разработки; для реализации будущего(их) проекта(ов) необходимы новые капитальные вложения, а также лицензии, процедура получения которых в настоящее время не начата

Классификация потенциального(ых) будущего(их) проекта(ов) по категориям оси G

Категория	Определение по РКООН-2009	Основание для классификации
G1	Количества, сконцентрированные на известном месторождении, которые можно оценить с высокой степенью достоверности	Оценка объемного содержания тепла по методу Монте-Карло с вероятностью 90% указывает на наличие извлекаемых запасов геотермальной энергии в размере 93 ПДж (низкая оценка). Поэтому G1 составляет $93 - 5 = 88$ ПДж (5 ПДж приняты для реализуемого в настоящее время проекта, см. выше)
G2	Количества, отнесенные к известному месторождению, которые можно оценить со средней степенью достоверности	Оценка объемного содержания тепла по методу Монте-Карло с вероятностью 50% указывает на наличие извлекаемых запасов геотермальной энергии в размере 210 ПДж (наилучшая оценка). Следовательно, G2 составляет $210 - 5 - 88 = 117$ ПДж
G3	Количества, отнесенные к известному месторождению, которые можно оценить с низкой степенью достоверности	Оценка объемного содержания тепла по методу Монте-Карло с вероятностью 10% указывает на наличие извлекаемых запасов геотермальной энергии в размере 366 ПДж (высокая оценка). Следовательно, G3 составляет $366 - 5 - 88 - 117 = 156$ ПДж

Классификация и количественный анализ потенциального(ых) будущего(их) проекта(ов) по РКООН-2009

Классификация: Класс РКООН-2009	Количество энергии	Дополнительная информация
E3; F2; G1	88 ПДж	90% вероятности добычи 93 ПДж (низкая оценка) извлекаемой геотермальной энергии, минус прогнозируемый общий объем добычи (5 ПДж) в рамках нынешнего проекта
E3; F2; G2	117 ПДж	50% вероятности добычи 210 ПДж (наилучшая оценка) извлекаемой геотермальной энергии, минус прогнозируемый общий объем добычи; следовательно, G2 равно $210 - 5 - 88 = 117$ ПДж
E3; F2; G3	156 ПДж	10% вероятности получения 366 ПДж (высокая оценка) извлекаемой геотермальной энергии, минус прогнозируемый общий объем добычи; следовательно, G3 равно $366 - 5 - 88 - 117 = 156$ ПДж

Справочная литература

Ádok, J. (2012): Geotermikus fűtési rendszerek- egy működő rendszer tapasztalatai – presentation at the national workshop of the Geo-DH (Promote Geothermal District Heating Systems in Europe) project, December 3, 2012, Budapest.

Bérczi, I., Phillips, R.L.(1985): Processes and depositional environments within deltaic-lacustrine sediments, Pannonian Basin, Southeast Hungary – *Geophysical Transactions*, 31, 55–74.

Dövényi, P., Horváth, F. (1988): A review of temperature, thermal conductivity and heat flow data from the Pannonian Basin, in: Royden, L.H., Horváth, F. (Eds): *The Pannonian Basin a Study in Basin Evolution*. – *American Association of Petroleum Geologist memoirs*, Tulsa, Oklahoma, 45, 195–233.

Horváth, F., Royden, L.H. (1981): Mechanism for formation of the intra-Carpathian basins: A review. – *Earth Evolutionary Sciences*, 1, 307–316.

Magyar, I., Geary, D.H., Müller, P. (1999): Paleogeographic evolution of the Late Miocene Lake Pannon in Central Europe. – *Palaeogeography, Palaeoclimatology, Palaeoecology*, 147, 151–167.

Szanyi, J., Kovács, B. (2010): Utilization of geothermal systems in South-East Hungary – *Geothermics* 39, 357–364.

Zilahi-Sebess L., Merényi, L., Paszera, Gy., Tóth, Gy., Boda, E., Budai, T.: Nyersanyag készletek, A hazai ásványi nyersanyag-potenciál, 5. Geotermikus energia, (Háttér tanulmány), Nemzeti Energiestratégia, Készletgazdálkodási és hasznosítási cselekvési terv, Manuscript, (2012), 84 p.

Добавление 1 – Допущения, принятые для объемной оценки по методу Монте-Карло

Оценка областей питания добычных скважин

Разрабатываемое гидротермальное месторождение (резервуар, относящийся к верхнему миоцену, песчаникового типа) относится к общему региональному бассейну, ресурсы которого эксплуатируются многими другими пользователями. В этой связи возникла необходимость определить области «воздействия» проекта, т. е. области питания добычных скважин, задействованных в проекте «Ходмезёвашархей». Добычные скважины расположены близко друг от друга (на расстоянии несколько сот метров друг от друга) (диаграмма 1). Данные предыдущего гидродинамического моделирования в аналогичных геологических условиях на соседнем участке показали, что область питания скважины может быть определена по следующей формуле: $R = 0,8 \times Q$ (Eq1) (Zilahi-Sebess et al., 2012), где R – радиус области питания у забоя данной скважины, а Q – дебит скважины. В настоящем исследовании были рассмотрены четыре основные добывающие скважины с высокими температурами теплоносителя (80–90 °С) и значительным дебитом (750–1 500 л/мин) (другие скважины с низкими температурами или небольшим дебитом в области воздействия основных добывающих скважин были исключены).

На диаграмме 1 показана область питания одиночных скважин (черные линии) (радиус от 600 до 1 200 м в зависимости от дебита). Красная линия показывает общую площадь четырех отдельных областей питания, которая в общей сложности составляет 14,2 км².

Диаграмма 1

Проект «Ходмезёвашархей» – добычные скважины

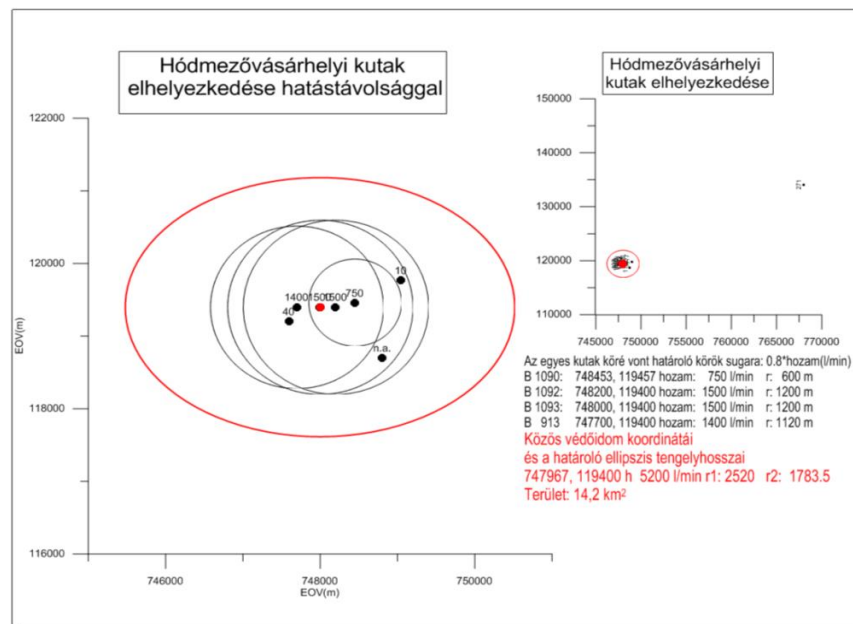


Таблица 1

Значения входных данных для моделирования по методу Монте-Карло

Площадь гидротермального резервуара (км ²)		Мощность резервуара (м)		Температура в резервуаре (°С)		Пористость (проценты)		Коэффициент извлечения	
мин.	макс.	мин.	макс.	мин.	макс.	мин.	макс.	мин.	макс.
12,5	15,5	600	900	58	108	6	18	0,10	0,20

Пример проекта 7: Проект «Альто Пик»

Место осуществления проекта: остров Лейте, Филиппины
Данные по состоянию на декабрь 2014 года
Дата оценки: сентябрь 2015 года
Метод количественного анализа: оценка объемного содержания тепла
Вид оценки: вероятностная

Краткое описание проекта

Геотермальный проект «Альто Пик» реализуется на острове Лейте, Филиппины, в юго-восточной части крупного геотермального массива «Тонгонан». Территория проекта находится в пределах концессионного блока (общая площадь 504 км²), регулируемого Договором о возобновляемых геотермальных источниках энергии (ДВГИЭ) 2009-10-001, который в 2009 году был заключен филиппинским Министерством энергетики с Корпорацией по освоению энергетических ресурсов (КОЭР), являющейся полностью приватизированной компанией, занимающейся разработкой геотермальной энергии. Проект «Альто Пик» является частью осуществлявшегося в 1990-х годах геотермального проекта «Лейте-А», который был призван генерировать дополнительные 640 МВт электрической энергии на основе использования геотермальных ресурсов на острове Лейте.

Обнадеживающие результаты проведенной ранее геологической разведки стали основанием для решения о финансировании геологоразведочной программы бурения трех скважин. С 1991 по 1992 год для испытания геологоразведочной модели, описания характеристик и количественной оценки размеров геотермальных ресурсов были пробурены три скважины AP-1D, AP-2D и AP-3D.

Данные о геологическом профиле, полученные благодаря бурению скважин AP-1D и AP-2D, указали на наличие ресурсов с высокой температурой (>350 °C) и высокой проницаемостью пород на прилегающем участке площадью около 2 км². Петрологические исследования и исследования включений флюидов показали, что геотермальная система «Альто Пик» представляет собой старую слабеющую систему, которая, однако, омолаживается в результате реинъекции тепла и флюидов недавних магматических вторжений (Reyes et al., 1993). Химический состав разгружаемых флюидов также указал на наличие вододоминирующего резервуара с температурой флюидов около 350–400 °C.

Затем была рекомендована программа бурения четырех оконтуривающих скважин для определения масштабов залегания теплоносителя с продуктивными температурами, подтверждения наличия дополнительных ресурсов за пределами зоны залегания доказанных ресурсов, дальнейшего изучения и испытания перспективных участков для проведения повторной закачки к северо-западу от района осуществления проекта. Дальнейшие научные исследования, включая подробные геологические исследования и измерения поверхностного сопротивления, были проведены для обоснования бурения дополнительных глубоких скважин для оконтуривания зоны бурения добычных скважин.

Проведенное в 1993 году технико-экономическое обоснование проекта на основе данных, полученных на пяти последних скважинах, показало, что предлагаемое строительство в районе Альто Пик электростанции мощностью 80 МВт, является осуществимым как в техническом, так и в экономическом отношениях. В связи с этим эксплуатационное бурение началось в 1994 году и было завершено в 1995 году.

В 1997 году был проведен обзор проекта «Пик Альто» с целью определения достаточности ресурсов для развития электроэнергетики. Обзор показал, что использование существующих технологий для удаления кислотных флюидов и образование твердых минеральных отложений во время испытаний на разгрузку (PNOC-EDC, 1997) не позволяют обеспечить коммерческую эксплуатацию системы. Обзор также показал, что оконтуривание ресурса не было полностью проведено и, хотя

определенная по методу Монте-Карло с применением расчетов объема содержания тепла оценка указала на наличие запасов, позволяющих произвести около 80 МВт электрической энергии, существует высокая степень неопределенности в отношении возможности их освоения в рамках проекта; в этой связи проект был сочтен незрелым для коммерческой реализации и налаживания добычи. Таким образом, в 1997 году осуществление проекта «Альто Пик» было отложено; в связи с ним выполняются только регулярные проверки физического состояния скважин и осмотр их блокирующих устройств.

Проект «Альто Пик»

В 2014 году КОЭР рассмотрела проект «Альто Пик» в рамках общей оценки возможностей развития проектов в районах к юго-востоку от Тонгонана, остров Лейте, к числу которых относятся районы Ханагдан, гора Лоби-Анонанг, Маагнао и Бато-Лунас. В основу рассмотрения проекта «Альто Пик» были положены данные полевых геологических и геохимических съемок, проведенных с июня по сентябрь 2014 года. Геологические исследования включали в себя составление литологических и структурных карт, а также интерпретацию тектонических данных. Геохимические съемки состояли в повторном отборе проб тепловых проявлений, рассмотрении и повторной интерпретации данных о разгрузке флюидов и газов, а также о стабильных изотопах. В рамках этой оценки также был проведен обзор данных подземных физических измерений. На сегодняшний день в районе осуществления проекта было пробурено девять добычных скважин (две скважины были затампонированы) и одна нагнетательная. В рамках повторной оценки перспектив развития района на основе данных, полученных в 1993, 1997 и 2014 годах, была вновь проведена оценка его геотермальных энергетических ресурсов.

Количественный анализ

Количественный анализ обеспеченности проекта энергией основан на объемном методе с применением моделирования по методу Монте-Карло. Принятое допущение по объему резервуара основано на оценках ресурсов, проведенных в 1993 и 1997 годах, с изменениями, которые были сочтены необходимыми с учетом исходных данных бурения.

Степень достоверности оценок определена на основе данных моделирования по методу Монте-Карло объемного содержания тепла. Количества, связанные с высокой, средней и низкой степенями достоверности, получены на основе 90-ого, 50-ого и 10-ого процентилей соответственно полученной совокупной функции распределения вероятностей. В приводимой ниже таблице показаны входные переменные.

<i>Входные переменные</i>	<i>Единицы</i>	<i>Наиболее вероятное значение</i>	<i>Мин.</i>	<i>Макс.</i>	<i>Средн.</i>	<i>Песок или песчаник</i>	<i>Распределение вероятности</i>
Площадь	км ²		0,3287	3,553			треугольное
Мощность	м	1 700	1 300	1 950			треугольное
Температура	°C	260	220	345			треугольное
Коэффициент извлечения					0,06	0,02	=f (пористость)
Коэффициент нагрузки		0,92	0,8	1,0			треугольное
Температура при теплообмене	°C	180					Одно значение

Вид продукта

Вид продукта – электроэнергия.

Контрольная точка

Контрольной точкой является распределительное устройство электростанции, с которого электроэнергия подается в национальную электроэнергетическую сеть Филиппин. Энергии, использованная для собственных потребностей, или паразитная нагрузка уже вычтена.

Геотермальные энергетические ресурсы

Геотермальные энергетические ресурсы:

Низкая оценка (P90):	5 ПДж (150 МВт, год);	6 МВт, за 25лет
Наилучшая оценка (P50):	15 ПДж (475 МВт, год);	МВт, за 25лет
Высокая оценка (P10):	34 ПДж (1,075 МВт, год);	43 МВт, за 25лет

Классификация по РКООН-2009

Классификация по категориям оси E

<i>Категория</i>	<i>Определение по РКООН-2009</i>	<i>Дополнительное пояснение</i>	<i>Основание для классификации</i>
E2	Предполагается, что добыча и сбыт станут экономически целесообразными в обозримом будущем	Рентабельность добычи и сбыта еще не подтверждена, но на основе реалистичных прогнозов будущих рыночных условий имеются разумные перспективы для рентабельной добычи и сбыта в обозримом будущем	Количество имеющейся для добычи и преобразования в электроэнергию тепловой энергии пока не подтверждено с точки зрения коммерческой целесообразности на основе реалистичных предположений о местных рыночных условиях в будущем. Однако ожидается, что проект станет коммерчески жизнеспособным в обозримом будущем за счет введения нормативных стимулов (например, стимулирующих тарифов на подачу в сеть для новых технологий)

Классификация и подклассификация по категориям оси F

<i>Категория</i>	<i>Определение по РКООН-2009</i>	<i>Дополнительное пояснение</i>	<i>Основание для классификации</i>
F2	Целесообразность добычи при реализации определенного проекта разработки или при горных работах требует дальнейшей оценки	Предварительные исследования показывают наличие месторождения или залежей такой формы, качества и количества, что обоснованность добычи с помощью определенного (по меньшей мере в широком смысле) проекта разработки или горных работ может быть оценена. Для подтверждения обоснованности добычи могут потребоваться дополнительные данные и или исследования	Наличие геотермальных ресурсов было подтверждено результатами и оценкой на 9 добычных скважинах и 1 нагнетательной. Однако результаты дополнительных съемок (например, магнитотеллурического профилирования (МТП) и гравиметрической съемки) указывают на необходимость уточнить оконтуривание ресурсов. Проводятся исследования коррозионностойких сплавов (КСС), ингибиторов солеотложений и необходимости повышения устойчивости скважины, которые призваны продемонстрировать возможность коммерческого применения необходимых материалов и ресурсов
<i>Подкатегория</i>	<i>Определение по РКООН-2009</i>		
F2.2	Реализация проекта приостановлена и/или обоснование коммерческой разработки может быть получено с существенной задержкой	Реализация проекта приостановлена по причинам, не связанным с потенциалом энергетических ресурсов проекта или знаний о физическом и геохимическом потенциале ресурсов; строительство экспериментальной электростанции может быть связано со значительными задержками	Предлагаемая разработка приостановлена ввиду неуверенности по поводу использования кислых флюидов высокой температуры, которые, как ожидается, будут влиять на коммерческую жизнеспособность проекта. Необходимы испытания материалов устья скважины, обсадки и т. д., с тем чтобы продемонстрировать жизнеспособность металлических компонентов и устойчивость разработок

Классификация по категориям оси G

Категория	Определение по РКООН-2009	Обоснование для классификации
G1	Количества, сконцентрированные на известном месторождении, которые можно оценить с высокой степенью достоверности	Объемное моделирование по методу Монте-Карло показало 90-процентную вероятность того, что в течение 25 лет может быть произведено 6 МВт эл. энергии (5 ПДж)
G2	Количества, отнесенные к известному месторождению, которые можно оценить со средней степенью достоверности	Объемное моделирование по методу Монте-Карло показало 50-процентную вероятность того, что в течение 25 лет может быть произведено 19 МВт эл. энергии (15 ПДж). Это соответствует наилучшей оценке, т. е. G1+G2, при этом G2 является пошаговым приращением для G1. Следовательно, показатель G2 равен $15-5 = 10$ ПДж
G3	Количества, отнесенные к известному месторождению, которые можно оценить с низкой степенью достоверности	Объемное моделирование по методу Монте-Карло показало десятипроцентную вероятность того, что в течение 25 лет может быть произведено 43 МВт эл. энергии (34 ПДж). Это соответствует высокой оценке, т. е. G1+G2+G3, при этом G3 является пошаговым приращением для G1+G2. Следовательно, показатель G3 равен $34-15 = 19$ ПДж

Классификация и количественный анализ по РКООН-2009

Классификация	Количество энергии	Дополнительная информация
Класс РКООН-2009	Использованные единицы энергии: петаджоули (ПДж) = ($\times 10^{15}$ Дж)	
E2; F2.2; G1	5 ПДж*	Низкая оценка ресурсов геотермальной энергии; это оценка P90
E2; F2.2; G2	10 ПДж*	Пошаговое приращение между наилучшей и низкой оценками; оценка P50–P90 (15–5 ПДж), причем G2 является величиной приращения для G1
E2; F2.2; G3	19 ПДж*	Пошаговое приращение между высокой и наилучшей оценками; оценка P10–P50 (34–15 ПДж), причем показатель G3 является величиной приращения для G1+G2

* Данные по количеству энергии приводятся в округленной форме.

Оговорка

Примеры применения приводятся только для иллюстрации применимости РКООН-2009 к «реальным» геотермальным энергетическим проектам. Этот пример применения, включая факты и цифровые данные, касается проекта «Альто Пик» на Филиппинах. Данные и информация имеются в общем доступе и в статьях, указанных в разделе справочной литературы. Цифровые данные о ресурсах в общем основаны на такой имеющейся информации.

Справочная литература

Bustamante, C.C., 1993. Reservoir simulation of the Alto Peak geothermal field, Leyte, Philippines. UNU Report No. 5, UNU Geothermal Training Programme, Iceland, 29 p.

Philippine National Oil Company – Energy Development Corporation (PNOC-EDC), 1997. Alto Peak Geothermal Field Resource Assessment Review Report (final), prepared by Mesquite Group, Inc., Harding Lawson Associates, and Dames and Moore.

Reyes, A.G., W.G. Giggenbach, J.R.M. Salera, N.D. Salonga and M.C. Vergara, 1993. Petrology and geochemistry of Alto Peak, a vapor-cored hydrothermal system, Leyte Province, Philippines. *Geothermics*, Vol. 22, Issues 5-6, Special Issue, Geothermal Systems of the Philippines, 379–519.

Пример проекта 8: Проект «Баслай-Даун»

Место осуществления проекта: «Баслай-Даун», остров Негрос, Висайяс, Филиппины
Данные по состоянию на август 2014 года
Время оценки: август 2015 года
Метод количественной оценки: оценка объемного содержания тепла
Вид оценки: вероятностная

Краткое описание проекта

Место осуществления геотермального проекта «Баслай-Даун» находится на южной оконечности острова Негрос, Филиппины, и охватывает 46 км² геотермального поля «Южный Негрос».

Наземные геологоразведочные работы по изучению геотермальных ресурсов были проведены в рамках геотермального проекта «Баслай-Даун» в период 1973–1979 годов с целью изучения его геотермального потенциала. Бурение двух разведочных скважин DN-1 и DN-2 было завершено в 1982 и 1983 годах соответственно. Скважина DN-1 позволила обнаружить зону, температура которой достигает 240 °С, и близкие к нейтральным флюиды с максимальным содержанием хлоридов, равным 3 300 мг/кг; однако в извлекаемом на ней теплоносителе содержится большое количество элементарной серы, что указывает на возможное присутствие кислых ресурсов, залегающих под забойным пространством скважины DN-1. С учетом результатов бурения первой скважины в 4 км к юго-западу от скважины DN-1 была пробурена вторая скважина DN-2 для проверки присутствия пригодных для разработки ресурсов в пределах низкоомной аномалии Нагпантав (Harper and Arevalo, 1982).

Две разведочные скважины DN-1 и DN-2 подтвердили наличие источника геотермальной энергии в районе осуществления проекта. Данные бурения скважин DN-1 и DN-2 показывают, что DN-1 была пробурена ближе к источнику тепла и в зоне восходящего потока, а скважина DN-2 находится на периферии зоны оттока. Однако развитие района реализации проекта была отнесена Корпорацией по освоению энергетических ресурсов (EDC) к числу неприоритетных задач, при этом основное внимание было уделено осуществлению других обладающих высоким потенциалом геотермальных проектов в стране (Vaughan et al., 1982).

Проект «Баслай-Даун»

В период с августа 2013 года по апрель 2014 года корпорация EDC в рамках проекта «Баслай-Даун» провела кампании по осуществлению геологических, геохимических и геофизических геолого-съёмочных работ (ЗГ) в целях повторной оценки потенциала развития проекта «Баслай-Даун» как кандидата на модернизацию уже существующих производственных мощностей и установление его гидрологических связей с близлежащим геотермальным полем «Южный Негрос» (ГАЮН). Этот проект был включен министерством энергетики Филиппин (DOE) в посвященный геотермальной энергетике раздел «дорожной карты», который предусматривает увеличение объемов энергосистемы в течение планового периода 2011–2030 годов на 1 495 МВт_э (МЭ, 2011). Полученные в 2014 году данные оценки ресурсов по проекту позволили сделать вывод о наличии ресурсов, не зависящих от ГПЮН.

Энергетический потенциал геотермальных ресурсов проекта «Баслай-Даун» был оценен на основе данных о размерах ресурсов, полученных по итогам магнитотеллурического профилирования (МТП), дополненных обновленной геологической оценкой и данными бурения в рамках проекта двух разведочных скважин.

Количественный анализ

Количественный анализ энергетических ресурсов в рамках проекта был проведен на основе изучения объемного содержания тепла с использованием моделирования по методу Монте-Карло. Допуски в отношении объема резервуара основаны на данных МТП, проведенного в 2013 году, и интерпретации дополнительных геологических и геохимических данных, полученных с использованием наземных методов. Допуски в отношении температуры резервуара основаны на данных бурения DN-1.

Степень достоверности оценок определена на основе данных моделирования по методу Монте-Карло оценки объемного содержания тепла. Количества, связанные с высокой, средней и низкой степенью достоверности, основаны на 90-й, 50-й и 10-й процентилях соответственно полученной совокупной функции распределения вероятностей. В нижеследующей таблице показаны входные переменные.

<i>Входные переменные</i>	<i>Единицы</i>	<i>Наибольшее вероятное значение</i>	<i>Мин.</i>	<i>Макс.</i>	<i>Средн.</i>	<i>Песок или песчаник</i>	<i>Распределение вероятности</i>
Площадь	км ²	4,43	3,58	7,63			треугольное
Мощность	м	1 800	1 400	2 400			треугольное
Температура	°C	250	220	270			треугольное
Коэффициент извлечения					0,06	0,02	=f (пористость)
Коэффициент нагрузки		0,92	0,8	1,0			треугольное
Температура при сбросе	°C	180					Одно значение

Вид продукта

Видом продукта является электроэнергия.

Контрольная точка

Контрольной точкой является распределительное устройство электростанции, с которого электроэнергия подается в национальную электроэнергетическую сеть Филиппин. Энергия, использованная для собственных потребностей, или паразитная нагрузка уже вычтена.

Геотермальные энергетические ресурсы

Геотермальные энергетические ресурсы:

Низкая оценка (P90):	16 ПДж (500 МВт _э год);	20 МВт _э за 25лет
Наилучшая оценка (P50):	28 ПДж (875 МВт _э год);	35 МВт _э за 25 лет
Высокая оценка (P10):	43 ПДж (1 400 МВт _э год);	55 МВт _э за 25лет

Классификация по РКООН-2009

Классификация и подклассификация по категориям оси E

<i>Категория</i>	<i>Определение по РКООН-2009</i>	<i>Основание для классификации</i>
E3	Нельзя предполагать, что добыча и сбыт в обозримом будущем станут экономически целесообразными, либо оценки произведены на слишком ранней стадии, не позволяющей определить экономическую целесообразность	Оценка экономической жизнеспособности проекта зависит от результатов, проведенных на поверхности геологического исследования и моделирования, которые являются основой для разработки программы разведки и оконтуривающего бурения
<i>Подкатегория</i>	<i>Определение по РКООН-2009</i>	
E3.2	Экономическая целесообразность добычи не может быть определена из-за недостатка информации (например, на этапе геологоразведочных работ)	Дополнительные геофизические исследования и моделирование (на дополнительных станциях МТП) позволят улучшить качество данных. Данные МТП будут использоваться для уточнения данных геофизической модели, которые будут использованы как входные данные для оценок содержания тепла и пересмотренных оценок объемного содержания тепла

Классификация и подклассификация по категориям оси F

<i>Категория</i>	<i>Определение по РКООН-2009</i>	<i>Основание для классификации</i>
F2	Целесообразность добычи при реализации проекта разработки или при горных работах требует дальнейшей оценки	Существование геотермальных ресурсов было подтверждено по итогам бурения глубоких разведочных скважин, а имеющиеся оценки ресурсов и расчеты содержания тепла указали на наличие коммерчески продуктивных ресурсов. Однако необходимо провести дополнительные съемки для МТП с целью усовершенствования модели и оконтуривания границ залегания ресурсов. Дополнительное разведочное бурение и испытания необходимы для дальнейшей оценки дебита скважины и характеристик ресурсов
<i>Подкатегория</i>	<i>Определение по РКООН-2009</i>	
F2.2	Реализация проекта приостановлена и/или обоснование коммерческой разработки может быть с существенной задержкой	Предлагаемая разработка задержана в ожидании результатов дальнейших съемок для МТП, оценки ресурсов и оценки содержания тепла. Кроме того, для обоснования коммерческой разработки необходимы дополнительные данные разведочного и оконтуривающего бурения. Проект включен в Филиппинскую энергетическую программу, которая, как ожидается, будет рассмотрена новым правительством в 2016 году

Классификация по категориям оси G

Категория	Определение по РКООН-2009	Основание для классификации
G1	Количества, сконцентрированные на известном месторождении, которые можно оценить с высокой степенью достоверности	Моделирование по методу Монте-Карло объемного содержания тепла указывает на 90% вероятности того, что за 25 лет в районе будет произведено 20 МВт _т (16 ПДж)
G2	Количества, отнесенные к известному месторождению, которые можно оценить со средней степенью достоверности	Моделирование объемного содержания тепла по методу Монте-Карло указывает на 50-процентную вероятность того, что за 25 лет в районе будет произведено 35 МВт _т (28 ПДж). Этот показатель соответствует наилучшей оценке, т. е. G1+G2, где G2 является пошаговым приращением к G1. Следовательно показатель G2 равен 28–16 = 12 ПДж
G3	Количества, отнесенные к известному месторождению, которые можно оценить с низкой степенью достоверности	Моделирование объемного содержания тепла по методу Монте-Карло указывает на десятипроцентную вероятность того, что за 25 лет в районе будет произведено 55 МВт _т (43 ПДж). Этот показатель соответствует наилучшей оценке, т. е. G1+G2+ G3, где G3 является пошаговым приращением к G1+G2. Следовательно показатель G3 равен 43–28 = 15 ПДж

Классификация и количественный анализ по РКООН-2009

Классификация	Количество энергии	Дополнительная информация
Класс РКООН-2009	Используемые единицы энергии: петаджоули (ПДж) = ($\times 10^{15}$ Дж)	
E3; F2.2; G1	16 ПДж*	Низкая оценка геотермальных энергетических ресурсов: это – оценка P90
E3; F2.2; G2	12 ПДж*	Пошаговое приращение между наилучшей и низкой оценками; оценка P50–P90 (28–16 ПДж), где G2 является пошаговым приращением к G1
E3; F2.2; G3	15 ПДж*	Пошаговое приращение между высокой и наилучшей оценками; оценка P10–P50 (43–28 ПДж), где G3 является пошаговым приращением к G1+G2

* Показатели количества энергии округляются.

Оговорка

Примеры применения приводятся только для иллюстрации применимости РКООН-2009 к «реальным» геотермальным энергетическим проектам. Этот пример применения с соответствующими фактами и цифровыми данными касается проекта «Баслай-Дауин» на Филиппинах. Данные и информация имеются в общем доступе и в статьях, указанных в

разделе справочной литературы. Цифровые данные о ресурсах в целом основаны на такой имеющейся информации.

Справочная литература

Bayrante *et al.*, 1997. A review of the origin of sulphur in DN-1 discharge and its implication for future development, Dauin geothermal prospect, Central Philippines. *GRC Trans.* Vol. 21, p. 603–608.

Bayrante *et al.*, 1997. Development potential of the Dauin geothermal prospect, Negros Oriental, Philippines. *GRC Trans.* Vol. 21, p. 609–615.

Department of Energy, Philippines, 2011. Renewable Energy Plans and Programs (2011–2030), 67 p.

Harper, R. T. and E. M. Arevalo, 1982. A geoscientific evaluation of the Baslay-Dauin prospect, Negros Oriental, Philippines. *Proc. Pacific Geothermal Conference and New Zealand Geothermal Congress.*

Пример проекта 9: Геотермальная система централизованного теплоснабжения Канавезе

Место осуществления проекта: Милан (Италия)

Данные по состоянию на 2010 год

Время оценки: декабрь 2015 года

Метод количественного анализа: моделирование

Вид оценки (детерминистская/вероятностная): детерминистская, с использованием сценария

Краткое описание проекта

Данный проект касается подключения теплонасосной установки, использующей тепловую энергию подземных вод (ТНПВ), к системе централизованного теплоснабжения (ЦТ) Канавезе (Милан, Италия). В свете накопленного опыта в области комбинированного производства тепла и электроэнергии, систем ЦТ и применения тепловых насосов компания «A2A S.p.A» (прежнее название «АЕМ») приняла решение использовать для производства энергии подземные воды, доступные в окрестностях Милана в больших количествах. Компания приступила к разработке плана по подключению модулей ТНПВ на базе уже существующих теплоэлектроцентралей, одной из которых является ТЭЦ «Канавезе».

В данном документе этот проект представлен в соответствии со спецификациями для применения РКООН-2009 в геотермальной энергетике.

Местные и гидрогеологические условия

Милан – это второй наиболее густонаселенный город Италии (1,3 млн жителей), входящий в состав полицентрической городской агломерации, известной как «Большой Милан», где на площади в 2 945 км² проживает более 5 млн человек (плотность населения – 1 651 чел./км²). Милан является основным промышленным, торговым и финансовым центром Италии, и совокупная потребность в первичной энергии, необходимой для отопления зданий, составляет порядка 10⁶ тнэ в год [1].

Город расположен на севере Италии, в центре крупнейшей аллювиальной равнины страны (*долина реки По*), условия в которой весьма благоприятны для эксплуатации подземных вод. В гидрологическом плане этот район отличается наличием многочисленных рек, а также связанной с ними сети искусственно созданных каналов и источников природного происхождения. В геологическом плане район характеризуется расположенным близко к поверхности водоносным пластом (глубина залегания до 30–50 м), который состоит из гравия и крупнозернистого песка и представляет собой первый (безнапорный) водоносный горизонт. Под ним залегает тонкий слой глины и второй пласт, состоящий из крупно/среднезернистого песчаника, гравия и глины, которые формируют второй (субнапорный) водоносный горизонт, глубина залегания которого достигает 100–150 метров. Движение подземных вод осуществляется с севера и северо-востока (зона питания) к югу – в сторону реки По. Водоносные горизонты подпитываются в основном за счет местных осадков и осадков, выпадающих в Альпах (880–1 300 и 1 000–2 200 мм/год соответственно), а также за счет инфильтрации поверхностных вод из рек и каналов.

В районе Милана для бытового и промышленного использования традиционно извлекались значительные объемы подземных вод. В 1970-х годах в этом районе действовало несколько тысяч скважин, а максимальная добыча воды превышала один миллиард кубометров в год. Начиная с 1980-х годов из-за вывода промышленного производства за пределы городских районов объемы извлекаемых подземных вод значительно сократились. Вследствие этого произошел подъем уровня подземных вод,

результатом чего стало частое затопление нижних уровней подвальных помещений. В настоящее время для снижения уровня подземных вод вблизи зданий используются сотни скважин, вода из которых изливается в расположенные на поверхности каналы, не производя никакой полезной работы. Вместе с тем во многих районах города грунтовые воды по-прежнему находятся на глубине всего лишь нескольких метров, что связано с риском наводнений.

В районе Милана подземные воды все чаще используются для производства энергии, отчасти благодаря стимулирующим мерам, которые принимают местные органы администрации. Несмотря на некоторые нерешенные вопросы, связанные с получением разрешений на установку оборудования и действующим регламентом, в городских районах установлено большое количество ТНПВ, что свидетельствует о том, что местные условия являются благоприятными для использования этой технологии, и о ее рентабельности.

Описание ТЭЦ «Канавезе»

ТЭЦ «Канавезе» представляет собой первый в Италии опыт подключения теплового насоса, использующего энергию подземных вод, к крупной системе ЦТ. Действовавший до реализации проекта энергоблок представляет собой теплоэлектростанцию с тремя генераторами, работающими на природном газе, общая установленная мощность которых составляет 15,1 МВт_т. Суммарное количество тепловой энергии, рекуперированной из отработавших газов, а также благодаря промежуточному охлаждению, составляет 13,2 МВт_т. Установлены котлы общей мощностью 45,0 МВт_т, предназначенные для использования в период пиковой нагрузки и в резервных целях.

В описанном выше энергоблоке будет установлен тепловой насос мощностью 15 МВт_т, что позволит использовать обильные запасы местных подземных вод (см. предыдущий раздел), извлекая связанные с этим преимущества в виде экономии первичной энергии, а также сокращения потребления ископаемого топлива и выбросов парниковых газов.

Подземные воды представляют собой холодный термальный источник: они извлекаются из расположенного ближе всего к поверхности водоносного пласта с помощью шести скважин (на глубине 25–30 м) при температуре 15 °С. Номинальный расход потока и температурный напор на испарителе составляют приблизительно 1 100 м³/час и 7 °С соответственно. Система отведения включает в себя три инъекционные скважины, а кроме того в протекающую поблизости реку Ламбро осуществляется поверхностный сброс отработанных вод. Энергия, необходимая для работы насоса грунтового контура, составляет порядка 15% от энергии, потребляемой компрессором теплового насоса (ТН). Номинальная температура подаваемого в систему ЦТ теплоносителя составляет 90 °С при температурном напоре на конденсаторе порядка 25 °С. Термальная энергия, получаемая с помощью ТН, рекуперации тепловой энергии от газовых генераторов и резервных котлов, может сразу подаваться в систему ЦТ или же собираться в резервуаре-накопителе (3 000 м³).

В основе технологии использования ТН лежит уникальный опыт в области систем ЦТ, накопленный в Швеции. При указанных выше условиях, характеризующих термальные источники, модуль ТН может производить 15 МВт_т при номинальном коэффициенте тепловой производительности (КТП) 3. Концептуальная схема и номинальные параметры ТЭЦ «Канавезе» приводятся на диаграмме 2 и в таблице 1 соответственно.

Количественный анализ

Проектирование оборудования и количественный анализ потоков энергии в течение ожидаемого срока эксплуатации (20 лет) осуществлялись с помощью алгоритма оптимизации Mixed Integer Linear Programming (MILP), который позволяет проводить оценку наилучшего проектного решения и сопряженной с ним структуры управления системой. В качестве объективной функции использовалась чистая дисконтированная

стоимость на конец периода эксплуатации. Она определяется как совокупная разница между доходами от продажи электрической и тепловой энергии и расходами, связанными с установкой, эксплуатацией и техническим обслуживанием. Более подробную информацию о процедуре оптимизации можно найти в публикации [1].

Точность моделирования зависит от трех основных факторов: а) прогноза динамики тепловой нагрузки в течение периода реализации проекта (20 лет), б) фактического расхождения номинальной эффективности теплогенераторов (включая ТН) и их эффективности при эксплуатации, а также с) фактического «эквивалента часов работы на полной мощности» теплогенераторов (включая ТН). Более подробную информацию о предположениях, которые используются при моделировании, можно найти в публикации [1].

Вид продукта

В рамках данного проекта производится два энергопродукта: электроэнергия, вырабатываемая генераторами ТЭЦ, и тепло, подаваемое в систему ЦТ. Однако в данном случае производство электроэнергии не связано с использованием геотермальных энергетических ресурсов. Таким образом, производимая электроэнергия не может рассматриваться как геотермальный энергетический продукт, несмотря на то, что она влияет на экономическую оценку проекта.

В рамках этого проекта производится *гибридный* геотермальный энергетический продукт, которому соответствует *тепло*, подаваемое в систему ЦТ (точка D на диаграммах 1 и 2). Он вырабатывается в результате сочетания тепловой энергии, вырабатываемой газовыми генераторами и резервными котлами, а также тепловой энергии, вырабатываемой геотермальной теплонасосной установкой (ГТН) (точка B на диаграммах 1 и 2).

Кумулятивный энергообмен в испарителе ТН (точка A на диаграммах 1 и 2) соответствует энергии, извлекаемой непосредственно из геотермального энергетического источника.

Контрольная точка

В соответствии с определением, содержащимся в разделе A спецификаций для геотермальной энергетики, под геотермальными энергетическими ресурсами понимаются совокупные количества геотермальных энергетических продуктов, получаемые при использовании геотермальных энергетических источников. Таким образом, чтобы исключить компонент, связанный с производством электроэнергии (которое в данном случае не связано с использованием геотермальных энергетических источников), в качестве контрольной точки для представления информации об истинных геотермальных энергетических продуктах и геотермальных энергетических ресурсах следует выбрать точку A.

С другой стороны, следует признать, что использование точки B может быть более целесообразным с точки зрения энергии, фактически производимой всей системой ГТН, хотя в этой точке как продукт, так и ресурс следует считать «гибридными» (т. е. лишь отчасти связанными с геотермальными источниками).

Согласно диаграммам 1 и 2, анализ общего энергетического баланса данного проекта основан на использовании четырех точек оценки, позволяющих разделить между собой энергообмен с подземным источником (точка A), производство тепловой энергии теплонасосной установкой (точка B), затрачиваемую энергию (точка C) и общее количество тепла, подаваемого в систему ЦТ (точка D). Другие основные количественные энергетические показатели и соответствующие им точки оценки представлены на диаграмме 2. В точках B и D оцениваются количества гибридной энергии, получаемой за счет комбинации разных видов энергии, из которых геотермальной является только одна.

В данной оценке в качестве контрольной точки для представления информации о геотермальных энергетических ресурсах и их классификации в соответствии с РКООН-2009 была выбрана точка А. Для наглядности все основные количественные энергетические показатели представлены на диаграмме 2 и в таблице 2.

Диаграмма 1

Контрольные точки для проведения оценки проектов с использованием ГТН, работающих в режиме обогрева

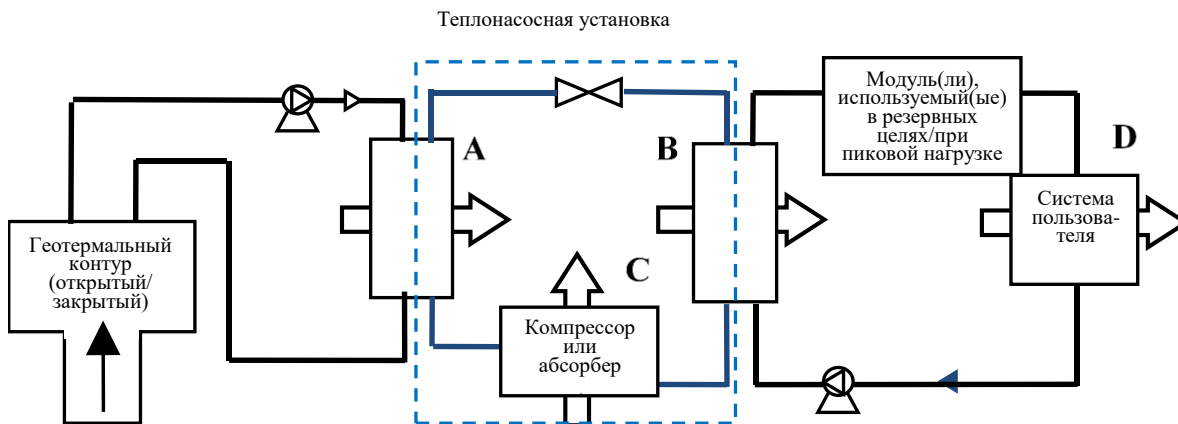
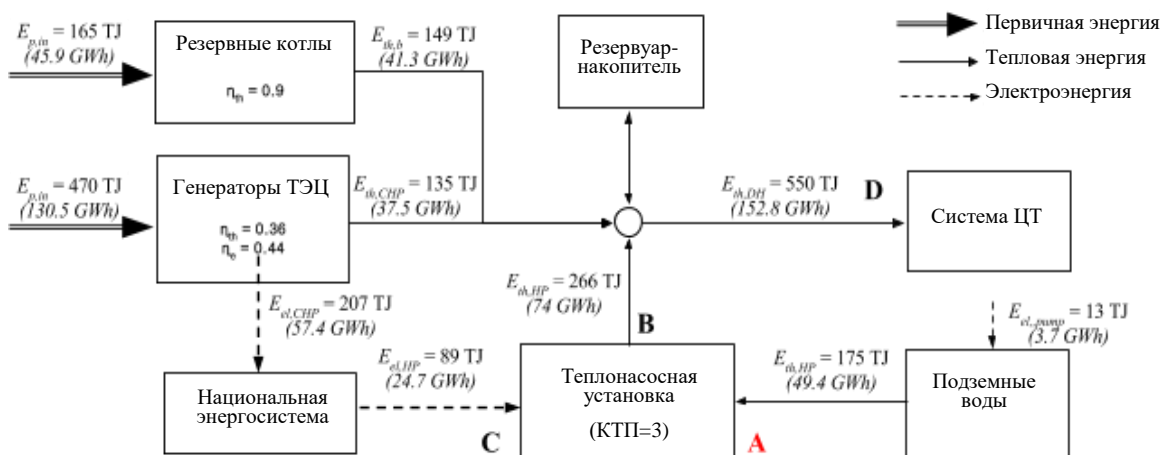


Диаграмма 2

Упрощенная схема ТЭЦ «Канавезе» с указанием потоков энергии*



* Представленные количественные показатели основаны на данных за контрольный год эксплуатации. Буквами А, В, С и D обозначены четыре точки оценки, которые используются для количественного анализа ГТН, как показано на диаграмме 1. Контрольная точка для оценки геотермальных энергетических ресурсов выделена красным цветом (точка А).

Таблица 1

Номинальные показатели мощности и производительности ТЭЦ «Канавезе»

Теплогенератор	Электрическая мощность	КПД при выработке электроэнергии	Тепловая мощность	КПД при выработке теплоты/КТП
Газовые генераторы	15,1 МВт _э	0,44	13,2 МВт _т	0,36
Тепловой насос*			15,0 МВт _т	3
Котлы			45,0 МВт _т	0,9
Итого	15,1 МВт _э		73,2 МВт _т	

* Температура теплоносителя, отпускаемого для системы ЦТ: 90 °С.

Таблица 2

Количественные энергетические показатели, рассчитанные за весь период эксплуатации проекта (20 лет), и точки оценки

<i>Оценка</i>	<i>Точка А*</i>	<i>Точка В*</i>	<i>Точка С*</i>	<i>Точка D*</i>
Низкая оценка	–	–	–	–
Наилучшая оценка	3,5 ПДж	5,3 ПДж	1,8 ПДж	11 ПДж
Высокая оценка	–	–	–	–

* См. расположение контрольных точек на диаграммах 1 и 2.

Классификация по РКООН-2009

Классификация и подклассификация по категориям оси E

<i>Категория</i>	<i>Определение по РКООН-2009</i>	<i>Основание для классификации</i>
E1	Подтверждена экономическая целесообразность добычи и сбыта	Испытания скважин, ранее накопленный опыт и результаты моделирования указывают на осуществимость и целесообразность проекта; также учитываются действующие в районе Милана нормативно-правовые рамки и фактор социальной приемлемости. Все необходимые одобрения были выданы компетентными органами
<i>Подкатегория</i>	<i>Определение по РКООН-2009</i>	
E1.1	Добыча и сбыт являются рентабельными в текущих рыночных условиях и при реалистичных сценариях будущих рыночных условий	

Классификация и подклассификация по категориям оси F

<i>Категория</i>	<i>Определение по РКООН-2009</i>	<i>Основание для классификации</i>
F1	Осуществимость добычи при реализации определенного проекта разработки или при проведении горных работ подтверждена	Данный проект касается подключения теплового насоса, использующего тепловую энергию подземных вод, к уже действующей ТЭЦ системы ЦТ Опыт компании «А2А» в области проектирования и эксплуатации систем ЦТ, результаты моделирования, использование освоенных технологий, а также благоприятные условия, характеризующие подземный источник, подтверждают осуществимость проекта
<i>Подкатегория</i>	<i>Определение по РКООН-2009</i>	
F1.3	Завершены достаточно подробные исследования, доказывающие обоснованность добычи при реализации определенного проекта разработки или при проведении горных работ	

Классификация по категориям оси G

Категория	Определение по РКООН-2009	Основание для классификации
G1*	Количества, отнесенные к известному месторождению, которые можно оценить с высокой степенью достоверности	Уровень неопределенности сообщаемых количеств энергии не зависит от характеристик подземного источника, так как оценка местных гидрогеологических условий уже проведена по результатам эксплуатации в течение нескольких десятилетий соседних скважин. Точность моделирования зависит от предположений относительно эффективности теплогенераторов, прогноза тепловой нагрузки и динамики цен на энергоносители в течение срока эксплуатации системы
G2*	Количества, отнесенные к известному месторождению, которые можно оценить со средней степенью достоверности	

Следует отметить, что отнесение к категории G1+G2 основывается на опубликованных в [1] результатах, которые были получены с помощью алгоритма оптимизации по чистой дисконтированной стоимости проекта, с учетом единственного сценария изменения нагрузки. Чтобы охарактеризовать полный диапазон неопределенности в оценке необходим окончательный вариант классификации, в том числе оценка по категориям G1 и G3.

Классификация и количественный анализ по РКООН-2009

Классификация	Количество энергии	Дополнительная информация
Класс по РКООН-2009		Количественные энергетические показатели относятся только к ТНПВ. Другие основные потоки энергии представлены на диаграмме 2
E1.1; F1.3; G1+G2	Контрольная точка A*: 3,5 ПДж	Номинальная теплопроизводительность модуля ТН: 15 МВт _T Номинальный показатель КТП: 3 Предполагаемый срок эксплуатации проекта: 20 лет На установку с грунтовым контуром приходится почти 50% от общего количества тепла, вырабатываемого всей ТЭЦ

* См. расположение контрольных точек на диаграммах 1 и 2.

Справочная литература

[1] Sparacino M, Camussi M, Colombo M, Carella R, Sommaruga C, «The world's largest geothermal district heating using groundwater under construction in Milan (ITALY): AEM unified heat pump project», Proceedings of EGC 2007, Unterhaching, Germany, 30 May – 1 June 2007.

Пример проекта 10: Теплонасосная установка с вертикальным грунтовым теплообменником

Место осуществления проекта: Италия
 Данные по состоянию на 2013 год
 Время оценки: май 2015 года
 Метод количественного анализа: моделирование
 Вид оценки (детерминистская/вероятностная): детерминистская

Краткое описание проекта

Данный проект касается размещения в одном из офисных зданий Пизы (Италия) теплонасосной установки с вертикальным грунтовым теплообменником (ТНГ-В). Установка работает в режиме как отопления, так и охлаждения. Вся система с геотермальной теплонасосной установкой (ГТН) состоит из десяти вертикальных скважинных теплообменников (СТО), модуля ТНГ, а также воздушного теплового насоса (ВТН), который предназначен для использования в периоды максимальной нагрузки или в качестве резервного генератора. Оконечным устройством теплообмена служат вентиляторные доводчики (фанкойлы).

В данном документе представлена классификация этого проекта в соответствии со спецификациями для применения РКООН-2009 к геотермальным энергоресурсам.

Здание, на базе которого осуществляется проект, и его тепловая нагрузка

Профиль тепловой нагрузки типичен для офисного здания, расположенного в условиях средиземноморского климата, где конечный пользователь нуждается как в отоплении, так и в охлаждении. Оценка профиля тепловой нагрузки осуществлялась для типичного метеорологического года [1] с помощью коммерческой программы, позволяющей проводить динамическое моделирование энергопотребления здания. Основные показатели тепловой нагрузки здания представлены в таблице 1.

Таблица 1

Показатели отопительной и охлаждающей нагрузки здания

Параметр	Значение
Ежегодная отопительная нагрузка ^a – МВт _г	68 (245 МДж)
Ежегодная охлаждающая нагрузка ^b – МВт _г	80 (288 МДж)
Пиковая отопительная нагрузка – кВт	40
Пиковая охлаждающая нагрузка – кВт	60

^a Температура теплоносителя, подаваемого в контур отопления здания: 45 °С.

^b Температура теплоносителя, подаваемого в контур охлаждения здания: 7 °С.

Подземный резервуар

Для исследования подземного источника применялось определение тепловой инерции (ТИ), которое осуществлялось в соответствии с процедурой, описанной в действующих технических стандартах [2]. Объемная теплоемкость грунта задавалась на уровне $2,25 \times 10^6$ Дж/(м³К). Влиянием подземных вод можно было пренебречь.

Полученные на основе определения ТИ показатели эффективной теплопроводности и теплорассеяния представлены в таблице 2.

Грунтовые теплообменники (вертикальные скважинные теплообменники)

Поле размещения СТО состоит из десяти вертикальных скважин (с контурами закрытого типа), пробуренных по типичной сетке 3x3-плюс-1 и имеющих форму двойной U-образной трубы. Тепловое сопротивление скважин [3] R_b оценивалось с помощью 2D-FEM-моделирования. Геометрические и тепловые характеристики скважин приводятся в таблице 2.

Таблица 2

Теплофизические свойства грунта, а также теплофизические и геометрические характеристики СТО

Параметр	Значение
<i>Подземный источник</i>	
Теплопроводность грунта, Вт/(м·К)	1,8
Теплорассеяние грунта, мм ² /с	0,8
Грунтовые теплообменники	
Глубина СТО, м	100
Диаметр СТО, см	15
Конфигурация СТО	Двойная U-образная труба
Количество СТО	10
Расстояние между скважинами, м	10
Диаметр трубы СТО (наружной – внутренней), см	4–3,4
Расстояние между коленами U-образной трубы, см	9,5
Термическое сопротивление СТО, (м·К)/Вт	0,06

Теплогенераторы: ТНГ и резервный модуль

В данном проекте электрический ТН, в котором используется передача тепловой энергии от воды к воде, с блоком управления, позволяющим регулировать его мощность, рассматривается как основной теплогенератор и основное охлаждающее устройство. Номинальные показатели его производительности представлены в таблице 3. Коэффициенты КТП и КЭЭ определяются как отношение полезной тепловой энергии к энергозатратам в режиме обогрева и охлаждения соответственно.

Таблица 3

Номинальные параметры производительности ТНГ при работе в разных режимах [4]

Грунтовый контур			
Теплопроизводительность	Холодопроизводительность	КТП	КЭЭ
39,2 кВт	58,2 кВт	3,9	4

Модуль, предназначенный для обогрева и охлаждения в период пиковой нагрузки или в резервных целях, состоит из электрической реверсивной теплонасосной установки, в которой используется передача тепловой энергии от воздуха к воде, с блоком управления, позволяющим регулировать ее мощность. Номинальные показатели ее производительности представлены в таблице 4.

Таблица 4

Номинальные параметры производительности ВТН при работе в разных режимах [4]

Воздушный контур			
Теплопроизводительность	Холодопроизводительность	КТП	КЭЭ
11,8 кВт	17,5 кВт	2,6	2,7

Предполагается, что воздушный модуль будет работать в те месяцы, которые отличаются мягким температурным режимом, когда коэффициент используемой мощности ГТН меньше минимальной допустимой скорости вращения вала компрессора (т. е. за пределами регулируемого диапазона). Следовательно, ВТН будет использоваться в те месяцы, когда наружные температуры достаточно высоки, чтобы не возникало проблем, связанных с замерзанием.

Количественный анализ

Проектирование оборудования и количественный анализ потоков энергии в течение срока эксплуатации (20 лет) осуществлялись на основе внутривозвратной модели, которая базируется на действующих технических стандартах и данных научной литературы. Более подробную информацию о процедуре моделирования можно найти в публикации [3].

Точность моделирования зависит в первую очередь от прогноза динамики тепловой нагрузки в течение срока реализации проекта (20 лет). Кроме того, при проведении оценки технического состояния оборудования не учитывались эффекты, обусловленные его старением.

Вид продукта

В рамках этого проекта производится *гибридный* геотермальный энергетический продукт, которому соответствует тепло, подаваемое в систему конечного пользователя (точка D на диаграмме 1 a)). Кроме этого, необходимо также учесть тепло, отбор которого происходит во время сезона, когда система работает в режиме охлаждения (точка D, на диаграмме 1 b)), так как оно влияет на процесс теплопереноса с участием подземного источника (точка A на диаграммах 1 a) и 1 b)) и соответственно на техническую и экономическую оценку проекта.

Вклад ГТН в производство итогового энергетического продукта как в режиме обогрева, так и в режиме охлаждения следует оценивать в точке В. Однако как продукт, так и ресурс в этой точке следует считать «гибридными» (т. е. лишь отчасти связанными с геотермальными источниками). В конечном итоге энергообмену с геотермальным энергетическим источником соответствует перенос тепла в грунтовом теплообменнике (точка А на диаграммах 1 a) и 1 b)).

Контрольная точка

Согласно диаграммам 1 a) и 1 b), анализ общего энергетического баланса данного проекта основан на использовании четырех точек оценки, позволяющих разделить между собой энергообмен с подземным источником (точка А), производство тепловой энергии теплонасосной установкой (точка В), затрачиваемую энергию (точка С) и общее количество тепла, подаваемого в систему конечного пользователя (точка D). В точках В и D оцениваются количества *гибридной* энергии, получаемой за счет комбинации разных видов энергии, из которых геотермальной является только одна.

Несмотря на преимущества с точки зрения рентабельности и устойчивости проекта, связанные с эксплуатацией в летний период, извлекаемой из геотермального энергетического источника энергии фактически соответствует только кумулятивный энергообмен, который происходит на испарителе ТН во время отопительного сезона (точка А на диаграмме 1 a)).

В данной оценке в качестве *контрольной точки* для представления информации о геотермальных энергетических ресурсах и их классификации в соответствии с РКООН-2009 выбрана точка А. Для наглядности все основные количественные энергетические показатели представлены на диаграммах 1 а) и 1 б) и в таблицах 5 и 6.

Таблица 5

Количественные энергетические показатели, рассчитанные за весь период эксплуатации проекта (20 лет), и соответствующие точки оценки

Оценка	Точка А*	Точка В*	Точка С*	Точка D*
Низкая оценка	–	–	–	–
Наилучшая оценка <i>режим обогрева</i>	3,2 ТДж	4,0 ТДж	0,8 ТДж	4,9 ТДж
<i>режим охлаждения</i>	5,3 ТДж	4,5 ТДж	0,8 ТДж	5,8 ТДж
Высокая оценка	–	–	–	–

* См. расположение контрольных точек на диаграммах 1 а) и 1 б).

Классификация по РКООН-2009

Классификация и подклассификация по категориям оси Е

Категория	Определение по РКООН-2009	Основания для классификации
Е1	Подтверждена экономическая целесообразность добычи и сбыта	Ожидается начало осуществления проекта. Выделение финансирования было подтверждено, и имеются разумные основания полагать, что необходимые согласования будут получены в разумные сроки
<i>Подкатегория</i>	<i>Определение по РКООН-2009</i>	
Е1.1	Добыча и сбыт являются рентабельными в текущих рыночных условиях и при реалистичных сценариях будущих рыночных условий	

Классификация и подклассификация по категориям оси F

Категория	Определение по РКООН-2009	Основания для классификации
F1	Осуществимость добычи при реализации определенного проекта разработки или при проведении горных работ подтверждена	В проекте используются проверенные на практике технологии. В пользу осуществимости этого проекта говорит наличие близости аналогичных проектов
<i>Подкатегория</i>	<i>Определение по РКООН-2009</i>	
F1.3	Завершены достаточно подробные исследования, доказывающие обоснованность добычи при реализации определенного проекта разработки или при проведении горных работ	

Классификация и подклассификация по категориям оси G

Категория	Определение по РКООН-2009	Основания для классификации
G1*	Количества, отнесенные к известному месторождению, которые можно оценить с высокой степенью достоверности	Уровень неопределенности сообщаемых количеств энергии не зависит от характеристик подземного источника, так как оценка местных геологических условий уже была проведена в ходе предыдущих изысканий и определения ТИ. Точность моделирования зависит от прогноза тепловой нагрузки, оценки технического состояния оборудования и динамики цен на энергоносители в течение периода эксплуатации системы
G2*	Количества, отнесенные к известному месторождению, которые можно оценить со средней степенью достоверности	

* Следует отметить, что отнесение к категории G1+G2 основывается на применении только одного сценария нагрузки с учетом типичного для данной местности метеорологического года [1] и стандартных характеристик эксплуатации офисных зданий (касающихся, например, сотрудников, электроприборов и т. д.). Чтобы охарактеризовать полный диапазон неопределенности в оценке необходим окончательный вариант классификации, в том числе оценка по категориям G1 и G3.

Классификация и количественный анализ по РКООН-2009

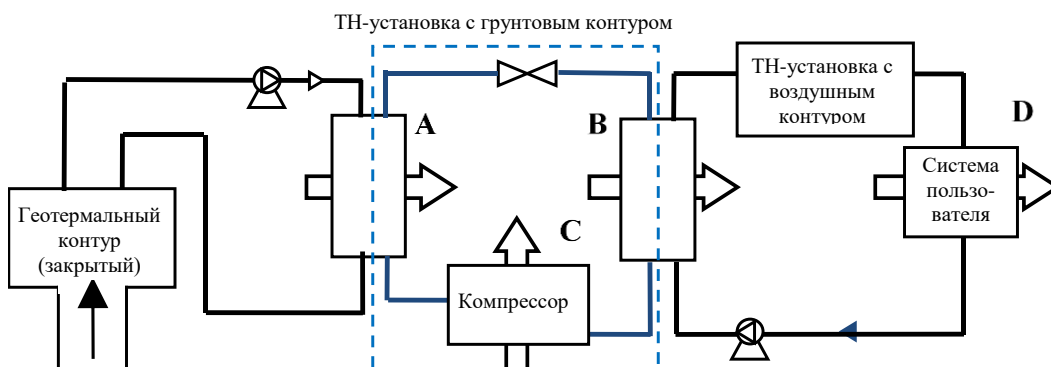
Классификация	Количество энергии	Дополнительная информация
Класс РКООН-2009		Количественные энергетические показатели относятся к ТНГ. На диаграммах 1 а) и 1 б) представлена упрощенная схема основных потоков энергии
E1.1; F1.3; G1+G2	Контрольная точка A*: 3,2 ТДж (Режим обогрева)	Предполагаемый срок эксплуатации проекта: 20 лет На ТНГ приходится почти 83% и 77% от общей отопительной и охлаждающей нагрузки соответственно Средний показатель КТП ТНГ: 4 Средний показатель КЭЭ ТНГ: 5

* Расположение контрольных точек представлено на диаграммах 1 а) и 1 б).

Диаграммы 1 а) и 1 б)

Контрольные точки для проведения оценки проектов с ГТН, работающими в режиме обогрева и охлаждения

(Диаграмма а) – режим обогрева)



(Диаграмма 1 б) – режим охлаждения)

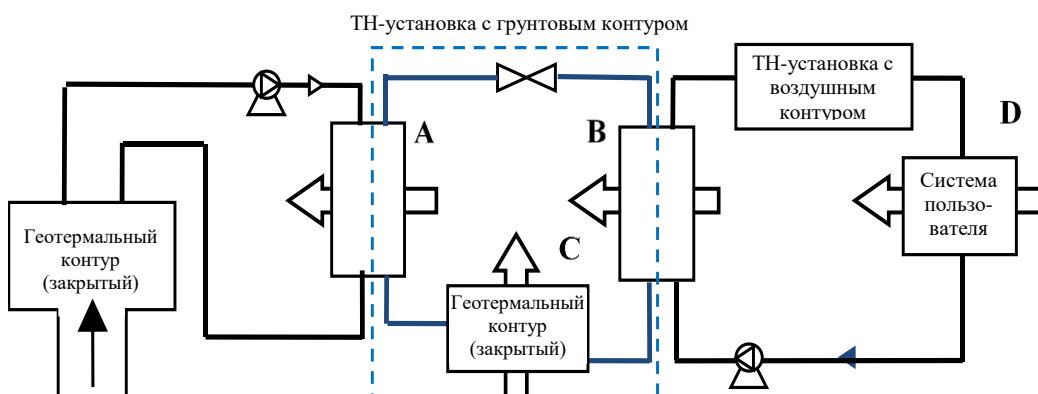


Таблица 6

Основные показатели производительности и данные за период эксплуатации (20 лет)

Показатель	Значение
Суммарное потребление первичной энергии	7,2 ТДж (2 000 МВт·ч)
Количество энергии, вырабатываемой ГТН в режиме обогрева (точка В)	4,0 ТДж (1 115 МВт·ч)
Количество энергии, отбираемой ГТН в режиме охлаждения (точка В)	4,5 ТДж (1 240 МВт·ч)
Доля системы ГТН в суммарной тепловой нагрузке	0,83
Доля системы ГТН в суммарной охладительной нагрузке	0,77
Показатель КПД системы ГТН (с учетом вспомогательного питания)*	4,26
Показатель КЭЭ системы ГТН (с учетом вспомогательного питания)*	3,62
Показатель КПД системы ВТН	2,71
Показатель КЭЭ системы ВТН	3,16
Энергия, извлекаемая из подземного источника в режиме обогрева (точка А)	3,2 ТДж (896 МВт·ч)
Энергия, отдаваемая подземному источнику в режиме охлаждения (точка А)	5,3 ТДж (1485 МВт·ч)

* Суммарные коэффициенты КПД и КЭЭ также включают в себя энергозатраты, связанные с работой насоса грунтового контура.

Справочная литература

- [1] CTI. Typical Meteorological Year. Milan (IT): Italian Committee of Thermotechnics (CTI); 2012.
- [2] ASHRAE. Geothermal energy, in ASHRAE Handbook - HVAC Applications. Atlanta (GA): American Society of Heating, Refrigerating and Air-Conditioning Engineers (ASHRAE); 2011. – 34.4.
- [3] Grassi W, Conti P, Schito E, Testi D. On sustainable and efficient design of ground-source heat pump systems. Journal of Physics: Conference Series 655 (1), 012003; 2015.
- [4] UNI. UNI EN 14511-2. Air conditioners, liquid chilling packages and heat pumps with electrically driven compressors for space heating and cooling. part 2: test conditions. Milan, 2013.

Пример проекта 11: Агрегированный потенциал ГТН в Северной Рейн-Вестфалии

Место осуществления проекта: Северная Рейн-Вестфалия, Германия

Данные по состоянию на 2015 год

Время оценки: январь 2016 года

Метод количественного анализа: официальное исследование потенциала, проведенное Агентством охраны природы, окружающей среды и защиты прав потребителей Северной Рейн-Вестфалии (Германия)

Вид оценки (детерминистская/вероятностная): детерминистская, с пошаговым увеличением

Краткое описание проекта исследования потенциала использования ГТН в Северной Рейн-Вестфалии (Германия)³

В 2015 году Агентство охраны природы, окружающей среды и защиты прав потребителей Северной Рейн-Вестфалии (СРВ) представило исследование, посвященное агрегированному потенциалу использования геотермальных теплонасосных установок (ГТН). В исследовании проводилась оценка потенциала использования систем ГТН с максимальной глубиной бурения 100 метров.

Технические ограничения, касающиеся освоения этого потенциала, связаны с влиянием не только геологических условий, но и фактического спроса. В исследовании была проведена оценка совокупного потенциала 3,6 млн земельных участков, а также сопоставление количества тепла, которое может быть извлечено, и тепловых потребностей каждого отдельного здания, расположенного на этих участках. Оценка проводилась в три этапа:

- i) Рассчитывалось потенциальное количество геотермальной энергии земельного участка, которую можно извлечь с помощью ГТН с оптимально подобранной конфигурацией. Затем из рассчитанного потенциала вычиталось количество электроэнергии, необходимой для работы теплового насоса, с учетом среднего коэффициента производительности (КТП) 3,8.
- ii) Производился расчет тепловых потребностей здания(й), расположенного(ых) на конкретном участке (тепловой сток), с учетом их размеров, этажности, типа использования и т. д.
- iii) В качестве потенциала конкретного земельного участка выбиралась наименьшая из двух указанных выше величин. Потенциал земельных участков, лишенных построек, определяется как нулевой ввиду отсутствия на этих участках спроса.

При расчете извлекаемого количества тепловой энергии в данном исследовании учитывались площадь (в м²), подземные характеристики, местные климатические условия, а также возможные ограничения нормативно-правового характера. При проведении расчетов, связанных с добычей, в качестве основы использовалась типовая схема размещения скважин, адаптированная к размерам рассматриваемого земельного участка, при этом участок заменялся на этой схеме эквивалентным по

³ Potenzialstudie Erneuerbare Energien NRW
Teil 4 - Geothermie
LANUV-Fachbericht 40
Landesamt für Natur, Umwelt und Verbraucherschutz Nordrhein-Westfalen.

площади (в м²) прямоугольником. Площадь участка, занятая зданием или зданиями, при проведении расчетов не учитывалась.

На первом этапе агрегирования все земельные участки СРВ были проанализированы на предмет возможности размещения на них системы ГТН, при этом рассматривались только участки с тепловым стоком (например, участки, на которых расположены здания). Из анализа были исключены земельные участки, на которых размещается транспортная инфраструктура, участки с неотапливаемыми объектами (например, складами) и участки, расположенные в зонах действия нормативных ограничений, в частности связанных с обеспечением водоснабжения.

На втором этапе определялся теоретический геотермальный потенциал отобранных участков с четко определенным правом собственности, и при этом учитывались ограничения, касающиеся критически важных в гидрогеологическом плане районов, а также других охранных зон, где, например, ведется добыча полезных ископаемых вблизи земной поверхности.

Потенциал, который теоретически может быть использован, рассчитывался на основе карт подземных температур и теплопроводности, предоставленных геологоразведочной службой СРВ. Применялись значения диаметров и показатели наполнителей и рабочего тела, которые являются стандартными для теплообменника, выполненного в виде двойной U-образной трубы, расположенной в скважине глубиной до 100 м (40 м в некоторых охранных зонах).

На заключительном этапе для каждого объекта собственности проводился количественный анализ тепловых потребностей, т. е. имеющегося спроса на тепло, с учетом местных климатических условий и базовых характеристик зданий. В исследовании здания разбивались по следующим категориям:

- неотапливаемые здания, тепловые потребности которых равны нулю
- жилые здания со стандартными тепловыми потребностями
 - годовая потребность в тепловой энергии составляет 150 кВт·ч/м², плюс потребность в горячей воде на уровне 15 кВт·ч/м², в течение 2 100 часов/год
- коммерческие здания, тепловые потребности которых превышают средние показатели
 - годовая потребность в тепловой энергии составляет 300 кВт·ч/м²
- коммерческие здания, тепловые потребности которых ниже средних показателей
 - годовая потребность в тепловой энергии составляет 75 кВт·ч/м².

Более подробная информация об оценке тепловых потребностей содержится в [1].

При проведении данной оценки использовалась только информация, имеющаяся в открытом доступе, и результаты оценки представлены в указанной ниже справочной литературе.

Количественный анализ

Результаты, полученные для 3,6 млн земельных участков, агрегировали на трех уровнях, что позволило провести количественный анализ на муниципальном, региональном и общеземельном уровнях соответственно. На основе представленных муниципалитетами прогнозов развития проводилась оценка потенциального дополнительного спроса на тепло, обусловленного строительством новых зданий. В данном случае для простоты было сделано предположение о том, что все оценки в отношении старых и новых зданий будут отнесены к одной и той же категории классификации по осям E, F и G, и поэтому их можно агрегировать (см. раздел К «Агрегирование количеств» в Спецификации для применения РКООН-2009).

Были получены следующие результаты агрегирования:

- Совокупные тепловые потребности существующих зданий: 975 ПДж/год (271,1 ТВт·ч/год).

- Доля тепла, вырабатываемого ГТН, от общей тепловой нагрузки: 533 ПДж/год (153,7 ТВт·ч/год), что означает, что ГТН могут удовлетворить 56,7% от всего теплового спроса СРВ.
- Дополнительный спрос на тепло, обусловленный появлением новых зданий, которые, как ожидается, будут построены в течение срока реализации проекта: 1,5 ПДж/год (426 ГВт·ч/год).

Значения 153,7 ТВт·ч/год и 426 ГВт·ч/год использованы для количественной оценки сырья.

Среднестатистический период эксплуатации отопительных систем в СРВ составляет 35 лет, что также учитывалось в рамках данного исследования (в котором предполагается также, что *имеются разумные перспективы для рентабельной добычи и сбыта в обозримом будущем*, связанные с установками, которые эксплуатируются в старых и новых зданиях). Таким образом, с учетом только лишь существующих на данный момент зданий суммарное количество энергетического сырья, вырабатываемого ГТН, составляет 19,4 ЭДж. Если же помимо этого принять во внимание спрос на тепло, обусловленный строительством новых зданий (53,7 ПДж), то, согласно оценке, общее количество производимого тепла составит 19,5 ЭДж. Именно эти значения и были использованы в качестве наилучшей оценки для классификации.

Вид продукта

В данном проекте геотермальному энергетическому продукту соответствует тепло, которое поступает для отопления зданий (точка D на диаграмме 1). Как продукт, так и ресурс в этой точке следует считать «гибридными», так как они получены за счет комбинации разных видов энергии, из которых геотермальной является только одна (точка A на диаграмме 1). Все представленные количественные показатели являются результатом агрегирования данных по энергообмену в каждом отдельном проекте.

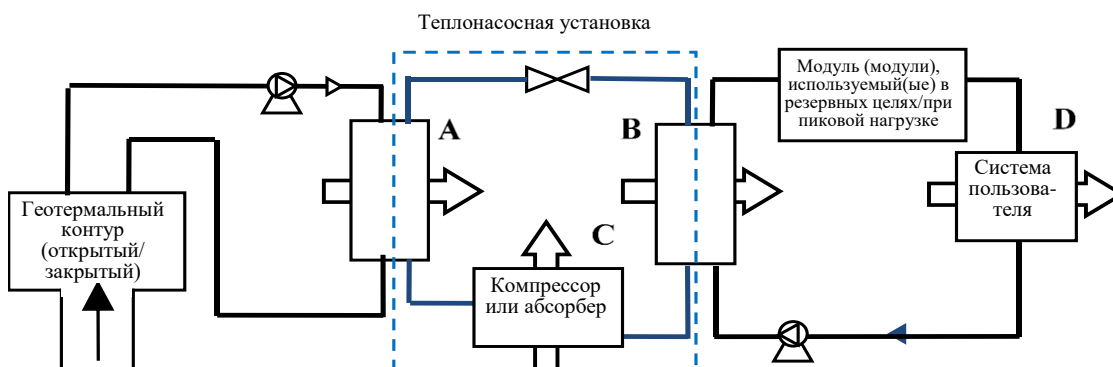
Контрольная точка

Согласно диаграмме 1, анализ общего энергетического баланса системы ГТН следует проводить на основе четырех точек оценки, позволяющих разделить между собой энергообмен с подземным источником (точка A), производство тепловой энергии теплонасосной установкой (точка B), затрачиваемую энергию (точка C) и общее количество тепла, подаваемого в систему конечного пользователя (точка D). В точках B и D оцениваются количества *гибридной* энергии, получаемой за счет комбинации энергии, отдаваемой подземным источником (точка A), энергии, потребляемой компрессором (рассматриваются электрические тепловые насосы), и питания от генераторов, используемых в период пиковой нагрузки и в резервных целях.

В данной оценке в качестве *контрольной точки* для представления информации о геотермальных энергетических ресурсах и их классификации в соответствии с РКООН-2009 выбрана точка D.

Диаграмма 1

Контрольные точки для проведения оценки проектов с использованием ГТН в режиме обогрева



Классификация и количественный анализ по РКООН-2009

Классификация	Количество энергии	Дополнительная информация
Класс по РКООН-2009	Сырье: тепло	
E2; F1.3; G1*+G2*	19,4 ЭДж + 53,7 ПДж	Тепловые потребности потребителя, которые могут быть удовлетворены за счет ГТН, зависят из потенциала отдельных земельных участков и стоящих на них зданий. При этом учитывается электроэнергия, необходимая для работы тепловых насосов. Средний показатель КТП равен 3,8. В оценку также включено пошаговое увеличение спроса на тепловую энергию в связи со строительством новых зданий. Сумма количественных показателей для существующих и новых зданий принимается за наилучшую оценку

* Следует отметить, что отнесение к категории G1+G2 основывается на упрощенном анализе информации, находящейся в открытом доступе. Чтобы охарактеризовать полный диапазон неопределенности в оценке необходим окончательный вариант классификации, в том числе отдельные оценки по категориям G1 и G3.

Классификация по категориям оси E

Категория	Определение по РКООН-2009	Основания для классификации
E2*	Предполагается, что добыча и сбыт станут экономически целесообразными в обозримом будущем	В исследовании, проведенном Агентством охраны природы, окружающей среды и защиты прав потребителей Северной Рейн-Вестфалии, использованы фактические данные, накопленные на основе тысяч скважин, и другие сведения, такие как данные из официального кадастра СРВ. Каждый год бурятся тысячи новых скважин. Таким образом, имеются разумные перспективы для успешной реализации в обозримом будущем

* Следует отметить, что в рамках более подробного исследования следует провести оценку вероятности того, что все здания будут строиться в обозримом будущем, т. е. в течение пяти лет с момента проведения оценки. В случае отсутствия каких-либо разумных перспектив для такого варианта развития событий, все оцененные количества или их часть следует отнести к категории E3, а не E2.

Классификация и подклассификация по категориям оси F

<i>Категория</i>	<i>Определение по РКООН-2009</i>	<i>Основания для классификации</i>
F1	Осуществимость добычи при реализации определенного проекта разработки или при проведении горных работ подтверждена	Исследование существующего в СРВ потенциала считается достаточно подробным. В СРВ уже было установлено более 40 000 систем с залегающим близко к поверхности контуром, и имеется четкое представление о потенциале, который связан с близповерхностными пластами. Кроме того, технология извлечения хорошо освоена
<i>Подкатегория</i>	<i>Определение по РКООН-2009</i>	
F1.3	Завершены достаточно подробные исследования, доказывающие обоснованность добычи при реализации определенного проекта разработки или при проведении горных работ	

Классификация по категориям оси G

<i>Категория</i>	<i>Определение по РКООН-2009</i>	<i>Основания для классификации</i>
G1	Количества, отнесенные к известному месторождению, которые можно оценить с высокой степенью достоверности	В СРВ уже пробурены тысячи скважин, и поэтому геотермальный энергетический ресурс можно считать «известным». Результаты исследований рассматриваются в качестве наилучших оценок, чем обусловлено отнесение к категории G1+G2
G2	Количества, отнесенные к известному месторождению, которые можно оценить со средней степенью достоверности	

Справочная литература

[1] http://www.lanuv.nrw.de/uploads/tx_commercedownloads/30040d.pdf

Пример проекта 12: Паужетское геотермальное месторождение

Место осуществления проекта: Паужетка, Камчатский край (Российская Федерация)
Данные по состоянию на 2016 год
Время оценки: март 2016 года
Метод количественного анализа: экстраполяция данных истории эксплуатации, iTOUGH2-моделирование
Вид оценки (детерминистская/вероятностная): детерминистская, с использованием сценариев

Краткое описание проекта

Разработка Паужетского геотермального месторождения, расположенного на Камчатском полуострове на Дальнем Востоке России, началась в 1960 году. В 1966 году была введена в эксплуатацию электростанция с установленной мощностью 5 МВт, а в 2006 году был установлен новый модуль мощностью 6 МВт. Первые инженерно-технические исследования резервуара месторождения (Пийп, 1965; Сугробов, 1970) выявили расположенное в туфах «вододоминирующее» месторождение пластового типа с температурой 170–190 °С и разгрузкой горячих источников на уровне 31 кг/с. В ходе первых десяти лет эксплуатации с общим расходом 160–190 кг/с отмечалось постепенное снижение температуры и концентрации хлор-иона в эксплуатационных скважинах, размещенных вблизи зоны естественной разгрузки гидротерм. В связи с этим были пробурены новые разведочные и эксплуатационные скважины, и эксплуатационный участок постепенно смещался в сторону от зоны естественной разгрузки, пока температура струи не достигла 200–220 °С. Эксплуатационные скважины вскрыли центральную часть восходящего потока теплоносителя в 1,5–2,0 км к юго-востоку от старого продуктивного поля. В период с 1976 по 2006 год общий водоотбор достигал 220–260 кг/с, и при этом продолжалось понижение температур и энтальпии. Применение инверсионного iTOUGH2-моделирования (в 2008 году) помогло провести верификацию концептуальной гидрогеологической модели системы, определить ключевые параметры, получить их более надежную оценку и сформулировать на их основании прогноз. Калибровка модели Паужетского геотермального месторождения осуществлялась на основе данных по естественному состоянию и данных по эксплуатации месторождения за 1960–2006 годы с использованием программ TOUGH2 (прямое моделирование) и iTOUGH2 (инверсионное моделирование). Были выявлены и оценены ключевые параметры модели, а именно трещинная пористость гидротермального резервуара, начальный приток глубинного теплоносителя, пористость системы подводящих каналов в фундаменте, а также проницаемость «гидравлических окон» в верхнем слое модели (Kiryukhin et al., 2008).

Расчет энергетических и массовых балансов позволил оценить источники формирования запасов геотермального месторождения. Основным источником являются флюиды, аккумулированные в гидротермальном резервуаре, далее за которыми следуют приток метеорных вод, приток глубинного теплоносителя и реинжекционная вода. Прогнозное моделирование на 2007–2032 годы показало наличие возможности стабильно получать пар со средним расходом порядка 30 кг/с (и суммарном расходе пароводяной смеси порядка 290 кг/с) при условии ввода в эксплуатацию пяти дополнительных скважин, а также оптимизации потерь давления в трубопроводах от скважин 122 и 131, которая позволила бы перевести их на более низкие устьевые давления. Такой продукции пара будет достаточно для обеспечения выработки Паужетской ГеоЭС электроэнергии в среднем на уровне 7 МВт (Kiryukhin et al., 2008, 2014). С учетом вышеизложенного распределение эксплуатационных запасов Паужетского геотермального месторождения (при давлении сепарации 2,9 бар)

было утверждено Протоколом Федерального агентства Российской Федерации по недропользованию – Роснедра № 1606 от 6 мая 2008 года (для запасов, отнесенных к категории «А+В+С1», расход составляет 25,4 кг/с, для запасов категории «А+В» – 14,1 кг/с (56%) и для запасов категории С1 – 11,3 кг/с (44%)).

На основе откалиброванной модели была проведена общая оценка динамики параметров резервуара в соответствии со сценариями будущей добычи (Kiryukhin et al., 2014). Для Паужетского геотермального месторождения характерен приток вод метеорного происхождения: на них приходится до 30% от полного объема извлекаемого флюида, что отмечается не только на бывших участках термальной разгрузки, но и в первую очередь (75%) в области ликвидированных скважин в районе реки Паужетки, где до начала эксплуатации никакой естественной разгрузки не наблюдалось. Отсюда следует, что некоторые (плохо зацементированные) ликвидированные скважины могут служить проводниками метеорных вод в резервуар, что приводит к охлаждению продуктивной зоны и отрицательно влияет на параметры эксплуатации. Моделирование эксплуатации месторождения показало, что, если изолировать такие искусственно созданные зоны инфильтрации, суммарная паропроизводительность может возрасти на 23,2% и для поддержания нынешней мощности электростанции потребуется меньше дополнительных скважин.

При используемых на Паужетской ГеоЭС турбинах, потребляющих 4,03 кг/с пара на 1 МВт электроэнергии, утвержденных в ГКЗ по Центральному участку Паужетского геотермального месторождения, эксплуатационных запасов достаточно для выработки 6,3 МВт электроэнергии. Отмечается, что существует возможность применять и более эффективные технологии использования теплоносителя, как, например, на ГеоЭС «Ист-Меза» (37 МВт_э). На этой ГеоЭС с двойным циклом кипения используется 1 070 кг/с теплоносителя при энтальпии 689 кДж/кг (данные, полученные на ГеоЭС «Ист-Меза» в 2006 году). Сначала в первом цикле из теплоносителя получают 59,8 кг/с пара при давлении сепарации 3,14 бар, а затем во втором цикле из отсепарированной воды (1 010,2 кг/с) получают дополнительно 56,89 кг/с пара при давлении 1,15 бар. Таким образом, удельное потребление пара для выработки 1 МВт электроэнергии составляет 1,62 кг/с при давлении 3,14 бар плюс 1,54 кг/с при давлении 1,15 бар (турбина «Modular-25» Mitsubishi). С помощью данной технологии с использованием действующих на Паужетском месторождении добычных скважин можно вырабатывать 11,2 МВт электроэнергии.

Соответствующие параметры проекта выглядят следующим образом:

- расход пароводяной смеси: 288 кг/с;
- расход пара при среднем давлении сепарации 2,9 бар (возможность обеспечения устойчивой добычи в течение следующих 17 лет подтверждена результатами моделирования): 25,4 кг/с;
- коэффициент конверсии используемых в настоящее время турбин: 4,03 кг/с пара на 1 МВт_э;
- текущая годовая выработка электроэнергии на ГеоЭС с одноступенчатым циклом: 4,2 МВт_э (установлено два агрегата установленной мощностью по 6 МВт_э);
- потенциальная конверсия на ГеоЭС с бинарным энергоблоком при давлении сепарации 1,15 бар: 11,2 МВт_э;
- потенциальное увеличение продукции пара на 23,2% за счет изоляции искусственно созданных зон инфильтрации;
- расход сбросной воды на действующей ГеоЭС: 252,6 кг/с при температуре 132° С (2008 год);
- оставшийся срок эксплуатации: 17 лет;
- общая сумма имеющихся энергоресурсов: 2,25 ПДж (4,2 МВт_э x 17 лет).

Количественный анализ

Электроэнергия

Количественная оценка пара, получаемого для нынешних мощностей ГеоЭС в 6 МВт, в течение следующих 17 лет, осуществлялась исходя из действующих эксплуатационных скважин (56%) и прогнозируемого ввода в эксплуатацию пяти дополнительных скважин (44%). Сведение к минимуму инфильтрации холодных вод в продуктивный резервуар может обеспечить повышение выработки электроэнергии на 23%.

В случае перехода от технологии одноступенчатого цикла к бинарной технологии, существует возможность увеличить выработку электроэнергии на 87%.

Тепло

Количественная оценка извлекаемой тепловой энергии проводится исходя из минимального значения следующих двух параметров: 1) потенциальной потребности системы централизованного теплоснабжения поселка Озерновский в тепловой энергии, которая составляет 15,0 МВт_т (или 0,27 ПДж) в год (при входной/выходной температуре системы теплоснабжения 110 °С/45 °С). Указанное выше значение получено при использовании в качестве модели Паратунского сельского поселения, где действует геотермальная система централизованного теплоснабжения; 2) тепловой энергии сбросной воды, отработанной на ГеоЭС, которая определяется удельным массовым расходом 252,6 кг/с при температуре 132° С (2008 год).

Оставшийся срок эксплуатации составляет 17 лет.

Вид продукта

Производится два энергетических продукта: электроэнергия и тепло.

Контрольная точка

Контрольной точкой для выработки электроэнергии является распрестройство ГеоЭС, откуда валовая произведенная энергия поставляется в поселок Озерновский и рыбопромышленному предприятию.

Контрольной точкой для потенциального выпуска тепла является точка измерения системы теплоснабжением поселка Озерновский.

Геотермальные энергетические ресурсы

Выработка электроэнергии на ГеоЭС с одноступенчатым циклом

Выработка электроэнергии на ГеоЭС с одноступенчатым циклом:

Низкая оценка:	1,82 ПДж _з	(3,4 МВт _з x 17 лет)
Наилучшая оценка:	3,21 ПДж _з	(6,0 МВт _з x 17 лет)
Высокая оценка:	3,94 ПДж _з	(7,4 МВт _з x 17 лет)

Потенциальная выработка электроэнергии на ГеоЭС с бинарным энергоблоком

Потенциальная выработка электроэнергии на ГеоЭС с бинарным энергоблоком:

Низкая оценка:	3,40 ПДж _э	(6,3 МВт _э x 17 лет)
Наилучшая оценка:	5,99 ПДж _э	(11,2 МВт _э x 17 лет)
Высокая оценка:	7,37 ПДж _э	(13,8 МВт _э x 17 лет)

Тепло

Тепло:

Низкая оценка:	20,7 ПДж _т	(38,6 МВт _т x 17 лет)
Наилучшая оценка:	36,9 ПДж _т	(68,7 МВт _т x 17 лет)
Высокая оценка:	45,4 ПДж _т	(84,8 МВт _т x 17 лет)

Классификация по РКООН-2009

Классификация	Количество энергии	Дополнительная информация
Класс по РКООН-2009	Сырье: электроэнергия	Паужетская ГеоЭС непрерывно вырабатывает электроэнергию начиная с 1966 года. Оставшийся срок ее эксплуатации составляет 17 лет
E1.1; F1.1; G1	1,82 ПДж _э	Консервативная оценка основана на сокращении на 44% количеств вследствие снижения производительности эксплуатационных скважин
E1.1; F1.1; G2	1,39 ПДж _э	Пошаговое увеличение энергии в случае бурения пяти дополнительных скважин при сохраняющейся добыче с использованием существующих эксплуатационных скважин
E1.1; F1.1; G3	0,73 ПДж _э	Пошаговое увеличение энергии в случае бурения пяти дополнительных скважин и в случае изоляции искусственно созданных зон инфильтрации холодных вод при сохраняющейся добыче с использованием существующих эксплуатационных скважин

Классификация и подклассификация по категориям оси E

Категория	Определение по РКООН-2009	Основания для классификации
E1	Добыча и сбыт являются рентабельными в текущих рыночных условиях и при реалистичных сценариях будущих рыночных условий	В настоящее время продукция ГеоЭС на коммерческой основе поставляется в поселок Озерновский и для рыбопромышленного предприятия в рамках схемы сбыта, гарантированной на весь срок эксплуатации ГеоЭС
Подкатегория	Определение по РКООН-2009	
E1.1	Добыча и сбыт являются рентабельными в текущих рыночных условиях и при реалистичных сценариях будущих рыночных условий	

Классификация и подклассификация по категориям оси F

Категория	Определение по РКООН-2009	Основания для классификации
F1	Осуществимость добычи при реализации определенного проекта разработки или при проведении горных работ подтверждена	Извлечение энергии и ее преобразование в электроэнергию осуществляются по необходимым коммерческим тарифам
<i>Подкатегория</i>	<i>Определение по РКООН-2009</i>	
F1.1	В настоящее время ведется добыча на месторождении	

Классификация и подклассификация по категориям оси G

Категория	Определение по РКООН-2009	Основания для классификации
G1	Количества, отнесенные к известному месторождению, которые можно оценить с высокой степенью достоверности	<p>В настоящее время система является продуктивной. Начиная с 1975 года общий расход воды, поступающей из эксплуатационных скважин, поддерживается на уровне 220–260 кг/с. Калибровка модели Паужетского геотермального месторождения осуществлялась на основе данных по естественному состоянию и данных по эксплуатации месторождения за 1960–2006 годы с использованием программ TOUGH2 (прямое моделирование) и iTOUGH2 (инверсионное моделирование).</p> <p>Таким образом, Паужетский геотермальный энергетический источник может считаться «известным», и все его ресурсы относятся к категории G2+G2+G3.</p> <p>В то время как моделирование с высокой степенью достоверности показывает, что на протяжении всего срока эксплуатации ГеоЭС производство пара на 56% будет поддерживаться за счет существующих эксплуатационных скважин (G1), существует неопределенность относительно производства остальных 44% пара, для чего потребуются пять дополнительных скважин (G2).</p> <p>Инфильтрация метеорных вод через некоторые (плохо зацементированные) ликвидированные скважины может приводить к их попаданию в резервуар, что вызывает охлаждение продуктивной зоны и отрицательно влияет на параметры эксплуатации. Моделирование эксплуатации месторождения показало, что, если изолировать такие искусственно созданные зоны инфильтрации, суммарная паропроизводительность может возрасти на 23,2% (G3)</p>
G2	Количества, отнесенные к известному месторождению, которые можно оценить со средней степенью достоверности	
G3	Количества, сконцентрированные на известном месторождении, которые можно оценить с низкой степенью достоверности	

<i>Классификация</i>	<i>Количество энергии</i>	<i>Дополнительная информация</i>
Класс по РКООН-2009	Сырье: электроэнергия	В случае осуществления перехода от технологии одноступенчатого цикла к бинарной технологии производство электроэнергии на Паужетской ГеоЭС может быть увеличено
E2; F1.3; G1	3,40 ПДж _о	Консервативная оценка основана на сокращении на 44% количества вследствие снижения производительности существующих эксплуатационных скважин
E2; F1.3; G2	2,59 ПДж _о	Пошаговое увеличение энергии в случае бурения пяти дополнительных скважин при сохраняющейся добыче с использованием существующих эксплуатационных скважин
E2; F1.3; G3	1,38 ПДж _о	Пошаговое увеличение энергии в случае бурения пяти дополнительных скважин и в случае изоляции искусственно созданных зон инфильтрации холодных вод при сохраняющейся добыче с использованием существующих эксплуатационных скважин

Классификация и подклассификация по категориям оси E

<i>Категория</i>	<i>Определение по РКООН-2009</i>	<i>Основания для классификации</i>
E2	Предполагается, что добыча и сбыт станут экономически целесообразными в обозримом будущем	Существует разумная вероятность того, что переход от технологии одноступенчатого цикла к бинарной технологии будет осуществлен в обозримом будущем

Классификация и подклассификация по категориям оси F

<i>Категория</i>	<i>Определение по РКООН-2009</i>	<i>Основания для классификации</i>
F1	Осуществимость добычи при реализации определенного проекта разработки или при проведении горных работ подтверждена	С помощью бинарной технологии с использованием действующих эксплуатационных скважин и дополнительных скважин на Паужетском геотермальном месторождении в течение следующих 17 лет его эксплуатации можно вырабатывать 11,2 МВт электроэнергии
<i>Подкатегория</i>	<i>Определение по РКООН-2009</i>	
F1.3	Завершены достаточно подробные исследования, доказывающие обоснованность добычи при реализации определенного проекта разработки или при проведении горных работ	

Классификация и подклассификация по категориям оси G

Категория	Определение по РКООН-2009	Основания для классификации
G1	Количества, отнесенные к известному месторождению, которые можно оценить с высокой степенью достоверности	<p>В настоящее время система является продуктивной. Начиная с 1975 года общий расход воды из эксплуатационных скважин поддерживается на уровне 220–260 кг/с. Калибровка модели Паужетского геотермального месторождения осуществлялась на основе данных по естественному состоянию и данных по эксплуатации месторождения за 1960–2006 годы с использованием программ TOUGH2 (прямое моделирование) и iTOUGH2 (инверсионное моделирование).</p> <p>Таким образом, Паужетский геотермальный энергетический источник может считаться «известным», и все его ресурсы относятся к категории G2+G2+G3.</p> <p>В то время как моделирование с высокой степенью достоверности показывает, что на протяжении всего срока эксплуатации ГеоЭС производство пара на 56% будет поддерживаться за счет существующих эксплуатационных скважин (G1), существует неопределенность относительно производства остальных 44% пара, для чего потребуются пять дополнительных скважин (G2).</p> <p>Инфильтрация метеорных вод через некоторые (плохо зацементированные) ликвидированные скважины может приводить к их попаданию в резервуар, что вызывает охлаждение продуктивной зоны и отрицательно влияет на параметры эксплуатации. Моделирование эксплуатации месторождения показало, что, если изолировать такие искусственно созданные зоны инфильтрации, суммарная паропроизводительность может возрасти на 23,2% (G3)</p>
G2	Количества, отнесенные к известному месторождению, которые можно оценить со средней степенью достоверности	
G3	Количества, сконцентрированные на известном месторождении, которые можно оценить с низкой степенью достоверности	

Классификация	Количество энергии	Дополнительная информация
Класс по РКООН-2009	Сырье: тепло	В настоящее время создание системы централизованного теплоснабжения поселка Озерновский (2 000 жителей) и рыбопромышленного предприятия находится на стадии планирования
E2; F1.3; G1	8,03 ПДж _т	Минимальный массовый расход отработанной на ГеоЭС сбросной воды, определяемый на оставшийся срок эксплуатации проекта (17 лет) на уровне 136,4 кг/с при температуре 132 °С (G1), превышает тепловые потребности системы централизованного теплоснабжения, которые составляют 15 МВт _т /год

Классификация и подклассификация по категориям оси E

Категория	Определение по РКООН-2009	Основания для классификации
E2	Предполагается, что добыча и сбыт станут экономически целесообразными в обозримом будущем	Существует разумная вероятность того, что создание системы централизованного теплоснабжения поселка Озерновский (2 000 жителей) и рыбопромышленного предприятия будет завершено в обозримом будущем

Классификация и подклассификация по категориям оси F

Категория	Определение по РКООН-2009	Основания для классификации
F1	Осуществимость добычи при реализации определенного проекта разработки подтверждена	В настоящее время создание системы централизованного теплоснабжения поселка Озерновский находится на стадии планирования. Данная технология уже применялась в аналогичных проектах в пределах Паратунского грабена
Подкатегория	Определение по РКООН-2009	
F1.3	Завершены достаточно подробные исследования, доказывающие обоснованность добычи при реализации определенного проекта разработки	

Классификация и подклассификация по категориям оси G

Категория	Определение по РКООН-2009	Основания для классификации
G1	Количества, отнесенные к известному месторождению, которые можно оценить с высокой степенью достоверности	Минимальный массовый расход сбросной воды, отработанной на ГеоЭС, определяется на уровне 136,4 кг/с при температуре 132 °С на оставшийся срок эксплуатации проекта (17 лет) (G1)
G2	Количества, отнесенные к известному месторождению, которые можно оценить со средней степенью достоверности	
G3	Количества, сконцентрированные на известном месторождении, которые можно оценить с низкой степенью достоверности	

Справочная литература

Kiryukhin A.V., Asaulova N.P., Finsterle S. Inverse modelling and forecasting for the exploitation of the Pauzhetsky geothermal field, Kamchatka, Russia, *Geothermics*, V. 37, p. 540–562, 2008.

А.В. Кирюхин, Н.П. Асаулова, Ю.Ф. Манухин, Т.В. Рычкова, В.М. Сугробов, ИСПОЛЬЗОВАНИЕ ЧИСЛЕННОГО МОДЕЛИРОВАНИЯ ДЛЯ ОЦЕНКИ ЭКСПЛУАТАЦИОННЫХ ЗАПАСОВ МЕСТОРОЖДЕНИЙ ПАРОГИДРОТЕРМ (на примере Паужетского геотермального месторождения) // *Вулканология и сейсмология*, № 1, 2010 год, с. 56–76.

A.V. Kiryukhin, N.P. Asaulova, Yu.F. Manukhin, T.V. Rychkova, V.M. Sugrobov, Using Numerical Modelling for Assessing the Recoverable Reserves of a Geothermal Steam Field: The Pauzhetka Geothermal Field. 2010, published in *Vulkanologiya i Seismologiya*, 2010, Vol. 4, № 1, pp. 56–71.

А.В. Кирюхин, Н.П. Асаулова, О.Б. Вереина, А.Ю. Поляков, ОЦЕНКА ВЛИЯНИЯ ИНФИЛЬТРАЦИИ ПРИ ЭКСПЛУАТАЦИИ ВЫСОКОТЕМПЕРАТУРНЫХ ГЕОТЕРМАЛЬНЫХ МЕСТОРОЖДЕНИЙ (ПАУЖЕТСКОГО И МУТНОВСКОГО МЕСТОРОЖДЕНИЙ, КАМЧАТКА, РОССИЯ) // «Вулканология и сейсмология», 2014 год, № 3, с. 24–36.

A.V. Kiryukhin, N.P. Asaulova, O.B. Vereina, A.Yu. Polyakov, Estimating the Influence of Filtering during the Operation of the Pauzhetka and Mutnovskii High Temperature Geothermal Fields, Kamchatka, Russia // *Journal of Volcanology and Seismology*, 2014, Vol. 8, № 3, pp. 156–167.

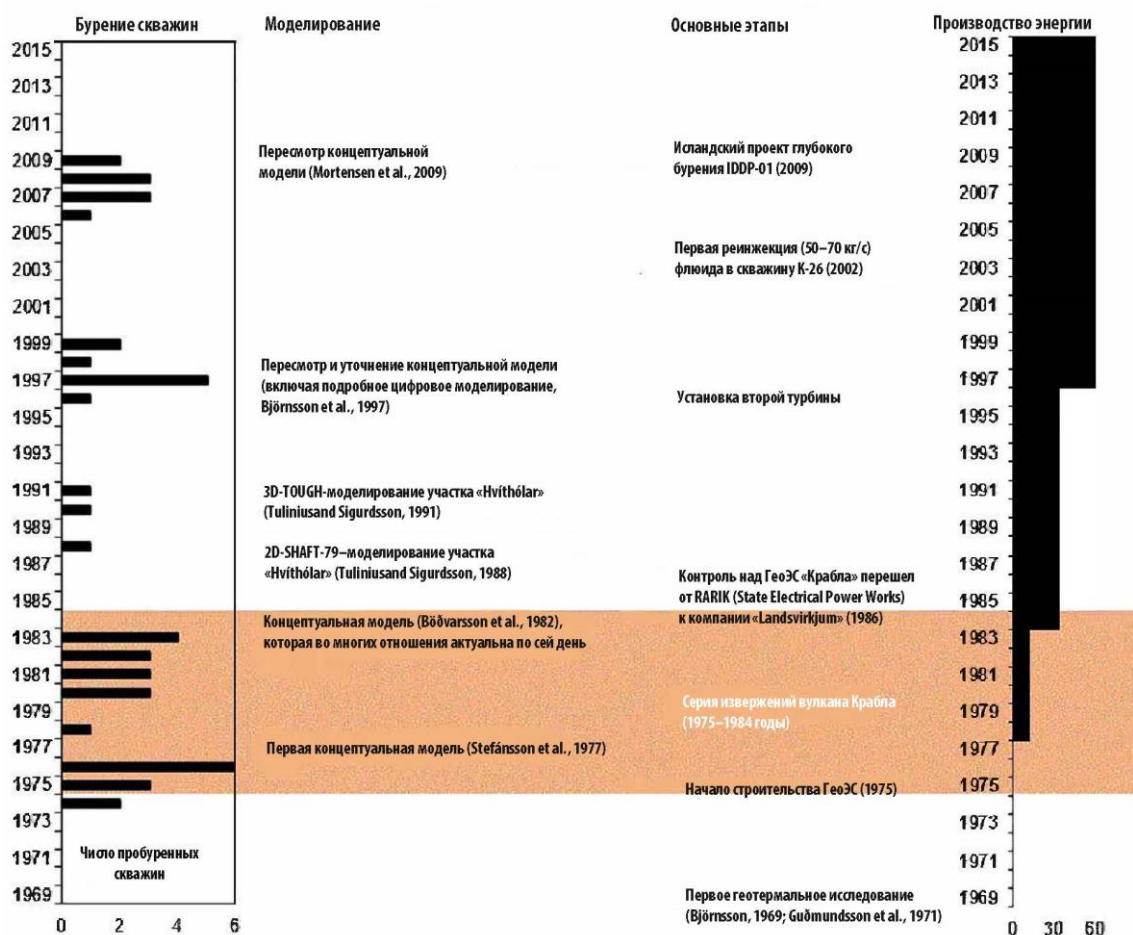
Пример проекта 13: Геотермальное месторождение Крабла

Место осуществления проекта: Крабла (Исландия)
Данные по состоянию на 2016 год
Время оценки: сентябрь 2016 года
Метод количественного анализа: моделирование
Вид оценки (детерминистская/вероятностная): детерминистская

Краткое описание проекта

Регион Крабла на северо-востоке Исландии, расположенный в Североатлантической рифтовой зоне, давно известен своей вулканической и геотермальной активностью. Первое геотермальное исследование этого района проводилось в 1969 году. Были изготовлены аэромагнитные карты, и температура геотермальной системы оценивалась на уровне 200–300 °С. В 1971 и 1972 годах проводилась геологическая разведка методом сопротивлений, а затем в 1974 году были пробурены две первые разведочные скважины. В этом же году было принято решение о строительстве электростанции мощностью 60 МВт, и в 1975 году начались строительные работы. Одновременно с этим начался период вулканической активности Краблы (серия извержений вулкана Крабла), который продолжался с 1975 по 1984 год.

Непрекращающееся изучение резервуара Крабла выявило необычайно сложный характер системы. Согласно концептуальной модели, резервуар состоит из нескольких компартментов, которые в значительной степени отличаются друг от друга, в частности, температурой, энтальпией, химическими свойствами флюида и проницаемостью. Необычайно сложная структура резервуара, а также извержения вулкана Крабла и трудности, обусловленные рыночными факторами, привели к значительной задержке в осуществлении проекта. В 1978 году была введена в эксплуатацию электростанция мощностью 7 МВт, а в 1984 году ее мощность была увеличена до 30 МВт. Наконец, в 1999 году в эксплуатацию была введена вторая турбина, в результате чего суммарная мощность увеличилась до 60 МВт (Weisenberger et al., 2015).



Общая хронология строительства ГеоЭС «Крабла» и освоения геотермальной системы Крабла (Weisenberger et al., 2015).

В настоящее время (по данным на 2016 год) оператором ГеоЭС «Крабла» является компания «Landsvirkjun» (национальная энергетическая компания Исландии), ее мощность составляет 60 МВт (нетто), а паропроизводительность поддерживается за счет ремонтного обслуживания существующих и эпизодического бурения дополнительных скважин. В основе представленного здесь проекта лежит предположение о том, что в течение следующих 30 лет эксплуатация будет непрерывной, а постоянное производство пара будет обеспечено за счет бурения дополнительных скважин. На данный момент на геотермальном месторождении пробурено в общей сложности 42 скважины, хотя для работы ГеоЭС используется только половина из них. Часть неиспользуемых скважин была ликвидирована, в то время как некоторые из них позволили выявить часть неразработанных ресурсов, характеристики которых потенциально благоприятствуют их освоению, и эти скважины могут быть использованы для обслуживания действующей станции.

Ожидается, что никакие проблемы, касающиеся получения разрешений или вопросов регулирования, не станут препятствовать непрерывной добыче в данном районе. Поэтому для целей данного примера принято упрощение, согласно которому срок эксплуатации проекта определяется прогнозируемым сроком износа электростанции. В компании «Landsvirkjun» были проанализированы некоторые варианты повышения мощности электростанции с помощью надстроечного цикла и цикла дополнительной выработки электроэнергии с использованием сбрасываемого тепла, однако в проекте, информация о котором приводится здесь, ни один из этих вариантов не рассматривается.

Для анализа возможных тридцатилетних сценариев эксплуатации и прогнозирования наступления момента, когда сокращение производительности резервуара может привести к прекращению работ по поддержанию производства пара, с помощью программы TOUGH2 была создана модель резервуара. В основу этой

модели легла пересмотренная концептуальная модель, предложенная Вайзенбергом с соавторами (Weisenberger et al., 2015), а также данные по эксплуатации месторождения, накопленные за последние четыре десятилетия. Пространственное разрешение полученной модели относительно невелико, поскольку она разрабатывалась как предварительная модель для оценки производственного потенциала участков, расположенных на периферии нынешней продуктивной зоны.

Чтобы дать количественную оценку неопределенности полученных на основе моделирования прогнозов, был проведен ряд экспериментов с целью разработки оптимистического и пессимистического вариантов модели, которые не сильно расходились бы с имеющимися данными (Berhet et al., 2016a). После этого на основе каждого из трех вариантов модели (пессимистического, базового и оптимистического) моделировалась эксплуатация резервуара на протяжении всего периода осуществления проекта. Для обоснования бурения скважин в рамках этих сценариев моделирования перед добавлением каждой дополнительной скважины проводилась автоматизированная проверка того, будет ли возврат на инвестиции достаточно высоким. Если проверка показывала, что бурение новой скважины нецелесообразно, то бурение любых дополнительных скважин прекращалось, и производительность электростанции свободно снижалась до самого конца периода реализации проекта⁴.

Данная оценка проводилась главным образом на основе информации, находящейся в открытом доступе, однако при этом были сделаны предположения относительно экономических факторов, значения которых на момент проведения исследования были неизвестны.

Количественный анализ

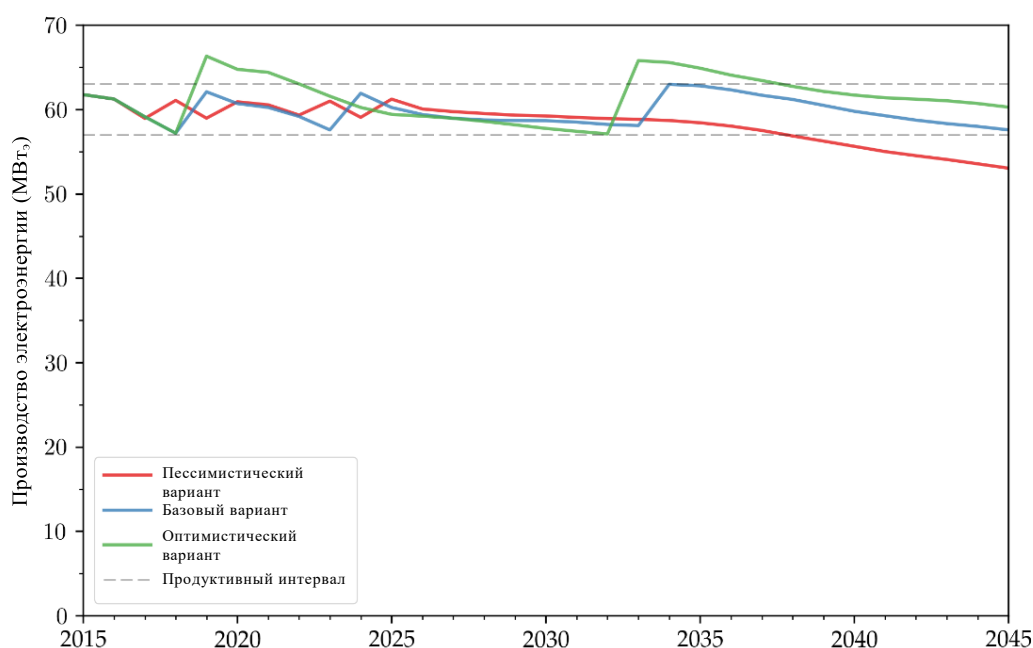
Прогон прогнозов (Porvaldsson et al., 2016) показал, что для поддержания производительности месторождения Крабла на текущем уровне (с мощностью электростанции 60 МВт_н (нетто) и максимальной производительностью 63 МВт_н (нетто)) бурение дополнительных скважин будет продолжаться в течение:

- 10 лет в случае пессимистического варианта,
- 19 лет в случае базового варианта,
- 18 лет в случае оптимистического варианта.

Кумулятивный объем энергопроизводства за весь период реализации проекта при каждом из этих сценариев составляет:

- 55,1 ПДж в случае пессимистического варианта,
- 56,5 ПДж в случае базового варианта,
- 57,5 ПДж в случае оптимистического варианта.

⁴ В данном простом примере (разработанном специально для проекта РКООН) использовалось предположение о том, что стоимость каждой скважины составит 7,5 млн долл. США (включая смежные расходы, связанные, например, с неудачным бурением и невозможностью получения пара), цены на энергию были фиксированы на уровне 43 долл. США за 1 МВт-ч и применялась ставка дисконтирования 10% в год. С технической точки зрения решение о бурении дополнительной скважины будет также зависеть от других параметров, таких как расходы на эксплуатацию и техническое обслуживание, альтернативные издержки, связанные с недоиспользованием инвестиций на бурение скважины и мощностей электростанции, возможные колебания цен на энергоносители, продуктивность скважины и т. д. Однако в данном примере проекта эти параметры не учитывались.



Сценарии будущей добычи при эксплуатации геотермального месторождения Крабла (Forvaldsson et al., 2016).

Количественный анализ проводился на основе модели резервуара, описанной в разделе «Краткое описание проекта». В данном случае был использован детерминистский подход, в рамках которого проводилась проверка трех разных планов развития, каждому из которых соответствуют определенные предположения относительно ключевых параметров модели, которые характеризуются неопределенностью. В методе моделирования учитывалась связь между свойствами резервуара, которые характеризуются неопределенностью, и экономическими ограничениями, связанными с бурением дополнительных скважин. Именно это привело к возникновению разброса показателей кумулятивного энергопроизводства за весь период реализации проекта, который в данном случае оказался достаточно небольшим (в пределах 2,5% от оценки, полученной для базового варианта модели)⁵.

Данная модель строилась на основе экономических предположений о том, что эксплуатируемая ГеоЭС будет бинарной, а вырабатываемая ею энергия будет поставляться в национальную энергосеть Исландии. Разработчик проекта будет производить электроэнергию и осуществлять ее оптовый сбыт через энергосеть, обеспечивающую доступ к рынку.

Вид продукта

Продуктом производства является электроэнергия.

Контрольная точка

Контрольной точкой является распределительное устройство ГеоЭС, откуда энергия поставляется в национальную энергосистему. Внутреннее потребление энергии в этой точке уже учтено.

⁵ Следует отметить, что из-за неопределенности в отношении параметров резервуара показатели будущей прибыльности проекта также в значительной степени варьируются. Однако в рамках РКООН информация о разбросе значений по этому параметру не предоставляется.

Классификация по РКООН-2009

Классификация и подклассификация по категориям оси E

Категория	Определение по РКООН-2009	Основания для классификации
E1	Подтверждена экономическая целесообразность добычи и сбыта	Данный проект реализуется начиная с 1978 года, а с 1999 года он вышел на нынешнюю мощность производства 60 МВт. На момент проведения оценки каких-либо препятствий для непрерывной разработки не прогнозировалось
<i>Подкатегория</i>	<i>Определение по РКООН-2009</i>	
E1.1	Добыча и сбыт являются рентабельными в текущих рыночных условиях и при реалистичных сценариях будущих рыночных условий	

Классификация и подклассификация по категориям оси F

Категория	Определение по РКООН-2009	Основания для классификации
F1	Осуществимость добычи при реализации определенного проекта разработки или при проведении горных работ подтверждена	Проект уже находится на стадии эксплуатации, и продажа энергии для национальной энергосистемы Исландии уже осуществляется
<i>Подкатегория</i>	<i>Определение по РКООН-2009</i>	
F1.1	В настоящее время ведется добыча на месторождении	

Классификация и подклассификация по категориям оси G

Категория	Определение по РКООН-2009	Основания для классификации
G1	Количества, отнесенные к известному месторождению, которые можно оценить с высокой степенью достоверности	Количественный анализ проводился на основе модели резервуара, созданной с помощью программы TOUGH2, с использованием параметров, которые соответствуют имеющимся данным, а в случае отсутствия данных приводят к получению низких оценок извлекаемости
G2	Количества, отнесенные к известному месторождению, которые можно оценить со средней степенью достоверности	Количественный анализ проводился на основе модели резервуара, созданной с помощью программы TOUGH2, с использованием параметров, которые соответствуют имеющимся данным, а в случае отсутствия данных приводят к получению средних оценок извлекаемости
G3	Количества, сконцентрированные на известном месторождении, которые можно оценить с низкой степенью достоверности	Количественный анализ проводился на основе модели резервуара, созданной с помощью программы TOUGH2, с использованием параметров, которые соответствуют имеющимся данным, а в случае отсутствия данных приводят к получению высоких оценок извлекаемости

Геотермальные энергетические ресурсы по РКООН-2009

<i>Классификация: класс РКООН-2009</i>	<i>Количество энергии</i>	<i>Дополнительная информация</i>
E1.1; F1.1; G1	55,1 ПДж	Пессимистический вариант модели резервуара: 60 МВт _г , до тех пор, пока на 10-м году не будет прекращено бурение дополнительных скважин
E1.1; F1.1; G2	1,4 ПДж	Базовый вариант модели резервуара: 60 МВт _г , до тех пор, пока на 19-м году не будет прекращено бурение дополнительных скважин
E1.1; F1.1; G3	1,0 ПДж	Оптимистический вариант модели резервуара: 60 МВт _г , до тех пор, пока на 18-м году не будет прекращено бурение дополнительных скважин

Справочная литература

Jean-Claude Berthet, Valdís Guðmundsdóttir, Gunnar Þorgilsson, Andri Arnaldsson, 2016a, «Simulation of the Krafla geothermal system - Resource assessment of shallow peripheral zones», Vatnaskil 16.02, ÍSOR-2016/011. Available at http://gogn.lv.is/files/2016/simulation_of_krafla_geothermal_system.pdf.

Lárus Þorvaldsson, Jean-Claude Berthet, Andri Arnaldsson, 2016b, «Energy extraction in 60 MW_e and 110 MW_e Krafla scenarios», Vatnaskil Memo No. 16.14. Available at http://gogn.lv.is/files/2016/krafla_UNFC_memo.pdf.

Tobias Björn Weisenberger, Guðni Axelsson, Andri Arnaldsson, Anett Blischke, Finnbogi Óskarsson, Halldór Ármannsson, Hanna Blanck, Helga Margrét Helgadóttir, Jean-Claude C. Berthet, Knútur Árnason, Kristján Ágústsson, Sigríður Sif Gylfadóttir and Valdís Guðmundsdóttir, 2015, «Revision of the Conceptual Model of the Krafla Geothermal System», ÍSOR-2015/012, Vatnaskil 15.03, LV-2015-040. Available at <http://www.landsvirkjun.is/Media/2015-040.pdf>.

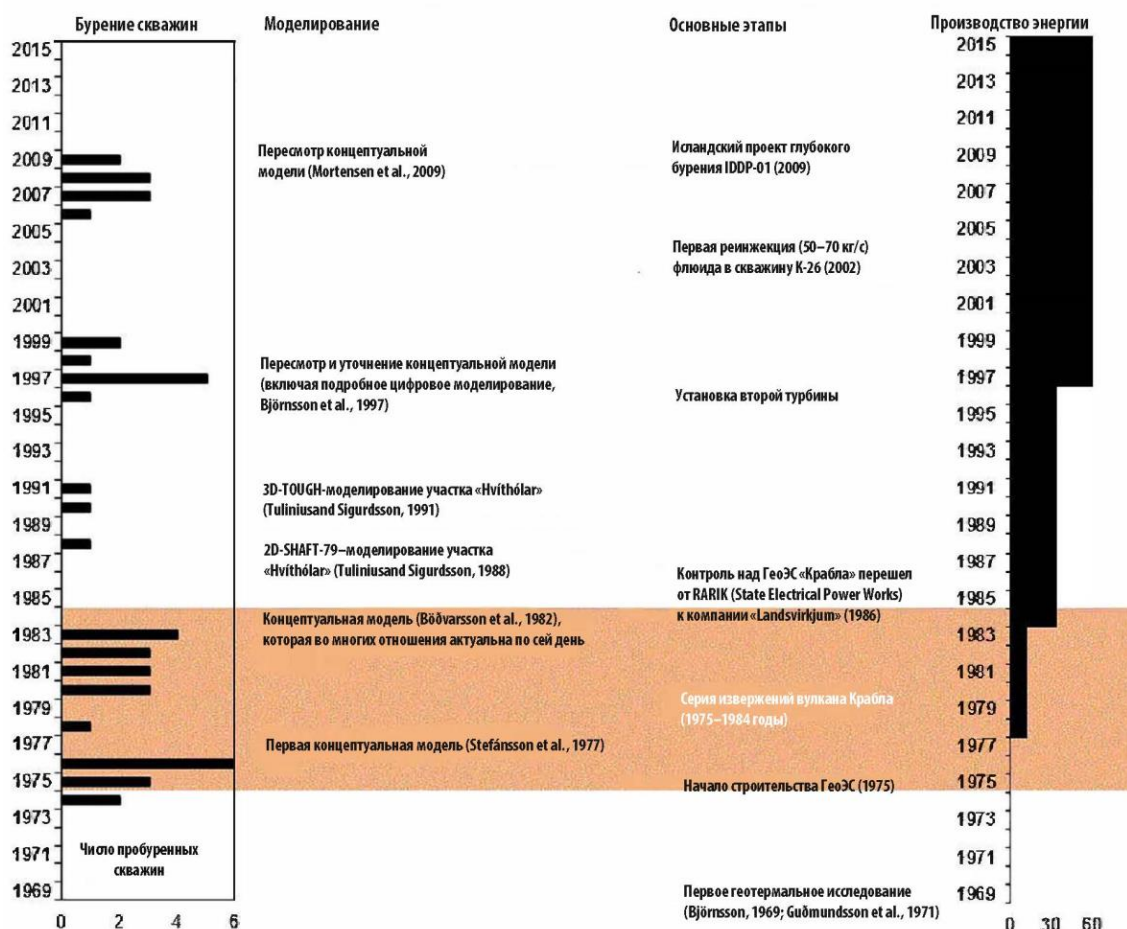
Пример проекта 14: Геотермальное поле Крабла: повышение мощности энергопроизводства на 50 МВт

Место осуществления проекта: Крабла (Исландия)
Данные по состоянию на 2016 год
Время оценки: сентябрь 2016 года
Метод количественного анализа: моделирование
Вид оценки (детерминисткая/вероятностная): детерминисткая

Краткое описание проекта

Регион Крабла на северо-востоке Исландии, расположенный в Североатлантической рифтовой зоне, давно известен своей вулканической и геотермальной активностью. Первое геотермальное исследование этого района проводилось в 1969 году. Были изготовлены аэромагнитные карты, и температура геотермальной системы оценивалась на уровне 200–300 °С. В 1971 и 1972 годах проводилась геологическая разведка методом сопротивлений, а затем в 1974 году были пробурены две первые разведочные скважины. В этом же году было принято решение о строительстве электростанции мощностью 60 МВт, и в 1975 году начались строительные работы. Одновременно с этим начался период вулканической активности Краблы (серия извержений вулкана Крабла), который продолжался с 1975 по 1984 год.

Непрекращающееся изучение резервуара Крабла выявило необычайно сложный характер системы. Согласно концептуальной модели, резервуар состоит из нескольких компарментов, которые в значительной степени отличаются друг от друга, в частности, температурой, энтальпией, химическими свойствами флюида и проницаемостью. Необычайно сложная структура резервуара, а также извержения вулкана Крабла и трудности, обусловленные рыночными факторами, привели к значительной задержке в осуществлении проекта. В 1978 году была введена в эксплуатацию электростанция мощностью 7 МВт, а в 1984 году ее мощность была увеличена до 30 МВт. Наконец, в 1999 году в эксплуатацию была введена вторая турбина, в результате чего суммарная мощность увеличилась до 60 МВт (Weisenberger et al., 2015).



Общая хронология строительства ГеоЭС «Крабла» и освоения геотермальной системы Крабла (Weisenberger et al., 2015).

В настоящее время (по данным на 2016 год) оператором ГеоЭС «Крабла» является компания «Landsvirkjun» (национальная энергетическая компания Исландии), ее мощность составляет 60 МВт (нетто), а паропроизводительность поддерживается за счет ремонтного обслуживания существующих и эпизодического бурения дополнительных скважин. В основе представленного здесь проекта лежат планы по увеличению мощности производства электроэнергии на 50 МВт. Предполагается, что в течение следующих 30 лет новая электростанция будет функционировать параллельно с существующей ГеоЭС мощностью 60 МВт, а постоянное производство пара будет обеспечено за счет бурения дополнительных скважин. Для обслуживания существующей ГеоЭС пробурено в общей сложности 42 скважины, хотя для ее работы используется только половина из них. Часть неиспользуемых скважин была ликвидирована, в то время как некоторые из них позволили выявить часть неразработанных ресурсов, характеристики которых потенциально благоприятствуют их освоению.

Некоторые вопросы, касающиеся выдачи разрешений для проведения работ по увеличению мощности, еще предстоит решить, однако, как предполагается, они не окажут серьезного влияния на жизнеспособность проекта. Рыночные цены и спрос на электроэнергию в Исландии создают благоприятные для предлагаемого увеличения мощности условия, хотя существует некоторая неопределенность относительно необходимости модернизации национальной энергосети, чтобы обеспечить поставку энергии на рынок. Поэтому для целей данного примера принято упрощение, согласно которому срок эксплуатации проекта определяется прогнозируемым сроком износа новой электростанции. В электростанции, которая рассматривается в представленном здесь проекте, используется технология одноступенчатого цикла с испарительным охлаждением.

Для анализа возможных тридцатилетних сценариев эксплуатации и прогнозирования наступления момента, когда сокращение производительности резервуара может привести к прекращению работ по поддержанию производства пара, с помощью программы TOUGH2 была создана модель резервуара. В основу этой модели легла пересмотренная концептуальная модель, предложенная Вайзенбергом с соавторами (Weisenberger et al., 2015), а также данные по эксплуатации месторождения, накопленные за последние четыре десятилетия. Пространственное разрешение полученной модели относительно невелико, поскольку она разрабатывалась как предварительная модель для оценки производственного потенциала участков, расположенных на периферии нынешней продуктивной зоны.

Чтобы дать количественную оценку неопределенности был проведен ряд экспериментов с целью разработки оптимистического и пессимистического вариантов модели, которые не сильно расходились бы с имеющимися данными (Berhet et al., 2016a). После этого на основе каждого из трех вариантов модели (пессимистического, базового и оптимистического) моделировалась эксплуатация резервуара на протяжении всего периода осуществления проекта. Для обоснования бурения скважин в рамках этих сценариев моделирования перед добавлением каждой дополнительной скважины проводилась автоматизированная проверка того, будет ли возврат на инвестиции достаточно высоким. Если проверка показывала, что бурение новой скважины нецелесообразно, то бурение любых дополнительных скважин прекращалось, и производительность электростанции свободно снижалась до окончания периода реализации проекта⁶.

Данная оценка проводилась главным образом на основе информации, находящейся в открытом доступе, однако при этом были сделаны предположения относительно экономических факторов, значения которых на момент проведения исследования были неизвестны.

Количественный анализ

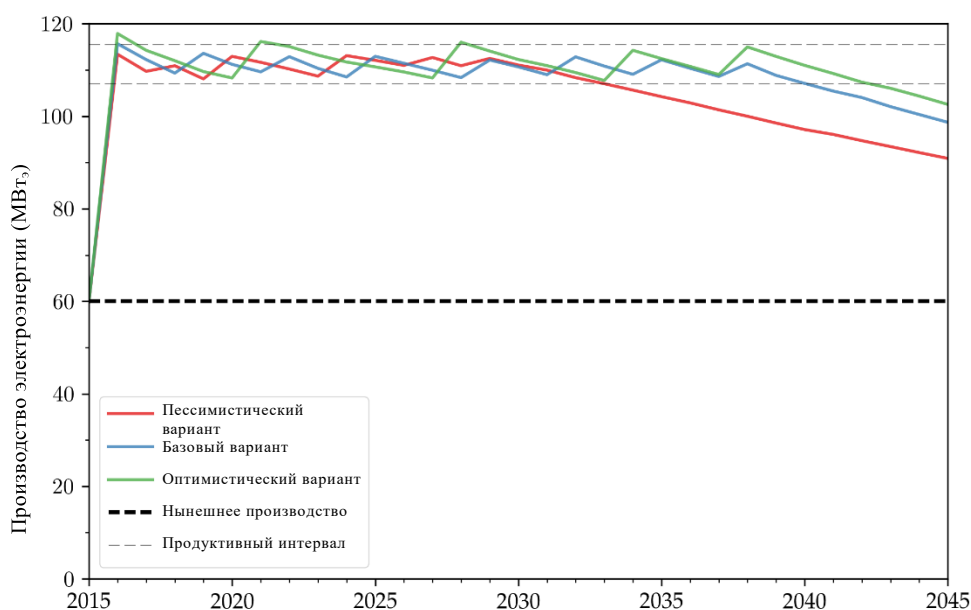
Прогон прогнозов (Forvaldsson et al., 2016) показал, что для увеличения интенсивности эксплуатации месторождения Крабла (с совокупной мощностью производства электроэнергии 110 МВт_э (нетто) и максимальной производительностью 115,5 МВт_э (нетто)) бурение дополнительных скважин будет продолжаться в течение:

- 14 лет в случае пессимистического варианта,
- 23 лет в случае базового варианта,
- 23 лет в случае оптимистического варианта.

Кумулятивный объем производства энергии в результате увеличения мощности на 50 Мвт рассчитывался путем вычитания оценки производства существующей электростанции мощностью 60 МВт (как указано в Примере проекта 13) из общего количества энергии, вырабатываемой за весь срок реализации проекта. Были получены следующие результаты:

- 44,9 (100,0–55,1) ПДж в случае пессимистического варианта,
- 46,9 (103,4–56,5) ПДж в случае базового варианта,
- 47,5 (105,0–57,5) ПДж в случае оптимистического варианта.

⁶ В данном простом примере (разработанном специально для проекта РКООН) использовалось предположение о том, что стоимость каждой скважины составит 7,5 млн долл. США (включая смежные расходы, связанные, например, с неудачным бурением и невозможностью получения пара), цены на энергию были фиксированы на уровне 43 долл. США за 1 МВт-ч и применялась ставка дисконтирования 10% в год. С технической точки зрения решение о бурении дополнительной скважины будет также зависеть от других параметров, таких как расходы на эксплуатацию и техническое обслуживание, альтернативные издержки, связанные с недоиспользованием инвестиций на бурение скважины и мощностей электростанции, возможные колебания цен на энергоносители, продуктивность скважины и т. д. Однако в данном примере проекта эти параметры не учитывались.



Сценарии будущей добычи в случае более интенсивной эксплуатации геотермального поля Крабла (Forvaldsson et al., 2016).

Количественный анализ проводился на основе модели резервуара, описанной в разделе «Краткое описание проекта». В данном случае был использован детерминистский подход, в рамках которого проводилась проверка трех разных планов развития, каждому из которых соответствуют определенные предположения относительно ключевых параметров модели, которые характеризуются неопределенностью. В методе моделирования учитывалась связь свойствами резервуара, которые характеризуются неопределенностью, и экономическими ограничениями, связанными с бурением дополнительных скважин. Именно это привело к возникновению разброса показателей кумулятивного энергопроизводства за весь период реализации проекта, который в данном случае оказался в пределах 4,5% от оценки, полученной для базового варианта модели⁷.

Данная модель строилась на основе экономических предположений об эксплуатации новой ГеоЭС мощностью 50 МВт, на которой будет использоваться технология одноступенчатого цикла. Электроэнергия будет поставляться в национальную энергосистему Исландии. Разработчик проекта будет производить электроэнергию и осуществлять ее оптовый сбыт через энергосеть, обеспечивающую доступ к рынку.

Вид продукта

Продуктом производства является электроэнергия.

Контрольная точка

Контрольной точкой является распределительное устройство ГеоЭС, откуда энергия поставляется в национальную энергосистему. Внутреннее потребление энергии в этой точке уже учтено.

⁷ Следует отметить, что из-за неопределенности в отношении параметров резервуара показатели будущей прибыльности проекта также в значительной степени варьируют. Однако в рамках РКООН информация о разбросе значений по этому параметру не предоставляется.

Классификация по РКООН-2009

Классификация и подклассификация по категориям оси E

Категория	Определение по РКООН-2009	Основания для классификации
E2	Предполагается, что добыча и сбыт станут экономически целесообразными в обозримом будущем	<p>Добыча в районе Крабла ведется с 1978 года. Непрерывная эксплуатация и обслуживание геотермального месторождения указывают на то, что ресурсов достаточно для увеличения мощности энергопроизводства.</p> <p>Остается некоторая неопределенность в отношении получения разрешений, доступа к рынку и цен на электроэнергию. Вместе с тем на данном этапе реалистично предположить, что эти вопросы будут разрешены таким образом, чтобы рентабельная добыча стала возможной</p>

Классификация и подклассификация по категориям оси F

Категория	Определение по РКООН-2009	Основания для классификации
F2	Целесообразность добычи при реализации определенного проекта разработки или при горных работах требует дальнейшей оценки	<p>Собранные в ходе текущей эксплуатации геотермального месторождения данные легли в основу модели резервуара, которая указывает на наличие ресурсов, характеристики которых благоприятствуют их освоению.</p> <p>Однако для определения целесообразности строительства электростанции исходя из предполагаемой конфигурации проекта требуется проведение более подробных экономических исследований. Эти исследования проводятся в настоящее время</p>
Подкатегория	Определение по РКООН-2009	
F2.1	Осуществляется проектная деятельность с целью обоснования целесообразности разработки в обозримом будущем	

Классификация и подклассификация по категориям оси G

Категория	Определение по РКООН-2009	Основания для классификации
G1	Количества, отнесенные к известному месторождению, которые можно оценить с высокой степенью достоверности	Количественный анализ проводился на основе модели резервуара, созданной с помощью программы TOUGH2, с использованием параметров, которые соответствуют имеющимся данным, а в случае отсутствия данных приводят к получению низких оценок извлекаемости
G2	Количества, отнесенные к известному месторождению, которые можно оценить со средней степенью достоверности	Количественный анализ проводился на основе модели резервуара, созданной с помощью программы TOUGH2, с использованием параметров, которые соответствуют имеющимся данным, а в случае отсутствия данных приводят к получению средних оценок извлекаемости

<i>Категория</i>	<i>Определение по РКООН-2009</i>	<i>Основания для классификации</i>
G3	Количества, сконцентрированные на известном месторождении, которые можно оценить с низкой степенью достоверности	Количественный анализ проводился на основе модели резервуара, созданной с помощью программы TOUGH2, с использованием параметров, которые соответствуют имеющимся данным, а в случае отсутствия данных приводят к получению высоких оценок извлекаемости

Геотермальные энергетические ресурсы по РКООН-2009

<i>Классификация: Класс по РКООН-2009</i>	<i>Количество энергии</i>	<i>Дополнительная информация</i>
E2; F2.1; G1	44,9 ПДж	Пессимистический вариант модели резервуара: 50 МВт _г до тех пор, пока на 14-м году не будет прекращено бурение дополнительных скважин
E2; F2.1; G2	2,0 ПДж	Базовый вариант модели резервуара: 50 МВт _г до тех пор, пока на 23-м году не будет прекращено бурение дополнительных скважин
E2; F2.1; G3	0,6 ПДж	Оптимистический вариант модели резервуара: 60 МВт _г до тех пор, пока на 23-м году не будет прекращено бурение дополнительных скважин

Справочная литература

Jean-Claude Berthet, Valdís Guðmundsdóttir, Gunnar Þorgilsson, Andri Arnaldsson, 2016, «Simulation of the Krafla geothermal system - Resource assessment of shallow peripheral zones», Vatnaskil 16.02, ISOR-2016/011. Available at http://gogn.lv.is/files/2016/simulation_of_krafla_geothermal_system.pdf.

Lárus Þorvaldsson, Jean-Claude Berthet, Andri Arnaldsson, 2016, «Energy extraction in 60 MW_e and 110 MW_e Krafla scenarios», Vatnaskil Memo No. 16.14. Available at http://gogn.lv.is/files/2016/krafla_UNFC_memo.pdf.

Tobias Björn Weisenberger, Guðni Axelsson, Andri Arnaldsson, Anett Blischke, Finnbogi Óskarsson, Halldór Ármannsson, Hanna Blanck, Helga Margrét Helgadóttir, Jean-Claude C. Berthet, Knútur Árnason, Kristján Ágústsson, Sigríður Sif Gylfadóttir and Valdís Guðmundsdóttir, 2015, «Revision of the Conceptual Model of the Krafla Geothermal System», ÍSOR-2015/012, Vatnaskil 15.03, LV-2015-040. Available at <http://www.landsvirkjun.is/Media/2015-040.pdf>.

Применение Рамочной классификации ресурсов Организации Объединенных Наций (РКООН) к геотермальным энергетическим ресурсам

Отдельные примеры проектов

Настоящая публикация содержит подборку 14 примеров проектов, полученных от Австралии, Венгрии, Германии, Исландии, Италии, Нидерландов, Новой Зеландии, Российской Федерации и Филиппин, в которых демонстрируется применение Рамочной классификации ресурсов Организации Объединенных Наций (РКООН) к геотермальным энергетическим ресурсам.

РКООН, которая была разработана Группой экспертов по классификации ресурсов Европейской экономической комиссии Организации Объединенных Наций (ЕЭК ООН), применяется ко всем энергетическим и минеральным ресурсам в глобальных масштабах. Она охватывает возобновляемые энергетические ресурсы, антропогенные ресурсы и проекты по закачке газа для хранения диоксида углерода в геологических формациях.

РКООН может применяться к геотермальным энергетическим ресурсам с использованием двух спецификаций: Спецификации для применения РКООН к возобновляемым энергетическим ресурсам и Спецификации для применения РКООН к геотермальным энергетическим ресурсам, которые были разработаны в 2016 году.

Примеры проектов приводятся в данном документе для иллюстрации применения спецификаций по геотермальным энергетическим ресурсам с целью единообразного использования РКООН в различных контекстах.

Эти полученные из различных стран примеры проектов демонстрируют разнообразные сценарии классификации геотермальных ресурсов согласно с классификацией других энергетических ресурсов.

Служба информации
Европейская экономическая комиссия Организации Объединенных Наций

Palais des Nations
CH - 1211 Geneva 10, Switzerland
Telephone: +41(0)22 917 44 44
E-mail: info.ece@unece.org
Website: <http://www.unece.org>