

УДК 622:69.035.4

А.Е. Кокосадзе

ЭКОТЕХНОЛОГИЧЕСКИЕ ПРОБЛЕМЫ СОЗДАНИЯ ПОДЗЕМНЫХ ЯДЕРНЫХ КОМПЛЕКСОВ В ГАЛОГЕННЫХ ГЕОФОРМАЦИЯХ

Проанализированы достоинства и недостатки подземных атомных электростанций. Представлены различные конструктивно-технологические компоновки подземных станций.

Ключевые слова: подземные атомные станции, компоновка, шахтный ствол, камеры, ядерные отходы.

Современный уровень развития ядерной энергетики требует создания высокоэкологических объектов, защитные конструкции которых воспринимают сейсмические воздействия, динамические нагрузки от падения самолёта или ракеты, а также от терактов. Для хранилищ радиоактивных отходов (РАО), особенно высокоактивных (ВАО), и облучённого ядерного топлива (ОЯТ), продолжительность эксплуатации которых составляет сотни и тысячи лет, необходимо также учитывать астероидно-кометную опасность.

Одним из направлений решения этой проблемы может быть создание подземных атомных электростанций (ПАЭС) [1, 2, 3] с использованием малогабаритных судовых корпусных реакторов малой мощности или других типов [4, 5, 6, 7, 8], расположенных в глубинных галогенных геотформациях и совмещённых с хранилищами РАО и ОЯТ или близко расположенных от них.

За всю историю развития атомной энергетики ПАЭС были сооружены в пяти странах, включая Россию.

К преимуществам ПАЭС перед наземными станциями можно отнести следующее [2]:

- вмещающие в себя ядерные комплексы породные массивы представляют собой весьма надёжные системы, устойчивость которых при внешних и внутренних воздействиях на 2-3 порядка выше, чем у любых железобетонных оболочек реакторного помещения наземных станций;

- породные массивы успешно используются в качестве аккумулятора тепла и радиоактивных выбросов и для локализации возможной расплава ядерного топлива при запроектных (гипотетических) авариях;

- малая площадь поперечных сечений и значительная, в сравнении с наземными оболочками, длина проходок, обеспечивающих связь с наружной атмосферой и земной поверхностью, создают более благоприятные условия локализации радиоактивных выбросов ввиду полного перекрытия проходок быстродействующими шлюзами и затворами;

- защита реакторов от падения летательных аппаратов и внешних стихийных воздействия типа ураганов, смерчей и т.п. выполняется в высшей степени надёжно;

- многократно снижена вероятность преднамеренных и злоумышленных действий и диверсий, изо-

шрённость которых в последнее время постоянно возрастает, с целью вывода из строя реакторов и систем их защиты;

- существенно повышена сейсмостойкость станции за счёт заглубления;

- возможно приближение станции к потребителю, в том числе к крупным городам или населённым пунктам;

- значительно упрощен вывод станции из эксплуатации и её окончательная консервация за счёт заполнения выработок, в которых расположены реакторы, смесью бентонита и свинца;

- возможность полной утилизации станций, что позволит значительно снизить инвестиции в последующих проектах;

- успешно решены проблемы хранения и захоронения РАО, ВАО и ОЯТ за счёт расположения под реакторными помещениями подземного хранилища, заглублённого по рекомендациям Международного агентства по атомной энергии (МАГАТЭ) на величину более 300 м;

- существенное снижение экологического воздействия на окружающую среду из-за меньшего отвода земли под строительство;

- существенное снижение социальной напряжённости у местного населения (Чернобыльский синдром).

К недостаткам ПАЭС можно отнести:

- невозможность достичь абсолютной безопасности, поскольку помещения ПАЭС, как и у наземных станций, обязательно соединены с атмосферой и дневной поверхностью венткоробами, кабельными и трубопроводными проходками и т.п.;

- при запроектных авариях с расплавлением активной зоны отвод остаточного тепловыделения в ловушках

может потребовать дополнительных технических мероприятий, возможно более сложных, чем при наземном варианте станции;

- необходимость выполнения дорогостоящих инженерно-геологических, геодезических и экологических изысканий для выбора места расположения станции;

- усложнены работы по пожаротушению, а также затруднена деятельность по управлению аварийными ситуациями;

- усложнено обслуживание, ремонт и инспекция оборудования;

- стоимость станции на 11-38% выше, чем наземных;

- сроки строительства на 1,5-2 года больше [2].

Выполненный в отделе тоннельных работ Всесоюзного института «Оргэнергострой» сопоставительный анализ в условных баллах внешних воздействий в процессе строительства и эксплуатации подземной и наземной станции показал, что ПАЭС имеют существенные преимущества (более 2,5 раз) [3].

Галогенные геотформации представляют собой достаточно хорошо изученные и надёжно прогнозируемые в поведении во времени массивы. Сооружение подземных выработок в этих массивах должно быть осуществлено современными высокомеханизированными комплексами с применением подходов «наилучших доступных технологических методов» (НДТМ) строительства, которые в соответствии с Директивой ИРПС Европейского союза (96/61/ЕС) позволяют обеспечить минимальное экологическое воздействие на окружающую среду [9]. Одним из достоинств каменной соли следует считать обжатие конструкций в силу упруго-пластических деформаций с течением времени. Соляные купола признаны достаточно надёж-

ными для создания долговременных хранилищ РАО и ОЯТ, которые в обозримом будущем будут воспринимать периоды обледенения или потепления без ущерба находящимся в них конструкциям. Исследования в этом направлении ведут во Франции, Испании, России, Дании, США, Германии (действующее хранилище Горлебен) и т.д. [10, 11].

Рассмотрим конструктивно-компоновочные решения ПАЭС с использованием шахтных стволов.

Общим для всех компоновочных решений станций в вертикальных стволах может служить расположение хранилищ РАО и ОЯТ на глубинах более 300 м, а на вышележащих горизонтах – реакторных и турбинных камер. Все эти подземные сооружения соединены между собой вспомогательными выработками различного назначения. Кроме того, проходят вертикальные вспомогательные выработки для вентиляции, подачи технической воды, выдачи электроэнергии на поверхность и т.п. Эти выработки на рисунке не показаны, поскольку там представлены принципиальные конструктивно-компоновочные решения.

Вертикальные шахтные стволы на участках вне зоны радиационного воздействия имеют обычную шахтную крепь, рассчитываемую на горное давление, неотектонику, сейсмику и обжатие крепи за счет упруго-пластических деформаций каменной соли. Камеры для реакторов и стволы для хранилища, кроме того, закрепляют специальной трёхслойной крепью, состоящей из радиационностойкого бетона, замкнутого листа из нержавеющей стали и наружного слоя обычного бетона [10, 12]. Это позволяет воспринимать тепловую и радиационную нагрузки в режиме нормальной эксплуатации станции и в аварийных ситуациях.

Проанализируем основные принципиальные конструктивно-компоновочные решения ПАЭС шахтного типа в галогенных геотекстурах (рисунок).

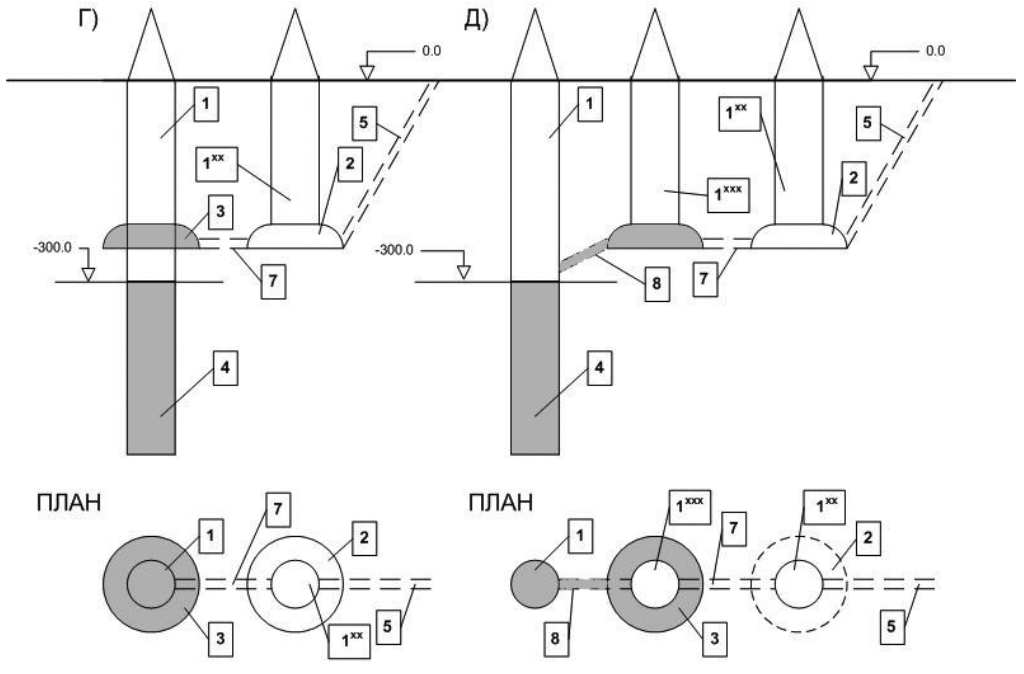
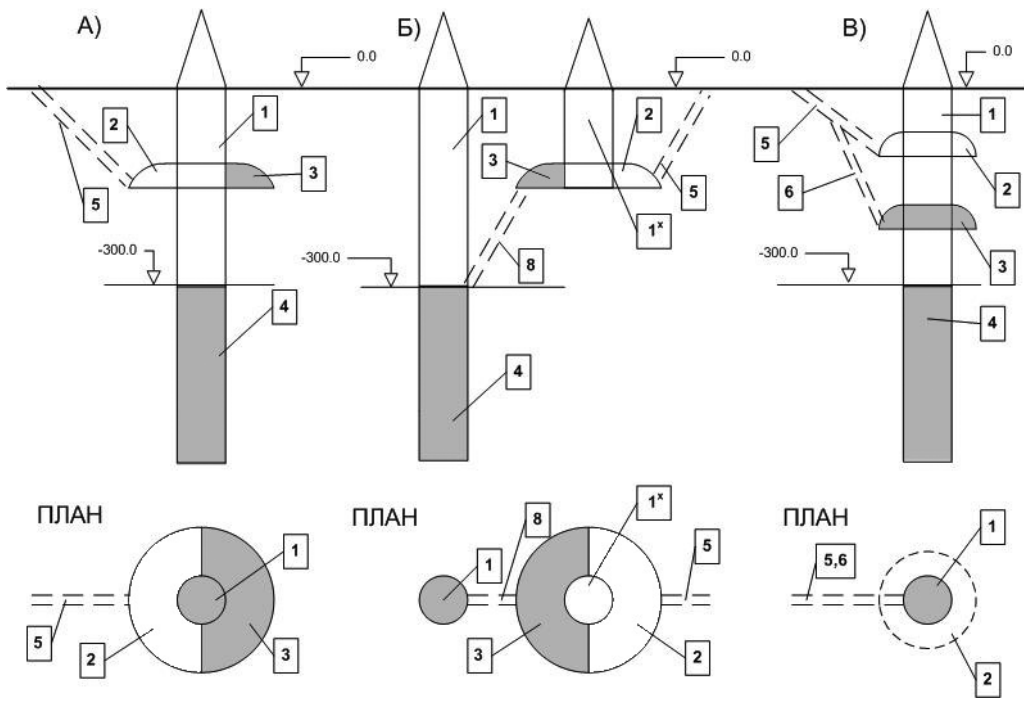
На рисунке в варианте «а» все элементы станции и хранилища выполнены с одним стволом, что обеспечивает минимальную экологическую нагрузку на окружающую среду из-за небольшого отвода земли. Такая компоновка предполагает совмещение работ по раскрытию камер и проходке (углублению ствола для нижележащего хранилища, что может создать определённые неудобства в производстве работ). Поэтому в этой компоновке и всех последующих рассмотрен вариант сооружения реакторной и турбинной камер через вспомогательный строительный наклонный тоннель, что позволит разделить проходческие работы по стволу и камерам.

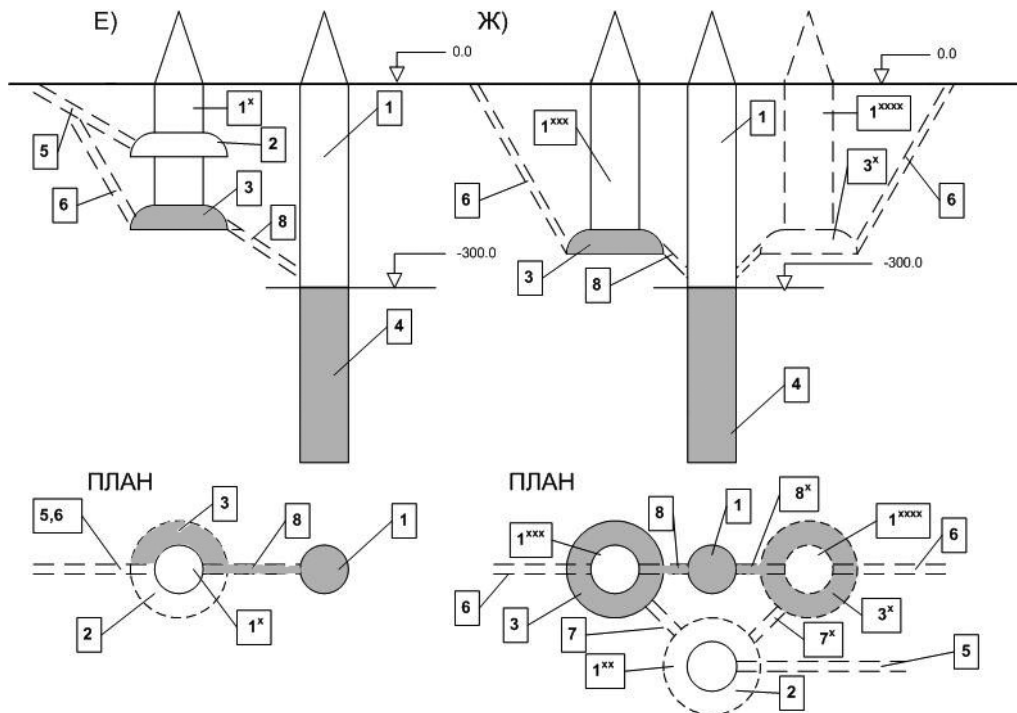
К недостаткам такой компоновки можно отнести сложности с ликвидацией аварийных ситуаций, а также недостаточную защищённость от терактов.

К достоинствам – удобное расположение реакторной камеры над хранилищем, что упрощает подачу в него отработавших тепловыделяющих сборок (ОТВС).

Глубина расположения реакторной и турбинной камер может составлять 60-100 м. Компоновка ПАЭС в одном стволе с хранилищем недостаточно защищена от терактов.

Вариант «б» позволяет независимо вести работы по созданию реакторной и турбинной камер и проходке ствола под хранилище. При этом ствол может быть пройден во вторую очередь, т.к. на начальном этапе эксплуатации станции ещё не образованы РАО. Для подачи ОТВС в хранилище проходят вспомогательные наклонные выработки от реакторной камеры.





Принципиальные конструктивно-технологические компоновки ПАЭС в соляном куполе: 1 - основной ствол; 2 - турбинная камера; 3 - реакторная камера; 4 - хранилище РАО, ВАО и ОЯТ; 5 - наклонный строительный тоннель для турбинной камеры; 6 - строительный тоннель для реакторной камеры; 7 - соединительные выработки между камерами; 8 - выработки для спуска ОТВС в хранилище. 1^х - ствол для турбинной и реакторной камер; 1^{xxx} - ствол для турбинной камеры; 1^{xxxx} - ствол для реакторной камеры; 1^{xxxxx} - ствол для второй очереди ПАЭС; 3^х - реакторная камера второй очереди; 7^х - 8^х - выработки второй очереди

Вариант «в» предполагает в одном стволе над хранилищем создать реакторное помещение, а выше – турбинную камеру.

Вариант «г» отделяет заражённую зону ПАЭС от «чистого» помещения турбинного зала, что существенно упрощает проведение дезактивационных работ при аварийных ситуациях.

В варианте «д» предложено выполнить все элементы станции в независимых стволах или использовать наклонные строительные тоннели для сооружения реакторной и турбинной камер, возможно без вскрытия стволов. Компоновка обладает макси-

мально возможной защищённостью от терактов.

Вариант «е» предполагает использование независимых стволов для сооружения расположенных друг над другом турбинной и реакторной камер и ствола для хранилища, разделены работы по проходке реакторной и турбинной камер. Возможно сооружение хранилища после пуска станции в эксплуатацию.

Вариант «ж» основан на идее использования одной турбинной камеры для сооружаемых последовательно двух и более реакторов, предполагая, что срок эксплуатации реакторов примерно 20 лет.

Выбор той или иной компоновки зависит от многих факторов: типа реакторов, мощности и свойств конкретного солевого купола, подверженности его трендовым и короткопериодным геодинамическим подвижкам земной коры и развитию со-

временных разрывных тектонических смещений [13], наличия проходческого оборудования, инфраструктуры и т.д.

Создание ПАЭС шахтного типа может быть весьма актуальным направлением в развитии малой атомной энергетики.

СПИСОК ЛИТЕРАТУРЫ

1. *Обзор современных состояний проектирования и строительства подземных сооружений атомных электростанций. Отчет НИР №1614. Фонды НПО «Оргэнергострой». М., 1990. - 146 с.*
2. *Мельников Н.Н., Конохин В.П., Наумов В.А. Подземные атомные станции // Апатиты, изд. Кольского научного центра АН СССР. 1991. - 138 с.*
3. *Чесноков С.А., Румянцев В.А. Технологические проблемы создания подземных АЭС // Проблемы транспортных и инженерных коммуникаций - №4. 1996. - С.12-17.*
4. *Петров Э. Новая технология обеспечивает ПАТЭС рентабельность // Ядерное общество. - №2-3. 1999. - С.32-35.*
5. *Новиков И., Кружилин Г., Ананьев Е. Ещё раз о ПАТЭС // Ядерное общество - №2. 2000. - С.43-44.*
6. *Дмитриев С.А., Кедровский О.Л., Кокосадзе А.Э. и др. Инновационные технологии создания подземных комплексов АЭС малой мощности // Труды Международной научно-технической конференции «Безопасность, эффективность и экономика атомной энергетики». М., 2008. - С. 912-915.*
7. *Кедровский О.Л., Фридкин В.М., Чесноков С.А. и др. Критерии и направления создания инженерных сооружений для подземного захоронения радиоактивных отходов и подземных атомных электростанций // Наука и технологии в промышленности - №4. 2008. - С.65.*
8. *Кедровский О.Л., Чесноков С.А., Кокосадзе А.Э. и др. Подземные электростанции малой мощности // Известия Тульского государственного университета. Естественные науки. Серия «Науки о земле». Изд. ТулГУ. Тула. - Вып. 4. 2009. - С.113-115.*
9. *Умнов В.А., Евсеева М.Ю. Оценка и выбор вариантов строительства автодорожных тоннелей с применением подхода «наилучших доступных технологий» // Горный информационно-аналитический бюллетень (научно-технический журнал). Изд. «Горная книга». - №7. 2010. - С.229-232.*
10. *Чесноков С.А., Фридкин В.М., Кокосадзе А.Э. и др. Геомеханические аспекты конструирования хранилищ высокоактивных отходов и отработавшего ядерного топлива в глубинных геотектонических с инженерными барьерами повышенной надежности // Известия Тульского государственного Университета. Серия «Геомеханика. Механика подземных сооружений». Изд. ТулГУ. Тула. Вып.4. 2006. - С. 211-218.*
11. *Чесноков С.А., Фридкин В.М., Кокосадзе А.Э. и др. Конструктивно-технологические и экологические аспекты создания подземных хранилищ ядерного топлива в глубинных галогенных формациях // Горный информационно-аналитический бюллетень. Изд. Горная книга. - №3. 2008. - С.182-189.*
12. *Кокосадзе А.Э., Чесноков С.А. Экологические и конструктивные проблемы создания подземных хранилищ радиоактивных отходов // Горный информационно-аналитический бюллетень. Изд. «Горная книга». - №12 2010. - С. 154-158.*
13. *Коновалова Ю.П. Исследование циклических короткопериодных геодинамических деформаций территорий при выборе площадок под строительство атомных станций // Горный информационно-аналитический бюллетень (научно-технический журнал). - №7. 2010. - С.269-274. **ПАТЭС***

Коротко об авторе

Кокосадзе А.Э. – инженер, заместитель генерального директора ОАО «Оргэнергострой», член Ядерного общества и Тоннельной ассоциации России, 8-495-917-28-53.