

А.Э. Кокосадзе**ПОДЗЕМНОЕ ГИДРОАККУМУЛИРОВАНИЕ
В ЭНЕРГЕТИКЕ**

Представлены особенности конструкций подземных гидроаккумулирующих электростанций (ГАЭС) Рассмотрено новое направление в подземной энергетике – комплекс ГАЭС – атомная электростанция. Изучено возможность использования отработанных горных выработок для гидроаккумулирования.

Ключевые слова: подземное, гидроаккумулирование, станция, машинный зал, нижний бассейн, отработанная горная выработка.

График энергопотребления замкнутых энергосистем характеризуется существенной неравномерностью: пиковыми нагрузками в дневное время (максимум энергопотребления) и провалами в ночное время (минимум энергопотребления).

Для выравнивания этой неравномерности предложены так называемые гидроаккумулирующие электростанции (ГАЭС), состоящие из верхнего и нижнего бассейнов, соединенных между собой напорным водоводом, подающим воду на так называемые гидроагрегаты, расположенные и заглубленные около нижнего бассейна. Обратимые гидроагрегаты представляют собой совмещенную на одном валу гидротурбину и насос и в генераторном режиме вырабатывают электроэнергию (в дневное время, снимая пики энергопотребления) а в ночное время перекачивают воду из нижнего бассейна в верхний, «заряжая» станцию, используя избытки энергии в ночное время. Естественно, что на перекачку воды в верхний бассейн требуется больше электроэнергии, чем может быть выработано при работе станции в генераторном режиме. Но за счет разницы в цене вырабатываемой электроэнергии в дневное время (пиковые мощности) и ночное время (избыток мощности) станция всегда оказывается рентабельной. Из-

вестен случай, когда была налажена продажа пиковой и аварийной мощности, вырабатываемой на ГАЭС, расположенной на территории одной Европейской страны, в энергосистему соседней страны – это свидетельствует об эффективности эксплуатации станции [1].

Первые наземные ГАЭС появились в Европе в 40-х годах прошлого века.

В 1967 г. на Всемирном энергетическом конгрессе в Москве шведскими инженерами был предложен проект подземной станции, в котором нижний бассейн и машзал были выполнены под землей на глубине 450 м. Верхний бассейн располагался на поверхности и был соединен с обратимыми гидроагрегатами в машзале и нижним бассейном вертикальными водоводами. Для доступа к выработкам машзала и нижнего бассейна предложено использовать наклонный спиралевидный туннель. Однако неизвестно, был ли реализован этот проект.

Создание подземных гидротехнических объектов связано с необходимостью учета ряда важных факторов.

Во-первых, это возрастающая опасность террористических актов, изощренность которых постоянно возрастает. Предполагается, что террористы могут обладать всеми новейшими видами наступательного во-

оружения. Особое внимание уделяют антитеррористическим мероприятиям в области энергетики, в частности, атомной.

Во-вторых, это постоянно возрастающий объем природных катаклизмов по всему земному шару: вулканическая и сейсмическая активность, торнадо, цунами, волны-убийцы и др., причины которых до конца не ясны. На Земле функционирует около 600 вулканов, непрерывающаяся активность которых приводит к существенному изменению климата Земли. За последние 10 лет наблюдалось три сверхмощных землетрясения, магнитуда которых составляла около 9 баллов, что приводило к огромным разрушениям и людским потерям. Предполагается, что рост катаклизмов может быть связан с изменениями магнитных полюсов и климата Земли и скорости ее вращения и ориентации оси вращения, увеличением количества опасных гидрометеорологических явлений, ростом аномальных значений температур воздуха и количества атмосферных осадков, которое отмечают за последние 30 лет почти повсеместно, изменением состава изотопов в атмосфере, в частности, увеличение наличия изотопа криптона 85 и т.д.

Возможно, что глобальные процессы изменений современного климата и гидросферы планеты (Мировой океан) связаны как с антропогенными факторами, так и с циклами Солнечной системы (11, 30, 60, 200 лет), изменениями гравитационных полей Солнечной системы. Увеличение вероятности природных экологических катастроф связывают также с наложением современной антропологической нагрузки на природные и космические циклы планеты.

В-третьих, это возрастание числа катастроф антропогенного происхождения: падение самолета, несанкционированный запуск ракет, паде-

ние искусственных спутников, взрывы рядом находящихся крупных промышленных объектов, прорыв плотины и т.д. Предполагается, что это может быть связано с износом технических средств, снижением технологической дисциплины, понижением квалификации персонала, работающего на технически сложных объектах, и возрастающей нагрузкой на техносферу.

В-четвертых, это возрастающая астероидно-кометная опасность. Исследования последствий падения на Землю космических объектов показывают степень возрастания их постоянной угрозы для человечества и, в геологических масштабах времени (минимум 10 тыс. лет), для всей земной биосферы. Предполагается, что к земле приближается около 20 000 астероидов различного веса и орбит вращения, постоянное наблюдение осуществляют за 6000 в силу технических возможностей. В настоящее время наибольшую опасность представляет астероид Апофиз, период вращения которого составляет около 8 лет, причем с Земли наблюдать за ним можно только в течение 1 года. Предполагается, что он может приблизиться к Земле на опасное расстояние в 2029 г. Лучшие специалисты космической отрасли предлагают различные варианты изменения его. Недавнее падение метеорита на г. Челябинск свидетельствует об актуальности этой проблемы.

В-пятых, это глобальная активация геолого-геофизических и климатических процессов на Земле гравитационными возмущениями в околоземном космическом пространстве, имеющими ярко выраженный резонансный или циклический характер. Эти явления активизировались после взрыва кометы Шумейкера-Леви на Юпитере с 16 до 22 июля 1994 г., когда российскими учеными был открыт радиально-гравитационный резонанс космических объектов (1994–2000 гг.).

Установлено явление гравидинамического происхождения космогенной эволюции интенсивности глобальных вариаций максимальных и среднесуточных температур, а также колебаний ветровых нагрузок и вариаций ежесуточной сейсмической активности на Земле. Эти факторы могут изменить климатические и сейсмические нагрузки на сооружения и их основания [2].

В течение ряда лет институты Гидропроект им. С.Я. Жука, «Оргэнергострой» и ТулПУ выполняли научно-исследовательские и предпроектные работы по так называемой Ленинградской ГАЭС с подземным нижним бассейном (ГАЭС ПБ). Станция мощностью 1200 МВт имела напор 1200 м, подземный машзал, трансформаторное помещение и выработки нижнего бассейна емкостью 2 млн куб. м предполагалось разместить в гранитах типа «рапакиви» Фенно-Скандинавского кристаллического щита [1].

Доступ к подземным выработкам осуществляется через вертикальные стволы – один ствол для выдачи породы, второй – шахтный водовод для подачи воды из верхнего бассейна через водоводы машзала в выработки нижнего бассейна и третий ствол – для выдачи электрической мощности на поверхность в энергосистемы. Возможно наличие четвертого ствола для спуска персонала и подачи ремонтного оборудования для нормальной эксплуатации станции.

Позднее были выполнены институтами «Оргэнергострой», Гидропроект им. С.Я. Жука, НИИ КМАруда, ТулГУ предпроектные проработки по подземной Губкинской ГАЭС мощностью 1200 МВт и напором 300 м, использующей в качестве нижнего бассейна около 10 млн.куб.м отработанных камерных выработок шахты им. Губкина, расположенных в диапазоне глубин 250–300 м. Шахта им. Губки-

на эксплуатируется более 50 лет, добыча железистых кварцитах высокой прочности (коэффициент крепости по Протодьяконову более 30) выполняется скважинной отбойкой и выдачей породы через выпускные воронки [2].

По экономическим соображениям выработки нижнего бассейна предпочтительно выполнять без крепи т.к. в них в период эксплуатации станции не предполагается наличие людей.

Однако институтом Гидропроект им. С.Я. Жука была предпринята попытка на стадии предпроектных проработок обосновать возможность на глубине 950 м в угольной шахте создание нижний бассейна, изолируя уголь от воды путем нанесения на лоток и стены выработок слой набрызг бетона. За счет большого напора наличие крепи в нижнем бассейне станция может оказаться рентабельной.

В США был предложена идея двухступенчатой подземной ГАЭС с первым промежуточным машзалом и нижним бассейном на глубине 1500 м и вторым машзалом и нижним бассейном на глубине 3000 м.

Преимущества подземной компоновки ГАЭС перед наземной станции заключаются в следующем:

- меньший отвод поверхностных земель – только для верхнего бассейна;
- нет необходимости в наличии в поверхностном рельефе существенных перепадов высот, что проблематично для Средне-Европейской равнины;
- возможность создания станции на равнинных рельефах;
- лучшее восприятие поверхностных динамических нагрузок;
- возможность унификации подземной компоновки, что позволит значительно снизить стоимость типовой станции [3].

Вопросы проектирования высоконапорных ГАЭС ПБ получили дальнейшее развитие на Международном симпозиуме по гидроаккумулированию

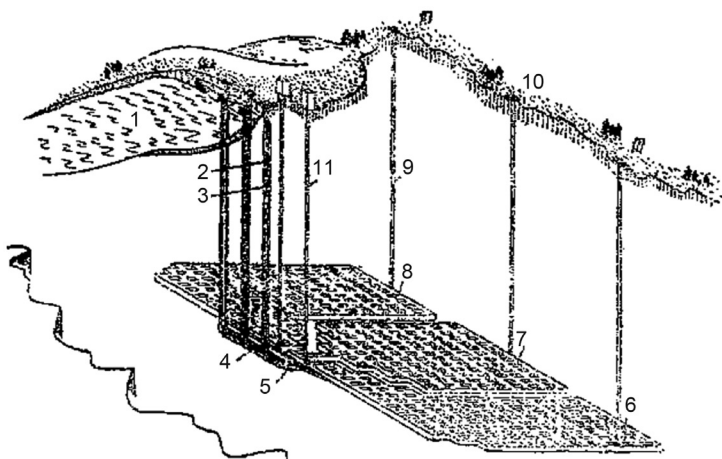


Рис. 1. Канадский вариант компоновки подземного бассейна на ГАЭС ПБ мощностью 3000 МВт: 1 – водоприемник; 2 – шахтные водоводы; 3 – кабельные шахты; 4 – трансформаторное помещение; 5 – машинный зал; 6, 7, 8 – нижний бассейн; 9 – аэрационные шахты; 10 – вентиляционные установки; 11 – грузовые шахты

в 1972 г. в Афинах, где группа канадских инженеров представила проект ГАЭС ПБ мощностью 3000 МВт при напоре около 1000 м (рис. 1).

Автором предложен вариант конструктивно-компоновочного решения подземной ГАЭС с открытым нижним бассейном в днище отработанного карьера (рис. 2).

Подземный энергокомплекс ГАЭС-АЭС представляет собой новое направление в энергетике [4, 5, 6].

Этот комплекс основан на создании универсального источника базисной (АЭС), пиковой и аварийной (ГАЭС) энергии в единой подземной компоновке. При этом реакторное и турбинное помещение А/С могут располагаться на той же отметке, что и машзал и нижний бассейн ГАЭС, либо на разных отметках. Предполагается, что под реакторным отделением АЭС будет размещаться хранилище РАО, включая ВАО и ОЯТ.

Подземный комплекс обладает всеми преимуществами отдельно ГАЭС и АЭС.

Однако имеется ряд следующих достоинств:

- сооружение подземных комплексов ГАЭС и АЭС может выполняться по единой технологии ведения подземных работ, что значительно умень-

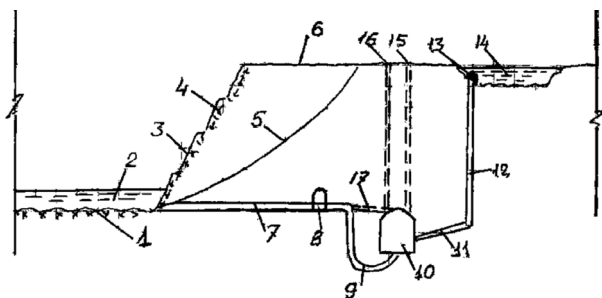


Рис. 2. Принципиальное конструктивно-компоновочное решение подземной ГАЭС в борту карьера: 1 – днище карьера; 2 – нижний бассейн; 3 – борта карьера; 4 – зона разгрузки борта карьера; 5 – линии скольжения; 6 – дневная поверхность; 7 – горизонтальный участок отводящих водоводов; 8 – камера затворов; 9 – отводящие водоводы от машинного зала; 10 – помещение машинного зала; 11 – подводные водоводы; 12 – шахтный водовод; 13 – водоприемник; 14 – верхний бассейн; 15 – ствол выдачи мощности; 16 – строительная шахта; 17 – подходная строительная выработка из карьера

шает стоимость строительства, если бы эти станции строились отдельно;

- возможно сокращение подходов строительных стволов, через которые будет вестись подземное строительство;

- возможно использование вместо двух кабельных шахт одной для выдачи энергии на поверхность от ГАЭС и АЭС и подачи ее на ГАЭС при работе станции в насосном режиме;

- возможна подача энергии для работы ГАЭС с насосном режиме от АЭС;

- в случае аварийной ситуации на АЭС возможна подача аварийной энергии от ГАЭС;

- в случае аварийной ситуации на одной из станций возможна эвакуация персонала на другую станцию вместо эвакуации персонала на поверхность;

- в любой момент возможно использование воды из ГАЭС для заглушки реактора при аварии.

Таким образом, возможно создание универсального энергогенерирующего комплекса со всеми достоинствами подземной компоновки.

Концептуальные аспекты нового направления – создание подземных энергокомплексов и отработанных горных выработках заключаются в следующем.

Это направление подземного строительства считается достаточно новым – первые публикации по этой проблеме появились во второй половине прошлого века [7].

Рассматривают отработанные (пустые) выработки, созданные в результате ведения очистных работ и не подвергнутые закладке (заполнению инертными материалами).

Привлекательность использования отработанных (брошенных) горных выработок заключается в сокращении или исключении проходческих работ при возведении подземных энергетических объектов. Наибольший интерес представляет использование отрабо-

танных горных выработок для нижнего бассейна подземных ГАЭС, объем которых может достигать миллионы куб. Эти выработки предполагается использовать незакрепленными, допускающими вывалы породы.

Это направление подземного строительства считается достаточно новым – первые публикации по этой проблеме появились около 30 лет тому назад [5, 6].

Рассматривают отработанные (пустые) выработки, созданные в результате ведения очистных работ и не подвергнутые закладке (заполнению инертными материалами).

Привлекательность использования отработанных (брошенных) горных выработок заключается в сокращении или исключении проходческих работ при возведении подземных энергетических объектов. Наибольший интерес представляет использование отработанных горных выработок для нижнего бассейна подземных ГАЭС, объем которых может достигать миллионы куб. Эти выработки предполагается использовать незакрепленными, допускающими вывалы породы из кровли или стен выработок, что может привести к незначительном увеличению уровня воды в бассейне и не изменит гидравлический режим работы станции.

Основными задачами в решении этой проблемы можно считать следующие:

Во-первых, эти выработки первоначально не предназначались для их повторного использования. Поэтому их повторное применение уже в области подземного энергетического строительства требует детального исследования инженерно-геологических, геомеханических и других свойств окружающих выработки горных пород для принятия решения об их использовании уже в качестве строительных объектов.

Во-вторых, согласно правилам безопасности ведения горных работ запрещен вход в отработанные (закрепленные) выработки без письменного разрешения главного инженера горного предприятия. Это достаточно сложная проблема, т.к. имеется достаточное количество брошенных выработок, которые могут находиться вне компетенции главного инженера какого-либо горного предприятия.

В-третьих, подготовка отработанных горных выработок для подземных сооружений, требующих возведения постоянной крепи, представляет собой достаточно сложную горно-технологическую и строительную задачу.

В-четвертых, расположение горного предприятия, отработанные выработки которого предполагается использовать для нужд энергетики, может не соответствовать запросам энергосистемы.

Вопрос о разрешении входа в отработанные выработки представляет собой достаточно сложную задачу, связанную с жизнью людей.

Перед тем как главный инженер даст письменное разрешение для конкретного проходчика или горного инженера на вход в отработанные выработки должен быть проанализирован значительный объем инженерно-геологической, геомеханической, маркшейдерской и прочей документации в течение времени от момента оставления ведения очистных работ до получения разрешения. Кроме анализа камеральных данных должен быть выполнен визуальный осмотр сводовой и стеновой части отработанных выработок.

Автором предложена технология возведения временной крепи без наличия людей в основной отработанной выработке. Для этого сначала должны быть пройдены подходные выработки (штольни) к подсводовой части выработок и по высоте стен. В них должны быть установлены мощные прожек-

торы для освещения подсводовой и стеновой части выработок. Опытные проходчики производят осмотр этих частей выработок и выбирают соответствующее оборочное оборудование – гидравлический или пневматический ударник. Эти ударники устанавливают в штольнях, расстояние между которыми составляет два пролета стрелы ударника. После выполнения оборочных работ приступают к работам по креплению выработок.

Крепёж отработанных выработок выполняют по предложенной автором технологии. Сначала из подходных штолен с использованием автоматических дистанционно управляемых механизмов. Это могут быть анкеры и набрызг-бетон. Анкеры устанавливают при помощи анкероустановщиков, выполняющих сначала бурение шпуров, а далее установку в них затягиваемых стальных или полимерных анкеров. Разрабатывают двухстреловые анкероустановщики, способные также закреплять сеьку сетку под анкеры.

Возведение набрызг-бетонной крепи производят соплами, размещенными на стрелах автоматизированных установок, использующими сухую, полумокрую или мокрую технологии.

Далее под защитой вышеописанной временной крепи выполняют постоянную железобетонную крепь или в опалубке или по технологии набрызг-бетона. Последняя технология более безопасна, т.к. позволяет выполнить работу без присутствия рабочих в выработке. В институте «Оргэнергострой» была опробована технология выполнения набрызг-бетонного покрытия толщиной 80–100 см.

Таким образом, современные технологии ведения подземных работ позволяют использовать отработанные горные выработки для подземных энергетических объектов, значительно сокращая объемы проходческих работ.

1. Шейнман Л.Б., Чесноков С.А. Подземные гидроаккумулирующие электростанции. – М.: Информэнерго, 1983. – 59 с.
2. Кокосадзе А.Э., Чесноков С.А., Фридкин В.М. Особенности инженерных сооружений подземной энергетики // Известия Тульского ГУ. Науки о Земле. – 2013. – Вып. 3. – С. 120–138.
3. Чесноков С.А. Горно-технологические аспекты создания подземной энергетики // Горный журнал. – 2010. – № 11. – С. 68–71.
4. Кокосадзе А.Э. Конструктивно-технологические решения подземных энергокомплексов ГАЭС-АЭС // Горный информационно-аналитический бюллетень. – 2011. – № 6. – С. 259–262.
5. Котенко Е.А., Чесноков С.А. Комплексные энергосистемы ГАЭС-АЭС // Вопросы Атомной науки и производства. Серия «Горно-металлургическое производство». – 1990. – Вып. 5. – С. 17–20.
6. Чесноков С.А. Геомеханические проблемы создания энергокомплексов АЭС-ГАЭС в отработанных горных выработках // Подземное и шахтное строительство. – 1991. – № 4. – С. 2–5.
7. Чесноков С.А., Шейнман Л.Б. Подземные ГАЭС в отработанных горных выработках. – М.: Информэнерго, 1985. – 65 с. **ИДБ**

КОРОТКО ОБ АВТОРЕ

Кокосадзе Александр Элгуджевич – заместитель генерального директора – исполнительный директор ЗАО «Институт Оргэнергострой», e-mail: post@ioes.ru, член Ядерного общества России, член Тоннельной ассоциации России.

UDC 620.9

UNDERGROUND PUMPED STORAGE IN POWER ENGINEERING

Kokosadze A.E., Deputy General Director –Executive Director,
JSC «Institute Orgenergostroy», e-mail: post@ioes.ru,
Fellow of the Nuclear Society of Russia and Tunneling Association of Russia,
Moscow, Russia.

The features of the constructions the underground pumped-storage stations are presented. The new trend of underground power – complex pumped-storage station – nuclear power station are considered. The possibility of use the worked out mined excavations for underground pumped-storage stations are studied.

Key words: underground, pumped-storage, station, machine hall, lower basin, worked out mined excavation.

REFERENCES

1. Sheinman L.B., Chesnokov S.A. *Podzemnye gidroakkumuliruyushchie elektrostantsii* (Underground hydroelectric pumped storage power plants), Moscow, Informenergo, 1983, 59 p.
2. Kokosadze A.E., Chesnokov S.A., Fridkin V.M. *Izvestiya Tul'skogo GU. Nauki o Zemle*. 2013, issue 3, pp. 120–138.
3. Chesnokov S.A. *Gornyi zhurnal*. 2010, no 11, pp. 68–71.
4. Kokosadze A.E. *Gornyi informatsionno-analiticheskii byulleten'*. 2011, no 6, pp. 259–262.
5. Kotenko E.A., Chesnokov S.A. *Voprosy Atomnoi nauki i proizvodstva. Seriya «Gorno-metallurgicheskoe proizvodstvo»*. 1990, issue 5, pp. 17–20.
6. Chesnokov S.A. *Podzemnoe i shakhtnoe stroitel'stvo*. 1991, no 4, pp. 2–5.
7. Chesnokov S.A., Sheinman L.B. *Podzemnye GAES v otrabotannykh gornykh vyrabotkakh* (Underground hydroelectric pumped storage power plants installed in worked-out stopes), Moscow, Informenergo, 1985, 65 p.

