

УСТОЙЧИВОСТЬ ЗДАНИЙ И СООРУЖЕНИЙ ЗАПОРОЖСКОЙ АТОМНОЙ ЭЛЕКТРОСТАНЦИИ ПРИ ИСПОЛЬЗОВАНИИ АРТЕЗИАНСКОЙ ВОДЫ ДЛЯ ТЕХНОЛОГИЧЕСКОГО ПРОЦЕССА СТАНЦИИ

В.М. Кузнецов, ООО «Группа компаний ИнтеллектСервис», г. Москва, Россия;

В.П. Спиридонов, Академия Государственной противопожарной службы Министерства РФ по делам гражданской обороны, чрезвычайным ситуациям и ликвидации последствий стихийных бедствий, г. Москва, Россия;

В.В. Спиридонова, «ВНИИГеосистем» ФГБУ «ВНИГНИ», г. Москва, Россия

Аннотация: Дана оценка обеспечения безопасной эксплуатации, водоснабжения, а также безопасности персонала и окружающей среды при эксплуатации Запорожской АЭС. Установлено, что эксплуатация подземных вод для технического водоснабжения АЭС и объектов ее инфраструктуры как при постоянном, так и периодическом режимах водоотбора приведет к формированию депрессионных воронок, размеры которых будут зависеть от величины (расхода) водоотбора, схемы расположения водозаборных сооружений и конкретных гидрогеологических условий месторождения подземных вод. Показана необходимость обеспечения не только прочности грунтов под конструкциями зданий и сооружений АЭС, но и надежного функционирования всех систем, которые осуществляют контроль эксплуатации АЭС. Определена необходимость контроля стабильности геолого-геофизических условий в районе и на площадках размещения АЭС в режиме мониторинга. Мониторинг носит комплексный характер. В его состав входят геотехнические, маркшейдерско-геодезические, гидрогеологические, сейсмологические наблюдения. Прогноз развития депрессионной воронки во времени и пространстве должен выполняться аналитическими методами или моделированием с учетом изменений условий взаимосвязи водоносных горизонтов между собой и компонентами окружающей среды. Выявлено, что продление дальнейшей эксплуатации АЭС - процесс дорогостоящий и небезопасный. Модернизировать старые энергоблоки до современных по безопасности в атомной энергетике не представляется возможным. Энергоблоки Запорожской АЭС не готовы к дальнейшей эксплуатации, поэтому необходимо уже сейчас начать разработку проекта по выводу из эксплуатации (ВЭ) АЭС энергоблоков № 1-4. Результаты исследований могут быть полезными при выполнении прогноза возможного развития карстово-суффозионных процессов под влиянием интенсивного водоотбора подземных вод, организации наблюдения за возможным развитием этих процессов, включив их в состав комплексного мониторинга данного объекта. Это позволит обосновать масштабы и режим рационального водоотбора с учетом требований по охране окружающей среды и особенностей дальнейшей эксплуатации АЭС.

Ключевые слова: безопасность АЭС, артезианская вода, проседание грунтов, крены зданий и сооружений АЭС, мониторинг.

Для цитирования: Кузнецов В.М., Спиридонов В.П., Спиридонова В.В. Устойчивость зданий и сооружений Запорожской атомной электростанции при использовании артезианской воды для технологического процесса станции // Маркшейдерия и недропользование. 2024. № 1. С. 50-67. DOI: 10.56195/20793332_2024_1_50_67.

SUSTAINABILITY OF BUILDINGS AND STRUCTURES ZAPORIZHIA NUCLEAR POWER PLANT WHEN USING ARTESIAN WATER FOR THE TECHNOLOGICAL PROCESS OF THE STATION

V.M. Kuznetsov, LLC «Group of companies Intellectualservice», Moscow, Russia;

V.P. Spiridonov, Academy of the State Fire Service of the Ministry of Civil Defense, Emergencies and Elimination of Consequences of Natural Disasters, Moscow, Russia;

V.V. Spiridonova, «VNIIGeosystem» FSBI «VNIGNI», Moscow, Russia

Abstract: The article provides an assessment of ensuring safe operation, water supply, as well as the safety of personnel and the environment during the operation of the Zaporizhia NPP. It has been established that the exploitation of groundwater for the technical water supply of the NPP and its infrastructure facilities, both under constant and periodic drainage regimes, will lead to the formation of depression funnels, the size of which will depend on the magnitude (flow rate) of the water intake, the layout of water intake facilities and specific hydrogeological conditions of the groundwater deposit. It is shown that it is necessary to ensure not only the strength of the

soils under the structures of buildings and structures of nuclear power plants, but also the reliable functioning of all systems that control the nuclear process. The necessity of monitoring the stability of geological and geophysical conditions in the area and at the sites of nuclear power plants in the monitoring mode has been determined. The monitoring is comprehensive. It includes geotechnical, surveying and geodetic, hydrogeological, and seismological observations. The forecast of the development of a depression funnel in time and space should be carried out by analytical methods or modeling, taking into account changes in the conditions of the relationship of aquifers with each other and environmental components. It has been revealed that extending the further operation of the NPP is an expensive and unsafe process. It is not possible to upgrade old power units to modern ones in terms of safety in nuclear energy. The power units of the Zaporizhia NPP are not ready for further operation, therefore, it is necessary to start developing a project for decommissioning power units No. 1-4 of the NPP. The research results can be useful in predicting the possible development of karst-suffusion processes under the influence of intensive groundwater drainage, organizing monitoring of the possible development of these processes, including them in the integrated monitoring of this facility. It will make it possible to justify the scale and regime of rational water extraction, taking into account the requirements for environmental protection and the specifics of further operation of the NPP.

Keywords: safety of nuclear power plants, artesian water, subsidence of soils, rolls of buildings and structures of nuclear power plants, monitoring.

For citation: For citation: Kuznetsov V.M., Spiridonov V.P., Spiridonova V.V. Sustainability of buildings and structures Zaporizhia nuclear power plant when using artesian water for the technological process of the station. Surveying and subsoil use. 2024;(1): 50-67. (In Russ.). DOI: 10.56195/20793332_2024_1_50_67.

Для ознакомления приведем информацию об инцидентах на объектах использования атомной энергии (ОИАЭ), связанных с грунтовыми водами и проседанием грунта.

США. Ядерный регулятор США (NRC) заявил, что начал инспекцию по изучению оседания грунта в различных местах вокруг предприятия Energy Harbor Corp. (ENGH.ПК) атомной электростанции «Дэвис-Бесс» в штате Огайо. Комиссия по ядерному регулированию заявила в пресс-релизе, что определила необходимость «специальной инспекции» после того, как узнала, что сбой в октябре 2022 года в трубопроводе, предназначенном для подачи воды для тушения пожаров, вероятно, был вызван процессом оседания грунта на АЭС в Ок-Харборе, на севере штата Огайо, недалеко от озера Эри.

NRC также сообщил о других сбоях в трубопроводах противопожарной защиты и «многочисленных случаях оседания грунта на объекте». Компания Energy Harbor, оператор единственного реактора мощностью 894 МВт, не сразу ответила на запрос об инцидентах. NRC заявил, что специальная инспекционная группа из пяти человек установит график, связанный с зонами оседания грунта, и оценит действия по оценке, мониторингу или смягчению последствий явления и его потенциального воздействия на оборудование, ключевое для безопасности станции.

В мае 2017 года в Хэнфорде (шт. Вашингтон, округ Колумбия) просел грунт над тоннелями, в которых отстаиваются вагоны с отработавшим ядерным топливом (ОЯТ) и радиоактивными отходами, образовавшимися при производстве плутония.

Япония. В 2015 году грунтовые воды перекосили на АЭС «Фукусима-1» стену, защищающую от утечек радиоактивной воды. Защитная стена, которая была возведена на территории японской АЭС «Фукусима-1» для того, чтобы сократить объемы утечек радиоактивной воды в океан, перекосилась примерно на 20 см. Возведенная в конце октября вдоль побережья стальная стена уходит под землю на 30 метров. Причины ее наклона связывают с мощным давлением, которое оказывают на стену постоянно прибывающие грунтовые воды. В конце октября на территории аварийной японской станции была возведена 780-метровая стальная стена, главной

целью которой являлось сокращение утечки грунтовых вод в океан с 400 до 10 тонн в день. Скапливающиеся за стенами грунтовые воды откачивали, очищали от радиоактивных веществ до безопасного уровня и после этого сливали в океан. Сооружение этой протяженной стены началось еще в 2012 году.

Армения. Вследствие нерационального использования артезианского бассейна Араратской долины под угрозой оказалась Армянская атомная станция. В артезианском бассейне расположены водозаборные сооружения (каптажи) для охлаждения АЭС, в которых запасы воды сократились вдвое. В бассейне реки Мецамор высохли 120 из 303 артезианских скважин, что создало тяжелые условия и для рыбоводческих хозяйств. Площадь самофонтанирующих скважин, которая в 1984 году составляла 32 700 га, сократилась до 10 700 га, то есть более чем в три раза. Уровень грунтовых вод с 3 метров снизился до 9, в отдельных случаях — до 15 метров [1].

Цель исследований

Необходимость обеспечения прочности грунтов под конструкциями зданий и сооружений Запорожской АЭС и надежное функционирование всех систем эксплуатации станции.

Методы исследований

Анализ и комплексный мониторинг стабильности геолого-геофизических условий в районе и на площадках размещения АЭС, включая геотехнические, маркшейдерско-геодезические, гидрогеологические, сейсмологические наблюдения. Прогноз развития депрессионной воронки во времени и пространстве выполнялся аналитическими методами или моделированием с учетом изменений условий взаимосвязи водоносных горизонтов между собой и компонентами окружающей среды.

Результаты исследований и обсуждение

Дана оценка обеспечения безопасной эксплуатации, водоснабжения, а также безопасности персонала и окружающей среды при эксплуатации Запорожской АЭС.

Последствия проседания земной поверхности в результате откачки подземных вод

В 2017 году система мониторинга зафиксировала 181 происшествие, связанное с эрозией поверхности земли (за 2016 г. —

118; динамика — 0,21), из них в России случилось 77 происшествий (за 2016 год — 35; динамика — 0,38). В происшествиях, связанные с эрозией поверхности земли и образующиеся под воздействием как климатических, так и техногенных чрезвычайных ситуаций, включены провалы, обвалы, оползни, размывы береговых линий, овраги, промоины, камнепады и селевые потоки, а также нецелевые процессы разрушения пород под воздействием перепадов температур, выветривания и прочих способов воздействия, основанных на других физических принципах. Кроме того, мониторинг охватывает случаи разрушения ледовых щитов Гренландии и Антарктиды, многолетних льдов Северного Ледовитого океана и горных ледников.

Проседание земной поверхности, вызванное интенсивным отбором подземных вод, является одним из проявлений негативного влияния интенсивной эксплуатации подземных вод на окружающую среду. Как известно, в районах крупных откачек подземных вод формируются обширные понижения пьезометрических уровней (депрессионные воронки), охватывающие часто площади в десятки и сотни квадратных километров.

Понижение пьезометрических уровней подземных вод и изменения пластовых давлений вызывают изменения напряжений в горных породах, скоростей, а иногда и направлений движения подземных вод, что увеличивает интенсивность суффозионных и карстовых процессов. В одних условиях понижения уровней приводят к оседанию поверхности земли, а других — к образованию провалов. Наиболее широко распространены оседания на тех территориях, где подземные воды заключены в хорошо проницаемых песчано-гравелистых породах с небольшой сжимаемостью, которые переслаиваются с глинистыми слабопроницаемыми, но хорошо сжимаемыми отложениями. При откачке снижается напор подземных вод, что увеличивает эффективное давление на скелет грунта и приводит к уплотнению сжимаемых отложений, а как следствие — к оседанию земной поверхности.

В зависимости от характера отложений уплотнение пород может быть или преимущественно упругим, восстанавливающимся при подъеме уровня, или преимущественно пластическим, приводящим к необратимой перестройке зернистой структуры отложений. Водоносные горизонты, сложенные скальными отложениями, практически несжимаемы. Галечники, гравелистые и песчаные породы сжимаются мало, но уплотнение их происходит быстро и имеет упругий характер, т. е. при повышении уровня подземных вод породы в значительной мере разуплотняются. Основная часть оседания поверхности связана с уплотнением слабопроницаемых глинистых отложений. Уменьшение напора в водоносных горизонтах создает гидравлический градиент от перекрывающих глин и других слабопроницаемых пород внутри водоносного горизонта к хорошо проницаемым породам. Увеличение давления в слабопроницаемом пласте происходит сначала в поровой воде и только по мере удаления воды постепенно передается скелету слабопроницаемых пород. Вследствие малой гидравлической проводимости этих пород вертикальное перемещение воды и последующее уменьшение порового давления происходит медленно. Нередки случаи, когда в карбонатных породах, содержащих пресные подземные воды хорошего качества, развиваются карстово-суффозионные процессы.

Механизм этих процессов в упрощенном виде можно представить следующим образом. Карбонатные породы в результате перерывов в осадконакоплении и под воздействием физического и химического выветривания обычно пронизаны на значительную глубину многочисленными полостями и кавернами различных размеров и конфигураций, заполненными в основном рыхлыми отложениями. При продолжительной и интенсивной откачке напорных вод карбонатных отложений происходит значительное увеличение скоростей фильтрации (в десятки и сотни раз). Это приводит сначала к перераспределению рыхлого заполнителя, а затем к его полному выносу. Кровля образовавшихся пустот уже не может выдержать нагрузки вышележащих водонасыщенных песчано-глинистых отложений, что приводит к медленному оседанию земной поверхности.

Оседания земной поверхности и провалы часто приводят к опасным последствиям. Так, оседания земной поверхности могут вызвать подтопление и заболачивание территорий, деформацию автотрасс, железнодорожного полотна, водопроводных труб и других коммуникаций, изменение уклонов русел рек, деформацию промышленных и гражданских сооружений.

А. А. Коноплянцев и Е. Н. Ярцева описывают многочисленные случаи оседания и провалов поверхности, вызванных интенсивной эксплуатацией подземных вод. Оседание земной поверхности широко развито в США [2]. Отмечено, что величины оседаний изменяются от 0,3 м в районе г. Саванна (штат Джорджия) до 9 м в западной части долины Сан-Хоакин (Калифорния). В штате Калифорния общая площадь оседания земной поверхности достигает 18 тыс. км². В долине Сан-Хоакин наблюдается одно из самых значительных изменений окружающей среды, вызванное откачкой подземных вод. Здесь имеется почти 1,5 млн га орошаемых земель, половина которых охвачена оседанием. В этом районе снижение уровней подземных вод в результате интенсивной их эксплуатации достигло нескольких десятков метров, что вызвало просадки грунтов на отдельных участках до 9 м. В Калифорнии зафиксированы трещины проседания протяженностью до 3,0–3,5 км. В результате неравномерных просадок в отдельных местах нарушается эксплуатация каналов, водопроводов, водозаборных скважин, что требует значительных финансовых расходов.

В Сан-Франциско поверхность земли понизилась на 2,4 м, что привело к необходимости сооружения и систематического наращивания специальных дамб, чтобы сдерживать наступление вод залива на сушу. В приморской равнине Лос-Анжелеса уже в течение нескольких десятилетий фиксируются проседания земной поверхности со скоростью 0,7 см/год. Это вызвано комплексным воздействием ряда как антропогенных факторов: откачкой нефти, газа и подземных вод, нагнетанием пресных вод в районах интрузии морских вод, так и влиянием современной неотектоники.

В Мехико оседание земной поверхности в пределах города за последние 70 лет достигло 10,7 м. В результате были повреждены здания, мостовые, водопроводная и канализационная сети. Дворец изящных искусств, расположенный в центре города, опустился более чем на 3 м ниже уровня окружающих улиц. Для того чтобы прекратить оседание, к городу подвели поверхностную воду и сократили откачку подземных вод. В настоящее время разрабатываются специаль-

ные меры по управлению отбором подземных вод и использованием водных ресурсов.

Г. Линд приводит примеры тесного взаимодействия всех компонентов окружающей среды, включая общие водные ресурсы, подземные воды, поверхность земли и др. В частности, им подробно описаны геолого-гидрогеологические условия Венеции, где наблюдается медленное и катастрофическое погружение города в море, вызванное чрезмерным изъятием подземных вод из водоносных пластов в сочетании с влиянием приливов Адриатического моря. Принятые меры были направлены на значительное сокращение откачки подземных вод в районе г. Венеции и использование поверхностных вод реки Силе. И если в период 1952-1968 годов средняя скорость проседания поверхности земли составляла 5-6 мм в год, то в результате уменьшения откачек (число действующих водозаборных скважин было сокращено на 60 %) уровень поверхности земли в Венеции к 1975 года поднялся на 2 см [3].

Аналогичные проблемы характерны для многих крупных приморских городов, интенсивно эксплуатирующих подземные воды. Можно привести и другие примеры влияния интенсивного отбора подземных вод на снижение земной поверхности. Так, по данным Технологического института Индонезии, начиная с 1994 года в результате интенсивной эксплуатации подземных вод почва в г. Джакарта просела местами до 0,5 м. Это привело к подтягиванию соленых морских вод, что вызывает подтопление, а местами и разрушение оснований зданий.

В настоящее время в Мексике, Японии и США известно более 150 районов, где просадки земной поверхности, вызванные интенсивной откачкой подземных вод и разработкой месторождений полезных ископаемых, достигли 10 м.

Даже интенсификация отбора подземных вод в отдельные сезоны года, например летом для орошения, может вызывать просадки рыхлых грунтов. Оседание земной поверхности на территории Аллювиальной равнины (Япония) было обнаружено в 1973 году. В 1980-е и начале 1990-х годов скорость проседания, вызванного снижением напора подземных вод в результате их откачки, достигала в этом районе 2 см в год. В Японии общая площадь территории, опустившейся под влиянием отбора подземных вод ниже уровня моря, достигает 1 200 км². В Токио с 1900 по 1975 год оседание земной поверхности достигло 4,7 м. Принятый в Японии закон о воде имеет целью сократить отбор подземных вод и увеличить использование поверхностных вод. В настоящее время в ряде районов Японии проседание земной поверхности уменьшилось благодаря более рациональному отбору подземных вод и увеличению потребления вод из водохранилищ.

В г. Бангкоке (Таиланд) значительное снижение поверхности земли, обусловленное эксплуатацией подземных вод, отмечается с 1960 года. В настоящее время здесь работают около 15 тысяч водозаборных скважин, отбирающих воду из напорного песчано-гравийного водоносного горизонта, перекрытого глинами.

В Китае в результате интенсивной откачки подземных вод на поверхности земли образовались трещины шириной до 0,5 м.

Просадки земной поверхности, вызванные отбором подземных вод, отмечены также в Малайзии.

В некоторых районах просадки земной поверхности охватывают значительные площади. Так, на Тайване проседание грунтов, вызванное неконтролируемым отбором подземных вод, охватывает территорию в 250 км², а максимальное проседание достигает 2,5 м. Вдоль прибрежных равнин острова фиксируются интрузии морских вод. Проводятся мероприятия по сокращению отбора подземных вод в отдельных районах.

В ряде районов проседание земной поверхности, вызванное интенсивным отбором подземных вод, приводит к разрушению существующих гражданских и промышленных сооружений. Такие случаи известны, например, в г. Калькутта (Индия), где отмечены повреждения зданий, вызванные проседанием поверхности земли со скоростью 1,4 мм/год.

Опасность интрузии морских вод наряду с оседанием земной поверхности во многих приморских районах приводит к необходимости ограничивать отбор подземных вод. Такая опасность отмечена в приморских районах Калифорнии, на островах Зеленого мыса, побережье Мексиканского залива в США, в ряде городов Италии и многих других районах. Интрузия морских вод привела к негативным изменениям качества подземных вод на побережье Израиля. Во многих прибрежных районах Англии существует проблема вторжения соленых вод в водоносные горизонты. Так, на восточном побережье Англии наблюдается вторжение морских вод в водоносный горизонт мела, интенсивно эксплуатируемый для питьевых и промышленных нужд. Специалистами рекомендованы мероприятия по стабилизации отбора воды с целью предотвращения дальнейшего вторжения морских вод.

Интенсивный подток соленых вод в эксплуатируемые водоносные горизонты отмечен на побережье штата Квинсленд (Австралия), где водоотбор почти вдвое превышает современное инфильтрационное питание.

Вероятно, практически единственным способом борьбы с проседанием земной поверхности является сокращение отбора подземных вод из эксплуатируемых горизонтов и введение постоянного мониторинга уровня грунтовых вод и состояния земной поверхности. Только разработка строгих правил контролируемого отбора подземных вод позволяет предотвратить или снизить отрицательные последствия работы водозаборов там, где геолого-гидрогеологические условия способствуют развитию процессов проседания земной поверхности и (или) интрузии морских вод.

Наиболее наглядным примером борьбы с проседанием земной поверхности и внедрением морских вод являются работы, проведенные в штате Техас (США). В г. Хьюстоне за 40 лет интенсивной эксплуатации подземных вод проседание земной поверхности в отдельных районах достигло 4 м, что вызвало затопление значительной территории морскими водами. В 1976 году власти штата Техас приняли меры к сокращению откачки подземных вод в опасных районах и осуществлению ряда мероприятий по искусственному восполнению подземных вод. После этого темпы проседания земной поверхности значительно снизились. Следует подчеркнуть, что Техас является одним из немногих районов мира, где государством проводятся планомерные многолетние исследования (включая стационарные наблюдения, моделирование и прогнозы) по оценке влияния интенсивного отбора подземных вод на проседание земной поверхности.

Образование обширных депрессионных воронок в районах эксплуатации водоносного горизонта Потомак - Маготи, штат Нью-Джерси, США, вызвало интрузию морских вод в береговой зоне, что привело к необходимости сокращения вдвое отбора подземных вод крупными потребителями.

Осадки и крены реакторных отделений АЭС

В середине 70 годов прошлого века в СССР был взят курс на активное строительство атомных электрических станций (АЭС) с энергоблоками мощностью 1 тысяча МВт с водо-водяными энергетическими реакторами (ВВЭР-1000). Прототипом указанных АЭС стал энергоблок № 5 Нововоронежской атомной станции.

Площадки таких атомных станций выбирались исходя из близости их к планируемым источникам потребления электрической энергии, к мощным источникам технического водоснабжения, развитой базе строительной и промышленной индустрии, приемлемости природных условий, отвечающих требованиям действовавших на момент проектирования нормативных документов. К таким АЭС относятся Южно-Украинская, Калининская, Запорожская, Хмельницкая, Ровенская, Балаковская атомные станции. Среди эксплуатируемых АЭС большинство сооружено на сжимаемых грунтах с различными физико-механическими свойствами и с разными вариантами главных корпусов и других зданий и сооружений энергоблоков. Часть этих энергоблоков сооружалась с заменой грунтов с недостаточной несущей способностью на щебеночные или щебеночно-гравийные подушки разной мощности. Расчеты осадок и кренов зданий реакторных отделений (РО) выполнялись по действовавшим в то время методикам. Однако нормативная база для больше-размерных тяжелонагруженных зданий реакторных отделений с габаритами фундаментных плит диаметром в плане 48 м или квадратом 68 м и более и весом здания от 119 500 т (блок № 5 Нововоронежской, блоки № 1, 2 Калининской АС) до 234 000 т (Балаковская, Запорожская, Ростовская и ряд других АЭС) была несовершенной. Поэтому строительство большинства из таких зданий сопровождалось нерасчетным и непрогнозируемым развитием осадок и особенно кренов. В ряде случаев фактические осадки превысили расчетные в 2-3 раза, а крены — на еще большую величину. Здесь уместно заметить, что фактические крены тем не менее находились в пределах допускаемых действовавшими нормативными документами (НД) значений, а осадки монолитных и жестких сооружений, таких как реакторное отделение (РО), допускалось вообще не нормировать, поскольку они оседают и кренятся вместе с расположенным в нем оборудованием, трубопроводами и другими элементами энергоблока. Проблематичность «больших» в этом плане и неравномерных осадок рассматривается преимущественно не с точки зрения безопасности самого здания РО, а с точки зрения соблюдения очень жестких требований по пространственному положению оборудования реакторной установки (РУ), турбины и других вращающихся агрегатов, а также в целях обеспечения безопасности смежных с РО зданий и строительных конструкций, имеющих гораздо меньшие осадки, чем РО, и технологических коммуникаций, особенно трубопроводов большого диаметра и толщины стенки, связывающих РО с другими объектами атомной станции. Особенности осадок различных объектов и различные допустимые значения безопасности строительства и эксплуатации зданий и оборудо-

вания и привели к значительным трудностям в обеспечении жестких требований на фиксацию оборудования в пространстве.

Эти требования вызваны тем, что все АЭС — это объекты повышенной ядерной, радиационной, пожарной, технической и экологической опасности и ответственности. Безаварийная работа систем регулирования мощности, аварийной защиты ядерного энергоблока, в частности быстрый ввод поглощающих стержней в активную зону или их сброс, возможны при выполнении очень жестких конструктивных требований к оборудованию РУ, исключению перекосов, искривлений и других изменений геометрических размеров. Это важно и для вращающихся механизмов, особенно имеющих большие длины валопровода (цилиндр высокого давления, цилиндр среднего давления, три двухпоточных цилиндра низкого давления, генератор, возбудитель генератора, сочлененные между собой различными муфтами, при общей длине 50 м и более). Отклонения опор подшипников таких валопроводов в плане и высоте на уровне нескольких миллиметров приводит к расцентровке роторов, повышенной вибрации, даже к невозможности безопасной эксплуатации турбоагрегатов [1].

Для реакторной установки ВВЭР-1000 предъявлены главным конструктором следующие требования к фиксации оборудования РУ в пространственном положении. Особенности зданий реакторных отделений с ВВЭР-1000 состоят в том, что они тяжело нагружены и имеют большие размеры, создают большое давление на основание, сооружаются, как правило, и что отмечено ранее, на сжимаемых грунтах, с большим коэффициентом застройки объектами АЭС отведенной территории, не исключая взаимовлияния зданий на их осадки, имеют в два раза и более большие осадки, чем расположенные от них на разных расстояниях другие здания и сооружения, поэтому вопрос ограничения их осадок, кренов и горизонтальных смещений для безопасной эксплуатации оборудования и всей атомной станции имеет важнейшее значение.

В этой части основной заботой многих атомных станций с ВВЭР-1000, в том числе Балаковской АЭС, были проявившиеся в натуре на этапе строительства большие осадки и крены зданий РО, а также большие нерасчетные осадки смежных, вплотную примыкающих к зданиям РО объектов — машзалов и эстакад. Причем крены зданий РО таких АЭС, находясь в пределах или незначительно отличаясь от нормативных значений, предъявляемых к зданиям таких категорий, превосходят допуски и наклоны оборудования РУ в 5-15 раз. Максимальные и средние фактические осадки нескольких АЭС оказались больше указанных в проекте в 2-2,7 раза. Для таких условий можно после завершения строительных нагрузок дожидаться стабилизации осадок и крена и после этого монтировать оборудование, для которого последующие нарастания осадок и изменения крена не приведут к нарушениям предельных параметров его фиксации на монтаже. Однако такой метод ведет к большим задержкам общего завершения строительства (полгода и более) и ввода энергоблоков в эксплуатацию и, соответственно, большим экономическим потерям.

Второй подход базируется на приемлемом по точности прогнозировании величин осадок, направлений и абсолютных изменений крена РО в пространстве и, что очень важно,

во времени (в динамике). Однако это возможно при наличии нормативной базы, позволяющей выполнять указанные прогнозы, адекватные натурным данным. Но нормативная база для этих целей в то время применительно к крупноразмерным тяжело-нагруженным зданиям, таким как РО, была несовершенной. Поэтому положительные результаты такого варианта сооружения АЭС зависели от скрупулезного учета всех или большинства влияющих на неравномерные осадки факторов.

Крены реакторных отделений можно было ликвидировать еще на стадии проектирования, предусмотрев либо прорезку слабых водонасыщенных грунтов сваями длиной 12–23 м, упирающимися концами в малосжимаемые грунты, либо уменьшение удельного давления по подошве фундамента с увеличением ширины квадратного фундамента с 68 до 86 м (из-за значительной толщи слабых подстилающих грунтов).

Оседание, связанное с грунтовыми водами, — это оседание (или затопление) суши в результате нерациональной добычи грунтовых вод. Просадка грунтовых вод, вызванная откачкой, вызывает понижение поверхности грунтовых вод вокруг эксплуатационной скважины. В конечном итоге это может повлиять на большой регион, усложнив и удорожив откачку более глубоких вод. По мере откачки грунтовых вод эффективное напряжение изменяется, ускоряя уплотнение, которое часто необратимо. Таким образом, общий объем илов и глин уменьшается, что приводит к опусканию поверхности. Ущерб на поверхности намного больше, если наблюдается неравномерное оседание или крупномасштабные особенности, такие как воронки и трещины. Уплотнение водоносного горизонта является серьезной проблемой наряду с оседанием грунта, вызванным откачкой воды. Просадка грунта представляет глобальную проблему на безопасности АЭС из-за откачки грунтовых вод без должного научного сопровождения [1].

Запорожская атомная электростанция

Запорожская атомная электростанция расположена на левом берегу реки Днепр рядом с г. Энергодаром (Российская Федерация, Запорожская область). Это особенно актуально в условиях слабой сейсмичности Восточно-Европейской платформы и Украинского щита в частности.

Предварительный комплексный анализ геолого-геофизических карт и материалов позволил выделить в радиусе 150 км от площадки ЗАЭС одну сейсмоактивную зону возникновения очагов землетрясений (ВОЗ) и 4 потенциальные зоны ВОЗ:

1. Криворожско-Кременчугская зона ВОЗ отождествляется с Криворожско-Кременчугским сейсмоструктурным разломом 1-го ранга. Разлом хорошо выражается в геофизических полях, на космозаэрофотоснимках и является одним из крупнейших по протяженности на Украинском щите.

2. Девладовская потенциальная зона ВОЗ отождествляется с Девладовской зоной разломов. Проявляется в поверхности «М» в виде разлома глубокого заложения; в поверхности кристаллического фундамента с амплитудами смещений первые десятки метров; в осадочном чехле.

3. Чертомлынская потенциальная зона ВОЗ. Эта зона в сейсмоструктурном отношении связана с центральной частью Чертомлынской зоны разломов, которая не проявляется.

4. Орехово-Павлоградская потенциальная зона ВОЗ в сейсмоструктурном отношении связана с центральным фрагментом регионального, мантийного Орехово-Павлоградского разлома.

5. Конкская потенциальная зона ВОЗ отождествляется с фрагментом Конкской раздвиговой зоны разломов, которая слабо проявляется: в поверхности «М», в магнитном поле и поле силы тяжести.

Строительство ЗАЭС началось в 1979 году. Спустя пять лет был введен в эксплуатацию первый энергоблок. Три следующих блока вводились в эксплуатацию ежегодно: второй — в 1985 году, третий — в 1986-м, четвертый — в 1987-м. В 1989 году начал функционировать пятый энергоблок, а шестой — лишь в 1995-м, после отмены моратория на строительство ядерных объектов на Украине, введенного из-за аварии на Чернобыльской АЭС. В мирное время ЗАЭС вырабатывала 40–42 млрд кВт·ч электроэнергии ежегодно. Это составляло примерно 50 % от всей электроэнергии, производимой атомными электростанциями Украины. По числу блоков и установленной мощности это самая крупная АЭС в Европе. Станция включает шесть энергоблоков ВВЭР-1000 суммарной мощностью 6 ГВт [1].

В октябре 2022 года президент РФ В. В. Путин поручил передать Запорожскую АЭС под управление Российской Федерации, о чем было уведомлено руководство МАГАТЭ.

Сегодня Запорожская атомная станция не функционирует на предельных мощностях. Это связано с угрозами безопасности станции. Два реактора находятся в состоянии ремонта. Три реактора — в режиме холодного останова, то есть не вырабатывают ни электроэнергию, ни тепло. Еще один реактор находится в состоянии горячего останова, что позволяет поддерживать генерацию тепла и пара, необходимых для работы целого ряда технологических узлов, в частности парогенератора и турбины.

Учитывая наличие боевых действий в районе расположения АЭС и решений, принимаемых эксплуатирующей организацией по обеспечению водой технологических нужд станции, возникает потребность в оценке технического состояния и обоснования безопасности дальнейшей эксплуатации строительных конструкций АЭС. Особенностью зданий и сооружений современных АЭС с точки зрения строительной науки являются более жесткие требования по деформационным параметрам как всего сооружения, так и отдельных его элементов.

Предельные значения совместной деформации основания и сооружений АЭС устанавливаются исходя из необходимости соблюдения следующих предельных состояний:

- а) максимально допустимые деформации сооружений, которые назначаются из условия работы технологического оборудования;

- б) предельное состояние по прочности, устойчивости и трещиностойкости конструкций, включая общую устойчивость сооружений.

Основание реакторного отделения Запорожской АЭС сложено песками средней плотности и плотными, мелко- и среднезернистыми с прослоями суглинка. Пески подстилаются палеогеновыми глинами. Грунтовые воды расположены в уровне подошвы фундаментов [4].

Фундамент реакторного отделения ВВЭР-1000, конструкция которого применена на АЭС, отличается значи-

тельными размерами и высоким давлением под подошвой фундамента. Серийные унифицированные реакторные отделения АЭС с реакторами типа ВВЭР-1000 представляют собой массивные железобетонные сооружения весом 262 тыс. т с размерами в плане 68 × 68 м и высотой 67 м. Фундамент реакторного отделения представляет собой коробчатую железобетонную конструкцию размерами 68×68 м и высотой 20 м. Оболочка гермозоны представляет собой монолитный железобетонный цилиндр диаметром 45 м, перекрытый куполом. Монолитная нижняя железобетонная плита толщиной 2,5 м заглублена на 7 м. Среднее давление по подошве фундамента составляет 0,55 МПа (5,5 кгс/см²). Существующие нормативы не описывают все особенности взаимодействия между фундаментом и грунтовым основанием, чтобы сформировать адекватный базис для нормативов и произвести оценку безопасности и длительное обслуживание конструкции, важной для безопасности, были проведены специальные исследования поведения основания и фундамента [1].

Многолетние натурные наблюдения за осадками и кренами реакторных отделений с реакторами ВВЭР-1000 показали, что на пространственное положение реакторного аппарата оказывают непосредственное влияние деформации грунтового основания. Таким образом, одним из основных механизмов деградации оснований реакторных отделений является процесс неравномерной сжимаемости грунтов в основании фундаментов. Поэтому прогнозирование и управление этим процессом весьма актуальны для управления старением строительных конструкций АЭС.

Согласно действующим нормативным документам, на момент проектирования реакторных отделений Запорожской АЭС, в т. ч. энергоблока № 3, глубина сжимаемой толщи основания фундамента здания РО была принята в пределах 25–30 м. При этом в расчетную зону сжимаемой толщи попадали практически только плотные пески с высокими показателями модуля упругости. Как следствие, более подробные инженерно-геологические изыскания грунтов основания были проведены на глубинах 30...35 м. Однако по окончании строительства и в процессе эксплуатации выявлено, что деформации грунтового основания здания реакторного отделения энергоблока № 3 Запорожской АЭС не стабилизировались и продолжали развиваться практически с постоянной скоростью. Таким образом, на основании обобщения всех проведенных в различные годы инженерно-геологических и инженерно-геодезических изысканий и исследований в настоящий момент выявлены крены и продолжающиеся осадки реакторных сооружений 1-й очереди Запорожской АЭС (особенно РО-1, РО-3), которые вызваны комплексом причин как инженерно-геологического, так и общетехнического свойства. В настоящее время скорость развития осадок фундаментов реакторных отделений Запорожской АЭС составляет соответственно 2,84 мм/год [1].

Использование артезианской воды для технологических нужд Запорожской АЭС

Все системы охлаждения на ЗАЭС объединены в систему технического водоснабжения. Техническое водоснабжение во многом определяет надежность и экономичность работы АЭС. Капиталовложения в ее сооружение оцениваются на уровне 10 % от стоимости киловатта установленной мощности.

Основными потребителями технической воды на АЭС являются: конденсаторы паровых турбин (основных и вспомогательных); маслоохладители и воздухоохладители турбогенераторов; подшипники насосов и других вспомогательных агрегатов; теплообменники вентиляционных систем; теплообменники доохлаждения продувочной воды парогенератора; теплообменники бассейнов выдержки и перегрузки; теплообменники расхолаживания реактора; теплообменники доохлаждения продувочной воды реактора; теплообменники автономных контуров охлаждения ГЦН; охладители радиоактивных проб воды и пара, отбираемых для анализа; санитарно-бытовые устройства (прачечные, душевые); система водоподготовки добавочной воды для первого и второго контуров; для подпитки тепловой сети.

Наиболее ответственные потребители имеют охлаждение через промежуточный контур. Соотношение давлений потребителей в промежуточном контуре и системе технического водоснабжения должно быть таким, чтобы исключить распространение радиоактивности за пределы станции.

Основными недостатками брызгальных бассейнов являются образование карбонатных отложений на охлаждаемых поверхностях и связанная с этим процессом подшламовая коррозия конструкционных материалов оборудования; образование радиоактивных илов; образование на поверхностях оборудования органических пленок, на которых происходит осаждение взвешенных частиц, усиливающих тенденции к илообразованию; наличие биологического обрастания элементов трубопроводов и оборудования, охлаждаемых водой брызгальных бассейнов, и непосредственно самих брызгальных бассейнов.

В технологических схемах АЭС мощными открытыми источниками тепла являются градирни, водоемы-охладители, брызгательные бассейны. Их эксплуатация, как правило, приводит к изменению микроклиматических характеристик, вызывает потепление водоемов, влияет на процессы жизнедеятельности флоры и фауны прилегающих к АЭС экосистем. Изменение отдельных параметров микроклимата локализуется преимущественно в пределах санитарной защитной зоны ЗАЭС и связано с поступлением в пограничный слой атмосферы значительного количества тепла и влаги.

Тепловое воздействие водоема-охладителя на атмосферу по данным мониторинга фиксируется в течение всего года, достигая высот 250–300 м и более, простираясь на расстоянии до 10 км. В теплый период года влияние водоема на смену температур воздуха незначительно: в малооблачную погоду на расстояниях до 100–200 м отмечается повышение температуры на 1,6 °С, в пасмурную – на 1,1 °С. В холодный период при достаточно высокой влажности воздуха над водоемом образуются туманы, распространяющиеся на побережье, в отдельные дни – на расстояние 2,0–2,5 км от береговой линии. При этом зона ухудшенной видимости (менее 1 км) может отмечаться на расстоянии до 5 км. В зоне туманов наблюдается повышенная влажность воздуха, прекращается инсоляция, возникают гололедно-заморозковые явления, повышается интенсивность коррозионных процессов металлических и бетонных конструкций ЗАЭС. Влияние брызгательных устройств на температуру воздуха максимально в холодный период: в ближайшей стометровой зоне температура воздуха повышается в среднем на 2,0–3,0 °С; на расстояниях 1–2 км – на 2,5–1,0 °С. При этом относительная

влажность воздуха повышается соответственно на 8-10 % и 4-5 %. Охлаждение воды с помощью двух башенных испарительных градирен приводит к потере воды летом на 15 %, зимой — на 1,3 %. Последствиями выброса тепла и влаги градирнями-охладителями являются: формирование пароконденсатных факелов, распространяющихся в холодный период года на расстояние до 2-3 км и более при устойчивой стратификационной атмосфере, а также до 0,5-0,7 км в летний период; «затмение» подстилающей поверхности и снижение в связи с этим на 30-50 % прихода прямой солнечной радиации в ближней к факелам зоне; снижение дальности метеорологической видимости в экстремальных условиях до 2-4 км, а при «застойных» явлениях в холодный период года — менее 0,5 км.

Системы охлаждения ЗАЭС также влияют на гидрохимический и экологический режим прилегающих к площадке водоемов. Так, вода из брызгательных устройств, градирен и водоема-охладителя постоянно испаряется, а соли остаются. Это приводит к увеличению жесткости воды, используемой для охлаждения, что отрицательно влияет на работу оборудования и требует принятия специальных технологических мероприятий. Поэтому для сохранения солевого баланса часть воды из водоема-охладителя постоянно сбрасывается и заменяется свежей днепровской водой. Процесс замещения воды в водоеме-охладителе называется продувкой. Расход продувки меняется в зависимости от времени года и составляет от 6 до 20 м³/с. При осуществлении плановых режимов продувки водоема-охладителя ЗАЭС распространение ореолов «теплого пятна» в акватории Каховского водохранилища с превышением температур на 3°C фиксировалось на удалении до 300-500 м от водовыпуска, что соответствует требованиям Правил охраны поверхностных вод от загрязнения сточными водами, согласно которым температура воды в водоемах не должна повышаться по сравнению с естественной температурой более чем на 5°C, с общим повышением не более чем до 28°C летом и 8°C зимой.

Продувка водоема-охладителя ЗАЭС, согласно технологическому регламенту, осуществляется в течение 9 месяцев в году, кроме периода нереста рыбы в Каховском водохранилище: с апреля по июнь, когда перегретые воды, поступающие из скудного канала ЗАЭС, полностью локализируются в водоеме-охладителе. Процесс продувки и качественный состав сбрасываемой из водоема-охладителя ЗАЭС воды, поступающей в Каховское водохранилище, должны постоянно контролироваться комплексным экологическим мониторингом.

Важным обстоятельством является факт, что брызгательные бассейны АЭС являются источниками радиоактивных выбросов, подлежат государственному учету и нормированию как источники выбросов, в связи с этим в соответствии с методикой для них необходимо установление нормативов ПДВ [5].

Брызгательный бассейн системы охлаждения воды Запорожской АЭС содержит водоподводящие трубопроводы и расположенные в бассейне коллекторы с рабочими трубопроводами, на которых установлены разбрызгивающие сопла, которые распыляют воду для охлаждения. Недостатком данного устройства является то, что при опорожнении бассейна для очистки водосборных чаш от ила и других отложений рабочие трубопроводы и коллекторы с разбрызгива-

щими соплами, расположенные в акватории водосборного бассейна, необходимо демонтировать [6].

Для обеспечения работы Запорожской атомной электростанции ГК «Росатом» предложил выход из ситуации с техническим водоснабжением. Из-за подрыва Каховской ГЭС возник риск дефицита воды для АЭС (рис. 1).



Рис. 1. Артезианская скважина, питающая брызгательные бассейны станции

Fig. 1. Artesian well feeding the station's splash pools

По периметру брызгательного бассейна были пробурены скважины. 11 скважин должны обеспечить снабжение станции водой в объеме порядка 260-270 м³ в час или 2365200 м³ в год. Вода из брызгательных чаш систем безопасности используется для отвода тепла от топлива, которое находится на блоках ЗАЭС (рис. 1). По сообщению руководства ЗАЭС, дополнительного объема воды достаточно для обеспечения безопасности станции в случае нештатных ситуаций [7]. Администрация АЭС не предоставила информацию о проекте и согласовании его с контролирующими природоохранными органами РФ, качестве и запасах артезианской воды, а также данные о проводимом инструментальном контроле (расход по каждой скважине, химический состав) и длительности использования этой воды в масштабах станции. Необходимо отметить, что вообще не рассматривались альтернативные схемы водоснабжения АЭС, как, например, использование сухих градирен и систем комбинирования сухого и орошаемого охлаждения типа HEAD (Heller-EGI Advanced Dry/Deluged — усовершенствованная система сухого / орошаемого охлаждения Геллер-ЭГИ), работает с сухим охлаждением весь год. Достоинства и недостатки систем охлаждения технической воды на АЭС приведены в таблице 1 [8].

Артезианская вода. Химический состав и недостатки использования

Вода, находящаяся в подпочвенном слое между двумя слоями пород, которые не пропускают воду через себя, называется артезианской. Латинское название французской провинции Артуа — Artesium, в этой провинции такие воды использовались с XII века. Собственно, поэтому этот тип природной воды получил общепринятое название — «артезианские воды». Особенность артезианской воды в том, что толща земли создает избыточное давление, позволяющее получать доступ к этим водам без использования насосного оборудования. Грунтовые воды из скважин получают с обязательным использованием насосов, а артезианские воды называют напорными. В случае устройства артезианской

**Достоинства и недостатки систем охлаждения технической воды на атомной электростанции /
Advantages and disadvantages of process water cooling systems at a nuclear power plant**

Показатель / Indicator	Оборотные системы охлаждения технической воды / Cooling systems for cooling service water		
	Пруд-охладитель / Pond cooler	Испарительная градирня / Evaporative Cooling Tower	«Сухая» градирня / Dry cooler
Отчуждаемая территория в расчете на 1 ГВт(э), км ²	5-6	0,1	0,05
Безвозвратные ежегодные потери воды при 7 тыс. ч/год использования номинальной мощности в 1 ГВт(э), млн м ³	20	25	0
Продувка воды из охладителя без химобработки, млн м ³ /год	20	0	0
Продувка воды из охладителя, требующей химобработку, млн м ³ /год	0	20	0
Суммарная подпитка охладителя без химобработки, млн м ³ /год	40	45	0
Влияние водяных паров на парниковый эффект, эквивалентный выбросу CO ₂ , млн т/год	7	9	0
Выброс в атмосферу патогенных бактерий	Имеется	Имеется	Отсутствует
Возникновение мутаций почвенных бактерий, не присущих региону размещения, за счет влияния повышенной температуры зимой	Имеется	Отсутствует	Отсутствует
Недовыработка электрической мощности по сравнению с использованием прямоточных систем охлаждения из источника неограниченного размера, % N _{ном}	2	3-4	5-7
Увеличение удельных капитальных затрат на АЭС по сравнению с АЭС, имеющей прямоточную систему охлаждения от природного источника неограниченного размера на расстоянии 1 км, %/кВт	3-5	5-8	6-9
Снижение электрической мощности энергоблока, работающего при номинальной мощности реактора, в жаркий месяц года, % N _{ном}	2-3	4-5	6-7

скважины необходимо обязательное согласование и регистрация скважины, поскольку вода в недрах считается национальным достоянием государства.

Необходимо понимать, что вопрос терминов всегда спорный. Считается, что грунтовые воды условно подразделяются на поверхностные и глубинные. Также считается, что воды, находящиеся на глубинах залегания до 30 метров от поверхности, чаще всего именно поверхностные, глубже — преимущественно глубинные воды. По химическому составу поверхностные воды имеют большее содержание органических примесей, растворенного кислорода и меньшее содержание солей щелочноземельных и тяжелых металлов в отличие от глубинных грунтовых вод. Глубинным грунтовым водам в большей степени свойственны большая концентрация солей и меньшее содержание растворенного кислорода и органических примесей, могут присутствовать сероводород и примеси других химических неорганических веществ типа радона, соединений бора, фтора и т. п. По химическому составу артезианские воды ближе к глубинным грунтовым водам, так как практически не содержат растворенного кислорода и органических веществ.

Располагаются источники артезианского типа на глубинах от 100 метров до 1 километра. Напорные артезианские водоносные слои могут находиться под несколькими водоносными слоями. Известны скважины, подающие на поверхность воду с 15-го или даже 20-го водоносного горизонта.

К недостаткам использования артезианской воды, кроме особенностей ее извлечения, можно отнести сильную насыщенность этих вод солями. Это неудивительно, по-

скольку артезианские воды находятся в слоях, которым миллионы лет, а за эти сроки вода обязательно сильно насыщается содержимым водоупорных слоев. Именно поэтому к извлеченной артезианской воде практически всегда необходимо применять методы очистки от солей щелочноземельных и тяжелых металлов. Практически всегда необходимо удаление железа и марганца и умягчение, использование которых позволяет избавиться от избытков ионов тяжелых металлов, а также кальция и магния, что предотвратит появление накипи и осадка, а также ржавых подтеков. Обустройство артезианских скважин, проектирование и монтаж системы водоподготовки на них требует немалых финансовых затрат, как и затрат на последующее обслуживание и чистку. Зачастую характеристики примесей таковы, что необходимо использовать несколько ступеней очистки. Особенно это касается ситуаций, когда в воде помимо общераспространенных загрязнений присутствуют редкие трудно извлекаемые примеси.

Инженерно-гидрологическое обоснование использования подземных вод на АЭС

На АЭС в качестве резервного источника технического водоснабжения в условиях временного дефицита поверхностных водных ресурсов и аварийных ситуаций возможно использование подземных вод. Значение резервного источника технического водоснабжения на подземных водах определяется величиной ресурсов подземных вод, которые могут быть использованы для этой цели [9].

Основанием для использования подземных вод как резервного источника технического водоснабжения является наличие ресурсов подземных вод в достаточном количестве,

а также результаты технико-экономического и экологического сравнения вариантов использования подземных вод с возможными дополнительными вариантами использования поверхностных вод, включая создание дополнительных водохранилищ сезонного регулирования, переброску воды из бассейнов других рек, переход на другие способы охлаждения технической воды. Оценка потребности в подземных водах состоит из оценки величины необходимого резервного водообеспечения и оценки периодичности использования подземных вод. Оценка продолжительности периода использования подземных вод и величины резервного водообеспечения производится на основании результатов расчетов водохозяйственного баланса, показывающих продолжительность периода и величину дефицита поверхностных водных ресурсов. Оценка возможности использования подземных вод состоит из оценки ресурсов подземных вод, которые могут быть использованы для технического водоснабжения, и оценки возможного влияния интенсивного отбора подземных вод в районе АЭС на компоненты окружающей среды. Выделение участков водоносных горизонтов, пригодных для технического водоснабжения, осуществляется на основании материалов поисково-разведочных работ с учетом данных по водохозяйственному использованию поверхностных и подземных вод данной территории, природоохранных и, в частности, водоохраных требований, требований общегосударственных норм и иных специфических требований, характерных для данной территории.

Вопросы изучения и использования подземных вод регламентируются Водным кодексом Российской Федерации и Законом Российской Федерации «О недрах». В соответствии с Законом Российской Федерации «О недрах» и Положением о порядке лицензирования пользования недрами, недра предоставляются в пользование специальным разрешением в виде лицензии. Последняя выдается уполномоченными на то органами государственной власти только на те участки недр, геологическая информация по которым прошла соответствующую государственную экспертизу. При предоставлении недр в пользование для добычи подземных вод такой государственной экспертизе подлежит оценка эксплуатационных запасов подземных вод, являющихся критерием целесообразности и возможности использования подземных вод для тех или иных целей.

Под эксплуатационными запасами подземных вод понимается средний за расчетный период фактический или проектный расход подземных вод, который может быть получен на месторождении (участке) с помощью геолого-технически обоснованных водозаборных сооружений при заданных: режиме, условиях эксплуатации и качестве, удовлетворяющем требованиям целевого использования подземных вод в течение всего расчетного срока водопотребления с учетом природоохранных ограничений. Оценка эксплуатационных запасов подземных вод заключается в определении возможной производительности водозабора при заданном понижении уровня воды в каптажных сооружениях или прогнозе понижения уровней в пределах оцениваемой площади при заданной производительности водозабора. При этом должна быть доказана возможность эксплуатации подземных вод обоснованными в геолого-техническом отношении водозаборными сооружениями при расчетной величине водоотбора в течение определенного срока работы водозаборных сооружений

при условии, что качество подземных вод удовлетворяет заданному назначению в течение всего этого периода, а прогнозируемые изменения различных компонентов природной окружающей среды не выходят за пределы установленных ограничений.

Оценка эксплуатационных запасов подземных вод включает комплекс вопросов, в состав которых входят:

а) оценка обеспеченности эксплуатационных запасов различными балансовыми составляющими (источниками формирования). Эксплуатационные запасы, представляющие собой дебит водозаборных сооружений, формируются за счет питания подземных вод в естественных условиях, сработки емкостных запасов и привлечения поверхностных и подземных вод смежных водоносных систем;

б) расчет производительности водозаборных сооружений и соответствующих понижений уровней подземных вод;

в) расчет взаимодействия водозаборного сооружения с водозаборными сооружениями на других участках в пределах области влияния оцениваемого;

г) прогноз возможных изменений качества подземных вод при их эксплуатации;

д) определение границ зон санитарной охраны водозаборов подземных вод (при оценке эксплуатационных запасов подземных вод для хозяйственно-питьевого водоснабжения);

е) оценка изменений геолого-гидрогеологических условий, определяющих возможное влияние эксплуатации подземных вод на окружающую среду (развитие карстово-суффозионных процессов, угнетение растительности, изменение поверхностного стока рек, осушение болот, проседание земной поверхности и др.);

ж) технико-экономические обоснования использования подземных вод и рациональных схем водозаборных сооружений.

В зависимости от особенностей использования подземных вод, а также особенностей гидрохимической и санитарной обстановки различные вопросы из приведенного перечня могут решаться с разной степенью детальности и достоверности, а отдельные вопросы могут быть полностью исключены.

Ключевым элементом оценки эксплуатационных запасов являются расчеты производительности водозабора. Расчеты всех основных элементов определяются, по существу, расчетами производительности водозаборов и непосредственно связаны с ними. При оценке эксплуатационных запасов подземных вод для технического водоснабжения технико-экономическое обоснование целесообразности их использования является обязательным. В связи с тем что в большинстве случаев потребителю должен быть обеспечен определенный расход воды, на практике расчет производительности водозабора чаще всего заключается в определении расчетной глубины динамических уровней подземных вод и соответствующих им величин понижений при заданном расходе водозабора и сопоставлении прогнозной величины понижения с допустимой. Величина допустимого понижения уровня водозаборных сооружений определяется гидрогеологическими, технико-экономическими и природоохранными факторами. Эксплуатационные запасы могут считаться обеспеченными, если расчетное понижение уровня не превышает допустимое. Если расчетное понижение уровня в скважинах

больше допустимого, то это значит, что либо суммарный дебит водозабора не обеспечен источниками формирования, либо фильтрационные свойства пласта не обеспечивают получение заданного дебита. В этом случае подсчеты запасов должны быть выполнены заново либо применительно к другой схеме водозаборных сооружений, либо с учетом уменьшенного значения суммарной производительности.

В зависимости от гидрогеологических условий и источников формирования эксплуатационных запасов подземных вод оценка запасов проводится либо на неограниченный срок эксплуатации, либо на заранее установленный период, если эксплуатация будет проходить при нестационарном режиме подземных вод. В последнем случае расчетный срок определяется проектной организацией. На практике чаще всего расчетный период принимается равным 25 годам. Этот срок превышает амортизационный период работы водозаборных сооружений и является достаточным либо для проведения переоценки запасов по данным многолетней эксплуатации, либо для изыскания других дополнительных источников водоснабжения рассматриваемого объекта.

Для выполнения гидрогеологических прогнозов при оценке эксплуатационных запасов подземных вод могут применяться следующие методы: гидродинамические, гидравлические, балансовые, гидрогеологических аналогов и экспертных оценок. Выбор метода прогнозирования зависит от сложности геолого-гидрогеологических условий оцениваемого месторождения (участка), степени их изученности, целевого назначения расчетов, наличия опыта эксплуатации действующих водозаборных сооружений. При гидрогеологических прогнозах отдельных элементов оценки запасов могут использоваться как один, так и несколько методов, либо их комбинация. Характеристика методов прогнозирования и особенности их использования в различных гидрогеологических условиях изложены в литературе [10].

Принципы оценки возможного влияния интенсивного отбора подземных вод в районах АЭС на компоненты окружающей среды заключаются в разработке прогнозных оценок и методики контроля влияния интенсивного отбора подземных вод на речной сток; динамики развития воронки депрессии при интенсивном водоотборе и ее регрессии в период восстановления уровней подземных вод; нарушения режима, баланса и взаимосвязи подземных и поверхностных вод; оседания земной поверхности под влиянием интенсивного водоотбора; возможного развития карстово-суффозионных процессов под влиянием интенсивного водоотбора.

Необходимо проведение наблюдений за изменениями в подземных и поверхностных водах, а также других компонентах окружающей среды, вызванных их взаимным влиянием, которые могут вызывать негативные последствия — сокращение речного стока, изменения в режиме и ресурсах подземных вод и их качестве, проседание земной поверхности, изменение режима влаги в корнеобитаемом слое и угнетение растительности, активизацию карстово-суффозионных процессов и др. Эксплуатация подземных вод для технического водоснабжения АЭС и объектов ее инфраструктуры как при постоянном, так и при периодическом режимах водоотбора приводит к формированию депрессионных воронок, размеры которых зависят от величины водоотбора, схемы расположения водозаборных сооружений и кон-

кретных гидрогеологических условий месторождения подземных вод. Прогноз развития депрессионной воронки во времени и пространстве выполняется аналитическими методами или моделированием с учетом изменений условий взаимосвязи водоносных горизонтов между собой и компонентами окружающей среды.

Отбор подземных вод нарушает их режим и баланс. Снижение уровня грунтовых вод, вызванное их эксплуатацией (или эксплуатацией более глубоких водоносных горизонтов, гидравлически связанных с грунтовыми водами), меняет величину их инфильтрационного питания, что определяет естественное восполнение запасов подземных вод. В районах эксплуатации подземных вод, прежде всего в пределах депрессионных воронок, рекомендуется создание специальной наблюдательной сети скважин, используемой для наблюдений и прогноза снижения уровней и изменения качества воды в эксплуатируемом и смежных водоносных горизонтах. Методика наблюдений и методы прогноза определяются видом и разновидностями режима подземных вод в естественных и нарушенных условиях и изложены в литературе [10].

Эксплуатация подземных вод вблизи реки (так называемые водозаборы инфильтрационного типа) резко нарушает и видоизменяет взаимосвязь поверхностных и подземных вод. В тех случаях, когда в естественных условиях подземные воды разгружались в реки, эта разгрузка резко сокращается или прекращается совсем за счет перехвата части подземного стока водозаборными сооружениями. Размеры ущерба речному стоку зависят от дебита водозабора, расстояния его от реки, схемы водозабора (обычно это линейный ряд скважин вдоль реки), фильтрационных свойств эксплуатируемого водоносного горизонта и степени его связи с рекой. Ущерб объему речного стока, вызванный интенсивным отбором подземных вод, может вызвать значительные негативные последствия: ухудшение условий рыбопроизводства и судоходства вследствие сокращения меженного стока, сокращение санитарного стока, осушение и обмеление озер, осушение болот, опустынивание территорий.

На стадиях проектирования и эксплуатации АЭС при наличии крупного сосредоточенного отбора подземных вод следует обратить внимание на возможную опасность активизации карстово-суффозионных процессов и дать качественную оценку возможной опасности этого явления. Для этого необходимо выполнить прогноз возможного развития карстово-суффозионных процессов под влиянием интенсивного водоотбора подземных вод, организовать маркшейдерско-геодезические наблюдения за возможным развитием этих процессов, включив их в состав комплексного мониторинга данного объекта.

Принципы организации резервного технического водоснабжения на подземных водах

Принципы организации резервного технического водоснабжения на подземных водах заключаются:

- а) в создании обоснованной схемы организации резервного технического водоснабжения на подземных водах, включая рациональную схему водозаборных сооружений и организацию рационального водопользования для конкретных гидрогеологических и технических условий, организацию службы эксплуатации и ремонта;
- б) создании системы водозаборных сооружений, использовании рациональных приемов водопользования, проведе-

нии ремонтно-профилактических и восстановительных работ;

в) организации контроля режима подземных вод, а при необходимости — гидрогеологического мониторинга.

Создание рациональной схемы водозаборных сооружений и разработку технологии рационального водопользования для конкретных гидрогеологических и технических условий производят с использованием методов математического моделирования. Организация службы эксплуатации и ремонта системы резервного технического водоснабжения на подземных водах заключается в создании структуры данной службы, обеспечении ее квалифицированными кадрами и материально-техническими средствами, необходимыми для выполнения поставленных задач.

Создание системы водозаборных сооружений, как правило, должно производиться специализированными организациями, имеющими большой опыт создания водозаборных и иных гидрогеологических скважин. Использование рациональных приемов водопользования необходимо для уменьшения непроизводительных потерь подземных вод и снижения материальных затрат при их использовании.

Организация режимных наблюдений за подземными водами включает в себя создание режимной сети гидрогеологических скважин, создание службы наблюдений и ремонтно-профилактических работ, обеспечение ее персоналом и материально-техническими ресурсами, проведение наблюдений за контролируемыми параметрами подземных вод, оформление результатов наблюдений и принятие необходимых решений.

Организация контроля режима подземных вод включает в себя наблюдения за уровнями, температурой и химическим составом подземных и связанных с ними поверхностных вод. Режимная сеть гидрогеологических скважин должна обеспечивать все поставленные задачи как в плане контроля использования и восстановления запасов и качества подземных вод, так и в плане воздействия водозабора резервного техводоснабжения на природную среду. В целях комплексной оценки возможного влияния интенсивного отбора подземных вод на окружающую среду в процессе проектирования АЭС необходимо предусмотреть создание и функционирование гидрогеологического мониторинга, позволяющего проводить постоянные наблюдения за состоянием подземных вод (режимом уровня; изменениями качества, температуры подземных вод; режимом водоотбора) и служащего основой для гидрогеологических расчетов и прогнозов опасного воздействия такого водоотбора на среду. Состав и содержание такого мониторинга определяются его конкретными целями и особенностями гидрогеологических условий района АЭС.

Предложения по организации мониторинга геолого-геофизических условий размещения АЭС

После аварии на АЭС «Фукусима-дайити» в России для всех АЭС были выполнены стресс-тесты на устойчивость к внешним воздействиям. На АЭС Украины стресс-тесты на устойчивость к внешним воздействиям проведены в значительно меньших объемах. В России безопасность АЭС от внешних природных и техногенных воздействий регулируется федеральными нормами и правилами в области использования атомной энергии (ФНП), которые являются обязательными при проектировании, сооружении, эксплуатации и выводе из эксплуатации АЭС. ФНП поддерживают-

ся системой руководств по безопасности (РБ), которые имеют рекомендательный характер. ФНП предусматривают контроль стабильности геолого-геофизических условий в районе и на площадках размещения АЭС в режиме мониторинга. Мониторинг геолого-геофизических условий размещения АЭС является неотъемлемой частью системы мониторингов «АЭС — окружающая среда». Актуальность мониторинга геолого-геофизических условий определена и обусловлена их изменением под влиянием естественных и техногенных внешних воздействий в период строительства, эксплуатации и вывода из эксплуатации АЭС. Мониторинг носит комплексный характер. В его состав входят геотехнические, гидрогеологические, сейсмологические наблюдения и наблюдения за современными движениями земной коры (СДЗК).

В системе ФНП России основными нормативными документами, регламентирующими требования к проведению мониторинга внешних природных и техногенных воздействий в районе и на площадке размещения АЭС, являются НП-064-05 [11] и РБ-036-06 [12]. НП-064-05 содержат требования к учету внешних воздействий природного и техногенного происхождения при размещении, проектировании, сооружении, эксплуатации и выводе из эксплуатации (в том числе в случае длительной выдержки под наблюдением) АЭС. НП-064-05 устанавливают номенклатуру процессов, явлений и факторов природного и техногенного происхождения, которые должны выявляться при изысканиях и исследованиях в районе и на площадке размещения АЭС и учитываться при обосновании его устойчивости и безопасности. Для процессов, явлений и факторов техногенного происхождения, природно-техногенного и техногенно-природного происхождения должны разрабатываться сценарии их реализации для выявления их взаимообусловленности и взаимовлияния. При этом в районе и на площадке размещения АЭС должен обеспечиваться мониторинг параметров процессов и явлений природного происхождения, включенных в проектные основы, а также периодический контроль параметров факторов техногенного происхождения, включенных в проектные основы.

Согласно требованиям НП-064-05, при размещении АЭС проводится классификация площадок по степени опасности процессов, явлений и факторов природного и техногенного происхождения.

Установлено три класса площадок:

А — площадка, на которой отсутствуют внешние воздействия I и II степени опасности;

Б — площадка, на которой отсутствуют внешние воздействия I степени опасности;

В — площадка, на которой имеются внешние воздействия I, II и III степени опасности.

Согласно требованиям НП-064-05, если на площадке размещения АЭС возможны процессы и явления природного происхождения I и II степени опасности, системы мониторинга для оценки их параметров должны быть реализованы и функционировать до ввода в эксплуатацию АЭС. Требованиями НП-064-05 предусматривается, что технические средства для мониторинга и периодического контроля параметров процессов, явлений и факторов должны проходить проверки. Частота проверок должна устанавливаться в проектной документации систем мониторинга и периоди-

ческого контроля и быть достаточной для обеспечения гарантий их безотказной работы в период между проверками. Системы мониторинга параметров процессов и явлений природного происхождения должны быть интегрированы в единые государственные системы мониторинга, которые имеются на территории Российской Федерации в районе размещения площадки АЭС.

Цель и задачи мониторинга в районе и на площадке АЭС в конечном счете определяются условием, согласно которому, если в результате наблюдений при эксплуатации АЭС зафиксированы изменения проектных параметров внешних воздействий, принятых в проектных основах, то должны оцениваться последствия влияния этих изменений на устойчивость и безопасность АЭС. В необходимых случаях должны приниматься дополнительные меры по инженерной защите АЭС и/или территории АЭС.

Для выполнения этого условия в соответствии с требованиями пункта 6.22 НП-064-05 на АЭС должны создаваться и актуализироваться базы данных о параметрах процессов, явлений и факторов природного и техногенного происхождения на площадке и в районе размещения АЭС. Руководство по безопасности РБ-036-06 разрабатывалось в развитие требований НП-064-05 и включает в себя рекомендации по методикам практической реализации требований НП-064-05.

Состав и особенности проведения мониторинга в районе и на площадках АЭС

Процесс включает в себя радиационный, геотехнический, гидрогеологический, сейсмологический мониторинг и мониторинг СДЗК. В настоящее время при активном проявлении климатических изменений, носящих региональный и разнознаковый характер (региональное потепление или региональное похолодание), становится очевидным необходимость комплексного подхода к оценке изменений геологической среды по результатам проводимых на площадке АЭС видов мониторинга [13].

Радиационный мониторинг. Контроль мощности дозы гамма-излучения (радиационный фон) в санитарно-защитной зоне и зоне наблюдения АЭС проводится метрологически аттестованными переносными приборами и автоматизированными системами контроля радиационной обстановки (ЕГАСКРО). Основным назначением АСКРО (Росатома РФ) является осуществление непрерывного контроля радиационной обстановки на постах контроля, расположенных на территории санитарно-защитной зоны и зоны наблюдения АЭС, и информационно-аналитическая поддержка противоаварийных структур, руководства АЭС, органов управления и государственной власти различных уровней в случае аварии на АЭС [18].

Геотехнический мониторинг. В состав геотехнического мониторинга входят мониторинг осадков и кренов фундаментов зданий и сооружений (далее — ЗиС) и мониторинг физико-механических свойств грунтов оснований ЗиС АЭС. При выполнении геотехнического мониторинга применяются следующие методы: визуально-инструментальные (наблюдения за уровнем подземных вод, состоянием конструкций, в том числе поврежденных, с фиксацией дефектов маяками или аналогичными устройствами, фотофиксация и др.); геодезические (фиксация перемещений марок и др.) с применением нивелиров, теодолитов, тахеометров, сканеров (в том

числе оптических, электронных, лазерных и др.) и навигационных спутниковых систем; тензометрические (фиксация напряжений в основании под подошвой фундамента, пятой сваи, в несущих конструкциях и др.) с применением комплекса датчиков напряжений и деформации; виброметрические (измерение кинематических параметров колебаний: виброперемещений, виброскоростей, виброускорений); геофизические (электромагнитные, сейсмические и др.).

Контролируемыми параметрами мониторинга осадков и кренов фундаментов ЗиС являются нормативные предельно допустимые значения и расчетные проектные значения осадков и кренов фундаментов ЗиС АЭС. На всех без исключения площадках размещения АЭС мониторинг осадков и кренов фундаментов ЗиС проводится для ЗиС первой и второй категории ответственности за радиационную безопасность. Системы мониторинга осадков и кренов фундаментов ЗиС нормированы и строго регулируются федеральными нормативными документами, а также соответствуют рекомендациям Международного агентства по атомной энергии (МАГАТЭ). При анализе результатов геотехнического мониторинга учитываются результаты других видов мониторинга, контролирующих изменения геологической среды.

Гидрогеологический мониторинг. В России ОИАЭ размещены в различных климатических зонах с самыми различными гидрогеологическими условиями. Несущая способность грунтов оснований ЗиС ОИАЭ в большой мере зависит от гидрогеологических условий площадки размещения. Наблюдения за режимом грунтовых вод на площадках размещения ОИАЭ проводятся с целью уточнения гидрогеологических условий; контроля гидрохимической устойчивости оснований; контроля агрессивного воздействия грунтовых вод на фундаменты; контроля состояния подземных водонесущих коммуникаций и дренажных систем.

Наблюдения за режимом грунтовых вод осуществляются с помощью контрольных скважин — пьезометров, которые должны быть заложены к началу эксплуатации ОИАЭ. Наблюдения за режимом грунтовых вод включают в себя три вида работ: наблюдения за изменением уровня грунтовых вод; измерения температуры грунтовых вод; определение химического состава. Эти виды работ в режиме мониторинга строго регламентированы, обеспечены нормативными документами и выполняются на площадках размещения ОИАЭ в течение всего жизненного цикла.

Сейсмологический мониторинг. На платформенной части Украины известно свыше 30 коровых землетрясений с магнитудой до 4,8–5,3; в эпицентрах в основном — 5–6 баллов. Данные о сейсмическом воздействии на площадку ЗАЭС от этих землетрясений отсутствуют. В радиусе до 200 км от площадки ЗАЭС известно более 15 очагов землетрясений.

Запорожская атомная электростанция реализовала проект сети сейсмологического мониторинга: установила шесть сейсмостанций, которые расположены в 30-километровой зоне энергообъекта: в селах Днепровка, Знаменка, Благовещенка, Добра Надежда и в Никополе. В их скважинах установлены сейсмодатчики. Они регистрируют землетрясения, и каждый день информация поступает на сервер атомной станции. Сеть сейсмологического мониторинга Запорожской АЭС регистрирует любое землетрясение. Это постфукусимское мероприятие в рамках Комплексной (сводной) про-

граммы повышения безопасности энергоблоков Украины. Реализация проекта началась в 2012 году. В опытном режиме система начала работать в 2017 году.

Мониторинг СДЗК. Деформации и возможные крены тектонических блоков земной коры должны учитываться при размещении АЭС, т. к. они могут влиять на поведение площадок их размещения. Наблюдения за СДЗК с помощью геодезических методов как наземных, так и с использованием GPS-наблюдений со спутников являются одним из инструментов для выделения геодинамически активных разломов и разломных зон и оценки текущей (настоящей) геодинамической активности территории в целом [13, 15].

Необходимо отметить, что методология работ СДЗК основана на использовании сетей опорных реперов (глубинных и грунтовых), всегда испытывающих воздействие множества факторов (климатических, геологических, гидрогеологических и др.), которые в свою очередь влияют на их устойчивость. Поэтому весьма важно при использовании результатов геодезических наблюдений при обосновании безопасности достоверно выделять геодинамическую составляющую движений. В свою очередь эта составляющая может быть вызвана как эндогенными, так и экзогенными и инженерно-геологическими процессами. Соответственно, необходимо стараться однозначно определить причины СДЗК, поскольку в случае с эндогенными источниками мы имеем дело с активными тектоническими структурами, а в остальных случаях — нет. Тем не менее всегда должен определяться риск, который может быть нанесен безопасной эксплуатации АЭС современными геодинамическими процессами, протекающими в настоящее время.

Наблюдения за СДЗК осуществляются наземными геодезическими методами (в основном за вертикальной составляющей) и космическими средствами (как правило, за горизонтальной составляющей) и в зависимости от масштаба подразделяются на глобальные (в масштабе Земли в целом), региональные (в пределах района размещения объекта) и локальные (на площадке размещения объекта). Проблема заключается в том, что такие наблюдения чаще всего выполняются лишь эпизодически — путем повторных наблюдений через определенные интервалы, лишь в редких случаях непрерывно (перманентно) в режиме мониторинга (но и в случае мониторинга непрерывность наблюдений относительна и сводится лишь к повышению частоты опроса) [17].

Детальные исследования СДЗК геодезическими методами в районах и на площадках размещения АЭС проводятся либо в пределах локальных (ведомственных) геодинамических полигонов, либо по отдельным профилям. По результатам наблюдений за СДЗК к опасным относят разломы, в зонах которых установлен градиент скорости движений 3×10^{-5} в год.

При сохранении постоянства такой скорости вертикальной деформации в течение срока эксплуатации объекта предельный крен может достигать величины 10^{-3} , что сопоставимо с предельной величиной допустимого крена реакторного отделения атомной станции. Такие движения могут быть вызваны как опасными активными разломами, расположение которых недопустимо на площадках размещения АЭС, так и другими геодинамическими процессами (экзогенными, инженерно-геологическими и гидрогеологическими).

Дополнительным компонентом к высокоточному геометрическому нивелированию для анализа скоростей вертикальных движений и решения других задач тектоники и геодезии является выполнение гравиметрических работ. Это связано с тем, что по результатам повторного геометрического нивелирования нельзя судить об относительном вертикальном смещении реперов, так как его причиной может быть изменение гравитационного поля в исследуемом районе Земли.

Аналогично по результатам повторных гравиметрических наблюдений нельзя судить, изменяется ли гравитационное поле, поскольку причиной изменения силы тяжести могут быть смещения измерительных точек по высоте относительно центра масс Земли. Отсюда следует, что при точных работах по исследованию современных вертикальных движений земной коры нельзя не считаться с возможными изменениями гравитационного поля. Для производства гравиметрических работ должна быть создана сеть гравиметрических пунктов. Гравиметрические пункты совмещаются с геодезической сетью — глубинными реперами и пунктами государственной триангуляции и устанавливаются в непосредственной близости от них: порядка 3 м от глубинных реперов и 1–3 м от центров триангуляции. Такие наблюдения в настоящее время ведутся на геодинамических полигонах Ростовской АЭС.

В качестве контролируемых величин при мониторинге рекомендуется рассматривать параметры (максимальные вертикальные и горизонтальные смещения, скорости и градиенты скоростей смещений), учитываемые при размещении площадки АЭС, и параметры, учитываемые в проекте при обеспечении безопасности АЭС, — крены реакторных отделений и допустимые крены зданий и сооружений, важных для безопасности. Оценка характеристик вертикальных движений земной коры на геодинамическом полигоне зависит от продолжительности периода мониторинговых наблюдений: если последовательно обработать наблюдения за 15 лет, а затем за 3 года и, наконец, за год, то определяемые движения оказываются всё хаотичнее. При анализе больших интервалов измерений получаются устойчивые осредненные величины, а при малых интервалах увеличивается влияние случайных отклонений от общей тенденции.

При проведении мониторинговых наблюдений следует особое внимание обращать на выявление долговременных трендовых составляющих СДЗК и тщательно анализировать, выявлять причины интенсивных локальных изменений параметров. СДЗК могут приводить к перекосу и крену площадки и вносить дополнительный вклад в крен (и перекося) ЗИС, возникший вследствие неравномерной осадки и движений грунтов оснований.

Перекося и крен площадки за счет СДЗК могут усугублять суммарный крен, если направление кренов совпадает, или, наоборот, компенсировать, если направления составляющих суммарного крена противоположны. При этом необходимо учитывать влияние сложных инженерно-геологических и гидрогеологических условий территорий размещения АЭС, которые на локальных участках также могут повлиять на увеличение осадки, крена и изгиба фундаментов зданий и сооружений.

Воздействие составляющей крена СДЗК может быть критическим в том случае, если значение составляющей крена

осадки фундамента близко к предельно допустимым значениям (эффект последней капли). Например, в случае Калининской АЭС, где крены реакторных отделений, обусловленные неравномерными осадками (РО-1 = 0,00308; РО-2 = 0,00267), превысили предельно допустимое значение 0,001, «добавка» крена за счет СДЗК может оказаться критической. Такая же ситуация возможна на Балаковской АЭС и на ХОЯТ Курской АЭС. При этом необходимо учитывать техногенную составляющую, влияющую на геодинамическую активность территории размещения АЭС.

Выводы

1. На основании РД 95.10531-96 на АЭС в качестве резервного источника технического водоснабжения АЭС допускается использование подземных вод в условиях временного дефицита поверхностных водных ресурсов и аварийных ситуаций. Значение резервного источника технического водоснабжения на подземных водах определяется величиной ресурсов подземных вод, которые могут быть использованы для этой цели.

2. Эксплуатация подземных вод для технического водоснабжения АЭС и объектов ее инфраструктуры как при постоянном, так и при периодическом режимах водоотбора приводит к формированию депрессионных воронок, размеры которых зависят от величины водоотбора, схемы расположения водозаборных сооружений и конкретных гидрогеологических условий месторождения подземных вод. Прогноз развития депрессионной воронки во времени и пространстве должен выполняться аналитическими методами или моделированием с учетом изменений условий взаимосвязи водоносных горизонтов между собой и компонентами окружающей среды. Одним из основных механизмов деградации основания реакторного отделения является деформация подстилающих фундамент грунтов. Деформации грунтового основания оказывают непосредственное влияние на положение энергетического реактора. При увеличенном давлении и относительно большом размере фундаментов реакторных отделений ВВЭР-1000 слои грунта деформируются на глубину, сравнимую с величиной фундамента. Осадочная воронка расширяется на значительное расстояние, влияя на соседние сооружения.

3. Просадка грунтовых вод, вызванная откачкой, вызывает понижение поверхности грунтовых вод вокруг эксплуатационной скважины. В конечном итоге это может повлиять на большой регион, усложняя и удорожая откачку более глубоких вод. По мере откачки грунтовых вод эффективное напряжение изменяется, ускоряя уплотнение, которое часто необратимо. Таким образом, общий объем илов и глин уменьшается, что приводит к опусканию поверхности. Ущерб на поверхности намного больше, если наблюдается неравномерное оседание или крупномасштабные особенности, такие как воронки и трещины. Уплотнение водоносного горизонта является серьезной проблемой наряду с оседанием грунта, вызванным откачкой воды. Просадка грунта представляет глобальную проблему на безопасности АЭС из-за откачки грунтовых вод без должного научного сопровождения.

4. Оседание земной поверхности под влиянием интенсивного водоотбора происходит в результате изменения упругого состояния как водоносных, так и водоупорных пород в слоистых осадочных толщах. Расчетные зависимости для

определения возможной величины оседания земной поверхности включают такие показатели, как приращение нагрузки на скелет породы, объемный вес породы до водопонижения и при снижении уровня на заданную величину, коэффициент сжимаемости пород и др. Известные на территории России максимальные значения проседания земной поверхности под влиянием откачки подземных вод не превышают 2-3 мм/год. Поэтому оценку возможного проседания земной поверхности на стадии проектирования АЭС целесообразно проводить только в редких случаях — при крупном длительном водоотборе из слоистой хорошо сжимаемой толщи водовмещающих осадочных пород.

5. Эксплуатация подземных вод вблизи реки Днепр нарушает и видоизменяет взаимосвязь поверхностных и подземных вод. В тех случаях, когда в естественных условиях подземные воды разгружались в реки, эта разгрузка резко сокращается или прекращается совсем за счет перехвата части подземного стока водозаборными сооружениями. Размеры ущерба речному стоку зависят от дебита водозабора, расстояния его от реки, схемы водозабора (обычно это линейный ряд скважин вдоль реки), фильтрационных свойств эксплуатируемого водоносного горизонта и степени его связи с рекой. На стадиях эксплуатации АЭС при наличии крупного сосредоточенного отбора подземных вод следует обратить внимание на возможную опасность активизации карстово-суффозионных процессов и дать качественную оценку возможной опасности этого явления. Для этого необходимо выполнить прогноз возможного развития карстово-суффозионных процессов под влиянием интенсивного водоотбора подземных вод, организовать наблюдения за возможным развитием этих процессов, включив их в состав комплексного мониторинга данного объекта.

6. Федеральные нормы и правила в области использования атомной энергии (ФНП) предусматривают контроль стабильности геолого-геофизических условий в районе и на площадках размещения АЭС в режиме мониторинга. Мониторинг носит комплексный характер. В его состав входят геотехнические, гидрогеологические, сейсмологические наблюдения и наблюдения за современными движениями земной коры (СДЗК).

7. Внедрение автоматизированных структурированных систем мониторинга для проведения маркшейдерско-геодезических инструментальных наблюдений за сдвижением и деформацией земной поверхности и расположенными на ней объектами топливно-энергетического комплекса Российской Федерации (и их последующей эксплуатации на базе новейших технологий, автоматизированных систем и приборов) имеет первостепенное значение, т. к. представляет собой актуальное направление, решение которого позволит своевременно прогнозировать состояние объектов, оповестит об возможной опасной или аварийной ситуации на них, а также чрезвычайных ситуациях, катастрофах и экологических бедствиях, что будет способствовать принятию организационных и технических мер по предупреждению и устранению этих ситуаций и обеспечит надежность и долговременную эксплуатацию зданий и сооружений. Совокупность всех этих технических, технологических решений и исследований, их сопровождающих, является актуальной работой и представляет несомненный как научный, так и практический интерес [15-17].

8. Объективное противоречие между желанием, а часто и необходимостью отобрать из недр побольше подземной воды и возможным негативным влиянием такого водоотбора на различные компоненты окружающей среды должно рассматриваться на основании данных наблюдений комплексного экологического мониторинга, включая анализ многолетнего опыта эксплуатации подземных вод крупными водозаборами. Такое рассмотрение позволит обосновать масштабы и режим рационального водоотбора с учетом требований по охране окружающей среды.

9. Для обеспечения надежного технического водоснабжения необходимо рассмотреть альтернативные схемы водоснабжения АЭС, как, например, использование сухих градиен.

10. Брызгальные бассейны АЭС являются источниками радиоактивных выбросов, которые подлежат государственному учету и нормированию как источники выбросов, в связи с этим для них необходимо установление нормативов ПДВ.

11. Объекты станции объединены во ФГУП «Запорожская АЭС» и находятся в собственности РФ. Оператором является АО «Эксплуатирующая организация Запорожской АЭС», учрежденное АО «Росэнергоатом» (входит в ГК «Росатом»). В настоящее время Запорожская АЭС переживает далеко не лучший период эксплуатации. Построенная в 80-90-х годах прошлого столетия, станция перешагнула проектный срок эксплуатации, составляющий по нормам 30 лет. Сокращение сроков проведения ремонтов на ЗАЭС, а в ряде случаев и полный отказ от их проведения из-за отсутствия финансирования и ЗИПа привели к необратимым последствиям для станции. На ЗАЭС, как, впрочем, и всех АЭС Украины, длительное время шла погоня за увеличением коэффициента использования установленной мощности (КИУМ), как следствие — увеличением выработки электро-

энергии. Еще в 2014 году правительством Украины было принято решение по дальнейшему увеличению выработки электроэнергии на АЭС до 65 %. За счет сокращения времени проведения ремонтной кампании ремонт производился только по факту различного рода дефектов на оборудовании, не велась профилактическая работа, как этого требуют технологические регламенты АЭС. Дальнейшая эксплуатация ЗАЭС и обеспечение ядерной, радиационной и экологической безопасности невозможны без сотрудничества по указанным направлениям с Российской Федерацией, т. к. основные научно-исследовательские и инженерные ресурсы сосредоточены именно здесь.

12. Продление дальнейшей эксплуатации АЭС — процесс дорогостоящий и небезопасный. Модернизировать старые энергоблоки до современных требований нормативной документации по безопасности в атомной энергетике не представляется возможным. Обстрелы территории станции, проблемы с безопасным хранением отработавшего ядерного топлива (в том числе американского) и радиоактивных отходов, непроведение работ, связанных с восстановлением ресурса корпусов ядерных реакторов (отжиг), проблемы с заменой оборудования, выработавшего ресурс (значительная часть оборудования не производится вообще), проблемы с негерметичными парогенераторами, крены и осадки реакторных отделений, проблемы с техническим водоснабжением — вот неполный перечень вопросов, который предстоит решить. На восстановление Каховской ГЭС и стока реки Днепр потребуются десятки лет. Необходимо провести работы по подтверждению квалификации персонала станции. [14].

Учитывая, что построенные по советским проектам энергоблоки Запорожской АЭС не готовы к дальнейшей эксплуатации, необходимо уже сейчас начать разработку проекта по выводу из эксплуатации АЭС энергоблоков № 1-4. ■

ЛИТЕРАТУРА

1. Кузнецов, В.М. Российская и мировая атомная энергетика / В.М. Кузнецов. М.: МГУ. - 2008. - 764 с.
2. Коноплянцев, А. А. Оседание поверхности земли в связи с понижением уровня подземных вод / А. А. Коноплянцев, Е. Н. Ярцева-Попова. - М.: ВИЭМС, 1983. - 49 с.
3. Линд, Г. Вода и город: пер. с англ. / Г. Линд; пер. В.В. Голосов; ред. В.В. Куприянова. - Л.: Гидрометеиздат, 1984. - 68 с.
4. Седин, В.Л. Оценка технического состояния продление эксплуатации фундаментов защитной оболочки реакторного отделения ВВЭР-1000 / В.Л. Седин, Е.А. Бауск, С.И. Головкин // Вестник ПДАБА К 80-летию Приднепровской государственной академии строительства и архитектуры. - 2010. - № 9. - С. 40-45.
5. Методика разработки и установления нормативов предельно допустимых выбросов радиоактивных веществ в атмосферный воздух, утвержденная приказом Ростехнадзора от 7 ноября 2012 года № 639 (зарегистрирована в Минюсте России 18 января 2013 г. № 26595 [Электронный ресурс]. - URL: <https://meganorm.ru/Data2/1/4293785/4293785584.pdf> (режим доступа: 10.02.2024).
6. Брызгальные бассейны ответственных потребителей АЭС и их тепловой расчет / А.А. Ярхо [и др.] // Электрические станции. - 1995. - № 2. - С. 20-21.
7. На Запорожской АЭС обеспечены дополнительные меры для бесперебойной подачи воды [Электронный ресурс]. - URL: https://znpp.ru/novosti/detail.php?ELEMENT_ID=9807 (режим доступа: 07.07.2023).
8. Кузнецов, В.М. Сухие градири против парникового эффекта / В.М. Кузнецов. // Независимая газета. - 2008. - № 72 (4319). - С. 22.
9. РД 95.10531-96 Руководство по гидрологическому обоснованию ТЭО и проектов АЭС. Дата введения 1997-02-01 / Государственный научно-исследовательский, проектно-конструкторский и изыскательский институт «Атомэнергопроект», Институт водных проблем Российской академии наук [Электронный ресурс]. - URL: <https://docs.cntd.ru/document/1200093032> (режим доступа: 10.02.2024).
10. Справочное руководство гидрогеолога: Т. 1 / В. М. Максимов, В. Д. Бабушкин, Н. Н. Веригин [и др.]; под ред. В. М. Максимова. - 3-е изд., перераб. и доп. - Л.: Недра, 1979. - 512 с.
11. Учет внешних воздействий природного и техногенного происхождения на объекты использования атомной энергии. НП-064-05. Введены в действие с 1 мая 2006 г. [Электронный ресурс]. - URL: <https://docs.cntd.ru/document/1200043834> (режим доступа: 10.02.2024).

12. Мониторинг инженерно-геологических условий размещения объектов ядерного топливного цикла. РБ-036-06. Введены в действие с 1 марта 2007 г. [Электронный ресурс]. - URL: <https://docs.cntd.ru/document/1200047089/titles> (режим доступа: 10.02.2024).
13. Бугаев, Е.Г. Требования и особенности проведения комплексного геолого-геофизического мониторинга в районе и на площадках размещения объектов использования атомной энергетики (ОИАЭ) / Е.Г. Бугаев, А.С. Гусельцев, Л.М. Фихиева // Труды Пятой научно-технической конференции: к 100-летию организации инструментальных сейсмологических наблюдений на Камчатке / Федеральный исследовательский центр «Единая геофизическая служба Российской академии наук». Обнинск, 2015. - С. 33-37.
14. Росгвардия за год предотвратила хищение имущества с ЗАЭС на сумму свыше 7 млн руб. [Электронный ресурс] // Интерфакс [Сайт]. - URL: <https://www.interfax.ru/russia/935979> (режим доступа: 13.12.2023).
15. Гудков, В.М. Критерии устойчивости горнопромышленных сооружений и зданий. / В.М. Гудков, В.П. Спиридонов // Маркшейдерский вестник. - 2004. - № 2. - С. 68-71.
16. Спиридонов, В.П. Мониторинг деформаций земной поверхности, зданий и сооружений спутниковыми системами / В.П. Спиридонов, Г.Н. Бирюков // Маркшейдерия и недропользование. - 2007. - № 1. - С. 46-52.
17. Спиридонов, В.П. Автоматизированная информационно управляющая система мониторинга, предупреждения и ликвидации чрезвычайных ситуаций на объектах повышенной опасности Российской Федерации / В.П. Спиридонов, Н.И. Черняк, В.В. Спиридонова // Энергосбережение и водоподготовка. - 2014. - № 3. - С. 60-65.
18. Спиридонов, В.П. Радиационная опасность и чрезвычайные ситуации на объектах атомной промышленности страны / В.П. Спиридонов, В.В. Спиридонова // Технический оппонент. - 2022. - № 1 (8). - С. 28-33.

REFERENCES

1. Kuznetsov VM. Russia and the World in Nuclear Power Industry. Moscow;2008. (In Russ.).
2. Konoplyantsev AA, Yartseva-Popova EN. Subsidence of the earth's surface in connection with a decrease in the groundwater level. Moscow;1983 (In Russ.).
3. Lind G. Water and the city: translated from English. Leningrad;1984 (In Russ.).
4. Sedin VL, Bausk EA, Golovko SI. Assessment of the technical condition of the extended operation of the foundations of the protective shell of the VVER-1000 reactor compartment // *Bulletin of the PDABA On the 80th anniversary of the Pridneprovian State Academy of Construction and Architecture*. 2010;9:40-45 (In Russ.).
5. Methodology for the development and establishment of standards for maximum permissible emissions of radioactive substances into the atmospheric air, approved by Rostekhnadzor Order No. 639 dated November 07, 2012 (registered with the Ministry of Justice of the Russian Federation on January 18, 2013 No. 26595. Available from: <https://meganorm.ru/Data2/1/4293785/4293785584.pdf> (In Russ.).
6. Yarkho AA et al. Splash pools of responsible consumers of nuclear power plants and their thermal calculation. *Electric stations*. 1995; 2:20-21 (In Russ.).
7. Additional measures for uninterrupted water supply have been provided at the Zaporizhia NPP. Available from: https://znpp.ru/novosti/detail.php?ELEMENT_ID=9807. (In Russ.).
8. Kuznetsov VM. Dry cooling towers against the greenhouse effect. *Nezavisimaya Gazeta*. 2008;72(4319):22 (In Russ.).
9. RD 95.10531-96 Guidelines for the hydrological justification of feasibility studies and NPP projects Date of introduction 1997-02-01 State Research, Design and Survey Institute Atomenergoproekt, Institute of Water Problems of the Russian Academy of Sciences. Available from: <https://docs.cntd.ru/document/1200093032>. (In Russ.).
10. Maksimov VM, Babushkin VD, Verigin NN et al. Hydrogeologist's reference guide. Vol. 1. 13rd ed., reprint. and additional. Leningrad;1979. (In Russ.).
11. Consideration of external impacts of natural and man-made origin on nuclear energy facilities. NP-064-05. They were put into effect on May 1, 2006. Available from: <https://docs.cntd.ru/document/1200043834> (In Russ.).
12. Monitoring of engineering and geological conditions for the placement of nuclear fuel cycle facilities. RB-036-06. They were put into effect on March 1, 2007. Available from: <https://docs.cntd.ru/document/1200047089/titles> (In Russ.).
13. Bugaev EG, Guseltsev AS, Fihieva LM. Requirements and features of conducting integrated geological and geophysical monitoring in the area and at the sites of nuclear power facilities. *Proceedings of the Fifth Scientific and Technical Conference: to the 100th anniversary of the organization of instrumental seismological observations in Kamchatka*. 2015. Federal Research Center «Unified Geophysical Service of the Russian Academy of Sciences». Obninsk;2015 (In Russ.).
14. Rosgvardiya prevented the theft of property from the NPP in the amount of over 7 million rubles in a year. *Interfax* (dated 12/13/2023). Available from: <https://www.interfax.ru/russia/935979>. (In Russ.).
15. Gudkov VM, Spiridonov VP. Criteria for the sustainability of mining facilities and buildings. *The Surveyor's Bulletin*. 2004;2:68-71 (In Russ.).
16. Spiridonov VP, Biryukov GN. Monitoring of deformations of the Earth's surface, buildings and structures by satellite systems. *Surveying and subsoil use*. 2007;1:46-52 (In Russ.).
17. Spiridonov VP, Chernyak NI, Spiridonova VV. Automated information management system for monitoring, prevention and liquidation of emergency situations at high-risk facilities of the Russian Federation. *Energy Saving and water treatment*. 2014;3:60-65 (In Russ.).
18. Spiridonov VP, Spiridonova VV. Radiation hazard and emergencies at nuclear industry facilities of the country. *Technical opponent*. 2022;1(8):28-33 (In Russ.).

ИНФОРМАЦИЯ ОБ АВТОРАХ



Кузнецов Владимир Михайлович:
доктор технических наук,
профессор.
ООО «Группа компаний ИнтеллектСервис»,
г. Москва, Россия,
e-mail: kuznetsov1956@mail.ru



Спиридонов Валерий Петрович:
кандидат технических наук,
профессор.
Академия Государственной противопожарной
службы Министерства РФ по делам гражданской
обороны, чрезвычайным ситуациям и ликвидации
последствий стихийных бедствий,
г. Москва, Россия,
e-mail: svp-vak@mail.ru



Спиридонова Валентина Валерьевна:
научный сотрудник,
отдел ГИС и цифровой картографии отделения
геоинформатики «ВНИИГеосистем» ФГБУ
«ВНИГНИ»,
г. Москва, Россия,
e-mail: v.spiridonova@geosys.ru

INFORMATION ABOUT THE AUTHORS

Kuznetsov Vladimir Mikhailovich:
Doctor of Technical Sciences,
Professor.
LLC «Group of companies Intellectualservice»,
Moscow, Russia,
e-mail: kuznetsov1956@mail.ru

Spiridonov Valery Petrovich:
Candidate of Technical Sciences,
Professor.
Academy of the State Fire Service Ministry of the
Russian Federation for Civil Defense, Emergencies and
Elimination of Consequences of Natural Disasters,
Moscow, Russia,
e-mail: svp-vak@mail.ru

Spiridonova Valentina Valerevna:
researcher,
the GIS and Digital Cartography Department of the
Geoinformatics Department of VNIIGeosystem, VNIIGNI
Federal State Budgetary Institution,
Moscow, Russia,
e-mail: v.spiridonova@geosys.r

КРИТЕРИИ АВТОРСТВА / CONTRIBUTION:

Авторы заявляют о равном вкладе в работу над статьей. / The authors declare an equal contribution to the work on the article.

КОНФЛИКТ ИНТЕРЕСОВ / CONFLICT OF INTEREST:

Авторы заявляют об отсутствии конфликта интересов. / The authors declare no conflict of interest.



ГЕОЛОГИЧЕСКИЙ ФАКУЛЬТЕТ МГУ



Геологический факультет МГУ — всемирно известный учебно-научный центр России.
Хотя датой основания факультета считается 1938 г.,
минералогия в Московском Университете преподается уже более двух столетий.
На кафедрах и в лабораториях факультета работают ученые с мировым
именем, талантливая молодежь. Среди наших профессоров — 7 академиков
и 6 членов-корреспондентов РАН, 18 членов Академии естественных наук РФ.
Вся деятельность сотрудников факультета направлена на развитие
геологической науки, образования и культуры — необходимых условий
экономического и духовного возрождения России.

Контакты : Москва, Ленинские горы, д.1, МГУ имени М.В.Ломоносова,
геологический факультет
Телефон:
+7 (495) 939-2970
Email:
dean@geol.msu.ru



WWW.N-GN.RU