Методические подходы при выборе площадок для размещения подземных энергетических объектов

Орлов А. О.^{1*}, Смирнов Ю. Г.¹

¹ Горный институт КНЦ РАН, г. Апатиты, Россия

*e-mail: aleor@goi.kolasc.net.ru

Реферат

Целью работы является изучение подходов и выработка основных положений при выборе площадок для строительства подземных атомных станций малой мощности (АСММ) в геологических формациях.

Методология исследований предусматривает анализ и обобщение международного и российского опыта в области выбора площадок для размещения радиационно опасных объектов.

Результат. Приведены предлагаемые МАГАТЭ подходы при выборе площадок под размещение радиационно опасных объектов в России и других странах. Определенное значение в процедуре выбора площадок отводится формированию набора критериев, их удельному весу и комплексной оценке воздействий энергетического объекта на окружающую среду. В зависимости от размещения атомной станции на дневной поверхности или в подземных условиях значение отдельных критериев, характеризующих площадку, будет различно. Подземное размещение атомной станции является определяющим фактором в обеспечении защиты от нежелательных внешних и внутренних воздействий. Предложен алгоритм выбора площадок для подземных АСММ, который основан на ограниченном количестве критериев.

Выводы. Применяемые в области выбора площадок подходы имеют схожие алгоритмы. В процедуре выбора площадок большее значение отводится формированию набора критериев и комплексной оценке воздействий энергетического объекта на окружающую среду. Подземное размещение энергетических объектов повышает их защищенность и позволяет уменьшить количество рассматриваемых критериев при выборе площадок.

Ключевые слова: выбор площадок; критерии; алгоритм; подземная атомная станция.

Введение. Вопросы энергообеспечения арктических районов рассматриваются как стратегически важные в связи с освоением различных месторождений полезных ископаемых. Учитывая труднодоступность региона и суровые климатические условия, эффективным решением энергетических проблем в арктических регионах может стать строительство на их территории атомных станций малой мощности подземного размещения.

Среди задач проектирования и строительства подземных атомных станций на первом месте стоит задача выбора площадки для их размещения. Предпочтительность одной площадки по отношению к другой зависит от множества регламентирующих факторов и большого количества групп оценочных критериев, к основным из которых можно отнести: сейсмические, тектонические, горно-геологические, горнотехнические, гидрогеологические, социально-экономические и ряд других.

Они могут отличаться разным влиянием, что заставляет проводить тщательное исследование альтернативных мест размещения энергетического объекта. Площадка считается пригодной для размещения атомной станции (АС), если имеется возможность обеспечить ее безопасную эксплуатацию с учетом процессов, явлений и факторов природного и техногенного происхождения. При этом должна обеспечиваться безопасность населения и защита окружающей среды от

радиационного воздействия при нормальной эксплуатации и проектных авариях, ограничение этого воздействия при запроектных авариях (*НП 032-01. Размещение атомных станций. Основные критерии и требования по обеспечению безопасности. Федеральные нормы и правила в области использования атомной энергии. М.: Госатомнадзор, 2002. 7 с.*).

Таким образом, выбор места размещения является многофакторной задачей, и окончательное заключение может быть сделано только после исследования всех характеристик и технико-экономической оценки. Несмотря на имеющиеся и признанные международным сообществом рекомендации относительно выбора площадок для наземных АС, типовая методология выбора площадок для подземных АС до настоящего времени не разработана.

Мировая практика выбора площадок для атомных станций характеризуется широким разбросом стоимостных показателей. Это связано прежде всего со степенью изученности данного района, с наличием первоначальной инженерно-геологической информации и предъявляемых требований.

Цель работы. Изучение подходов и выработка основных положений при выборе площадок для строительства подземных атомных станций малой мощности (АСММ) в различных геологических формациях.

Методология исследований. В работе анализируется существующее состояние международного и российского опыта в выборе площадок для размещения радиационно опасных объектов.

Результаты. Разработке критериев выбора площадки для размещения радиационно опасных объектов посвящено значительное количество работ. Определенный опыт по разработке критериев выбора площадок под размещение АС накоплен в России, США, Франции и других странах с развитой атомной энергетикой.

Методология выбора площадок должна обеспечивать качественный анализ, быть удобной для практического применения и доступной для понимания. Основываясь на рекомендациях Международного агентства по атомной энергии (МАГАТЭ), каждое государство, используя свои специфические условия, разрабатывает нормативно-правовую и техническую документацию, определяющую критерии, условия, порядок и глубину поисковых исследований, достаточных для выбора площадки для атомных станций.

МАГАТЭ разработало детальную документацию по выбору площадок, и критерии, представленные в этих документах, могут быть использованы как для поверхностных, так и для подземных АС (рис. 1). Оценка предварительно выбранных площадок производится посредством анализа и ранжирования (*Оценка площадок для ядерных установок. № NS-R-3. Серия норм МАГАТЭ по безопасности. Требования по безопасности. Вена, 2010. 33 с.*).

Наиболее подробно методы определения критериев выбора площадок для энергетических объектов с использованием элементов системного анализа изложены в работах американского автора Р. Кини [1, 2]. Теория, излагаемая автором, предназначена для количественных показателей (критериев). Если цель и какие-либо из показателей имеют качественный характер, то рекомендуется вводить критерии-«заместители», значения которых позволяли бы в достаточной степени адекватно описать изменение качественного критерия.

Исследовательский институт энергетики США (EPRI) в методологию выбора площадок включает протоколы, которые учитывают уроки, извлеченные из катастрофических событий в Фукусиме (Япония). В целом подход требует рассмотрения исключительных или «роковых» ошибок. К потенциальным площадкам применяются критерии пригодности и избегания. Для окончательного выбора

альтернативной площадки проводят балансировку факторов, экспертных оценок и отзывов заказчика, поскольку сравниваемые площадки отличаются по своим оценкам [3].

В Республике Беларусь, ввиду ограниченности территориальных возможностей, для сложных технологических производств (атомных станций) используют алгоритм выбора площадок, согласно которому на первом этапе формируют список площадок и далее проводят последовательную их отбраковку по ограничивающим факторам. Оставляют несколько конкурентных площадок для размещения АС. Далее путем технико-экономического сравнения выбираются основная и резервная площадки, на которых проводится полный комплекс инженерно-исследовательских и исследовательских работ [4, 5].

Рис. 1. Стандартный подход МАГАТЭ при выборе площадки
Fig. 1. IAEA standard approach for choosing a site

Во Франции на начальном этапе основное значение придается общественному мнению населения, поэтому при выборе площадки для размещения радиационно опасных объектов необходимо согласование с местными жителями прилегающего района. Например, для выбора площадки под геологическое захоронение долгоживущих РАО было опубликовано предложение населенным пунктам страны разместить у себя объект для захоронения РАО. При этом были предложены новые стимулы для экономического развития районов. На это предложение откликнулось 30 «добровольцев», из числа которых были выбраны три потенциальные площадки для дальнейшего изучения. В качестве места размещения правительственной комиссией была утверждена площадка муниципалитета Бюр [6].

В Бразилии первостепенное значение отводится надежной базе данных с характеристиками площадок, также важен учет мнений заказчиков и экспертов. При окончательном выборе площадок широко используется многокритериальный анализ решений, который позволяет эффективно осуществлять участие заинтересованных сторон в принятии решений отбора. Работа с критериями выбо-

ра площадки выполняется с использованием различных инструментов, таких как метод анализа иерархий, мозговой штурм или метод Delphi [7].

Выделить площадку под большие промышленные объекты в Индии очень сложно из-за большой плотности населения. На правительственном уровне в контакте с различными штатами решается вопрос, где это возможно сделать. Рассматривается одна или несколько возможных площадок, а затем выполняются детальные геотехнические исследования в определении достоинств и недостатков. Для строительства новой российской атомной станции площадка согласовывалась с Росатомом.

Совет по надзору за атомной энергией Индии (AERB) определяет зону отчуждения радиусом не менее 1,5 км вокруг станции. В радиусе от 5 км вокруг зоны отчуждения допускается проживание населения [8].

В методике Атомэнергопроекта наиболее полно описана процедура разработки и требования к составу, объему, содержанию и оформлению проектно-изыскательской документации, необходимой для выбора, согласования и утверждения пункта (территории) и площадки строительства атомной станции (*СППНАЭ-93 «Основные требования к разработке технико-экономического обоснования строительства атомной станции. Положение о порядке выбора площадки строительства»*).

При выборе пунктов возможного размещения АС проводится анализ эколого-географических, социально-экономических, демографических, историко-археологических и других критериев рассматриваемого района с целью выявления возможности размещения АС, их соответствия требованиям законодательства.

По результатам анализа отклоняются от дальнейшего рассмотрения территории с неустраняемыми ограничениями либо нецелесообразные для размещения АС по социально-экономическим показателям. В каждом пункте, оставленном для детального изучения, намечаются несколько площадок. При окончательном выборе площадки для строительства АС оценивается все многообразие факторов, включая затраты на защиту от внешних воздействий природного и техногенного происхождения. Принципиальная схема выбора площадки АС показана на рис. 2.

На этапе технико-экономического сравнения двух-трех вариантов площадок рекомендуемой может быть площадка, на которой затраты не являются наименьшими, основанием для выбора площадки могут послужить другие факторы.

Анализ и обсуждение. Необходимо отметить, что рассмотренные подходы в области выбора площадок имеют несколько схожие алгоритмы, однако они могут быть эффективны и дать хорошие результаты при правильном выборе и оценке критериев даже при ограниченном перечне «привлекательных» площадок.

Для наземных АС в России полностью определены подходы, основные критерии и требования, которые должны быть учтены и выполнены в полном объеме. Площадка считается пригодной для размещения АС, если имеется возможность обеспечить безопасную эксплуатацию АС, безопасность населения и защиту окружающей среды при нормальной эксплуатации и проектных авариях (*Определение подходящих площадок. Отчет по задаче 3 проекта R4/10/95 «Повышение безопасности обращения с радиоактивными отходами в северо-западном регионе России. Размещение радиоактивных отходов. Этап 2» // Горный институт КНЦ РАН (Россия)–ANTEA-BRGM (Франция). Анатиты–Париж, 1998. 210 с.*).

Строительство в арктических районах связано с суровыми климатическими условиями, зоной многолетнемерзлых пород, труднодоступностью, слабо развитой инфраструктурой. Подземное строительство и эксплуатация АСММ сглаживает некоторые технические и климатические недостатки [9, 10].

Подземное размещение АС надежно решает проблему радиационной безопасности населения при любых внешних природных, техногенных и антропогенных воздействиях. С учетом параметров этих воздействий обосновывается глубина заложения подземной АСММ. Скальный массив является естественной защитной оболочкой, прочностные свойства которого многократно превосходят свойства бетона. Это позволяет выбрать площадку непосредственно в зоне эксплуатации промышленного объекта [11, 12].

Рис. 2. Принципиальная схема выбора площадки для АС
Fig. 2. A fundamental scheme of choosing a site for a nuclear power plant

Выполняются обязательные требования, не допускающие размещение подземных АС на площадках, расположенных непосредственно на активных разломах; с сейсмичностью расчетных землетрясений более 9 баллов; запрещенных природоохранным законодательством и ряде других. Для подземных станций значительно сокращается общее количество рассматриваемых критериев (*Определение подходящих площадок. Отчет по задаче 3 проекта R4/10/95 «Повышение безопасности обращения с радиоактивными отходами в северо-западном регионе России. Размещение радиоактивных отходов. Этап 2» // Горный институт КНЦ РАН (Россия)–ANTEA-BRGM (Франция). Анатиты–Париж, 1998. 210 с.*). Повышается значение критериев, связанных с устойчивостью горных выработок: физико-механические, теплофизические свойства пород; распределение полей естественных напряжений в массиве; учет теплового влияния на свойства горных пород; характеристики тектонических нарушений, пересекающих горные выработки, гидрогеологические режимы (НП 050-03. Размещение ядерных установок ядерного топливного цикла. Основные критерии и требования по обеспечению безопасности. 2003). Общий алгоритм выбора площадки для подземной АСММ показан на рис. 3.

На первом этапе обосновывается район, который согласовывается с заказчиком и определяется соображениями близости к потребителю. Выбирается не-

сколько приемлемых площадок и проводится сравнение площадок по ограничивающим критериям (запрещающим и неблагоприятным). Для дальнейшего анализа площадок производят сбор оценочных данных по площадкам.

На втором этапе формируют перечень и выбирают существенные критерии для достижения поставленных целей при обосновании площадки. Каждая из площадок должна включать как технические, так и социально-экономические характеристики.

Рис. 3. Алгоритм выбора площадки для подземной АСММ
Fig. 3. An algorithm of choosing a site for an underground nuclear power plant

На третьем и четвертом этапах осуществляют описание и оценку возможных воздействий энергетического объекта на окружающую среду (ПНАЭ Г-05-035-94. Учет внешних воздействий природного и техногенного происхождения на ядерно- и радиационно опасные объекты. 2000). Для этого составляется перечень возможных воздействий, определяется приемлемость последствий каждого события и дается оценка вероятности воздействий. Это позволяет учесть возможные негативные сценарии при работе объекта.

Анализ отобранных площадок осуществляют путем ранжирования и технико-экономического сравнения. Выбор и утверждение наиболее предпочтительной площадки происходит на последнем этапе после проведения комплекса изыскательских работ, где подтверждается соответствие площадки установленным в нормативных документах критериям безопасности.

Выводы и область применения результатов. Рекомендации МАГАТЭ при выборе площадок для размещения атомных станций малой мощности позволяют использовать различные алгоритмы и критерии оценки. Методические подходы,

применяемые в области выбора площадок для поверхностных АС, имеют схожие алгоритмы. Выбранная площадка должна обеспечивать экологическую безопасность при эксплуатации и экономическую приемлемость при строительстве.

Одно из основных значений в процедуре выбора площадок отводится формированию определенного набора критериев, их удельному весу и комплексной оценке воздействий энергетического объекта на окружающую среду.

Подземное размещение АСММ позволяет повысить защищенность от внешних и внутренних воздействий, так как горные породы являются мощным естественным защитным барьером. Для подземных энергетических объектов группы критериев и их количество при выборе площадок могут быть снижены.

Необходимо отметить, что в ряде случаев существенным критерием при рассмотрении площадок может стать, например, ценность или сохранность сельскохозяйственных земель, природные и исторические памятники, общественное мнение и др.

Полученные результаты могут быть использованы для оценки методических подходов при выборе площадок под размещение подземных атомных станций малой мощности в геологических формациях арктических регионов.

Работа выполнена в рамках темы 0226-2018-0008 государственного задания Горного института КНЦ РАН.

БИБЛИОГРАФИЧЕСКИЙ СПИСОК

1. Кини Р. Размещение энергетических объектов: выбор решений: пер. с англ. М.: Энергоатомиздат, 1983. 320 с.
2. Кини Р. Л., Райфа Х. Принятие решений при многих критериях: предпочтения и замещения / под ред. И. Ф. Шахнова. М.: Радио и связь, 1981. 560 с.
3. Paul C. Rizzo, Melissa Dubinsky, Erdem Onur Tastan, Sandra C. Miano. Site selection for new nuclear power plants // 2015 International Nuclear Atlantic Conference. INAC 2015, Sao Paulo, SP, Brazil. October 4–9, 2015.
4. Методология выбора площадки под строительство АЭС. URL: http://knowledge.allbest.ru/physics/2c0a65625b2bc68b5c43b89421206c27_0.html (дата обращения 12.06.2017).
5. Работа по выбору площадки для строительства АЭС должна завершиться до конца года. URL: http://www.hata.by/news/rabota_po_vyboru_ploschadki_dlya_stroitelstva_aes_dolzha_zavershitsya_do_konca_goda-828/ (дата обращения 17.06.2017).
6. Узуньян Ж. Геологическое захоронение долгоживущих РАО во Франции // Безопасность ядерных технологий и окружающей среды. 2001. № 1. С. 41–45.
7. Brasil, Plano Nacional de Energia 2030. Empresa de Pesquisa Energética, EPE. de Janeiro, 2007.
8. Nuclear power project site selection-geotechnical considerations // AMD Training Course Handbook. 2018. Vol. 3. P. 93–112.
9. Кузьмин Г. П. Подземные сооружения в криолитозоне. Новосибирск: Наука, 2002. 176 с.
10. Подходы к выбору площадки под размещение АЭС российского проекта за рубежом. URL: <http://www.atomic-energy.ru/articles/2019/10/01/97835> (дата обращения: 18.06.2017).
11. Муратов О. Э. Подземные атомные теплоэлектростанции повышенной безопасности // Энергия: экономика, техника, экология. 2002. № 11. С. 19–23.
12. Преимущества и недостатки подземного размещения АЭС. URL: https://otherreferats.allbest.ru/physics/00223418_0.html (дата обращения: 18.06.2017).

Поступила в редакцию 30 июля 2019 года

Сведения об авторах:

Орлов Александр Орестович – научный сотрудник Горного института КНЦ РАН.
E-mail: aleor@goi.kolasc.net.ru

Смирнов Юрий Геннадьевич – научный сотрудник Горного института КНЦ РАН.
E-mail: smirnov@goi.kolasc.net.ru

DOI: 10.21440/0536-1028-2020-2-17-24

Methodical approaches to choosing the sites for underground energy facilities

Aleksandr O. Orlov¹, Iurii G. Smirnov¹

¹ Mining Institute KSC RAS, Apatity, Russia.

Abstract

The work is aimed at studying approaches and developing principal regulations when choosing the sites intended for constructing underground nuclear small power plants in geological formations.

The research methodology provides for analysis and summarizing international and Russian experience in choosing the sites for the placement of radiation hazardous facilities.

Results. The work gives the approaches when choosing the sites intended for radiation hazardous facilities proposed by IAEA in Russia and abroad. The formation of criteria complete, their specific weight and an integrated assessment of impacts of an energy object on the environment is of importance in the site choosing procedure. The several criteria characterising the site are different for the surface and underground placement of a nuclear plant. The underground placement of a nuclear plant is a determining factor in protecting against undesired external and internal impacts. The authors have proposed an algorithm of choosing the sites for underground small nuclear power plants based on a limited number of criteria.

Conclusions. The approaches used for choosing the sites have similar algorithms. The site choosing procedure pays a lot of attention to formation of criteria and an integrated assessment of impacts of an energy object on the environment. The underground placement of energy objects improves their security that allows decreasing a number of observed criteria when choosing the sites.

Key words: choice of sites; criteria; algorithm; underground nuclear power plant.

Acknowledgements. The research has been carried out under KSC RAS government contract, theme no. 0226-2018-0008.

REFERENCES

1. Kini R. L. *Location of energy facilities: the choice of solutions*. Translation from English. Moscow: Energoatomizdat Publishing; 1983. (In Russ.)
2. Kini R. L., Raifa Kh. *Decision making under many criteria: preferences and substitutions*. Moscow: Radio i sviaz Publishing; 1981. (In Russ.)
3. Paul C. Rizzo, Melissa Dubinsky, Erdem Onur Tastan, Sandra C. Miano. Site selection for new nuclear power plants. 2015 International Nuclear Atlantic Conference. *INAC 2015 Sao Paulo, SP, Brazil. October 4–9, 2015*.
4. Methodology of site selection for NPP construction. Available from: http://knowledge.allbest.ru/physics/2c0a65625b2bc68b5c43b89421206c27_0.html [Accessed 12 June 2017]. (In Russ.)
5. Work on the site for the construction of nuclear power plants should be completed before the end of the year. Available from: http://www.hata.by/news/rabota_po_vyboru_ploshchadki_dlya_stroitelstva_aes_dolzha_zavershitsya_do_konca_goda-828 [Accessed 17 June 2017]. (In Russ.)
6. Uzunian Zh. Geological disposal of long living RAW in France. *Bezopasnost iadernykh tekhnologii i okruzhaiushchei sredy = Nuclear and Environmental Safty*. 2001; 1: 41–45. (In Russ.)
7. Brasil, Plano Nacional de Energia 2030. Empresa de Pesquisa Energética, EPE. de Janeiro, 2007.
8. Nuclear power project site selection-geotechnical considerations. *AMD Training Course Handbook*. 2018; 3: 93–112.
9. Kuzmin G. P. *Underground structures in the cryolithozone*. Novosibirsk: Nauka Publishing; 2002. (In Russ.)
10. *Approaches to choosing a site for Russian nuclear power plant abroad*. Available from: <http://www.atomic-energy.ru/articles/2019/10/01/97835> [Accessed 18 June 2017] (In Russ.)
11. Muratov O. E. High Security Underground Nuclear Power Plants. *Energiia: ekonomika, tekhnika, ekologiya = Power: Economy, Engineering, and Ecology*. 2002; 11: 19–23. (In Russ.)
12. *Advantages and disadvantages of underground placement of nuclear power plants*. Available from: https://otherreferats.allbest.ru/physics/00223418_0.html [Accessed 18 June 2017] (In Russ.)

Received 30 July 2019

Information about authors:

Aleksandr O. Orlov – researcher, Mining Institute KSC RAS. E-mail: aleor@goi.kolasc.net.ru

Iurii G. Smirnov – researcher, Mining Institute KSC RAS. E-mail: smirnov@goi.kolasc.net.ru

Для цитирования: Орлов А. О., Смирнов Ю. Г. Методические подходы при выборе площадок для размещения подземных энергетических объектов // Известия вузов. Горный журнал. 2020. № 1. С. 17–24. DOI: 10.21440/0536-1028-2020-2-17-24

For citation: Orlov A. O., Smirnov Yu. G. Methodical approaches to choosing the sites for underground energy facilities. *Izvestiya vysshikh uchebnykh zavedenii. Gornyi zhurnal = News of the Higher Institutions. Mining Journal*. 2020; 2: 17–24 (In Russ.). DOI: 10.21440/0536-1028-2020-2-17-24