

ОЦЕНКА КОНСТРУКТИВНО-КОМПОНОВОЧНЫХ РЕШЕНИЙ ПОДЗЕМНЫХ КОМПЛЕКСОВ ДЛЯ АТОМНЫХ СТАНЦИЙ МАЛОЙ МОЩНОСТИ В АРКТИЧЕСКИХ РЕГИОНАХ РОССИИ

ОРЛОВ А. О., СМИРНОВ Ю. Г.

В статье кратко рассмотрены предпосылки использования подземных атомных станций малой мощности (АСММ) в арктических регионах России. Изложены основные положения при выборе глубины заложения подземной АСММ и способов доступа, а также технические решения, выявленные по патентным и научно-техническим источникам, реализуемые в различных элементах подземного комплекса. Приводятся результаты оценки конструктивно-компоновочных решений подземных АСММ на основе ориентации подземных сооружений по функционально-технологическому принципу работы, типу оборудования, транспортным коммуникациям и обеспечению безопасной эксплуатации. Анализ основных компоновочных решений под размещение различных реакторных групп показал, что предпочтительнее использование схем со смешанным расположением основных камерных выработок, которые характеризуются высокой концентрацией оборудования и являются наиболее безопасными.

Ключевые слова: арктические регионы; атомные станции малой мощности; подземное размещение; глубина заложения; конструктивно-компоновочные решения; оценка рациональности компоновки.

Определение путей развития энергетики, осуществляемое в настоящее время, имеет большое значение для успешного освоения арктических регионов России. Подземное размещение атомных станций может служить альтернативным источником энергообеспечения, особенно в районах со сложными климатическими и транспортными условиями. Северные регионы характеризуются, как правило, отсутствием централизованного энергоснабжения, сложными природно-климатическими условиями, большими затратами на генерацию и транспортировку электроэнергии. Необходимость развития данных регионов связана в основном с отработкой месторождений ценных полезных ископаемых. Основная цель сооружения атомных станций малой мощности (АСММ) заключается в создании безопасных подземных комплексов, способных противостоять любому негативному воздействию. Размещение реакторных установок и компоновка технологического оборудования в подземных условиях позволяет обеспечить практически гарантированную безопасность при любой аварии, вызванной внутренними или внешними причинами.

Определенное место в создании подземных комплексов для энергетических установок малой мощности отводится задачам, связанным с определением архи-

Орлов Александр Орестович – научный сотрудник лаборатории проблем освоения и рационального использования подземного пространства. 184209, г. Апатиты, ул. Ферсмана, 24, Горный институт КНЦ РАН. E-mail: aleor@goi.kolasc.net.ru

Смирнов Юрий Геннадьевич – научный сотрудник лаборатории проблем освоения и рационального использования подземного пространства. 184209, г. Апатиты, ул. Ферсмана, 24, Горный институт КНЦ РАН. E-mail: smirnov@goi.kolasc.net.ru

тектуры комплексов. Рациональные конструктивно-компоновочные решения подземного комплекса позволяют обеспечить эффективный и безопасный уровень эксплуатации на протяжении всего срока службы атомной станции, а также при выводе АСММ из эксплуатации, когда реакторная установка и технологическое оборудование консервируют в этом же подземном комплексе.

Способ доступа. Реализация проекта на первых этапах связана со строительством выработок доступа к подземному комплексу. Способ доступа к подземному комплексу характеризуется типом главной вскрывающей выработки, с помощью которой осуществляется связь с подземным пространством. Определяющими в выборе способа доступа (вскрытия) являются горно-геологические условия и рельеф местности. К основным способам доступа можно отнести: вертикальные (шахтный ствол), наклонные выработки (уклон, спиральный съезд) и горизонтальные выработки (штольни, тоннели), а также их различные комбинации.

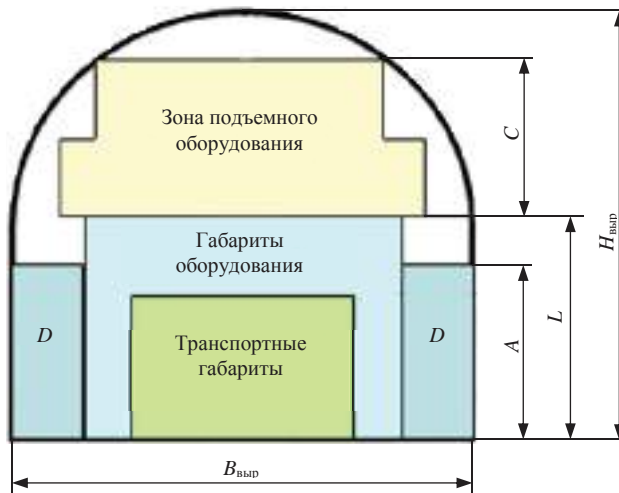


Рис. 1. Принципиальная схема формирования геометрических параметров выработки:

$H_{\text{выр}}$ – высота выработки; $B_{\text{выр}}$ – ширина выработки

Вскрытие способом вертикальной выработки применяется в основном при равнинном рельефе местности и является одним из самых сложных и трудоемких в горном строительстве. Также необходимо отметить ограниченный доступ к подземному объекту при эксплуатации, цикличность подъемных операций и затрудненный контроль при аварийном управлении.

При гористом рельефе предпочтительнее использование горизонтальных выработок. Это наиболее удобный и экономичный способ строительства и эксплуатации, при котором отсутствует механический шахтный подъем и надшахтный комплекс сооружений. Вскрытие наклонными выработками используется практически при любом рельефе до глубины 100–150 м, характеризуется большой протяженностью вскрывающих выработок, за счет чего повышается объем работ и стоимость строительства [1].

Форма и размеры выработок. Форма и размеры поперечного сечения выработки должны обеспечивать необходимую технологическую возможность размещения в ней необходимого оборудования и инженерных коммуникаций, а также соблюдение необходимых требований техники безопасности при транспортировке оборудования и материалов, вентиляции и водоотливе. При расчете проектного сечения выработки в проходке кроме толщины крепи необходимо учитывать

горно-геологические характеристики вмещающих пород. Форма поперечного сечения выработки выбирается в зависимости от устойчивости пород, срока службы и назначения выработки.

Для горизонтальных выработок, как правило, принимается сводчатая форма поперечного сечения с вертикальными боковыми стенками. На рис. 1 показана принципиальная схема формирования геометрических параметров для всех типов горизонтальных выработок и камер.

Размеры поперечного сечения выработки определяются габаритами основного L , подъемного C и транспортного оборудования A , необходимыми зазорами между крепью и указанным оборудованием D , а также количеством воздуха, которое должно проходить по выработке. Необходимо, чтобы площадь поперечного сечения выработок обеспечивала перемещение по ним воздуха с регламентированной скоростью.

Оценка глубины заложения. Глубина заложения подземной АСММ обосновывается с учетом параметров внешних природных и техногенных воздействий на объект и ее потенциального влияния на окружающую среду.

С точки зрения защитных свойств, с увеличением глубины заложения подземного комплекса АСММ повышается его безопасность как от внешних, так и от внутренних воздействий. Оценка безопасной эксплуатации подземного комплекса базируется в основном на устойчивости и герметичности скального массива, в котором он размещается. Породный массив выдерживает нагрузку на несколько порядков больше, чем любые железобетонные защитные конструкции на наземных АС.

Оптимальная глубина заложения подземного комплекса определяется толщиной скальной породы, которая позволяет исключить процесс распространения радиоактивных выбросов в атмосферу в результате избыточного давления, возникающего при возможных внутренних инцидентах. При достаточной глубине размещения защитные свойства пород в совокупности с другими специальными мероприятиями позволяют полностью исключить отрицательное воздействие радиоактивных выбросов на природную среду.

Температура в горном массиве и ее изменение также связаны с глубиной. Геотермический градиент температур в скальных породах на каждые 100 м углубления колеблется от 0,1 до 6° С.

Имеется определенная связь между глубиной залегания и распространением подземных вод (обводненностью), которое обуславливается геологической структурой и состоянием грунтов, глубиной распространения различных нарушений и режимом питания подземных вод. Известно, что при разработке месторождений полезных ископаемых максимальные водопритоки в горные выработки наблюдаются до глубины 150–200 м.

В арктических районах с многолетней мерзлотой строительство подземных сооружений сопровождается оттаиванием или промерзанием грунтов в зависимости от расположения объекта в зоне сплошной, прерывистой или островной мерзлоты, времени производства работ, а также теплового режима эксплуатации сооружения [2].

С увеличением глубины строительства возрастает стоимость поддержания горных выработок. Увеличение горного давления с глубиной предопределяет необходимость применения различных видов крепи с усиленными характеристиками несущей способности. В целом необходимо отметить, что для создания надежного защитного барьера из скальных горных пород достаточно разместить АСММ на глубине 50–100 м.

Конструктивно-компоновочные решения подземной АСММ. Конструктивно-компоновочные решения подземной станции связаны с ее целевым назначением

и должны обеспечить длительную устойчивость подземных сооружений в течение всего срока эксплуатации. Выработки подземного комплекса ориентируют по функционально-технологическому принципу работы, направленному на максимальное сближение объектов, имеющих при эксплуатации технологические связи, отдавая предпочтение отдельному размещению выработок реакторной группы.

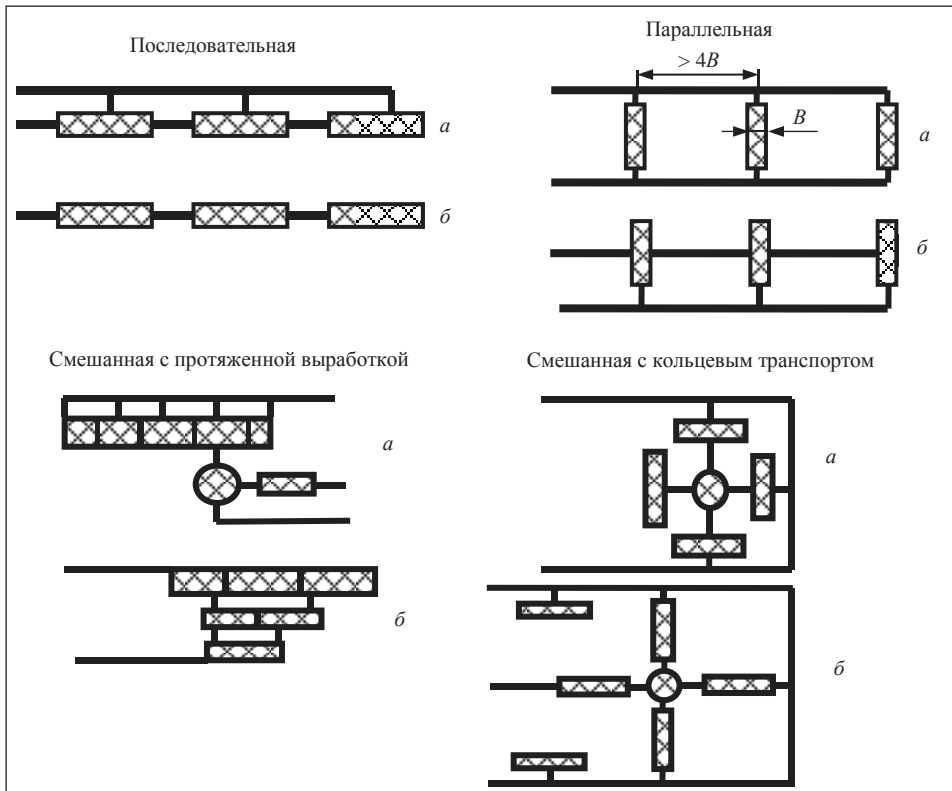


Рис. 2. Основные группы схем с расположением камерных выработок: а; б – варианты в группе

Следует подчеркнуть, что совершенствование в области создания подземных атомных станций малой мощности в основном осуществляется в направлении повышения безопасности подземных объектов. Можно выделить следующие основные конструктивные решения, выявленные по патентным и научно-техническим источникам, реализуемые в различных системах подземного комплекса:

- расположение выработок с ядерной установкой и группы камер перпендикулярно направлению вскрытия горизонта;
- комбинированное расположение группы камер относительно вскрывающих выработок;
- симметричная планировка подземного комплекса относительно нескольких реакторных установок с отдельной выработкой доступа на дневную поверхность;
- расположение группы основных выработок по кольцевому принципу;
- расположение реакторных камер и основного оборудования вдоль основной транспортной выработки;
- расположение подземного комплекса в двух параллельных протяженных камерах различного сечения;
- расположение главных камерных выработок на нескольких вертикальных уровнях;

– комбинированное расположение группы камер относительно вскрывающих выработок.

Для анализа технических решений была выполнена оценка рациональности компоновочных решений на неформализованных моделях, где информация о проектных решениях представлена в виде визуализации изображений. Ввиду большого количества проектных решений были отобраны наиболее характерные схемы компоновок, которые объединены в группы по принципу взаимного расположения основных камерных выработок (рис. 2).

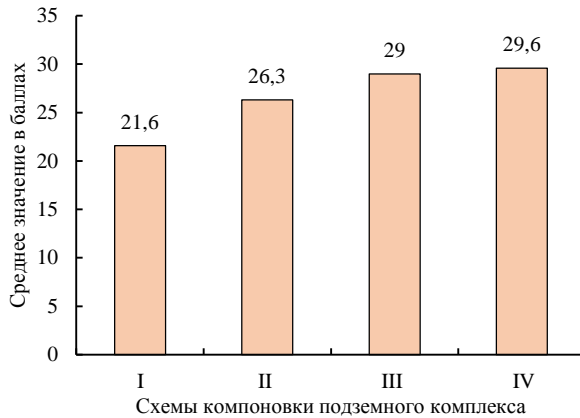


Рис. 3. Оценка рациональности компоновки подземного комплекса для различных групп:
I – последовательной; II – параллельной; III – смешанной с протяженной выработкой; IV – смешанной с кольцевым транспортом

Рассматривались группы схем с последовательным, параллельным и смешанным расположением камерных выработок, которые оценивались методом экспертных оценок в баллах по различным критериям. В качестве основных критериев рассматривались: аварийная эвакуация; геомеханические условия; пересечения транспортных и камерных выработок; транспортные схемы; удельный объем горных работ; компоновка основного оборудования; решения по вентиляции. Общие оценки рациональности компоновки подземного комплекса для различных групп представлены на рис. 3.

Схемы с последовательным и параллельным размещением основных камерных выработок характеризуются простотой компоновочных решений, небольшим удельным объемом горно-капитальных работ, особенно при тупиковой схеме и предпочтительнее при мощности реакторной установки 1–10 МВт.

Схемы со смешанной компоновкой выработок позволяют обеспечить более высокую концентрацию оборудования и могут быть использованы при мощности станции 10–100 МВт. Основной объем горно-капитальных работ в схемах со смешанной компоновкой связан со строительством камерных выработок.

Пересечение основных камер транспортными выработками является ослабляющим фактором устойчивости выработок с точки зрения геомеханики и связано с устройством дополнительных герметичных проходов, однако примыкание камер обслуживания под углом 90° позволяет более компактно разместить вспомогательное оборудование. Возможность такой компоновки обоснована при размещении двух и более реакторов.

Необходимо отметить, что выработки подземного комплекса АСММ предпочтительней ориентировать по функционально-технологическому принципу работы, с учетом типа оборудования, транспортных коммуникаций и обеспечения условий безопасной эксплуатации.

Анализ основных компоновочных схем камерных выработок под размещение различных реакторных групп показал, что предпочтительнее применять схемы со смешанным расположением основных выработок, которые характеризуются высокой концентрацией оборудования и представляются наиболее безопасными.

БИБЛИОГРАФИЧЕСКИЙ СПИСОК

1. Орлов А. О., Смирнов Ю. Г. Обоснование эффективных способов размещения подземных комплексов атомных станций малой мощности в российской Арктике // Известия вузов. Горный журнал. 2016. № 4. С. 18–23.

2. Шувалов Ю. В., Галкин А. Ф. Теория и практика оптимального управления тепловым режимом подземных сооружений криолитозоны // ГИАБ. 2010. № 8. С. 365–370.

Поступила в редакцию 8 февраля 2018 года

ASSESSMENT OF DESIGN-LAYOUT SOLUTIONS OF UNDERGROUND COMPLEXES FOR SMALL NUCLEAR POWER PLANTS IN RUSSIAN ARCTIC REGIONS

Orlov A. O., Smirnov Yu. G. – Mining Institute KSC RAS, Apatites, the Russian Federation.
E-mail: aleor@goi.kolasc.net.ru

The paper briefly describes potentials for the further use of small nuclear power plants (SNPP) in Russian Arctic regions. The main provisions are considered when choosing the depth of an underground SNPP and access methods. The paper presents technical solutions which were identified by patent and scientific-engineering sources and implemented in various elements of an underground complex. The assessment results of design-layout solutions for underground SNPPs are given on the basis of the orientation of underground facilities according to a functional-technological mode of operation, type of equipment, transport communications and safety provision. Analysis of the principal layout schemes for the placement of various reactor groups has showed preferability of using schemes with mixed arrangement of main chamber excavations, which are characterized by a high concentration of equipment and are the safest.

Key words: Arctic regions; small nuclear power plants; underground location; depth of construction; design-layout solutions; layout rationality assessment.

REFERENCES

1. Orlov A. O., Smirnov Yu. G. [Substantiation of efficient ways of placing underground complexes of small nuclear atomic power stations in the Russian Arctic]. *Izvestiya vysshikh uchebnykh zavedenii. Gornyi zhurnal – News of the Higher Institutions. Mining Journal*, 2016, no. 4, pp. 18–23. (In Russ.)

2. Shuvalov Yu. V., Galkin A. F. [Theory and practice of optimum control over the thermal mode of underground structures of cryolithic zone]. *Gornyi informatsionno-analiticheskii biulleten' (nauchno-tekhnicheskii zhurnal) – Mining Informational and Analytical Bulletin (scientific and technical journal)*, 2010, no. 8, pp. 365–370. (In Russ.)