© В.Н. Макишин, М.В. Куделина, 2012

УДК 622.22.272

В.Н. Макишин, М.В. Куделина

ОБОСНОВАНИЕ ЦЕЛЕСООБРАЗНОСТИ СТРОИТЕЛЬСТВА ВЫСОКИХ КАМЕР ПРИ ОСВОЕНИИ ПОДЗЕМНОГО ПРОСТРАНСТВА

Обоснована целесообразность строительства высоких камер при освоении подземного пространства. Предложен коэффициент ярусности, позволяющий установить эффективность использования пространства подземных сооружений.
Ключевые слова: вмещающий массив, население, внутриквартальные территории, малообводненные породы.

В настоящее время многие крупные города сталкиваются с проблемой недостатка территорий для строительства зданий и сооружений различного назначения, транспортных коммуникаций. Застраиваются земельные участки, ранее считавшиеся непригодными для использования, сокращаются площади зеленых насаждений, внутриквартальных территорий. В связи с этим все более актуальным для городов является ведение подземного строительства выработок камерного типа для их использования в различных целях.

При выборе места строительства подземных сооружений следует учитывать не только плотность застройки территории и распределение административных, социально-культурных объектов и населения. Значительное влияние на выбор места строительства будет оказывать рыночная стоимость земли в пределах горного отвода. Одним из важнейших факторов, определяющим затраты на выбор места заложения подземных камер являются требования, предъявляемые к вмещающему массиву.

Многие исследователи отмечают, что для экономически эффективной эксплуатации камерные выработки должны иметь максимальную ширину пролета при минимальных затратах на крепление. Вмещающий массив должен быть представлен прочными, малотрещиноватыми и малообводненными породами, без динамических проявлений.

Необходимость соблюдения этих требований в значительной степени сокращает участки горных массивов, пригодные для размещения в них камерных выработок. Городское планирование и существующие объекты на поверхности так же затрудняют выбор мест заложения камерных выработок. Часто возникает необходимость проведения подходных транспортных и вентиляционных выработок значительной протяженности и сечения. В тоже время опыт подземного строительства показывает, что объем таких выработок не должен превышать 30—35 % объема технологических камер, в противном случае эксплуатация подземного объекта хозяйственного или социально-культурного назначения становится экономически неэффективной. Следует также учитывать и социально-психологические факторы.

Таким образом, указанные выше факторы в значительной мере сокращают площадь городских территорий, пригодных для строительства камер-

ных выработок. В значительной мере расширить подземное пространство возможно за счет строительства высоких камер с разделением их на технологические этажи. Причем строительство таких выработок может быть выполнено поэтапно. Так же целесообразно размещение камер в несколько этажей, с оставлением между ними предохранительных целиков, с использованием единых выработок вспомогательного назначения.

Цель использования подземного сооружения оказывает значительное влияние на выбор высоты технологических камер. Подземные элеваторы, склады хранения строительных материалов имеют, как правило, не менее двух-трех ярусов. В стесненных условиях городов многоярусными строятся подземные автостоянки, городские архивы, в перспективе — офисные и жилые помещения.

Опыт подземного строительства показывает, что в зависимости от способа использования подземного пространства, рациональная высота яруса составляет: для складов товарной продукции и подземных холодильников — 4,1—6,7 м; для подземных музеев — 4,0 м; для архивов и стоянок легковых автомобилей — 2,25 м [1—3]. Во многих подземных складах в нашей стране и за рубежом для выполнения погрузочно-разгрузочных операций используются вильчатые авто- и электропогрузчики. Поэтому высота этажей подземных складов определяется высотой подъема используемого доставочного оборудования. Высота камер, число и высота ярусов подземных промышленных предприятий определяется технологическим процессом и габаритами используемого технологического оборудования.

Увеличение экономической эффективности использования подземного пространства возможно при рациональном размещении технологического оборудования площади камеры и деления ее на ярусы по высоте.

Коэффициент использования площади одноярусной подземной технологической камеры определяется необходимостью обеспечения в выработке проходов для перемещения людей и погрузочно-доставочного оборудования, соблюдения требований ПБ к проветриванию подземного пространству и обеспечению запасных выходов. Его можно определить по формуле:

$$k_{и.я} = (S_я - S_т)/S_я , \qquad (1)$$

где $S_я$ — общая площадь почвы технологических камер подземного сооружения в пределах этажа — яруса, м^2; $S_т$ — площадь почвы технологических камер, используемая для проезда транспорта, прохода вспомогательного персонала, оставления зазоров между единицами технологического оборудования или мест хранения в соответствии с правилами техники безопасности, м^2.

При увеличении числа ярусов подземного сооружения коэффициент использования площади будет изменяться следующим образом. Например, полная площадь технологической камеры составляет 500 м^2. Под технологические проходы и необходимые зазоры занято 100 м^2 от общей площади камеры. В этом случае при строительстве одноярусного подземного сооружения коэффициент $k_{и.я} = 1 \cdot (500 - 400) / 500 = 0,8$. Для двухярусного сооружения при такой же полезной площади подземного этажа этот коэффициент будет равен 1,6, для трехярусного — 2,4 соответственно.

В зависимости от применяемого технологического оборудования и цели использования каждого из ярусов,

их высота и величина коэффициента $k_{и.я.}$ могут быть различными.

Число ярусов в технологических камерах устанавливается на стадии проектирования. Зная назначение каждого из этажей подземного сооружения, устанавливают их высоту и принимают высоту технологической камеры равной

$$H_к = \sum_{i=1}^{n} h_{я_i}, \text{ м}, \quad (2)$$

где $h_{я_i}$ — высота i — того яруса с учетом толщины перекрытий, м; n — число ярусов.

Коэффициент использования объема многоярусного подземного сооружения определится по формуле

$$k_я = H_к \cdot \sum_{i=1}^{n} (S_я - S_т)_i \Big/ h_{я\,ср} \cdot \sum_{i=1}^{n} S_{я_i}, \quad (3)$$

где $h_{я_{ср}}$ — средняя высота яруса-этажа в подземном сооружении, м; $S_{я\,i}$ — площадь i-того яруса, м^2.

Рассмотрим, как будет изменяться коэффициент ярусности в зависимости от изменения условий использования подземного пространства при неизменной общей площади подземного сооружения.

Пусть подземное сооружение имеет высоту 15 м и три яруса-этажа высотой по 5 м и площадью по 500 м^2 каждый. Полезная площадь составит 400, 350 и 300 м^2 соответственно. В этом случае $k_я = 15 \cdot [400 + 350 + 300] / [5 \cdot (500 + 500 + 500)]$ =15750/7500=2,1. При увеличении полезной площади до величины 400 м^2 на всех ярусах — этажах $k_я = 15 \cdot [400 \cdot 3)] / [5 \cdot (500 \cdot 3)] = 18000/7500=2,4$.

Из расчетов видно, что с увеличением используемой полезной площади коэффициент $k_я$ будет расти. Величина чистой прибыли, получаемой от эксплуатации или сдачу в аренду подземного пространства, также увеличится. При определении $k_я$ следует учитывать толщину перекрытий между ярусами-этажами. Усиление перекрытий ведет к уменьшению полезной высоты ярусов и полезного пространства камеры в целом, а в результате снижению коэффициента ярусности $k_я$ и величины чистой прибыли на единицу подземного пространства.

Предлагаемый коэффициент использования объема подземного сооружения целесообразно учитывать при планировке подземных ярусов-этажей подземных сооружений и при технико-экономическом обосновании вариантов подземного строительства и сравнении конкурирующих вариантов освоения подземного пространства.

Увеличение высоты подземного объекта и разделение камеры на ярусы высотой, соответствующей способу использования ее пространства, ведет к общему увеличению капитальных затрат. Однако при этом затраты на приобретение горного отвода для строительства подземного объекта и оборудование 1 м^2 его площади остаются постоянными, а общая полезная площадь подземного сооружения увеличивается пропорционально коэффициенту использования объема подземного пространства $k_я$. В этих условиях увеличение ярусности подземного сооружения и рациональное планирование технологических помещений обеспечивают рост величины поступающей оплаты за аренду производственных площадей, т.е. величины поступающих наличных средств и способствуют росту экономической эффективности работы подземного предприятия (склада, холодильника, социального объекта). При строительстве подземного промышленного объекта увеличение

ярусности позволяет размещать производственные цеха один над другим в пределах предоставленного горного отвода. Это позволит создавать технологические потоки не только по горизонтали (в пределах площади яруса), но и по вертикали. Для некоторых видов промышленного производства многоярусность является обязательным условием нормального функционирования технологического процесса (подземные обогатительные фабрики, дробильно-перегрузочные комплексы горных предприятий, элеваторы, склады хранения сыпучих грузов и другое).

Подземные зернохранилища требуют размещения технологического оборудования в двух или трех уровнях. Верхний горизонт предназначается для установки распределительных конвейеров, на основном горизонте располагаются камеры-хранилища. На нижнем горизонте находятся приемные конвейеры. При высоте подземных камер более 6—8 м верхний ярус может не оборудоваться [1].

В штате Колорадо (США) подземный город вместимостью 450 человек состоит из 11 комплексов высотой в один-два этажа. Подземный архив в г. Хадсон (штат Нью-Йорк) расположен в глубине от 20 до 70 м в подземной камере, которая разделена на 13 ярусов высотой 2,4—2,6 м, шириной 4,6—6,0 м и длиной до нескольких десятков метров. Хранилища документов в штате Нью-Йорк размещены в выработках известковой шахты на глубине около 50 м. Документы размещены в двухэтажных помещениях-хранилищах и отдельных камерах общей площадью 60 тыс. $м^2$ [1]. В этих условиях перемещение людей с этажа на этаж может осуществляться по лестницам, при большом числе ярусов подземные хранилища оборудуются лифтами. Для перемещения грузов и оборудования целесообразно использование подъемников.

При многоярусном строительстве важной задачей является транспортная связь между ярусами. В зависимости от назначения подземного сооружения между ярусами строятся наклонные (6—9°) пандусы для передвижения автотранспорта (подземные автостоянки), наклонные галереи (12—17°) для монтажа конвейерных линий (подземные склады продуктов и строительных материалов, технологические линии промышленных производств), системы перепусков для перемещения сыпучих грузов сверху вниз, вертикальные лифтовые грузовые и людские подъемники (для обслуживающего персонала в хранилищах, а так же в подземных социальных и жилых помещениях). Способы транспортного сообщения между ярусами так же следует учитывать при проектировании рациональных транспортных схем в подходных выработках и выборе соответствующих видов и типоразмеров транспортных средств.

Многоярусные подземные автостоянки создаются в крупных городах. Доступ на подземные этажи осуществляется по наклонным или спиральным выработкам. Этажи между собой соединены пандусами, пройденными под углом 6—8°. Следует отметить, что в связи с размещением в подземных условиях большого числа автотранспорта, подземные автостоянки требуют усиленного проветривания для разжижения газов от работы двигателей внутреннего сгорания.

Гараж-стоянка линейного типа построен в Париже под улицей Георга V. Гараж имеет однопролетную схему, разделен на шесть подземных ярусов и рассчитан на размещение 1200 автомобилей. Общая длина подземного гаража составляет 332 м, ширина

14 м и глубина 15 м. По торцам сооружения расположены две вертикальные вентиляционные шахты, вокруг которых построены спиральные рампы. Шаг витка рамп выбран с учетом заезда автомобилей на ярусы. Одна рампа предназначена для въезда-выезда автомобилей, другая — для перемещения автомобилей с яруса на ярус [3].

При проектировании подземного сооружения следует принимать компоновочные решения, учитывающие назначение подземного объекта, рациональное размещение технологического оборудования в подземном пространстве и минимальную — достаточную высоту яруса, обеспечивающую наиболее эффективное использование пространства подземной технологической камеры и проветривание при минимальных капитальных затратах на единицу площади.

Увеличение ярусности подземного объекта, а, следовательно, высоты камеры позволяет в значительной мере уменьшить размеры необходимых для строительства подземного объекта горного и земельного отводов. Однако при этом может существенно увеличиться протяженность подходных транспортных выработок, особенно при проведении штолен. Это обусловлено крутизной горных склонов в районе строительства, обеспечением значительного по мощности предохранительного целика над подземным сооружением, видом применяемых транспортных схем и средств.

Ярусность подземного сооружения оказывает существенное влияние на формирование транспортных схем в подходных выработках, систем проветривания и организацию запасных выходов.

Возведение междуярусных перекрытий ведет к появлению дополнительных аэродинамических сопротивлений на пути движения воздуха, уменьшает скорость воздухообмена в подземном пространстве, но, в тоже время, способствует формированию постоянного микроклимата в технологических камерах при меньшей глубине их заложения от поверхности. Многоярусное подземное строительство требует использования более мощной главной вентиляторной установки.

Таким образом, строительство высоких подземных камер, с последующим их разделением на этажи (ярусы) в зависимости от варианта использования подземного пространства оказывает существенное влияние на социально-экономическую эффективность эксплуатации подземных объектов.

СПИСОК ЛИТЕРАТУРЫ

1. *Швецов П.Ф., Зильберборд А.Ф., Паперное М.М.* Подземное пространство и его освоение. — М.: Наука, 1992. — 196 с.

2. *Голубев Г.Е.* Использование подземного пространства в крупных городах. — М.: ЦНТИП градостроительства, 1973. — 50 с.

3. *Покровский Н.М.* Комплексы подземных горных выработок и сооружений. Изд. 2-е, перераб. — М.: Недра, 1987. — 248 с. ГИАБ

КОРОТКО ОБ АВТОРАХ

Макишин Валерий Николаевич — доктор технических наук, доцент, директор Горного института Дальневосточного государственного технического университета (ДВПИ им. В.В. Куйбышева), e-mail: interrex@mail.ru,

Куделина Мария Васильевна — аспирантка Горного института Дальневосточного государственного технического университета (ДВПИ им. В.В. Куйбышева).