

УДК 627.842

ЮРЧУК Ю.П., Главный инженер проекта,
 ПАО "Укргідропроєкт", г. Харьков
МАРТЫНОВА Л.Н., Главный специалист ГТО,
 ПАО "Укргідропроєкт", г. Харьков
ВЕДЯЕВ В.А., Главный геолог объекта, ООО "Межведомственный
 центр инженерных изысканий", г. Харьков



ЮРЧУК Ю.П.



МАРТЫНОВА Л.Н.



ВЕДЯЕВ В.А.

ПРОЕКТНЫЕ РЕШЕНИЯ, ПРИНЯТЫЕ ПРИ ИЗМЕНЕНИИ СПОСОБА ПРОХОДКИ НАПОРНОГО ТУННЕЛЯ МТКВАРИ ГЭС (ГРУЗИЯ).

В рамках Государственной программы развития гидроэнергетики "Возобновляемая энергия—2008" министерством энергетики Грузии намечено строительство 76 малых и средних гидроэлектростанций общей мощностью 1382 МВт. География размещения новых ГЭС охватывает почти всю территорию Грузии.

Одной из таких гидроэлектростанций является ГЭС Мтквари, строительство которой намечено на реке Мтквари, установленной мощностью 48,0 МВт, расположенной в

Аспиндзском и Ахалцихском районах, входящих в состав края Самцхе-Джавахетия, с административным центром в г. Ахалцихе в Южной Грузии.

В мае 2010 года начались работы по сооружению напорного туннеля ГЭС Мтквари. Напорный туннель, имеющий длину 9,6 км, является самым сложным и дорогостоящим сооружением, который, к тому же, из всех сооружений ГЭС, имеет и самый большой срок строительства. От своевременного завершения строительства напорного туннеля напрямую зависит пуск агрегатов ГЭС.

После выполнения проходки первых 460 м туннеля и недостаточно эффективной работы комбайна "DOSKO" (низкая скорость проходки и значительные переборы), ПАО "Укргідропроєкт", совместно с Заказчиком, были подробно изучены возможности проходческих комплексов, которые в данное время должны были выйти из забоев, для возможного применения их на строительстве напорного туннеля ГЭС Мтквари.

После тщательного изучения предлагаемого оборудования, ООО "Мтквари ГЭС" был сделан выбор в пользу проходческого комплекса фирмы

"Herrenknecht" с диаметром проходки 6,00 м, при внутреннем диаметре готового туннеля 5,00 м.

Данный туннелепроходческий комплекс в то время закончил работы по проходке аналогичного туннеля в Испании, г. Барселона, и по всем параметрам соответствовал условиям строительства туннеля ГЭС Мтквари, а его стоимость была значительно ниже нового туннелепроходческого комплекса.

На основании дополнительных проработок со специалистами фирм Herrenknecht AG и Viglconsult.at, для уменьшения объемов работ по бетонной обделке удалось увеличить внутренний диаметр туннеля до 5,26 м, что дало возможность увеличить установленную мощность ГЭС до 48,0 МВт и выработку электроэнергии до 236 млн. кВт·ч.

На основании выполненных водноэнергетических расчетов, уточнения расчетных напоров стало возможным увеличение установленной мощности ГЭС.

Основные параметры ГЭС Мтквари:

Установленная мощность ГЭС, МВт — 48,0.

Количество агрегатов, шт. — 2.

Напоры брутто, м:

- максимальный — 105,3,
- расчетный — 102,6,
- минимальный — 99,4.

Среднегодовая годовая выработка электроэнергии — 236 млн. кВт·ч

Кроме того был пересмотрен проект организации строительства в части организации строительства туннеля, а именно:

- рассмотрены вопросы по выполнению доработки сечения пройденного туннеля;
- организации припортовых площадок для ввода туннельно-буровой машины (ТБМ) в туннель и его последующего вывода из туннеля;
- организация изготовления, хранения и доставки тубингов к месту укладки;



- на основании уточненных параметров были откорректированы технические задания на основное гидросиловое и электротехническое оборудование, определены объемы работ и их стоимость.

Предпосылки необходимости выполнения оптимизации проектных решений.

Трасса деривационного туннеля на начальном участке ориентирована на север, с тем, чтобы по возможности максимально избежать встречи с глубокооврезанными оврагами близ села Рустави, затем меняет направление на северо-северо-запад, максимально обходя область развития слабых терригенных пород верхнего эоцена и максимально приближаясь к крутому врезу ручья Сакунети, где ожидается встреча более крепких пород. Протяженность трассы составляет 9,6 км.

По результатам геологической съемки установлено, что деривационный туннель пересекает сложную складчатую структуру, состоящую из нескольких сопряженных антиклинальных и синклинальных складок северо-восточного простирания, осложненную разрывными нарушениями взбросового типа. В строении скального массива принимают участие породы обеих свит эоцена, причем туфобрекчиевая свита (P_2^{2b}) располагается с южной стороны туннеля и на участке здания ГЭС, заключая во внутренних синклинальных структурах верхнеэоценовые отложения (P_2^3). От входного портала до поворота за селом Рустави туннель пересекает эти структуры под достаточно острым углом (около 45°), далее туннель идет практически в крест простирания структур. Следует отметить, что в ядрах крутых складок следует ожидать повышенную трещиноватость, обусловленную деформацией растяжения, особенно в некомпетентных породах.

Два крупных разрывных нарушения, которые предположительно пересекает туннель, относятся к взбросовому типу, причем северный, возможно, представляет собой фрагмент сейсмогенерирующей Ацкурской разломной зоны. Представляется необходимым иметь более подробную информацию о обоих разломах, включая характеристику зон дробления и влияния, а главное, их современной тектонической активности.

Вероятно, по трассе туннеля существуют и другие, более мелкие не установленные изысканиями I этапа разрывные нарушения IV–V порядков. Ориентировка их, скорее всего, будет повторять простирание основных складчатых структур, кинематический тип — малоамплитудные взбросо-сдвиги.

Уровень грунтовых вод контролируется отметками реки Мтквари и ее притоков. Грунтовые

воды отмечены в скважине 14 на глубине 6 м в области развития верхнеэоценовых пород, описанных как водоупоры, что является, скорее всего, верховодкой. В области развития среднеэоценовых пород грунтовые воды дренирует массив, при этом уровень грунтовых вод должен быть гораздо ниже. По результатам химического анализа воды из скважины 14 — вода обладает сульфатной агрессивностью к бетону.

Ожидаемая температура по трассе туннеля на глубинах его заложения составляет $16,84^\circ$ в среднем, поднимаясь до $27,4^\circ$ в его южной части.

На первом этапе Проекта, на основании экономического сравнения вариантов, выбраны створ, компоновка сооружений, определено предварительное местоположение порталов и трассы туннеля.

На этапе 2 выполнено уточнение трассы туннеля в соответствии с топографическими и геологическими условиями горного массива, а также определена конструкция постоянной и временной крепи и способа проходки туннеля.

На окончательный выбор способа проходки и типа проходческого оборудования оказали влияние следующие положительные факторы:

- применение наиболее технологичного крепления выработки сборными железобетонными тубингами, с помощью которых наиболее оптимально решаются вопросы временной крепи проходки на участках трассы, сложенных аргиллитами пониженной литификации, где ожидается проявление горного давления вследствие пластичности пород;

- высокая скорость проходки (в среднем 40 м/сут), которая позволит выполнить директивные сроки строительства и ввода ГЭС в эксплуатацию;

- возможность уменьшения затрат за счет отказа от устройства временной крепи (набрызгбетона и анкеров);

- возможность отказа от сооружения двух подходных штолен общей длиной 1460 м и всего вспомогательного оборудования, сооружений, подъездных автодорог, инженерных сетей к данным штольням.

После тщательного изучения предлагаемого оборудования, ООО "Мктвари ГЭС" был сделан выбор в пользу проходческого комплекса фирмы "Herrenknecht AG" с диаметром проходки 6,00 м на полное сечение, при внутреннем диаметре туннеля 5,26 м.

Сечение туннеля по сравнению с Проектом увеличилось на 260 мм, в связи с этим в водоводе снижается скорость потока и соответственно по-



Строительная площадка МтквариГЭС

тери напора, что позволит увеличить установленную мощность ГЭС Мтквари и выработку электроэнергии.

В результате Заказчик поручил ПАО "Укргидропроект" выполнить уточнение параметров ГЭС и проекта организации строительства напорного туннеля с учетом изменения способа проходки.

Оптимизация конструкции напорного туннеля в связи с изменением способа проходки.

1. Изменение местоположения порталов и трассы туннеля.

Размещение выходного портала со стороны здания ГЭС определилось положением границы зоны интенсивной разгрузки, исходя из следующих соображений:

1. На входном участке туннеля предусматривался целик над сводом выработки не менее 5 м в зоне сохранности "В".

2. Во избежание относительных осадок на участке сопряжения туннеля с открытым участком водовода верхняя анкерная опора и развилка водовода размещены, как и припортальный участок туннеля, на грунтах зоны сохранности "В".

В связи с тем, что при вскрытии котлована выходного портала фактическая мощность ослабленных скальных грунтов (зона сохранности Б песчаников слоя 0–3) оказалась менее проектной, стало возможным сместить положение портала в сторону здания на 25 м.

В связи с принятием решения о применении для проходки туннеля туннелепроходческого комплекса ТБМ потребовалось внести в проект конструкции напорного туннеля следующие изменения:

- увеличить продольный уклон туннеля с увеличением глубины его заложения со стороны здания ГЭС для обеспечения входа ТБМ в туннель, так как расширение пройденного участка выработки производится за счет доработки стен и лотка с сохранением анкерного крепления свода;

- с целью организации площадки для демонтажа ТБМ и сохранения автодороги Ахалцихе-Ахалкалаки входной портал сместить на 85 м вдоль берега в сторону земляной плотины головного узла;

- исключить подходные штольни № 1 и № 2 общей протяженностью 1460 м;

- предусмотреть технологическую штольню протяженностью 80 м для осмотра и ремонта обделки водовода, врезка штольни в водовод на ПК 95+44,12 в зоне металлической облицовки.

2. Уточнение диаметра туннеля и параметров уравнильного резервуара.

Проходка туннеля с помощью туннелепроходческого комплекса Double Shield Hard Rock ТБМ роторного типа диаметром 6,00 м повлекла за собой уточнение конструкции обделки туннеля. Для сокращения объемов бетона внутренний

діаметр туннеля був збільшений до діаметра 5,26 м з виконанням обделки из сборных железобетонных тубингов.

В связи с увеличением диаметра туннеля выполнены поверочные расчеты потерь напора в туннеле, уточнены расчетные напоры и параметры уравнивающего резервуара.

Для обеспечения надежной работы агрегатов необходимо увеличить высоту шахты на 2,5 м с понижением его днища до отметки + 995,000 м

3. Постоянная обделка.

Постоянная обделка туннеля на участке входного и выходного порталов сталежелезобетонная, а на остальном участке по технологии немецкой компании "Herrenknecht AG" — сборная с применением железобетонных тубингов.

Конструирование и расчеты на нагрузки строительного периода постоянной обделки туннеля из тубингов выполнены австрийской фирмой "Viglconsult.at" на основании договора с фирмой "Herrenknecht AG".

На основании расчетов прочности на внешние и внутренние нагрузки железобетонные тубинги приняты толщиной 250 мм. Для обеспечения монтажа тубингов предусмотрено заоблицовочное пространство 160 мм в своде и 80 мм в лотковой части (среднее 120 мм), что и определило внутренний диаметр туннеля 5260 мм.

Железобетонные тубинги имеют толщину 250 мм, замкнутое кольцо состоит из 6-ти соединенных между собой сегментов:

- лотковый сегмент;
- 2 боковых 1-го типа;
- 2 боковых 2-го типа;
- замковый сегмент.

Каждый сегмент на торцевой поверхности имеет фиксаторы для точности сборки и отверстия для нагнетания инъекционного раствора за обделку и предварительного обжатия обделки под давлением, превышающий внутренний напор.

Инъектирование выполняется после омоноличивания материала заполнения заоблицовочного пространства.

Лотковый сегмент имеет продольный лоток для отвода воды в период строительства в виде характерной впадины глубиной около 14 см и шириной до 60 см и закладные для крепления рельсовых путей поездов обеспечения строительства. В продольном направлении кольца соединяются шпонками из полимерных материалов, которые явля-

ются фиксаторами для подгонки при установке и несколько перераспределяют нагрузку между кольцами вдоль туннеля. Для предотвращения фильтрационных потерь из туннеля предусматривается гидроизоляция стыков между сегментами и кольцами тубингов. (Рис. 1)

На основании мирового опыта туннелестроения рассмотрены 2-а варианта выполнения гидроизоляции стыков между тубингами, а именно:

- вариант 1 — с помощью полос-вкладышей из полиэтиленовых листов, которые закладываются в бетон по контуру сегментов с внутренней стороны туннеля, зазор между сегментами закрывается полиэтиленовой полоской, приваренной к вкладышам. Такая конструкция противofильтрационной защиты допускает раскрытие шва между сегментами до 6 мм.

- вариант 2 — с помощью резинового уплотнения для герметизации стыков туннелей М 385 73 фирмы "Phoenix" (Германия), которое допускает раскрытие швов до 10 мм.

На основании сравнения вариантов Заказчиком, по рекомендации специалистов фирмы "Herrenknecht AG", принят вариант с резиновым уплотнением для герметизации стыков туннелей М 385 96 фирмы "Phoenix" (Германия), который допускает раскрытие швов до 5 мм, но имеет значительно меньшую стоимость по сравнению с профилем М 385 73.

Учитывая то, что профиль М 385 96 фирмы "Phoenix" (Германия), по своим техническим параметрам (внешнее давление при цементации 10 бар и внутреннее давление от 4 до 8 бар) проходит только для прямых участков туннеля, на криво-

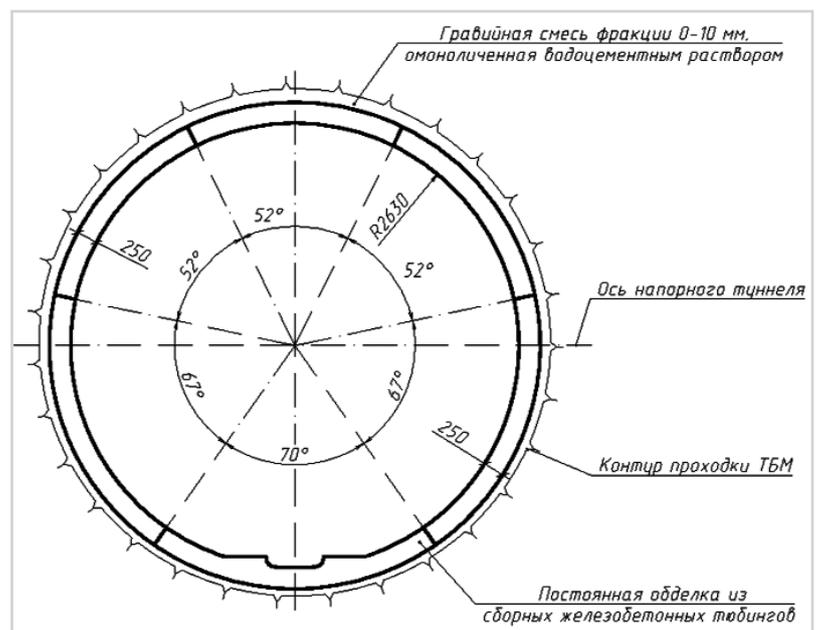


Рис. 1. Типовое поперечное сечение напорного туннеля из сборных железобетонных тубингов



линейных участках туннеля выполняются дополнительные противофильтрационные мероприятия — инъекция швов между тубингами составом MC-Injekt 95 TX компании "MC-Vauchemie".

Армирование сегментов производится арматурными сетками, установленными по внешней и внутренней поверхности элементов.

Сложность геологического строения пересечаемого массива горных пород — от прочных массивных скальных до слабых, возможно, обладающих пластическими свойствами, естественно предполагает применение нескольких типов тубингового крепления.

В зависимости от величины горного давления предусматривается два типа армирования тубингов (чертеж 1490-13-135). Учитывая недостаточную изученность геологического строения горного массива обделка с усиленным армированием тубингов принята 46,1% общей длины туннеля со сборной железобетонной обделкой (участки с коэффициентом крепости породы $f < 4$). Величина горного давления определена в соответствии со СНиП II-94-80 "Подземные горные выработки".

Для изготовления тубингов принят бетон класса В40 W12 F300, армирование арматурой А III в соответствии с расчетным обоснованием (1490-13-РТ17).

Изготовление предусматривается из портландцемента сульфатостойкого М 500 с применением модификатора бетона МБ-С и воздухововлекающей добавки СНВ. Строительной лабораторией выполняется подбор состава бетона на местных строительных материалах, отрабатывается технология приготовления бетона и выбирается способ транспортировки бетонной смеси к тубинговому хозяйству.

Технология изготовления предусматривает обеспечение опережающего производства тубингов с распалубкой через 8—10 часов для обеспечения непрерывной проходки туннеля крепью.

Для изготовления, выдержки и транспортировки тубингов к забою в Проекте предусмотрено соответствующее хозяйство.

4. Комплекс работ для строительства туннеля

Применение на строительстве напорного туннеля проходческого комплекса Double Shield Hard Rock ТБМ требует внести ряд изменений в проект организации строительства, в частности касающейся организации ввода комплекса в туннель, вывода его через частично построенный водоприемник, создание соответствующих подъезд-

ных путей, припортальных площадок для монтажа и демонтажа комплекса.

Кроме того необходимо организовать производство, хранение и доставку тубингов к месту укладки.

Также необходимо выполнить конструктивные изменения в пройденной на длине 460 м части туннеля. Расширение сечения пройденного участка с сохранением анкерной крепи свода выполняется за счет увеличения глубины заложения и увеличения продольного уклона. Доборка сечения для ввода ТБМ в туннель выполняется на длине 270 м. Работы выполняются буровзрывным способом.

4.1 Подъездные пути и припортальные площадки

Для сборки и ввода в туннель проходческого комплекса Double Shield Hard Rock ТБМ, существующую припортальную площадку необходимо расширить на 1,6 тыс. м² с сохранением подъездных автомобильных дорог и водосбросных систем.

Проходческий комплекс набирается из секций длиной от 12 до 20 м. Общая длина комплекса — 270 м.

Комплекс заводится в туннель монтажными единицами, сборка которых осуществляется у входа в портал в течение 2-х месяцев. При этом припортальная площадка имеет размер 250×42 м. Отметка площадки на входе в туннель + 941.850 м. На площадке предусмотрены транспортные пути для передвижки секции с дневной поверхности в туннель с помощью установленной там лебедки. Покрытие площадки цементобетонное по двухслойной подготовке из песка и щебня.

Вывод комплекса из туннеля предусмотрен через водоприемник, который с целью совмещения сроков строительства водоприемника и туннеля, возводится практически полностью, но без фундаментной плиты проточной части. В качестве припортальной площадки используется подводящий канал. Для вывоза монтажных единиц ТБМ к подводящему каналу устраивается подъездная автодорога.

4.2 Изготовление и доставка тубингов к ТБМ

Применение наиболее технологического крепления выработки сборными железобетонными сегментами привело к необходимости разработки проекта на строительство цеха по изготовлению сборных ж/б тубингов, который предусматривает также доставку их на площадку складирования и к забою.

Цех по изготовлению сегментов размерами 72×24×8 м снабжен 42 формами, в которых фор-



мируется и проходит термическую обработку тюбинг.

Бетон для сборных элементов готовится на заводе и доставляется в цех, арматурные каркасы изготавливают в арматурном цеху. Все подсобные предприятия находятся на одной площадке в пределах 50 м от цеха, где изготавливают сборные железобетонные сегменты.

Хранение тюбингов организовано на площадке ОРУ, где организована круговая дорога, обеспечивающая подъезд и выгрузку строительных конструкций в любой точке.

Готовые изделия поступают на склад автомобильным транспортом с разгрузкой башенным краном грузоподъемностью 25 т с вылетом стрелы 35 м. Кран устанавливается в центре площадки и обеспечивает разгрузку и погрузку сегментов в вагонетки. Запас тюбингов рассчитан на пять рабочих дней ТБМ. Штабель высотой 2,75 м состоит из 6 сегментов. В нижней части укладываются длинные сегменты, в верхней — короткие. С одного штабеля набирается участок облицовки длиной 1,5 м.

При средней проходке туннеля 40 м в сутки к забою необходимо подать 27 штабелей или 162 тюбинга.

Для подачи тюбингов к забою организована подъездная узкоколейная дорога на деревянных шпалах с радиусом поворота 30 м и уклоном 20 %, которая соединяется с туннелем после установки ТБМ в забое и обустройства концевой участка подъездных путей, примыкающих к туннелю.

Выводы.

Изменение способа проходки напорного туннеля ГЭС Мктвари позволит:

1. Выполнить работы по проходке напорного туннеля в директивные сроки и обеспечить своевременный пуск агрегатов ГЭС Мктвари.

2. При использовании для проходки туннеля проходческого комплекса ТБМ возможно сократить объемы по выемке скалы на 30 тыс. м³ за счет отказа от двух подходных штолен, уменьшить объемы бетона на 28 тыс. м³.

3. Исключить работы по устройству временной крепи, укрепительной цементации и шпуровому дренажу.

4. Увеличить установленную мощность ГЭС до 48 МВт (на 3,5 %);

5. Увеличить выработку электроэнергии до 236 млн. кВт·ч (на 8.25 %).

© Юрчук Ю.П., Мартынова Л.Н., Ведяев В.А., 2012

