

## ТЕРМОНАПРЯЖЕННОЕ СОСТОЯНИЕ И УСТОЙЧИВОСТЬ ВЫСОКОЙ (232 м) ГРУНТОВОЙ ПЛОТИНЫ КАНКУНСКОЙ ГЭС В ЗОНЕ ВЕЧНОЙ МЕРЗЛОТЫ И ВЫСОКОЙ СЕЙСМИЧНОСТИ

ЛЯПИЧЕВ Ю.П., д.т.н., проф., консультант, ФНК Инжиниринг, Москва  
 ЛАНДАУ Ю.А., д.т.н, замдиректора, Укрэнергопроект, Харьков, Украина  
 ВАЙНБЕРГ А.И., д.т.н., проф, завкафедрой ГС, ХГТУ, Харьков, Украина  
 БРОНШТЕЙН В.И., д.т.н., замдиректора ЦСГНЭО, Гидропроект, Москва

Согласно решению Правительства РФ в 2013 г. в Южной Якутии должно начаться строительство Канкунской ГЭС мощностью 1200 МВт с плотиной высотой 232 м в зоне вечной мерзлоты и высокой сейсмичности. Заказчик проекта- компания РусГидро, генпроектировщик - Ленгидропроект.

В январе с.г. НТС Ленгидропроект отобрал для дальнейшего проектирования каменно-набросную плотину (КНП) с диафрагмой из асфальтобетона (ФНК Инжиниринг) и бетонную плотину (Ленгидропроект).

Основными требованиями к Канкунской КНП ввиду ее высокой ответственности, сурового климата, сложных геологических условий и высокой сейсмичности являются: обеспечение безопасности плотины; технологичность конструкции и экономичность строительства.

С учетом результатов анализа опыта применения диафрагм из АФБ для условий Канкунской ГЭС были рассмотрены 4 варианта КНП:

Вариант 1.1 с диафрагмой из укатанного асфальтобетона (рис. 1);

Вариант 1.2 с диафрагмой из литого асфальтобетона (рис. 1).



Рис.1. Варианты 1.1 и 1.2 Канкунской плотины с укатанной и литой диафрагмами

В варианте 1.1 асфальтобетон при температуре плюс (160-170°C) укладывается и уплотняется совместно с переходным слоем-фильтром слоями по 0,2 м. При выполнении работ при отрицательных температурах ухудшаются условия производства работ по этой диафрагме, что может оказать влияние на ее качество и надежность работы.

В варианте 1.2 с литой асфальтобетонной диафрагмой используется технология строительства диафрагмы Богучанской КНП, обладающая серьезными недостатками, среди которых главным является опасность выдавливания битума в переходные зоны.

В вариантах 1.1 и 1.2 в условиях зависания обеих диафрагм на соседних переходных зонах и снижения в диафрагмах вертикальных нормальных напряжений при действии сил трения по наружным граням диафрагм при наполнении ВБ в основании диафрагмы могут возникнуть растягивающие деформации и появиться трещины, что недопустимо.

Вариант 2 с составной диафрагмой, образованной верхней и нижней облицовками из сборных железобетонных плит с водонепроницаемой геомембраной на их наружных гранях, с заполнением полости между плитами литым асфальтобетоном (рис. 2);

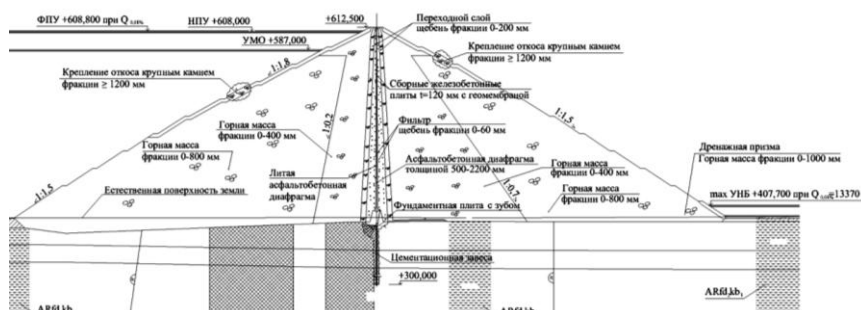


Рис. 2. Вариант 2 Канкунской плотины с составной диафрагмой

В варианте 2 рассматривается составная асфальтобетонная диафрагма, образованная верхней и нижней облицовками из сборных железобетонных плит с покрытием их наружных граней водонепроницаемой геомембраной из синтетической пленки. Полость между верхней и нижней облицовками заливается горячим литым асфальтобетоном.

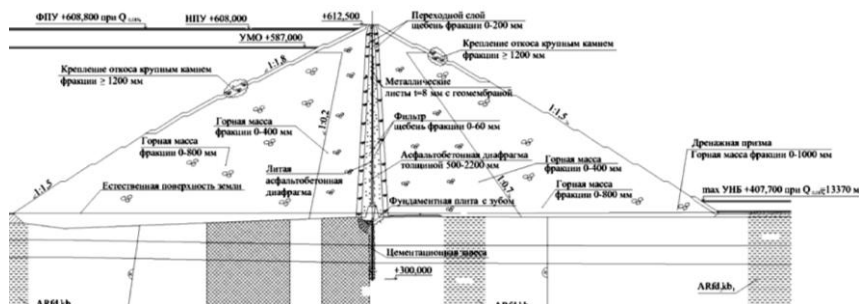


Рис. 3. Вариант 3 Канкунской плотины с составной диафрагмой

*Вариант 3* с составной диафрагмы, образованной верхней и нижней облицовками из стальных листов с водонепроницаемой геомембраной на их наружных гранях, с заполнением полости между листами литым асфальтобетоном (рис. 3). Составная диафрагма принята вертикальной, ее толщина 0,5 м на гребне и 2,2 м внизу. В варианте 3 составная диафрагма образована верховой и низовой облицовками из стальных листов с покрытием их наружных граней геомембраной. Полость между верхней и нижней облицовками заливается литым АФБ. С обеих сторон диафрагму покрывают рулонным геотекстилем.

Кроме функций гидроизоляции и опалубки облицовки из железобетона и стали, покрытые пленкой из геомембраны, выполняют функцию скользящих швов: резкого снижения коэффициента трения между диафрагмой и переходными зонами. Это позволяет снизить зависание диафрагмы на этих зонах, которое может привести к появлению в ее основании вертикальных растягивающих деформаций и горизонтальных трещин.

### Результаты расчетов термического режима плотины и ее основания

Расчеты термического режима КНП выполнены по программе [ABAQUS](#).

В конце строительства зона отрицательных температур занимает почти всю КНП в том числе верховой призмы. У подошвы КНП имеется малая зона положительных температур, что связано с влиянием этих температур основания. Вблизи напряженной нижней части диафрагмы имеются положительные температуры. Для времени, соответствующему стабилизации температурного поля (через 30 лет эксплуатации) почти во всей верховой призме возникает зона положительных температур. У основания в пределах низовой призмы имеется узкая зона положительных температур.

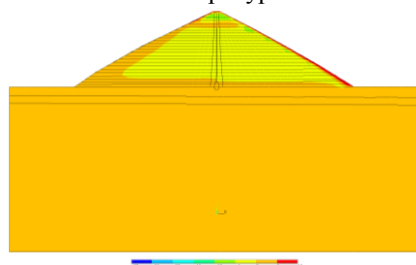


Рис. 5 (слева). Изолинии температур в плотине и ее основании для времени, соответствующего окончанию возведения плотины и заполнения ВБ

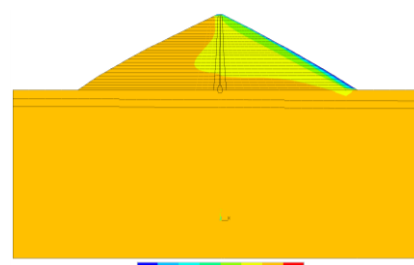


Рис. 6 (справа). Изолинии температур в плотине и ее основании для времени стабилизации температурного поля (через 30 лет эксплуатации)

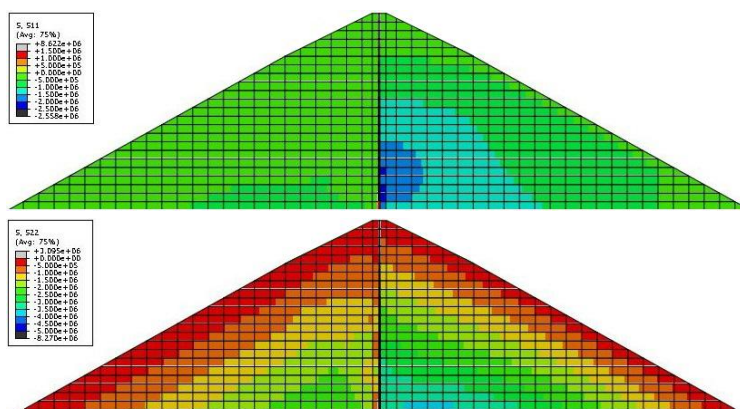
### Основные результаты расчетов НДС вариантов диафрагмы из АФБ

Результаты расчетов НДС вариантов диафрагм из АФБ даны на рис. 7-9.

1. В литой и укатанной диафрагмах при наполнении ВБ происходит большая разгрузка вертикальных напряжений - неравномерное зависание диафрагм на переходных зонах: меньшее в верховой зоне и большее - в низовой (результат влияния мерзлого камня в НБ).

2. В основании обеих диафрагм возникнут растягивающие напряжения, что приведет к образованию трещин и потери герметичности.

3. Расчеты КНП с составной диафрагмой показали, что при росте модуля деформации камня низовой призмы с 60 до 160 МПа (влияние мерзлого камня) намного улучшается НДС: в 1,2 раза снижаются осадки диафрагмы и 2,6 раза снижаются ее прогибы.



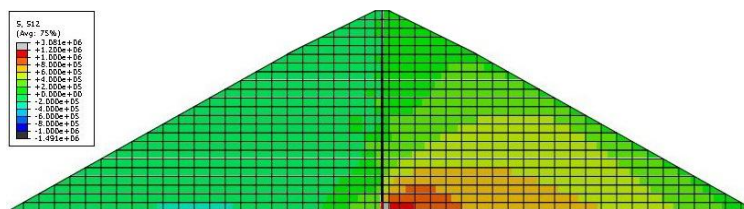


Рис. 7. Горизонтальные (вверху), вертикальные (в середине) и касательные (внизу) напряжения в КНП с составной диафрагмой из литого АФБ, залитого в полость между бетонными плитами, после наполнения ВБ

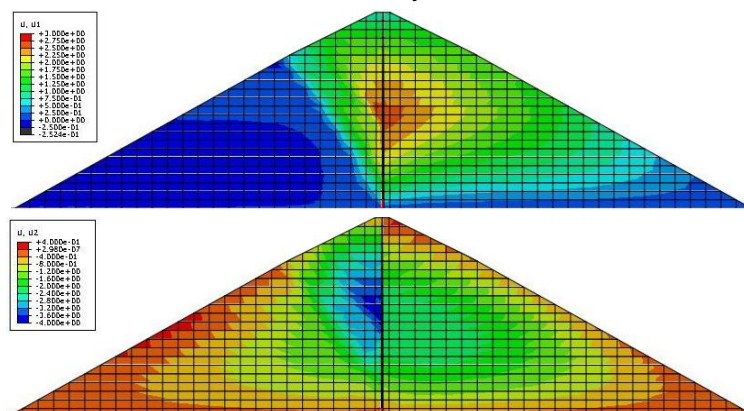


Рис. 8. Горизонтальные (вверху) и вертикальные (внизу) перемещения КНП с составной диафрагмой из литого АФБ, залитого в полость между бетонными плитами, после наполнения ВБ

4. Результаты расчетов термического режима и НДС КНП с учетом поэтапности возведения и наполнения ВБ в вариантах 2 и 3 КНП показали:

- установка вокруг литой диафрагмы по всей ее высоте скользящих бетонных или стальных облицовок с наружной пленкой-геомембраной значительно улучшает НДС составной диафрагмы, повышает ее трещиностойкость и водонепроницаемость;
- в КНП с составной диафрагмой создаются три противофильтрационных контура (наружные облицовки вокруг литой диафрагмы), что в сложных условиях работы при низких температурах и высоких напорах резко повышает надежность работы КНП.

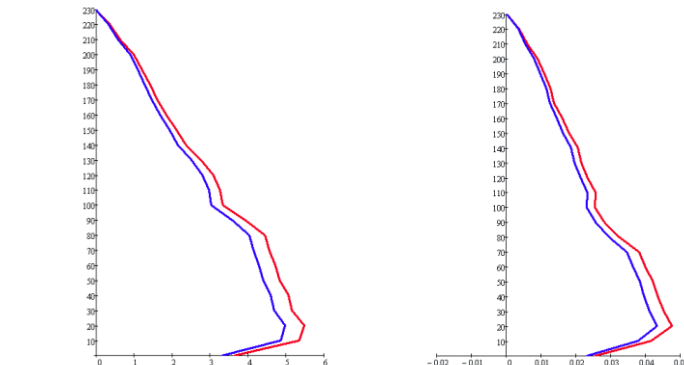


Рис. 9. Вертикальные напряжения (справа) и деформаций (слева) на напорной грани составной диафрагмы: синий - после наполнения ВБ; красный - спустя 30 лет

#### Расчеты статической прочности КНП с составной диафрагмой

Расчетные значения коэффициента запаса прочности и устойчивости КНП:

- ко времени окончанию возведения плотины и наполнения ВБ:  $k=1,71$ ;
- через 30 лет эксплуатации плотины (после наполнения ВБ):  $k=1,65$ .

Это больше нормативного коэффициента запаса КНП 1 класса ( $k=1,25$ )

#### Расчеты сейсмостойкости КНП по спектральной и волновой теориям

1. Нормативное значение коэффициента запаса для плотины Канкунской ГЭС при сейсмических воздействиях при МРЗ составляет 1,06. Прочность и устойчивость КНП обеспечена во все расчетные моменты времени с нормативными коэффициентами запаса.

2. В расчетах устойчивости откосов по методу круглоцилиндрических поверхностей скольжения значения коэффициента запаса устойчивости выше нормативных, которые составили: для основного сочетания нагрузок и воздействий - 1,25, для особого - 1,063.

3. Расчеты сейсмостойкости по линейно-спектральной (ADINA) и волновой теории (программа MSC.Marc) показали, что сейсмостойкость КНП с составной диафрагмой из литого асфальтобетона, расположенного между облицовками из железобетонных плит, обеспечена.