

Stroitelnye konstrukcii i materialy. Vyp. 3. VNIINTPI M. 1999, pp. 1-4.

10. Raschetnye issledovaniya napryazhenno-deformirovannogo sostoyaniya podpornoj stenki pervogo yarusy LV-1 vodopriemnika Zagorskoj GAEHS v tom chisle s uchetom danyh sinhronnyh zamerov pri sutochnom izmenenii urovnya verhnego akkumuliruyushchego bassejna. / Rubin O.D., Lisichkin S.E., Nefedov A.V. Chernenko V.N. Ponomarev D.I., Mukashov R.Z., Lisichkin A.S. // Sb. Bezopasnost gidrotekhnicheskikh sooruzhenij OAO NIEHS, vyp. 18. M 2013, pp. 38-50.

11. Fedorova N.V., Gubanova M.S. Crack-resistance and strength of a contact joint of a reinforced concrete composite wall beam with corrosion damages under loading. Russian journal of building construction and architecture. Number 2(38), 2018, pp. 6-18.

The material was received at the editorial office.
22.02.2019 g.

Information about the authors

Rubin Oleg Dmitrievich, doctor of technical sciences, director of the branch JSC «Design-survey and research institute «Hydroproject» named after S.Ya. Shuk» – «Institute

Hydroproject» – «NIIES»; 125080, Moscow, Volokolamskoye sh. 2; e-mail: rubinod@niies.ru

Antonov Anton Dmitrievich, candidate of technical sciences, deputy director of the Analytical Center, branch of JSC «Design-survey and research institute «Hydroproject» named after S.Ya. Shuk» – «Institute Hydroproject» – «NIIES»; senior lecturer of the department of hydraulics and hydro technical construction (NIU MGSU); 129337, Moscow, Yaroslavskoe shosse, d. 26; e-mail: Antonov.An.S@yandex.ru

Lisichkin Sergej Evgenjevich, doctor of technical sciences, deputy general director LLC «Engineering center of facilities, structures and technologies in power engineering», 125364, Moscow, ul. Svobody, 35. e-mail: cskte@mail.ru

Baklykov Igor Vyacheslavovich, leading engineer of the branch JSC «Design-survey and research institute «Hydroproject» named after S.Ya. Shuk» – «Research institute of energy facilities»; 125080, Moscow, Volokolamskoe sh., 2, e-mail: moscow_igor88@mail.ru

Frolov Kirill Evgenjevich, deputy general director on research and project activities, PC «RusHydro»; 127006, Moscow, ul. Malaya Dmitrovka, d. 7; e-mail: FrolovKE@rushydro.ru

УДК 502/504:626/627

DOI 10.34677/1997-6011/2019-2-88-95

Д.П. МИХАЙЛЕЦ, Б.М. БАХТИН

Федеральное государственное бюджетное образовательное учреждение высшего образования Российский государственный аграрный университет – МСХА имени К.А. Тимирязева, г. Москва, Российская Федерация

ОПРЕДЕЛЕНИЕ НАГРУЗОК ОТ ВОСХОДЯЩЕГО ПОТОКА НА ГОРИЗОНТАЛЬНЫЙ СЕКТОР-ОТРАЖАТЕЛЬ ПО ЭКСПЕРИМЕНТАЛЬНЫМ ДАННЫМ

При проектировании водопропускных гидротехнических сооружений кроме определения пропускной способности также необходимо производить их расчёт на прочность. С этой целью проведены исследования по определению нагрузок от восходящего потока на горизонтальный сектор-отражатель. Давление, возникающее от воздействия струи, измерялось с помощью пьезометров, установленных по 2-м створам на нижней поверхности сектора-отражателя. На основании полученных данных произведён расчёт конструкции по II группе предельных состояний в программном комплексе ЛИРА-САПР. По результатам расчёта назначена минимально необходимая толщина сектора-отражателя, выявлены части конструкции с изгибающими моментами, превышающими критические моменты по условиям недопустимости трещинообразования. Выполненный расчёт позволяет рекомендовать предлагаемую конструкцию в качестве гасителя-отражателя энергии водного потока водопропускных напорных гидротехнических сооружений.

Гидротехнические сооружения, концевой участок напорного водосбросного сооружения, сектор-отражатель, вертикальный выход потока, гаситель энергии потока, отражатель потока.

Введение. Важной задачей при проектировании конструкции исследованного концевого участка является её прочностной расчёт. Так как в практике гидротехнического строительства данная конструкция не использовалась, а в справочной и учебной литературе рекомендаций для расчёта нагрузок для подобных случаев не встречается, возникла необходимость определить нагрузки путём проведения экспериментов.

Материал и методы. При работе камеры гашения водопропускного сооружения (рис. 1) [1, 2] из выходного сечения вертикально восходящего водовода 1 поток поступает с большой скоростью на горизонтально расположенный сектор-отражатель 2. От соударения с плоскостью нижней грани сектора поток растекается по нему в радиальном направлении и сходится в виде струи с малыми удельными расходами (рис. 2), обеспечивая поверхностно-донный или поверхностный режим сопряжения с нижним бьефом. В зоне падения струи на дно возникают малые удельные расходы, что позволяет уменьшить глубину ямы размыва за сооружением. Во время пропуск расхода поток оказывает силовое воздействие на все элементы исследованной конструкции, но основная нагрузка приходится на сам сектор-отражатель.

Исследование нагрузок от высокоскоростного потока на элементы камеры гашения предлагаемого концевого участка выполнено в Гидротехнической лаборатории Института мелиорации, водного хозяйства и строительства имени А.Н. Костякова на модели с геометрическим масштабом $\lambda = 11,1$. Пропускная способность такого прототипа достигает до 7-8 м³/с при диаметре водовода $d = 1,0$ м.

Исходя из опыта исследования подобной конструкции [3] с увеличением радиуса сектора-отражателя давление потока на него увеличивается, а при увеличении высоты его расположения – уменьшается. Помимо указанных факторов также оказывает влияние и глубина воды в отводящем канале, при этом до затопления концевого участка такое влияние отсутствует. Затоплением применительно к этой конструкции называется явление, при котором прекращается отброс или вылет струи, а пространство камеры гашения заполнено водой при глубине в отводящем канале более или примерно равной высоте расположения сектора.

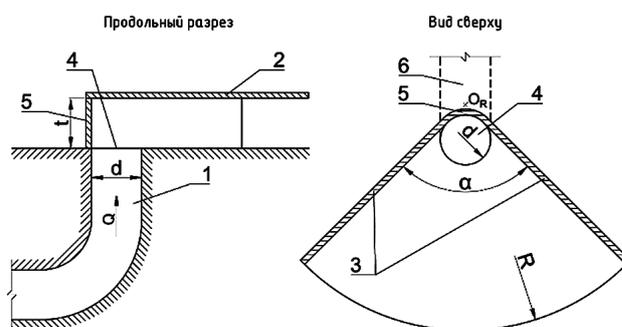


Рис. 1. Конструкция концевого участка раструбного типа с горизонтальным сектором-отражателем:

- 1 – вертикально восходящий водовод;
- 2 – сектор-отражатель;
- 3 – направляющие стенки;
- 4 – выходное сечение водовода;
- 5 – ограничивающая стенка;
- 6 – возможный вариант расположения транзитной части напорного водовода $\beta = 0^\circ \dots 360^\circ$;
- d – диаметр водовода;
- t – высота расположения сектора;
- R – радиус сектора;
- α – угол роспуска потока

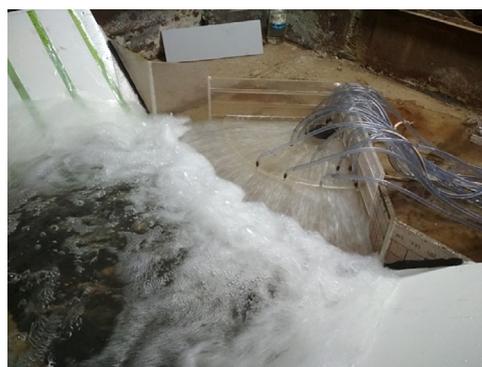


Рис. 2. Демонстрация работы конструкции концевого участка

В данной статье представлены результаты исследования конструкции с радиусом $R = 4,5d$ при вариации таких параметров, как высота расположения сектора t , установившаяся глубина воды в отводящем канале $h_{\text{уноб}}$ и средняя скорость потока v_0 в выходном сечении вертикально восходящего водовода. Относительная высота расположения сектора t/d принималась равной 0,56; 1,13; 1,7, относительная глубина h/d изменялась в диапазоне 0,48-1,74, также в ходе экспериментов варьировались скорости в выходном сечении от 5,2 до 7,9 м/с (в пересчёте на натурную величину). Для определения величины и характера распределения давления струи на сектор-отражатель и нагрузки на подерживающие его стенки на нижней грани

сектора были установлены 2 ряда пьезометров: 1-й ряд (8 шт.) – по продольной оси и 2-й ряд (7 шт.) – вдоль направляющей стенки.

Результаты и обсуждение. Характер распределения давления струи

на сектор-отражатель с высотой расположения $t = 1,13d$ при скорости $V = 7,4$ м/с, представлен рисунке 3 в виде эпюр пьезометрического напора, определённого по 2-м створам на нижней грани сектора.

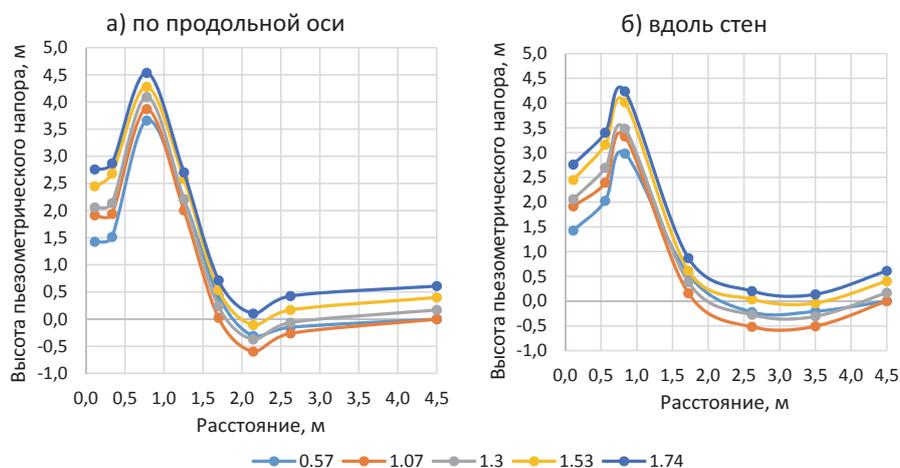


Рис. 3. График распределения нагрузки на сектор-отражатель по створам пьезометров на нижней грани сектора при $R = 4,5d$, $t = 1,13d$ и $V = 7,4$ м/с

Проводя анализ данных экспериментов, можно выделить следующие особенности:

- основная нагрузка от восходящей струи сосредоточена в наиболее близкой к выходному сечению водовода части сектора радиусом около 1,5-2,0 м;

- площадь эпюры продольной по сравнению с пристенной при $h/d = 0,57$ в зоне положительных давлений больше на 9%, в зоне отрицательных – меньше на 13%, суммарная площадь больше на 7%;

- площадь эпюры продольной по сравнению с пристенной при $h/d = 1,74$ больше на 6%;

- учитывая небольшие отличия площадей эпюр и то, что максимальное давление достигается по продольной оси, в расчётах возможно использовать данные по продольному ряду пьезометров;

- в периферийной части сектора-отражателя при глубинах, обеспечивающих свободный отлёт струи, т.е. меньших или примерно равных высоте расположения сектора, возникает зона вакуума;

- при затоплении концевого участка со стороны нижнего бьефа зона вакуума в периферийной части сектора исчезает.

Проведённые эксперименты позволяют судить о следующем характере взаимодействия потока с концевым участком. Поднимаясь в пространстве под сектором, струя соударяется с ним и растекается по его нижней грани между направляющими стенками.

По мере удаления от выходного сечения толщина струи под сектором и удельные расходы уменьшаются. Двигаясь по инерции, поток под действием силы тяжести снижается и падает в толщу воды нижнего бьефа. Отрыв струи под сектором-отражателем в начальной стадии, когда воздух не попадает в пространство между сектором и струей, приводит к возникновению вакуума. До определённой глубины в нижнем бьефе ($h_{затоп}$) её изменение не влияет на характер движения потока под сектором. При наступлении затопления рост глубины в нижнем бьефе сопровождается повышением сопротивления движению потока в пространстве камеры гашения, вызывая увеличение давления в ней и в особенности на сам сектор, что приводит к исчезновению вакуума.

Величину силы давления потока P , оказывающего воздействие на сектор-отражатель, определяли по следующей формуле:

$$P = \rho_0 g V, \quad (1)$$

где ρ_0 – плотность воды; $g = 9,81$ м/с²; V – объём тела давления, образованного эпюрой пьезометрического напора, замеренного на нижней грани сектора.

Графики зависимости величины силы давления струи на сектор-отражатель P от относительной глубины в нижнем бьефе h/d при различных скоростях её выхода из водовода и относительной высоты расположения сектора представлены на рисунке 4.

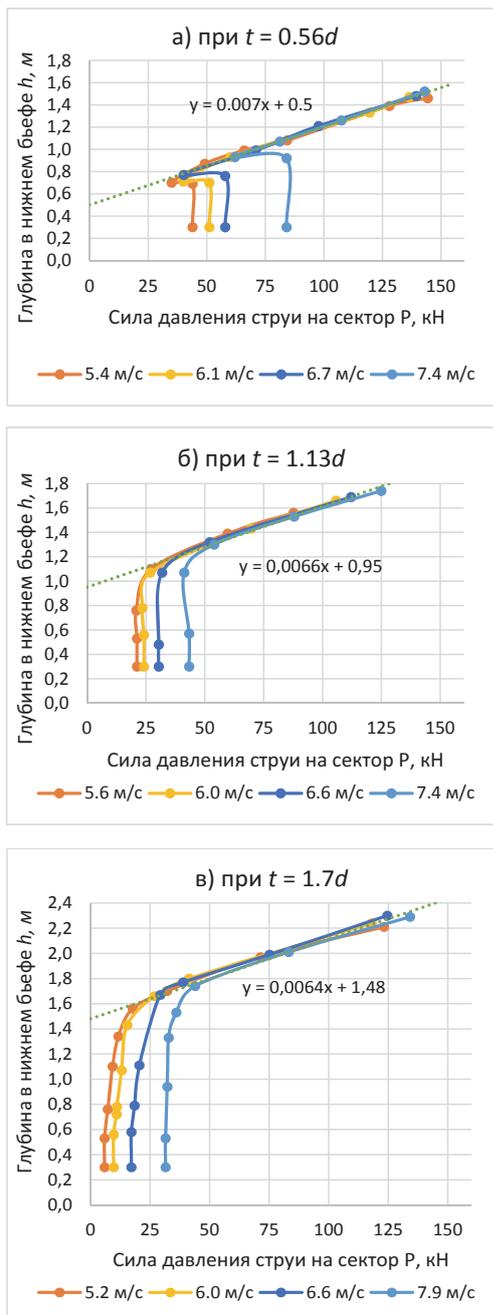


Рис. 4. Графики зависимости силы давления струи P от относительной глубины воды в нижнем бьефе h/d при различных высотах расположения сектора-отражателя t

Как видно из данных графиков, после затопления сектора-отражателя величина силы давления струи возрастает при увеличении глубины воды в нижнем бьефе. Как и ожидалось, при самом низком расположении сектора-отражателя сила давления имеет максимальные значения, при самом высоком – минимальные.

В качестве примера использования полученных данных приводятся результаты расчёта в ПК ЛИРА-САПР. Расчётная

модель представляет собой конструкцию, включающую сектор-отражатель, направляющие стены, на которые он установлен, и фундамент, повторяющий в плане очертания сектора. При расчёте заданы модуль упругости $E = 3 \times 10^7$ кН/м² и коэффициент поперечной деформации бетона (коэффициент Пуассона) $\nu = 0.2$ для класса В25. По окружности выходного сечения водовода вводились жёсткие связи. Расчёт проводился с применением упругой модели грунта (тугопластичный суглинок) в системе ГРУНТ, в которой выполняется автоматизированное создание модели грунта по заданным геологическим условиям, а также вычисляются осадка и коэффициенты постели грунтового основания по СП [4].

В качестве задаваемой нагрузки принята продольная эпюра напоров на нижнюю поверхность сектора (рис. 5) для варианта конструкции с диаметром водовода $d = 1,0$ м, высотой расположения $t = 0,56d$ и радиусом $R = 4,5d$, при свободном режиме истечения (концевой участок не затоплен, глубина в нижнем бьефе $h_{унб} < h_{затоп}$). При построении расчётной модели использовались 3-х и 4-х узловые пластины и для удобства задания нагрузок в программе криволинейная эпюра была приведена к ступенчатой. При этом на каждом участке принимались максимальные значения в зоне положительного давления (на расстоянии от 0 до 1,8 м от ограждающей стенки) и минимальные значения в зоне отрицательного давления (на расстоянии от 1,8 до 4,5 м). Площадь расчётной эпюры при этом в зоне положительных давлений превышает площадь фактической эпюры на 26% процентов, в зоне отрицательных давлений – на 125%, что идёт в запас расчета.

Ступенчатый график разделяет поверхность сектора на 6 участков с равными нагрузками. Интенсивность давления струи для каждого участка задавалась как $p_i = \rho_0 g h$, а сила давления на каждый участок как $W_i = p_i w_i$. Сила давления струи на сектор $P = \sum W_i$ составила 99,36 кН. Необходимые для расчёта данные сведены в таблицу 1.

Распределенная нагрузка от собственного веса сектора-отражателя рассчитана по зависимости:

$$p_g = h_{c.o.} \rho_0 g, \quad (2)$$

где: $h_{c.o.}$ – толщина сектора-отражателя; $\rho_0 = 2,5$ т/м³ – плотность бетона.

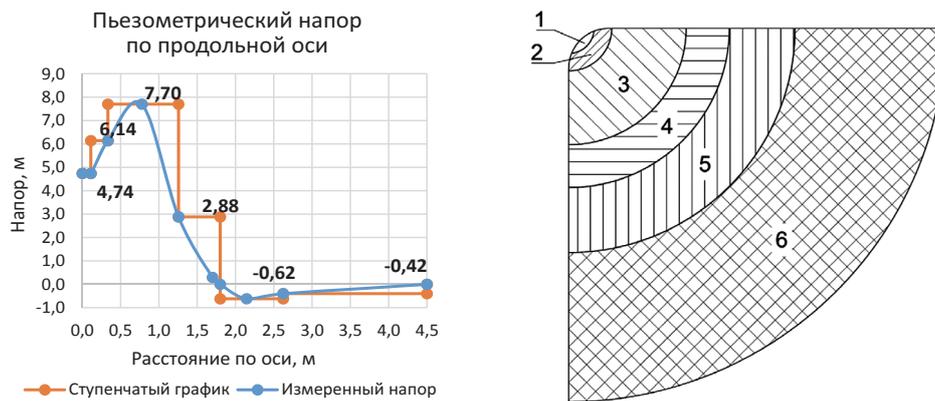


Рис. 5. Ступенчатый график нагрузки на сектор-отражатель и площадь, воспринимающая нагрузку

Таблица 1

Данные для расчёта в ПК ЛИРА САПР

Номер участка	Расстояние от ограждающей стенки, м	Пьезометрический напор, м	Интенсивность давления p_i , кПа	Площадь участка, m^2	Сила давления W_i , кН
1	0.11	4.74	46.50	0.03	1.37
2	0.33	6.14	60.23	0.14	8.64
3	1.26	7.70	75.54	1.46	110.03
4	1.80	2.88	28.25	1.48	41.90
5	2.62	-0.62	-6.08	3.12	-18.99
6	4.50	-0.40	-3.92	11.11	-43.59
$P = \sum W_i$					99.36

Расчёт изгибающих моментов $M_{расч}$, а также перемещений, возникающих в конструкции концевой участка от указанных нагрузок, производился по II группе предельных состояний при различных толщинах сектора-отражателя $h_{c.o.}$, стен $h_c = 15$ см и толщине фундамента $h_\phi = 20$ см. Толщины перечисленных конструктивов назначались из следующих соображений: гарантировать минимальную толщину защитного слоя бетона по СП [5] ($\alpha = 30$ мм) и достаточное расстояние в свету между стержнями арматуры, обеспечивающее совместную работу арматуры с бетоном и качественное изготовление конструкции, связанное с укладкой и уплотнением бетонной смеси. Для этих же толщин рассчитаны величины изгибающих моментов M_{crc} , максимально допустимые по условию трещиностойкости:

$$M_{расч} \leq M_{crc} = R_{bt, ser} W \gamma, \quad (3)$$

где: $R_{bt, ser} = 1.55$ МПа – расчётное значение сопротивления бетона для класса В25; γ – коэффициент, учитывающий развитие пластических деформаций в бетоне растянутой зоны сечения перед образованием трещин (для прямоугольного сечения $\gamma = 1.3$).

В запас расчёта положим момент сопротивления сечения элементов для

крайнего растянутого волокна $W = \frac{bh_{c.o.}^2}{6}$ и $b = 100$ см.

Изгибающие моменты в секторе-отражателе, полученные по результатам расчётов, представлены в таблице 2. По данным таблицы построены графики зависимостей $M_{расч} = f(h_{c.o.})$ и $M_{crc} = f(h_{c.o.})$ для определения минимально допустимой толщины сектора по условиям трещиностойкости. Точка пересечения графиков (рис. 6) даёт искомое значение. Для нашего случая принимается $h_{c.o.} = 22.0$ см.

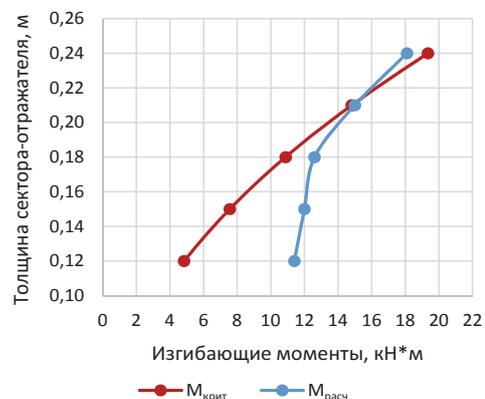


Рис. 6. Графики зависимостей $M_{расч} = f(h_{c.o.})$ и $M_{crc} = f(h_{c.o.})$ для определения минимально допустимой толщины сектора-отражателя

Результаты расчёта действующих $M_{расч}$ и допустимых $M_{срс}$ изгибающих моментов в секторе-отражателе

№ расчёта	Толщина сектора-отражателя $h_{с.о.}$, см	Значение моментов	
		$M_{расч}$, кН · м	$M_{срс}$, кН · м
сектор-отражатель			
1	12	11.4	4.84
2	15	12.0	7.56
3	18	12.6	10.88
4	21	15.0	14.81
5	24	18.8	19.34

Максимальный прогиб при назначенной толщине сектора составил 4,55 мм в наиболее удалённой от выходного сечения точке. Изополю перемещений по Z представлены на рисунке 7.

По результатам расчёта при назначенных толщинах конструктивов максимальные изгибающие моменты в стенах достигают 20.9 кН/м по M_y (рис. 8а), а в фундаментной плите 39.2 кН/м по M_x (рис. 8б), что не удовлетворяет условиям трещиностойкости. Следует заметить, что наибольшие значения сосредоточены в местах жёсткой заделки с выходным сечением водовода и верхней части направляющих стен на расстоянии до 2,0 м от их окончания. С целью компенсации предлагается увеличить толщину направляющих

стен и выполнить локальное усиление конструкции с обратной стороны ограждающей стены и под фундаментной плитой в месте примыкания к водоводу.

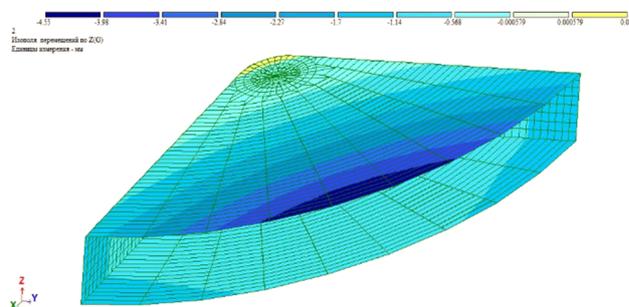


Рис. 7. Изополю перемещений по Z при расчётной толщине сектора

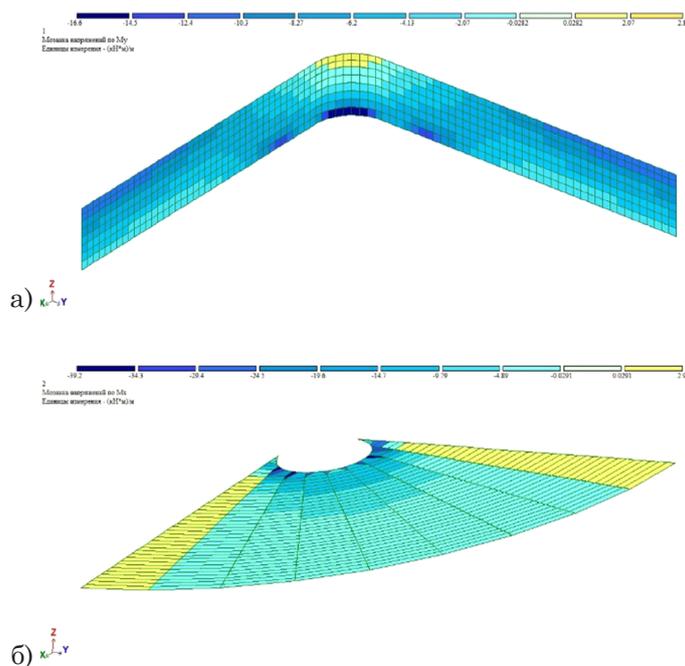


Рис. 8. Изгибающие моменты возникающие от заданной нагрузки: а) в направляющих стенах; б) в фундаментной плите

В программе ГРУНТ, входящей в состав ПК ЛИРА-САПР, рассчитана осадка сооружения (рис. 9). В качестве грунта

основания задан тугопластичный суглинок с минимальной глубиной сжимаемой толщи 5,0 м в водонасыщенном состоянии

со следующими характеристиками: модуль деформации $E = 17652 \text{ кН/м}^2$, коэффициент Пуассона $\mu = 0.35$, удельный вес грунта $\gamma = 18.33 \text{ кН/м}^3$, удельное сцепление $C = 19.61 \text{ кН/м}^2$ и угол внутреннего трения $\varphi = 18^\circ$. Минимальная осадка (синий цвет) составила 0.39 мм, максимальная (красный цвет) – 1.14 мм.

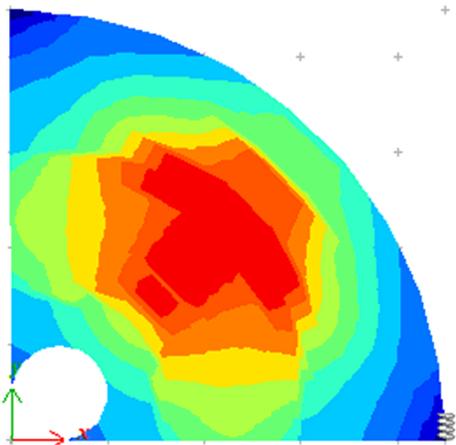


Рис. 9. Схема осадок сооружения от заданной нагрузки и собственного веса

Расчёт требуемого по условию прочности армирования выполнялся для эксплуатационного периода, когда на сектор-отражатель действует максимальная нагрузка. Коэффициент динамичности в расчёте не назначался, т.к. в экспериментах определялась осреднённая нагрузка от восходящей струи. Для обеспечения прочности в верхней части сектора необходимо установить продольную арматуру диаметром $d = 12 \text{ мм}$ А400 с шагом $S = 200 \text{ мм}$, секторную и в нижней – такую же с $d = 8 \text{ мм}$. Из остальных конструктивов наибольший диаметр арматуры $d = 20 \text{ мм}$ требуется установить для вертикальных стержней с тыловой стороны в ограждающей стене.

Выводы

По результатам проведённых опытов следует отметить, что максимальные значения пьезометрических напоров наблюдаются по продольной оси сектора-отражателя. Данные значения следует использовать в расчётах равными по радиусам, что пойдёт в запас расчёта. Для компенсации изгибающих моментов, превышающих предельно допустимые по условиям трещиностойкости значения, необходимо произвести

локальное усиление конструкции с внешней стороны ограждающей стены и в месте приямка фундамента к выходному сечению водовода. Результаты проведённых расчётов доказывают техническую возможность применения предлагаемой конструкции концевого участка напорного водопропускного сооружения.

Библиографический список

1. Пат. РФ 2341616 МПК7 E02B8/06. Концевой участок раструбного типа напорного водопропускного сооружения с вертикальным выпуском воды / Б.М. Бахтин, С.Г. Кузнецова; заявитель и патентообл. Московский государственный университет природообустройства. Заявл. № 2006147134/03, 29.12.2006; опубл. 20.12.2008. Бюл. № 35.
2. Бахтин Б.М., Михайлец Д.П., Бушуев Д.А. Особенности гидравлического режима потока за концевым участком напорного водопропускного сооружения с вертикальным выходом. // Вестник МГСУ. – 2018. – Т. 13. Вып. 10. – С. 1269-1275.
3. Бахтин Б.М., Ксенофонтова Т.К., Расуанандрасана М.Ж. Определение нагрузок и расчетное обоснование конструкции камеры гашения водосброса с кольцевым выпуском потока. // Гидротехническое строительство. – 2009. – № 3. – С. 51-57.
4. СП 22.13330.2016 Основания зданий и сооружений. Актуализированная редакция СНиП 2.02.01-83*. <http://docs.cntd.ru/document/456054206>
5. СП 63.13330.2012 Бетонные и железобетонные конструкции. Основные положения. Актуализированная редакция СНиП 52-01-2003 (с Изменениями N1, 2, 3) <http://docs.cntd.ru/document/1200095246>

Материал поступил в редакцию 01.04.2019 г.

Сведения об авторах

Михайлец Дмитрий Петрович, аспирант кафедры ГТС Института мелиорации, водного хозяйства и строительства имени А.Н. Костякова, ФГБОУ ВО РГАУ-МСХА имени К.А. Тимирязева, e-mail: mihaylets.d.p@yandex.ru

Бахтин Бронислав Михайлович, д.т.н., профессор кафедры ГТС Института мелиорации, водного хозяйства и строительства имени А.Н. Костякова, ФГБОУ ВО РГАУ-МСХА имени К.А. Тимирязева.

D.P. MIKHAIETS, B.M. BAKHTIN

Federal state budgetary educational institution of higher education «Russian state agrarian university – MAA named after C.A. Timiryazev», Moscow, Russian Federation

DETERMINATION OF LOADS FROM THE UPSTREAM FLOW ON THE HORIZONTAL SECTOR-REFLECTOR ACCORDING TO THE EXPERIMENTAL DATA

In designing culvert hydraulic structures, in addition to determining the capacity, it is also necessary to calculate their strength. For this purpose investigations were carried out to determine loads from the upstream flow on the horizontal sector-reflector. The pressure arising from the stream impact was measured using the piezometers installed on two lines on the lower surface of the reflector sector. Based on the obtained data, the design was calculated for the II group of limiting states in the LIRA-CAD software complex. According to the computing results the minimal required thickness of the reflector sector was set, there were revealed parts of the structure with bending moments exceeding critical moments under the conditions of inadmissibility of crack formation. The performed calculation allows recommending the proposed design as a dissipator-reflector of the water flow energy of the culvert pressure hydraulic structures.

Hydraulic structures, end portion of head spillways, sector-reflector, vertical flow outlet, flow dissipator, reflector of water flow.

References

1. Pat. RF 2341616 MPK7 E02B8/06. Kontsevoj uchastok rastrubnogo tipa napor-nogo vodopropusk-nogo sooruzheniya s vertikalnym vypuskom vody / B.M. Bahtin, S.G. Kuznetsova; zayavitel i patentoobl. Moskovsky gosudarstvenny universitet prirodobustrojstva. Zayavl. № 2006147134/03, 29.12.2006; opubl. 20.12.2008. Byul. № 35.
2. Bahtin B.M., Mihaylets D.P., Bushuev D.A. Osobennosti gidravliches-kogo rezhima potoka za kontsevym uchastkom napor-nogo vodopropusk-nogo sooruzheniya s vertikalnym vyhodom. // Vestnik MGSU. – 2018. – T. 13. Vyp. 10. – S. 1269-1275.
3. Bahtin B.M., Ksenofontova T.K., Rasuanandrasana M.Zh. Opredelenie nagruzok i raschetnoe obosnovanie konstruktsii kamery gasheniya vodosbrosa s koltsevym vypuskom potoka. // Gidrotehnicheskoe stroitelstvo. – 2009. – № 3. – S. 51-57.
4. SP 22.13330.2011 Osnovaniya zdaniy i sooruzhenij. Aktualizirovannaya redaktsiya SNIp 2.02.01-83*. <http://specrazdel.ru/uploaded/doki/sp-22-13330-2011.pdf>
5. SP 63.13330.2012 Betonnye i zhelezo-betonnye konstruktsii. Osnovnye polozheniya. Aktualizirovannaya redaktsiya SNIp 52-01-2003 (s Izmeneniyami N1, 2, 3) <http://msk.mos.ru/Handlers/Files.ashx/Download?ID=11008>

The material was received at the editorial office
01.04.2019 g.

Information about the authors

Mihaylets Dmitry Petrovich, post graduate student of the HTS department, Institute of land reclamation, water economy and building named after A.N. Kostyakov, FSBEI HE RGAU-MAA named after C.A. Timiryazev; 127550, Moscow, B. Academicheskaya St., 44; e-mail: mihaylets.d.p@yandex.ru

Bahtin Bronislav Mikhailovich, doctor of technical sciences, professor of the HTS department, Institute of land reclamation, water economy and building named after A.N. Kostyakov, FSBEI HE RGAU-MAA named after C.A. Timiryazev; 127550, Moscow, B. Academicheskaya St., 44.