

УДК 627.8

**ВЛИЯНИЕ СООТНОШЕНИЯ МОДУЛЕЙ УПРУГОСТИ СИСТЕМЫ  
«ПЛОТИНА-ОСНОВАНИЕ» НА ВЕЛИЧИНУ КОНЦЕНТРАЦИИ  
НАПРЯЖЕНИЙ (НА ИХ КОНТАКТЕ) И НА СМЕЩЕНИЯ СОСЕДНИХ  
СЕКЦИЙ**

В.И. ВОЛКОВ, *к.т.н., профессор,*

А.И. ГОЛЫШЕВ, *к.т.н., доцент,*

А.А. УЧЕВАТКИН, *аспирант,*

Д.С. ДМИТРИЕВ, *аспирант*

*ФГБОУ ВО "Российский государственный аграрный университет – МСХА  
имени К.А.Тимирязева"*

*127550, г. Москва, ул. Прянишникова, 19*

*Светлой памяти учителя, заслуженного деятеля науки РФ, д.т.н., профессора  
Игоря Семеновича Румянцева*

*Исследуется влияние соотношения модулей упругости системы «гравитационная  
бетонная плотина - основание» на величину концентрации напряжений, возникающих в  
зоне контакта, и на смещения соседних секций с применением современного расчетно-  
го программного комплекса, реализующего метод конечных элементов.*

**КЛЮЧЕВЫЕ СЛОВА:** *безопасность бетонных плотин, концентрация напряжений,  
осадки и горизонтальные перемещения бетонных гравитационных плотин, МКЭ.*

Во всем мире все большее внимание уделяется проблеме обеспечения безопасности гидротехнических сооружений. Причем в комплексе вопросов, входящих в решение этой проблемы, особый акцент делается на рассмотрение проблемы безопасности с точки зрения возможных серьезных экологических последствий, которые могут сказаться не только на окружающей среде, но и, в конечном итоге, на здоровье людей.

Разрушение напорного фронта для большинства гидроузлов, включая гидроузлы комплексного и ирригационного назначения, может катастрофическим образом отразиться на громадных территориях, в том числе связанных с сельским хозяйством. Например, ниже створа Краснодарского гидроузла располагается порядка 600 тыс. гектаров самых плодородных в стране земель; разрушение Саяно-Шушенского гидроузла практически может уничтожить Минусинскую котловину. Таким образом, гидротехнические сооружения рассматриваются в настоящее время как сооружения, непосредственно относящиеся к сфере природообустройства, с одной стороны, и как объект повышенной опасности, с другой стороны. Этой точки зрения придерживается и Мировой банк. В соответствии с рядом документов Мирового банка одним из разделов ТЭО (технико-экономическое обоснование) является раздел «Безопасность гидротехнических сооружений», что имело место и при недавнем рассмотрении банковского ТЭО Богучанского гидроузла на реке Ангаре. В нашей стране вопросам безопасности гидротехнических сооружений уделяется большое внимание – приняты законы «О безопасности гидротехнических сооружений», Федеральный закон от 30 декабря 2009 г. N 384-ФЗ "Технический регламент о безопасности зданий и сооружений" и ряд других нормативно-правовых документов.

Безопасность плотин зависит от многих факторов, среди которых одним из значимых, способных существенно повлиять на прочность и устойчивость, является напряженное состояние, для которого существуют критерии безопасности, определяемые современными нормативными документами. Таким критерием для бетонных плотин является напряженное состояние в особых точках на верховой и низовой гранях на контакте плотины с основанием (рис. 1).

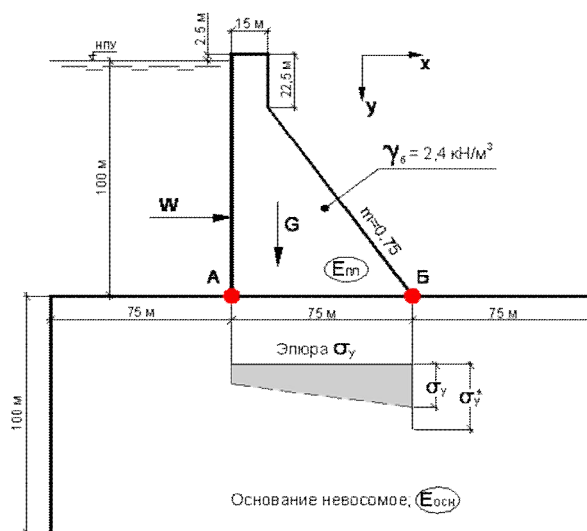


Рис. 1. Основные параметры и расчетные характеристики исследованной гравитационной плотины и основания.  $W$  – гидростатическое давление;  $G$  – собственный вес;  $\sigma_y$  – нормальные напряжения, полученные методом сопротивления материалов;  $\sigma_y^*$  – нормальные напряжения, полученные с использованием МКЭ (с учетом отношения  $E_{пл}/E_{осн}$ ); точка  $B$  – расчетная точка на контакте «плотина-основание».

В точках *A* и *B* возникает концентрация напряжений, вследствие чего расчетные напряжения могут превысить критерии безопасности; при этом величина концентрации напряжений существенно зависит от соотношения модулей упругости плотины и основания.

Аналізу величин концентрации напряжений посвящен ряд работ [1, 2 и др.]. Часть этих работ была выполнена в 1938-1979 гг. Некоторые результаты указанных исследований были получены с применением ЭВМ первых поколений и на нелицензированном программном обеспечении; другая часть результатов была получена при экспериментальных исследованиях на моделях с применением тензорезисторов, имеющих базу 10 мм. Полученные позднее результаты представлены в работе [2].

Учитывая важность получения достаточно точных оценок величин концентрации напряжений, существенно влияющих на безопасность плотин, представлялось целесообразным выполнить расчеты с использованием современного лицензированного программного обеспечения, на основе которого можно было бы проанализировать результаты указанных исследований, проверить использованный диапазон соотношений модулей упругости системы «плотина-основание» и разработать на основе проведенных исследований упрощенную инженерную методику расчета в достаточно широком диапазоне соотношений модулей упругости системы «плотина-основание», что позволило бы в практике проектирования и строительства в кратчайшие сроки получать экспертную оценку величин концентраций напряжений.

Необходимость достаточно точной экспертной оценки возникает в целом ряде случаев, к которым, в частности, могли бы быть отнесены:

- ошибки в изысканиях, приведшие к тому, что после вскрытия котлована под сооружением модуль упругости основания оказывается существенно ниже, чем был получен при изысканиях, что, например, имело место на Андижанской плотине [3], построенной, в основном, для целей ирригации;
- промерзание и оттаивание котлована при разрыве во времени между устройством котлована и укладкой бетона на основание; пример – плотина Богучанской ГЭС [4, 5];
- при разработке декларации безопасности, в том числе, если проект выполнялся не по современным нормам, обязательно требуется оценка концентраций напряжений в краевых точках.

Указанные обстоятельства, а также необходимость оперативной экспертной оценки, которая может возникнуть, например, в связи с опасностью нарушения прочности (неразрывности) уплотнений швов, вследствие неравномерной осадки соседних секций при различных величинах модулях упругости основания под ними, делают возможным применение в этих и других случаях эмпирических и полуэмпирических формул [2, 7].

С учетом вышеизложенного, анализ данных с целью сравнения различных методов оценки величины концентрации напряжений, расширения диапазона проводившихся ранее исследований, а также уточнение упрощенного инженерного метода расчета величин концентрации напряжений, является весьма актуальной задачей. Также, актуальной представляется возможность оперативной оценки неравномерности осадки секций сооружения, что может повлечь за собой разрыв уплотнений (шпонок).

Целью исследований является оценка влияния соотношения модулей упругости плотины и основания на напряженно-деформированное состояние отдельных особых зон гравитационной плотины на скальном основании.

В качестве таких зон рассматривались (рис.1):

- точка Б на низовой грани на контакте «плотина-основание», где имеют место максимальные сжимающие напряжения, которые могут привести к разрушению основания;
- зона верховой грани в местах расположения шпонок (уплотнений), которые могут быть разрушены при значительной разнице осадок соседних секций, расположенных на основаниях, отличающихся величинами модулей упругости (рис. 2).

Исследования выполнялись методом конечных элементов с применением программного комплекса «ANSYS» [6]. Сетка МКЭ приведена на рис.3.

Анализ литературных источников [1, 2 и др.] показал, что вопросу оценки величины концентрации напряжений  $K$  в зависимости от соотношения модулей упругости плотины и оснований уделяется серьезное внимание; его величина может существенно влиять на безопасность плотины. В нормативно-технических документах учет явления концентрации напряжений определяется как необходимость проводить расчет прочности методами теории упругости.

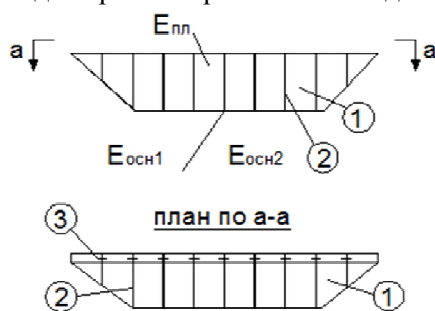


Рис. 2. Схема секций гравитационной плотины, расположенных на разномодульном основании. 1 – секции плотины; 2 – деформационные швы; 3 – уплотнения;  $E_{пл}$ ,  $E_{осн1}$ ,  $E_{осн2}$  – соответственно модули упругости плотины (бетон) и основания.

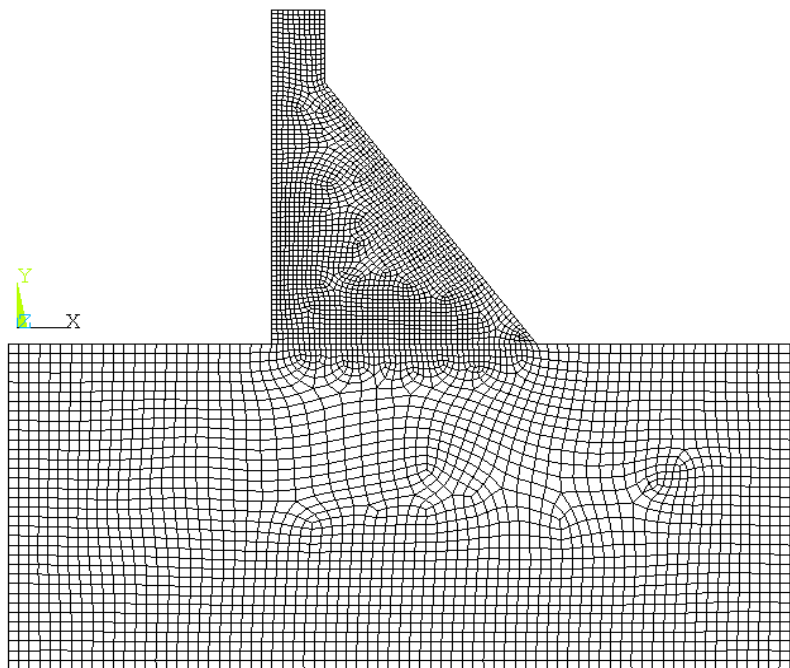


Рис. 3. Сетка метода конечных элементов, использовавшаяся в расчетах

Поэтому, под коэффициентом концентрации напряжений  $K$  в точках  $A$  и  $B$  (рис.1) предлагается понимать

$$K_{\sigma} = \sigma^* / \sigma \text{ или } K_{\tau} = \tau^* / \tau, \quad (1)$$

где  $\sigma$  и  $\tau$  – нормальные и касательные напряжения, полученные методами сопротивления материалов для точек  $A$  и  $B$  (без учета деформативности основания);  $\sigma^*$  и  $\tau^*$  – нормальные и касательные напряжения, полученные методами теории упругости (т.е. с учетом деформативности основания).

Таким образом, при оперативной оценке состояния плотины, вычислив величины  $\sigma$  или  $\tau$  простейшими методами сопротивления материалов и определив коэффициенты концентрации  $K_{\sigma}$  или  $K_{\tau}$  по приближенной (эмпирической) формуле можно определить величины  $\sigma^*$  и  $\tau^*$ .

Результаты исследований:

1. Сравнение величины коэффициентов концентрации для напряжений  $\sigma_y$  на поверхности контакта плотины с основанием в нижнем бьефе при  $0,35 \leq E_{пл}/E_{осн} \leq 40$ .

Сравнение выполнялось с результатами модельных исследований [1], с результатами расчетов по формуле д.т.н. Г.М. Каганова [2] и с рекомендациями СН 123-60 (последние широко использовались при проектировании ряда крупнейших плотин СССР)<sup>1</sup>.

Рассматривая коэффициент концентрации  $K_{\sigma}$  для напряжений  $\sigma_y$  на контакте «плотина-основание» в нижнем бьефе (точка  $B$ , рис. 1), имеем в соответствии с формулой (1)

$$K_{\sigma} = \sigma_y^* / \sigma_y, \quad (2)$$

где  $\sigma_y^*$  – нормальные напряжения, полученные по результатам расчетов МКЭ;  $\sigma_y$  – нормальные напряжения по результатам расчетов методами сопротивления материалов.

Результаты исследований представлены на рис. 4, рис. 5 и в табл. 1. Следует отметить достаточную близость полученных результатов с результатами модельных исследований и по формуле Г.М. Каганова для граничных условий  $1,0 \leq E_{пл}/E_{осн} \leq 5,2$

$$K_{\sigma} = 1,6 + 0,8 \cdot \lg E_{пл}/E_{осн}. \quad (3)$$

Расхождение с последней показывает 0,5...12,5%; расхождение с результатами модельных исследований составляет 0,5...13,5%; значительное расхождение имеет место при использовании рекомендаций СН 123-60 для  $E_{пл}/E_{осн} = 0,5$ ; 1,0 и 2,0 соответственно 36%; 44% и 40%. При  $E_{пл}/E_{осн} = 0,35$  имеет место расхождение результатов авторов с результатами МИСИ-МГСУ и полученными по формуле Г.М. Каганова до 30% (табл.1). Представляется, что для данной зоны  $E_{пл}/E_{осн}$  коэффициент концентрации напряжений  $K_{\sigma}$  следует определять по графику, представленному на рис. 4, полученному по результатам проведенных исследований, или в дальнейшем уточнить формулу Г.М. Каганова для диапазона  $0,35 \leq E_{пл}/E_{осн} \leq 5,2$ .

<sup>1</sup> Документ СН 123-60 — Нормы и технические условия проектирования бетонных гравитационных плотин на скальных основаниях были впоследствии заменены на СНиП II-54-77 — Плотины бетонные и железобетонные, на замену которому были приняты СНиП 2.06.06-85 — Плотины бетонные и железобетонные.

В настоящее время действует СП 40.13330.2012 Плотины бетонные и железобетонные. Актуализированная редакция СНиП 2.06.06-85

В электроэнергетике действует стандарт СТО 70238424.27.140.002-2010 "Гидротехнические сооружения ГЭС и ГАЭС. Условия создания. Нормы и требования"

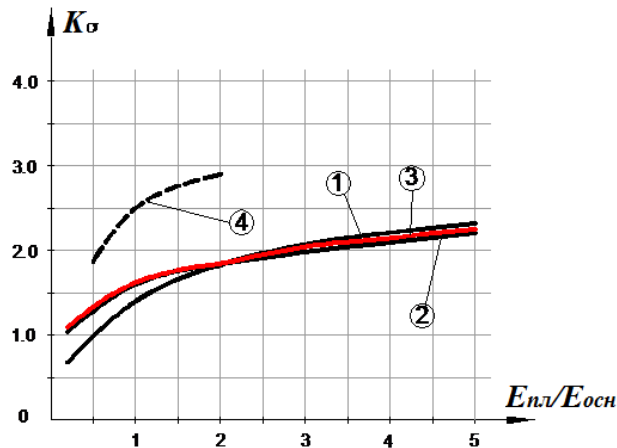


Рис. 4. Величина коэффициента концентрации для напряжений  $\sigma_y$  на контакте плотина-основание в нижнем бьефе при  $0,35 \leq E_{пл}/E_{осн} \leq 5,2$ . 1 – по результатам исследований; 2 – по формуле Г.М. Каганова [2]; 3- модельные исследования МИСИ-МГСУ [1]; 4 – СН 123-60.

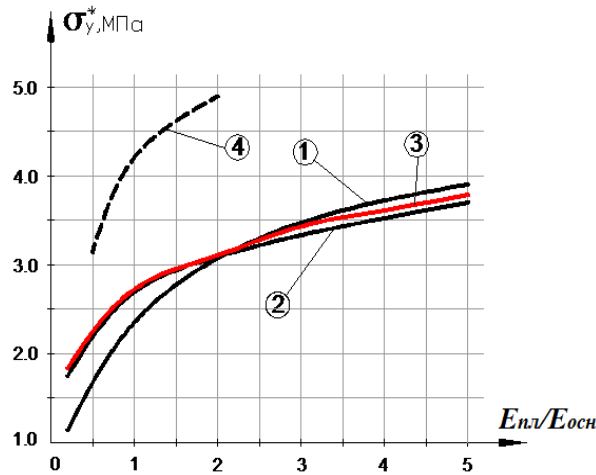


Рис. 5. Напряжения  $\sigma_y^* = K_\sigma \cdot \sigma$  в зависимости от соотношений  $E_{пл}/E_{осн}$ , 1 – по результатам исследований; 2 – по формуле Г.М. Каганова [2]. 3- модельные исследования МИСИ-МГСУ [1]; 4 – СН 123-60.

Таблица 1. Сравнение коэффициентов концентрации напряжений для  $\sigma_y$  на контакте «плотина-основание» в нижнем бьефе (точка Б).

$E_{пл}/E_{осн}$	По результатам исследований					
	$\sigma_y^{(1)}$	Авторов	Г.М. Каганова [2]		МИСИ-МГСУ [1]	
		Для диапазона $0,35 \leq E_{пл}/E_{осн} \leq 5,2$				
		$K$	$K$	Расхождение $\Delta K \%$	$K$	Расхождение $\Delta K \%$
0,35	1,68	0,86	1,24	30,6	1,22	29,5
1		1,40	1,60	12,5	1,62	13,5
2		1,83	1,84	0,5	1,85	0,5
3		2,07	1,98	4,3	2,04	1,45
4		2,21	2,08	5,9	2,15	2,7
5		2,32	2,20	5,17	2,25	3,0

Для расширенного диапазона $0,35 \leq E_{нл}/E_{осн} \leq 40$					
0,35	1,68	0,86	1,24	30,6	29,5
10		2,61	2,40	8,0	—
15		2,74	2,54	7,3	—
20		2,83	2,64	6,7	—
40		3,00	2,88	4,0	—

Примечание: 1 – величина  $\sigma_y$  в точке *Б* (рис. 1), полученная методом сопротивления материалов

2. Сравнение величины коэффициентов концентрации для напряжений  $\sigma_y$  на контакте системы «плотина-основание» в нижнем бьефе (точка *Б*, рис. 1) при расширении диапазона соотношения их модулей упругости  $E_{нл}/E_{осн}$  до 40

В задачу этой части исследований входила проверка возможности использования для оперативных экспертных оценок величины  $K_\sigma$  по формуле Каганова Г.М. (3) при расширенном диапазоне соотношения  $E_{нл}/E_{осн}$  до 40 (формула была получена ранее для  $0,35 \leq E_{нл}/E_{осн} \leq 5,2$ ). Результаты исследований также представлены на рис.6, рис.7 и в табл. 1.

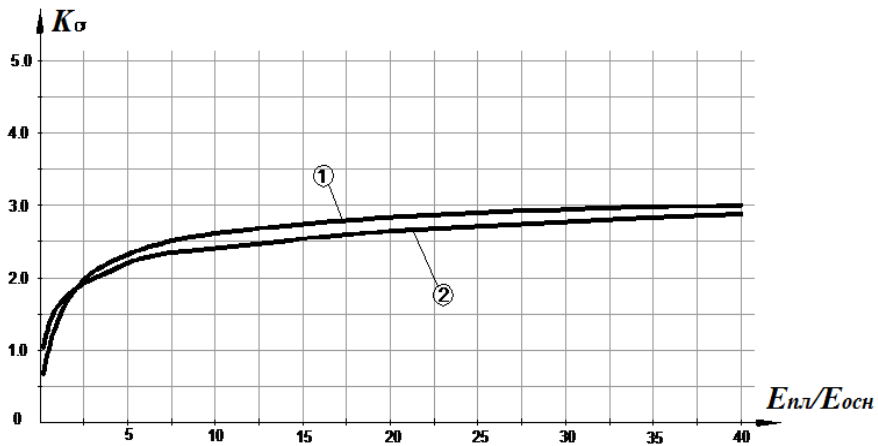


Рис. 6. Величина коэффициента концентрации для напряжений  $\sigma_y$  на контакте плотина-основание в нижнем бьефе при расширенном диапазоне соотношений модулей упругости  $E_{нл}/E_{осн}$  до 40.

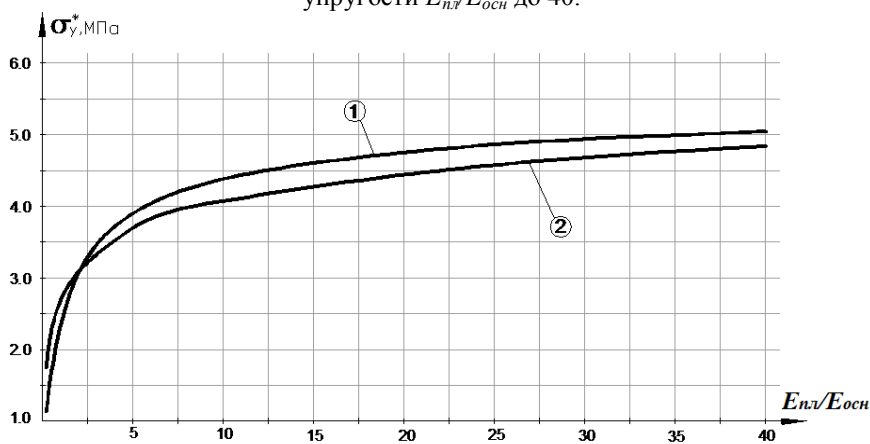


Рис. 7. Напряжения  $\sigma_y^* = K_\sigma \cdot \sigma$  в зависимости от соотношений  $E_{нл}/E_{осн}$   
1 – по результатам исследований; 2 – по формуле Г.М. Каганова [2].

Проведенные расчетные исследования позволяют отметить достаточно близкое совпадение результатов расчетов с расчетами, выполненными при су-

шественно расширенном диапазоне  $E_{пл}/E_{осн}$  по указанной формуле, которая справедлива в диапазоне  $1,0 \leq E_{пл}/E_{осн} \leq 40$  (расхождения составляют 0,5-12,5%).

3. Оценка влияния соотношения модулей упругости системы «плотина-основание» на возможные осадки и перемещения соседних секций плотины, расположенных на основаниях, модули упругости которых различны.

Случаи такого рода расположения секций возможны (рис. 2) При этом величина осадок и перемещений каждой секции могут различаться, что может привести непосредственно к разрушению самих уплотнений (выполняемых из металла, полимеров и т.п.) на верховой грани или к разрушению бетона на контакте «уплотнение-бетон». Различие модулей упругости под соседними секциями может быть связано с геологическими особенностями створа, с недостатками изысканий (когда при вскрытии котлована модуль упругости основания в отдельных местах оказывается значительно меньше, чем предполагалось ранее); эти вопросы приобретают особую остроту при возможном разрыве во времени, имевшем место при возведении соседних секций. Последнее имело, например, место при строительстве плотины Андижанского гидроузла, предназначенного в основном для ирригации, что потребовало проведения специальных исследований для проверки прочности уплотнений при значительных различиях осадок секций относительно друг друга [3]. Аналогичные проблемы возникают и на зарубежных гидроузлах [8].

В рамках решения этой задачи требуется определить величины осадок  $U_y$  и перемещений  $U_x$  плотины при различных соотношениях модулей упругости плотины и основания ( $E_{пл}/E_{осн}$ ). Такие расчеты были выполнены в настоящей работе для расширенного диапазона соотношений  $0,35 \leq E_{пл}/E_{осн} \leq 40$ .

Были выполнены расчеты абсолютных значений величин  $U_y$  и  $U_x$  гребня плотины, а по ним определены величины относительных значений вертикальных осадок  $U_y/h_{пл}$  и относительных горизонтальных перемещений  $U_x/h_{пл}$ , (смотри рис.8, рис.9). Для секций плотин иной высоты ( $h_{пл}^*$ ), чем была принята в расчетах, профиль которых геометрически подобен исследованному, величина абсолютных величин осадок  $U_y^*$  и перемещений  $U_x^*$  может для экспертных оценок приниматься по формулам:

$$U_y^* = (U_y/h_{пл}) \cdot h_{пл}^*; U_x^* = (U_x/h_{пл}) \cdot h_{пл}^* \quad (4)$$

где  $U_y/h_{пл}$  и  $U_x/h_{пл}$  принимаются по графикам рис.8 и рис.9

Задавая полученные величины деформаций, представляется возможным оценить прочность уплотнений и характер их возможного разрушения на укрупненных фрагментах секций, как это описано в [6].

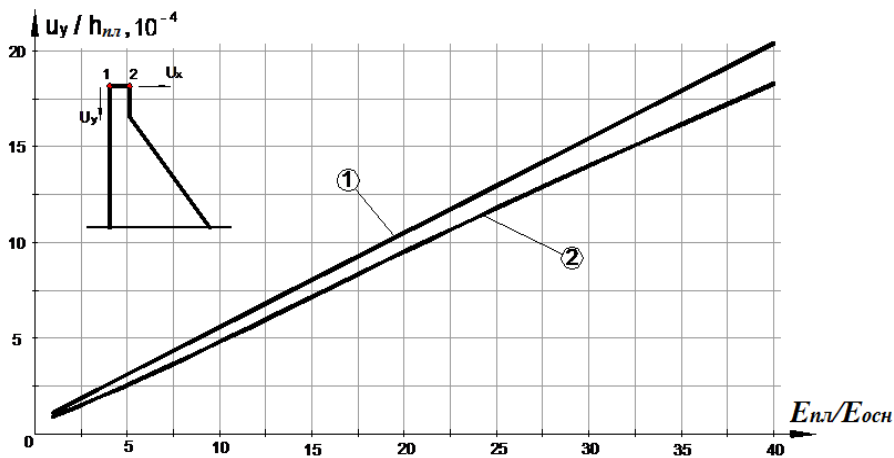


Рис. 8. Величина относительных вертикальных осадков гребня плотины (точка 1) в зависимости от  $E_{пл}/E_{осн}$ .



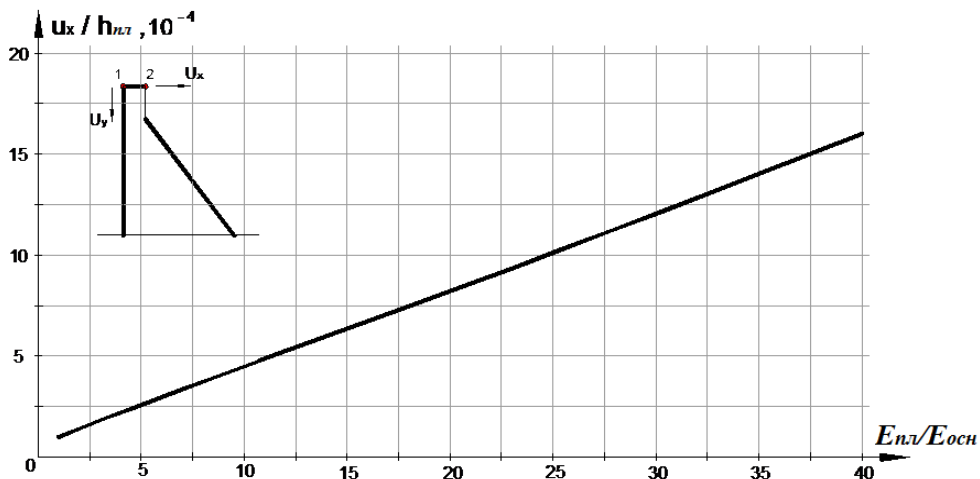


Рис. 9. Величина относительных горизонтальных перемещений гребня плотины (точка 1) в зависимости от  $E_{пл}/E_{осн}$ .

**Выводы:**

На основании анализа литературных источников и результатов проведенных расчетов можно сделать следующие выводы:

1. Актуальной является задача определения коэффициентов концентрации напряжений на контакте «плотина-основание» (зависящих от соотношений их модулей упругости) для осуществления оперативной экспертной оценки напряженно-деформированного состояния плотины в опасных точках, что, в ряде случаев, оказывается необходимым в практике гидротехнического строительства; актуальной признана также необходимость выполнения поверочных расчетов величин коэффициентов концентрации напряжений с использованием современных программных комплексов и сравнения их с результатами СН 123-60 (использовавшихся ранее при проектировании ряда плотин в советское время, а также ныне действующего СП 40.13330.2012 «Плотины бетонные и железобетонные. Актуализированная редакция СНиП 2.06.06-85»), с результатами более поздних модельных исследований, а также расчетов выполненных по формуле (3).

2. Проведенные исследования для  $1,0 \leq E_{пл}/E_{осн} \leq 5,2$  показали достаточную близость полученных величин коэффициентов концентрации  $K_\sigma$  для напряжений  $\sigma_y$  на контакте «плотина-основание» в нижнем бьефе с результатами модельных исследований МИСИ-МГСУ (расхождения составляют 0,5%...13,5%) и с формулой Г.М. Каганова (расхождения составляют 0,5%...12,5%)

3. Выполненные для расширенного диапазона соотношения модулей упругости системы «плотина-основание»  $1,0 \leq E_{пл}/E_{осн} \leq 40$  расчетные исследования также показали достаточную близость полученных коэффициентов концентраций  $K_\sigma$  для напряжений  $\sigma_y$  на контакте «плотина-основание» в нижнем бьефе с формулой Г.М. Каганова (расхождение составляет 0,5%...12,5%), которая может быть рекомендована для оперативных экспертных оценок в указанном диапазоне.

4. Выполненные исследования позволяют отметить значительные расхождения величин  $K_\sigma$  (порядка 30%) при  $E_{пл}/E_{осн} = 0,35$  с результатами модельных исследований и расчетами по формуле (3); в этом диапазоне можно пользоваться соответствующим графиком, представленным в настоящей работе. Существенные различия (до 30-40%) имеют место при сравнении результатов проведенных исследований с данными, полученными по методике СН 123-60.

5. Сформулированы предложения и в результате их реализации получены зависимости, которые позволяют приближенно оценивать разницу осадок и смещений соседних секций, возведенных на основаниях с различными деформативными свойствами в диапазоне  $0,2 \leq E_{пл}/E_{осн} \leq 40$ , что позволяет оперативно экспертно оценивать опасность разрушения уплотнений между секциями.

6. В дальнейшем следует выполнить расчетные исследования, на основании результатов которых будут получены коэффициенты концентрации для нормальных, касательных и главных напряжений на контакте низовой и верховой граней с основанием при различных заложениях верховой и низовой граней. При этом следует дополнить состав нагрузок и воздействий, в том числе фильтрационным и взвешивающим давлением.

#### Л и т е р а т у р а

1. Гришин М.М., Розанов Н. П., Белый Л. Д.. Бетонные плотины (на скальных основаниях). – Учеб. пособие для вузов. – М.: Стройиздат, 1975. – 352 с.
2. Розанов Н.П., Бочкарев Я.В., Лапшенков В.С., Каганов Г.М., Румянцев И.С. Гидротехнические сооружения. – М.: Агропромиздат, 1985. – 432 с., ил.
3. Розанов Н.П., Каганов Г.М., Бахтин Б.М. и др. К вопросу работы металлических уплотнений межсекционных швов бетонных плотин при неравномерных осадках секций// Известия высших учебных заведений. Строительство и архитектура. – 1988. - № 8 (Новосибирск).
4. Волынчиков А.Н., Воробьев А.Л., Гребеничиков В.П., Рубин О.Д., Лисичкин С.Е. Особенности состояния бетонных сооружений Богучанской ГЭС// Гидротехническое строительство. – 2007. - №11. – С. 26-30.
5. Лисичкин С.Е., Рубин О.Д. Исследование физико-механических свойств скального основания бетонных сооружений Богучанской ГЭС на основе математических моделей «строящееся бетонное сооружение - скальное основание» // Материалы Международной научно-практической конференции «Роль мелиорации и водного хозяйства в реализации национальных проектов». Часть II, 2008. – С. 145-148.
6. Представительство CAD – FEM GmbH. Решение контактных задач в ANSYS6.1. – М.: CADFEM, 2003. – 138 с.
7. Саинов М.П. Полуэмпирическая формула для оценки осадок однородных грунтовых плотин// Приволжский научный журнал. – 2014. – № 43. – С. 108-115
8. YU Zhenzhen, WANG Dong, SHEN Dingbin, HUANG Huibao, HU Mingxiu. Analysis on abnormality of horizontal displacement law of No.24 dam section of Tongjiezi Hydropower Station// Water Resources and Hydropower Engineering. – 2013. – Vol.44, №11. – С. 98-100.

#### R e f e r e n c e s

1. Grishin, M.M., Rozanov, N.P., Belyi, L.D. (1975). *Concrete Dams (on Rocky Grounds)*, The manual for the highest schools, Moscow: Stroyizdat, 352 p.
2. Rozanov, N.P., Bochkarev, Y.V., Lapshenkov, V.S., Kaganov, G.M., Rumyantsev, I.S. (1985). *Hydrotechnicheskie Sooruzheniya*; Ed. by N. Rozanov, Moscow: Agro-Promizdat, 432 p.
3. Rozanov, N.P., Kaganov, G.M., Bakhtin, B.M. et al. (1988). On the question of working metal seals intersectional joints of concrete dams in the differential settlement sections, *Izvestiya Vysshih Uchebnyh Zavedeniy. Stroitel'stvo i Arhitektura*, № 8, Novosibirsk.
4. Volynchikov, A.N., Vorob'ev, A.L., Grebenshchikov, V.P., Rubin, O.D., Lisichkin, S.E. (2007). Osobennosti sostoyaniya betonnyh sooruzhenij Boguchanskoj GEHS, *Gidro-Tekhnicheskoe Stroitel'stvo*, №11, p. 26-30.
5. Lisichkin, S.E., Rubin, O.D. (2008). Issledovanie fiziko-mekhanicheskikh svojstv skal'nogo osnovaniya betonnyh sooruzhenij Boguchanskoj GEHS na osnove matematicheskikh modelej «stroyashcheesya betonnoe sooruzhenie - skal'noe osnovanie», *Materialy mezhd. nauchno-prakt. konf. «Rol' melioracii i vodnogo hozyajstva v realizacii nacional'nyh projektov»*, Chast' II, pp. 145-148.
6. Representation of CAD - FEM GmbH. Solution of contact problems in ANSYS6.1, Moscow: CADFEM, 2003. – 138 c.
7. Sainov, M.P. (2014). Semi empirical formula to estimation of vertical displacements of homogeneous earth dam, *Privolzhskii nauchnyi zhurnal*, № 43, p.108-115.
8. YU Zhenzhen, WANG Dong, SHEN Dingbin, HUANG Huibao, HU Mingxiu. (2013). Analysis on abnormality of horizontal displacement law of No 24 dam section of Tongjiezi Hydropower Station, *Water Resources and Hydropower Engineering*, Vol. 44, № 11, pp. 98-100.

**THE EFFECT OF THE RATIO OF THE ELASTIC MODULES OF THE "GRAVITY CONCRETE DAM - FOUNDATION" SYSTEM UPON STRESS CONCENTRATION IN THE CONTACT ZONE, AND DISPLACEMENTS OF ADJACENT DAM SECTIONS**

Volkov V.I., Golyshev A.I., Uchevatkin A.A., Dmitriev D.S.

The effect of the ratio of the elastic module of the "gravity concrete dam - foundation" upon stress concentrations occurring in the contact zone, and displacement on adjacent sections are considered by means of modern CAD FEM software package.

**Keywords:** safety of concrete dams, stress concentration, vertical and horizontal displacement of dam, FEM.

