

в опытах. При этом превышение расчетных значений над опытными составляет для случая с зерном и мелким песком 1,8 и 3,1 %, а для среднезернистого и люберецкого песка – 5,7 %, что свидетельствует о достаточной точности формулы.

Формула (4), в основе которой лежит эпюра давления заполнителя на основании параболической формы, равнозначна формуле Г. А. Гениева, учитывает пространственный характер распределения нагрузок от веса заполнителя в ячейках как квадратной, так и круглой формы в плане.

Обобщены данные для коэффициента  $k$ , полученные в опытах в условиях шероховатых стен:

для люберецкого песка ( $D_{cp} = 0,22$  мм)  $k = 0,25$  (по Шаркову);

для мелкого и среднего песка  $k = 0,235...0,23$  (по Пиперу);

для сухого речного песка  $k = 0,192...0,217$  (по Латышенкову);

для песков  $k = 0,13...0,26$  (опыты Вятских с ряжами 1,87×1,87 м) [8].

1. Подпорные стены, судоходные шлюзы рыбозащитные и рыбопропускные сооружения: СНИП 2.06.07.87 / Госстрой. – М.: ЦИТП Госстроя, 1989. – 40 с.

2. Гениев Г. А. Вопросы динамики сыпучей среды. – М.: НИИ строительных конструкций 1958. – 122 с.

3. Шарков В. П. О максимальном давлении грунтового заполнителя на стенку

ячеистой конструкции в процессе его осадок при глубинном виброуплотнении / Роль мелиорации в обеспечении продовольственной и экологической безопасности России: материалы Международной научно-практической конференции. – М.: ФГОУ ВПО МГУП, 2009. – Ч. 2. – С. 135–141.

4. Шарков В. П. О резерве устойчивости ячеистых сооружений на скальном основании // Гидротехническое строительство. – 2001. – № 2. – С. 20–24.

5. Латышенков А. М. Лабораторные исследования давления загрузки в ряжах // Гидротехническое строительство. – 1938. – № 5. – С. 7–10.

6. Пипер К. Исследование силосных нагрузок на моделях / Конструирование и технология машиностроения: Труды Американского общества инженеров-механиков. – 1969. – № 2. – С. 80–86.

7. Ianssen H. A. Versuche in Silozelle // V.D.I. – 1895. – № 35. – P. 1027–1044.

8. Вятских Н. М. Опытная проверка предположений расчета высоких ряжей как силосов // Известия НИИГ. – 1934. – Т. 12. – С. 70–91.

Материал поступил в редакцию 31.05.13.

**Бахтин Бронислав Михайлович**, доктор технических наук, профессор кафедры «Гидротехнические сооружения»  
Тел. 8 (499) 976-24-60

**Шарков Вячеслав Петрович**, кандидат технических наук, доцент  
Тел. 8-926-538-40-83

УДК 502/504:627.838:532.5

**М. Ю. СИВАК**

Федеральное государственное бюджетное образовательное учреждение высшего профессионального образования «Московский государственный университет природообустройства»

## ВЛИЯНИЕ СТЕПЕНИ ЗАТОПЛЕНИЯ ГИДРАВЛИЧЕСКОГО ПРЫЖКА НА МЕСТНЫЙ РАЗМЫВ ЗА КОНУСНЫМ ЗАТВОРОМ

*Рассмотрены актуальные задачи применения гасителей энергии в нижнем бьефе водопропускных сооружений, оборудованных конусными затворами.*

*Конусные затворы, гаситель энергии, местный размыв, затопление гидравлического прыжка.*

*There are considered urgent problems of using dissipaters in downstream culverts equipped with cone valves.*

*Cone valves, dissipater, erosion, hydraulic jump flooding.*

На основе проведенных лабораторных исследований разработаны зависимости и даны рекомендации, позволяющие на практике с достаточной достоверностью определить главные параметры воронки размыва для рассмотренных типов гасителей энергии. Результаты исследований могут быть использованы для галечникового русла.

В процессе работы была применена современная методика измерений и приборы, достаточная точность которых подтверждена многочисленными гидравлическими исследованиями, проводившимися ранее. Полученные в работе результаты согласуются с экспериментальными данными, полученными другими авторами.

Комплексное изучение влияния различных типов гасителей на размыв за конусным затвором проводилось на стенде для исследования конусных затворов и нижнего бьефа в лаборатории водопропускных сооружений кафедры гидротехнических сооружений ФГБОУ ВПО МГУП. Модель конусного затвора изготовлена из металла в масштабе 22,5. Изучение влияние глубины воды в нижнем бьефе за конусным затвором осуществлялось при пяти его открытиях ( $S = 100; 80; 60; 40$  и  $20\%$ ) для трех рассмотренных типов гасителей энергии (рис. 1). В опытах ряд гасителей располагался непосредственно за сжатым сечением. Размыв исследовали при глубинах воды в нижнем бьефе  $h_{нб}$ , которые приводили к натурным условиям:  $h_{нб} = 3,6; 4,5; 5,4$  и  $6,3$  м. Это соответствовало затоплению гидравлического прыжка:  $3,26; 4,08; 4,9$  и  $5,71$ .

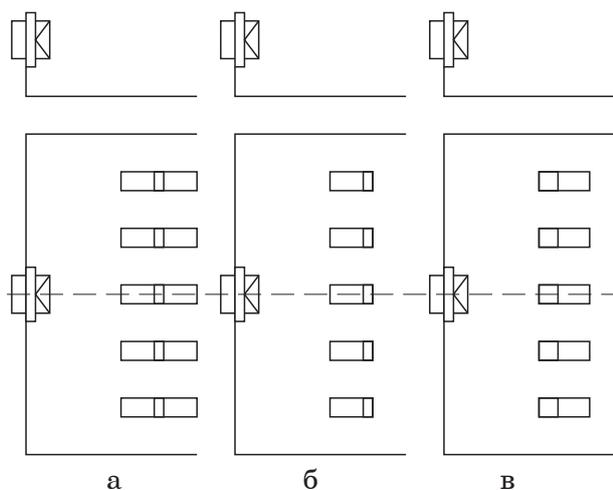


Рис. 1. Конструктивные схемы гасителей энергии: а – тип 1 – трапецидальный гаситель энергии; б – тип 2 – гаситель энергии с наклонной передней гранью; в – тип 3 – гаситель энергии с вертикальной передней гранью

Результаты приведены в таблице. Анализируя их, можно заметить, что глубины размывов в нижнем бьефе уменьшаются в зависимости от типа гасителя. Так, при глубине нижнего бьефа  $3,6$  м (для натуре) и полном открытии затвора, которое является определяющим, значение  $H_p/h_1$  составляет  $7,39; 7,34$  и  $7,21$  соответственно для 1, 2 и 3-го типа гасителей, наименьшие значения относятся к третьему типу гасителя. Аналогичные явления наблюдаются и при других глубинах нижнего бьефа ( $h_{нб} = 4,5; 5,4$  и  $6,3$  м).

На основании полученных результатов предложены обобщенные зависимости влияния глубины воды в нижнем бьефе (затопления гидравлического прыжка) на расстояния до центра воронки размыва  $L_{цв}$  в зависимости от открытия затвора и типа установленного гасителя энергии. Для всех этих зависимостей осуществлены аппроксимации, что позволяет определяемые величины снимать с графиков или находить по указанным формулам [3].

Анализируя зависимости, следует отметить влияние типа гасителя энергии, установленного на водобое, на расстояние до центра воронки размыва (это важно при расчете концевых частей нижнего бьефа, оборудованных конусными затворами). Так, при открытиях затвора  $S = 20\%$  и  $S = 40\%$  для 3-го типа гасителя энергии по сравнению с 1-м типом названное расстояние уменьшается почти в  $1,5$  раза в зависимости от отношения  $h_2/h_{нб}$ . Поэтому при назначении глубины заложения зуба в конце рисбермы необходимо учитывать этот фактор.

Автором представлены обобщенные зависимости влияния типа гасителя энергии и глубины воды в нижнем бьефе (затопление гидравлического прыжка) на глубину размыва в зависимости от открытия затвора. Эти кривые аппроксимированы.

С увеличением глубины воды в нижнем бьефе увеличивается отношение  $H_p/h_1$ , т. е. возрастает глубина воды в воронке размыва, а абсолютные глубины размыва  $h_p$  уменьшаются. Особое влияние на этот процесс оказывает тип гасителя энергии, что необходимо учитывать при проектировании таких сооружений. Глубина воды в нижнем бьефе существенно влияет на относительную глубину размыва. Так, например, при открытии затвора  $S = 20\%$  при  $h_2/h_{нб} = 0,237$  величина  $H_p/h_1$  равняется  $19,79$  (для 3-го типа гасителя энергии), а при  $h_2/h_{нб} = 0,135$  отношение  $H_p/h_1$  равняется  $32,99$ , т. е. происходит увеличение воды в воронке размыва примерно в  $1,7$  раза.

Результаты исследований местного размыва при разных открытиях затвора для рассмотренных типов гасителей энергии

Тип гасителя	S, %	Q <sub>н</sub> , м <sup>3</sup> /с	h <sub>кр</sub> , м	h <sub>1</sub> , м	h <sub>2</sub> , м	H <sub>п</sub> , м	H <sub>п</sub> /h <sub>1</sub>	L <sub>ц.в.</sub> , м	h <sub>2</sub> /h <sub>нб</sub>	h <sub>нб</sub> /h <sub>кр</sub>
h <sub>нб</sub> = 3,6 м										
Тип 1	20	19,93	0,52	0,19	0,97	3,92	20,63	5,67	0,269	6,95
	40	27,14	0,63	0,35	0,94	4,00	11,43	8,61	0,261	5,71
	60	34,82	0,74	0,56	0,88	4,03	7,20	11,0	0,244	4,84
	80	36,02	0,76	0,61	0,85	4,05	6,64	12,5	0,236	4,71
	100	36,26	0,77	0,56	0,93	4,14	7,39	12,9	0,258	4,67
Тип 2	20	19,93	0,52	0,19	0,92	3,85	20,26	4,73	0,255	6,95
	40	27,14	0,63	0,35	0,90	3,98	11,37	7,65	0,250	5,71
	60	34,82	0,74	0,56	0,85	4,01	7,16	9,82	0,236	4,84
	80	36,02	0,76	0,61	0,82	4,03	6,61	11,40	0,227	4,71
	100	36,26	0,77	0,56	0,91	4,11	7,34	11,93	0,252	4,67
Тип 3	20	19,93	0,52	0,19	0,85	3,84	19,79	3,76	0,237	6,95
	40	27,14	0,63	0,35	0,84	3,93	11,13	6,77	0,235	5,71
	60	34,82	0,74	0,56	0,81	3,94	7,00	9,12	0,226	4,84
	80	36,02	0,76	0,61	0,77	3,99	6,56	10,88	0,215	4,71
	100	36,26	0,77	0,56	0,89	4,06	7,21	11,05	0,247	4,67
h <sub>нб</sub> = 4,5 м										
Тип 1	20	19,93	0,52	0,19	0,97	4,77	25,11	4,99	0,215	8,69
	40	27,14	0,63	0,35	0,94	4,84	13,83	7,89	0,208	7,14
	60	34,82	0,74	0,56	0,88	4,86	8,68	9,52	0,195	6,06
	80	36,02	0,76	0,61	0,85	4,90	8,03	11,17	0,188	5,88
	100	36,26	0,77	0,56	0,93	4,97	8,88	11,43	0,206	5,84
Тип 2	20	19,93	0,52	0,19	0,92	4,72	24,84	4,16	0,204	8,69
	40	27,14	0,63	0,35	0,90	4,83	13,80	7,00	0,200	7,14
	60	34,82	0,74	0,56	0,85	4,85	8,66	8,49	0,188	6,06
	80	36,02	0,76	0,61	0,82	4,89	8,02	10,20	0,182	5,88
	100	36,26	0,77	0,56	0,91	4,94	8,82	10,65	0,202	5,84
Тип 3	20	19,93	0,52	0,19	0,85	4,70	24,23	3,31	0,190	8,69
	40	27,14	0,63	0,35	0,84	4,79	13,57	6,21	0,188	7,14
	60	34,82	0,74	0,56	0,81	4,80	8,526	8,20	0,181	6,06
	80	36,02	0,76	0,61	0,77	4,86	7,99	9,57	0,172	5,88
	100	36,26	0,77	0,56	0,89	4,90	8,703	9,81	0,198	5,84
h <sub>нб</sub> = 5,4 м										
Тип 1	20	19,93	0,52	0,19	0,97	5,63	29,63	4,45	0,179	10,42
	40	27,14	0,63	0,35	0,94	5,69	16,26	7,34	0,174	8,57
	60	34,82	0,74	0,56	0,88	5,72	10,21	8,66	0,162	7,27
	80	36,02	0,76	0,61	0,85	5,75	9,43	9,82	0,157	7,06
	100	36,26	0,77	0,56	0,93	5,78	10,32	10,50	0,172	7,01
Тип 2	20	19,93	0,52	0,19	0,92	5,58	29,37	3,71	0,170	10,42
	40	27,14	0,63	0,35	0,90	5,68	16,23	6,50	0,166	8,57
	60	34,82	0,74	0,56	0,85	5,70	10,18	7,72	0,157	7,27
	80	36,02	0,76	0,61	0,82	5,73	9,39	9,12	0,151	7,06
	100	36,26	0,77	0,56	0,91	5,76	10,29	9,72	0,168	7,01
Тип 3	20	19,93	0,52	0,19	0,85	5,56	28,66	2,96	0,158	10,42
	40	27,14	0,63	0,35	0,84	5,65	16,01	5,88	0,157	8,57
	60	34,82	0,74	0,56	0,81	5,66	10,05	7,51	0,151	7,27
	80	36,02	0,76	0,61	0,77	5,72	9,41	8,79	0,143	7,06
	100	36,26	0,77	0,56	0,89	5,75	10,21	8,88	0,165	7,01
h <sub>нб</sub> = 6,3 м										
Тип 1	20	19,93	0,52	0,19	0,97	6,44	33,89	4,11	0,153	12,16
	40	27,14	0,63	0,35	0,94	6,55	18,71	7,00	0,149	10,00
	60	34,82	0,74	0,56	0,88	6,60	11,79	8,04	0,139	8,48
	80	36,02	0,76	0,61	0,85	6,62	10,85	8,97	0,134	8,24
	100	36,26	0,77	0,56	0,93	6,64	11,86	9,58	0,147	8,18
Тип 2	20	19,93	0,52	0,19	0,92	6,42	33,78	3,43	0,146	12,16
	40	27,14	0,63	0,35	0,90	6,52	18,63	6,20	0,142	10,00
	60	34,82	0,74	0,56	0,85	6,58	11,75	7,36	0,134	8,48
	80	36,02	0,76	0,61	0,82	6,60	10,82	8,80	0,130	8,24
	100	36,26	0,77	0,56	0,91	6,62	11,82	8,92	0,144	8,18
Тип 3	20	19,93	0,52	0,19	0,85	6,40	32,99	2,76	0,135	12,16
	40	27,14	0,63	0,35	0,84	6,50	18,41	5,58	0,134	10,00
	60	34,82	0,74	0,56	0,81	6,51	11,56	6,90	0,129	8,48
	80	36,02	0,76	0,61	0,77	6,56	10,79	8,40	0,123	8,24
	100	36,26	0,77	0,56	0,89	6,60	11,72	8,45	0,141	8,18

Примечания: Q<sub>н</sub> – расход воды для природы, м<sup>3</sup>/с; h<sub>кр</sub> – критическая глубина, м; h<sub>1</sub>, h<sub>2</sub> – первая и вторая сопряженные глубины, м; H<sub>п</sub> – глубина воды в воронке размыва, м; L<sub>ц.в.</sub> – расстояние до центра воронки размыва.

Аналогичные явления проявляются и при других вариантах открытия. Величина  $H_p/h_1$  также увеличивается при  $S = 40; 60; 80$  и  $100 \%$ , т. е. происходит увеличение воды в воронке размыва в 1,65; 1,63; 1,62 и 1,6 раза.

Абсолютные величины местных размывов  $h_p$  в зависимости от глубины воды в ниж-

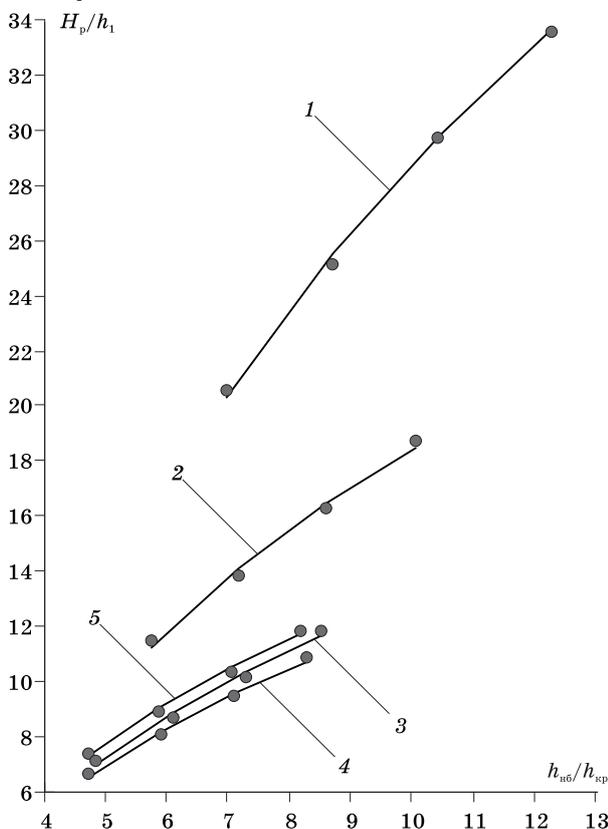


Рис. 2. Зависимости глубины воронки размыва от глубины потока в нижнем бьефе при разных открытиях конусного затвора для 1-го типа гасителей энергии:  
 $S = 20 \%$  :  $H_p/h_1 = 23,68 \ln(h_{нб}/h_{кр}) - 25,62$ ;  
 $S = 40 \%$  :  $H_p/h_1 = 12,93 \ln(h_{нб}/h_{кр}) - 11,31$ ;  
 $S = 60 \%$  :  $H_p/h_1 = 8,17 \ln(h_{нб}/h_{кр}) - 5,84$ ;  
 $S = 80 \%$  :  $H_p/h_1 = 7,49 \ln(h_{нб}/h_{кр}) - 5,09$ ;  
 $S = 100 \%$  :  $H_p/h_1 = 7,92 \ln(h_{нб}/h_{кр}) - 4,96$

Из графиков видно, что при всех открытиях затвора отношение  $H_p/h_1$  увеличивается в зависимости от отношения  $h_{нб}/h_{кр}$ , а именно от глубины потока воды в нижнем бьефе и установленного типа гасителя. Это хорошо коррелируется с вышеприведенными в этой главе зависимостями. Так, при открытии конусного затвора  $S = 20 \%$  для 3-го типа гасителя энергии отношение  $h_{нб}/h_{кр}$  колеблется от 6,95 до 12,16, отношение  $H_p/h_1$  увеличивается от 19,79 до 32,99. При полном открытии конусного затвора указанное отношение  $H_p/h_1$  увеличивается от 7,21 до 11,72.

Следует отметить наибольшее влияние

нем бьефе существенно уменьшаются. Так, например, для полного открытия конусного затвора это уменьшение составляет примерно 34 % для 3-го типа гасителя энергии и 37 % для 1-го типа гасителя.

На рисунках 2, 3 представлены зависимости  $H_p/h_1$  от отношения  $h_{нб}/h_{кр}$  при разных вариантах открытия конусного затвора.

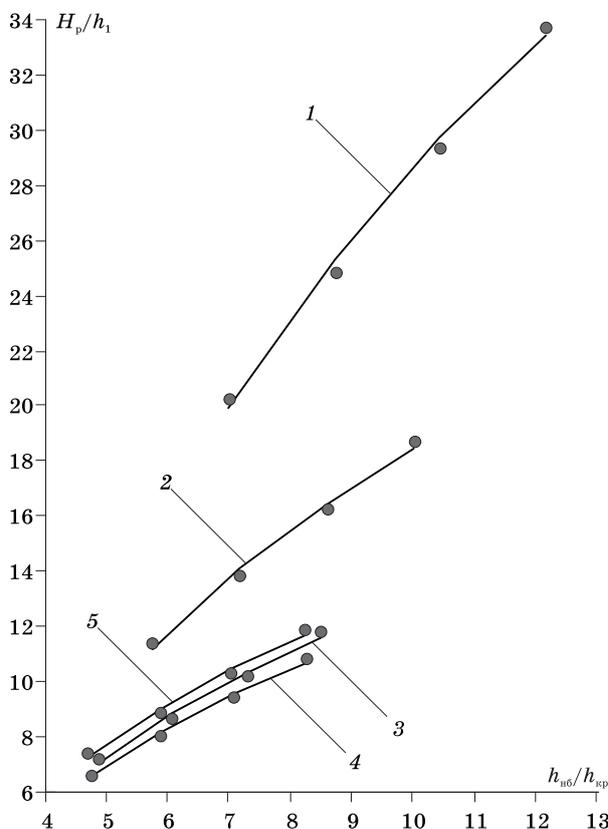


Рис. 3. Зависимости глубины воронки размыва от глубины потока в нижнем бьефе при разных открытиях конусного затвора для 2-го типа гасителей энергии:  
 $S = 20 \%$  :  $H_p/h_1 = 24,09 \ln(h_{нб}/h_{кр}) - 26,80$ ;  
 $S = 40 \%$  :  $H_p/h_1 = 12,90 \ln(h_{нб}/h_{кр}) - 11,31$ ;  
 $S = 60 \%$  :  $H_p/h_1 = 8,16 \ln(h_{нб}/h_{кр}) - 5,87$ ;  
 $S = 80 \%$  :  $H_p/h_1 = 7,47 \ln(h_{нб}/h_{кр}) - 5,09$ ;  
 $S = 100 \%$  :  $H_p/h_1 = 7,95 \ln(h_{нб}/h_{кр}) - 5,06$

3-го типа гасителя на уменьшение отношения  $H_p/h_1$  по сравнению с 1 и 2-м типами гасителей энергии. Кривая  $H_p/h_1 = f(h_{нб}/h_{кр})$  при полном открытии затвора находится в середине, т. е. после  $S = 40 \%$ , что объясняется увеличением коэффициента скорости конусного затвора  $\phi$  при полном открытии.

Конкретные глубины подтопления назначены с целью сравнения полученных результатов величины воронки размыва для рассмотренных типов гасителей энергии с результатами исследований, проводившимися ранее при применении струенаправляющих стенок, и могут быть связаны с каньоном нижнего бьефа.

**Выводы**

С увеличением глубины воды в нижнем бьефе абсолютное значение глубины размыва уменьшается для всех типов гасителей и струенаправляющих стенок, а расстояние до центра воронки размыва уменьшается.

При больших подтоплениях действие гасителей энергии с выбранными геометрическими параметрами и струенаправляющих стенок, изученных ранее, практически одинаковое. Так, значение  $H_p$  для  $S = 20\%$  при  $h_{нб} = 3,6$  м колеблется от 3,92 до 3,84 для гасителей; для струенаправляющих стенок – 3,87 (то же для  $S = 100\%$ : при  $h_{нб} = 3,6$  м – от 4,14 до 4,06 для гасителей; для струенаправляющих стенок – 4,2). Значения  $H_p$  для  $S = 20\%$  при  $h_{нб} = 6,3$  м составляют 6,44 как для гасителей, так и для струенаправляющих стенок (то же для  $S = 100\%$ :  $h_{нб} = 6,3$  м;  $H_p = 6,6$  м для всех рассмотренных устройств нижнего бьефа).

Предлагаемые зависимости позволяют проектировать более надежные конструкции в нижнем бьефе водопропускных сооружений, оборудованных конусными затворами.

1. Кавешников А. Т., Сивак М. Ю. Влияние различных типов гасителей на вторую сопряженную глубину при работе одним конусным затвором // Роль природообустройства в обеспечении устойчивости функционирования и развития экосистем: материалы Международной научно-практической конференции. – М.: МГУП, 2006. – Ч. 1. – С. 412–417.

2. Кавешников А. Т., Сивак М. Ю. Гашение энергии потока в нижнем бьефе водопропускных сооружений с конусными затворами // Гидротехническое строительство. – 2006. – №9. – С. 23–26.

3. Сивак М. Ю. Влияние гасителей энергии на сопряжение бьефов за водопропускными сооружениями с конусными затворами: дис. ... канд. техн. наук: 220.045.02. – М.: МГУП, 2007. – 169 с.

Материал поступил в редакцию 18.04.13.

*Сивак Мария Юрьевна, кандидат технических наук, доцент, зав. аспирантурой  
Тел. 8 (499) 153-84-60*

**В порядке обсуждения**

УДК 502/504:532.5

**А. Х. КАТЛИНЕ КОБЛЕВ, К. Н. МАКАРОВ**

Федеральное государственное бюджетное образовательное учреждение высшего профессионального образования  
Сочинский государственный университет

**НАКАТ ВОЛН НА БЕРЕГА И СООРУЖЕНИЯ С УЧЕТОМ ОСОБЕННОСТЕЙ РЕЛЬЕФА ПОДВОДНОГО БЕРЕГОВОГО СКЛОНА**

*Рассматривается накат волн на берега и берегозащитные сооружения в зонах подводных каньонов на примере побережья Имеретинской низменности в Адлерском районе города Сочи. Установлено, что накат волн на берег в зонах каньонов в 2 раза и более превышает накат на соседних участках, что не следует из нормативной методики. Предложена математическая модель наката волн на берега, учитывающая различия в уклонах подводной и надводной частей берегового склона, позволяющая получить параметры наката в зонах подводных каньонов, соответствующие данным наблюдений.*

*Накат волн на берег, обрушение волн, отражение волн, подводные каньоны, калибровка модели.*

*There is considered a wave setup on coasts and coast-protecting structures in the zones of underwater canyons by the example of the Imeretinskaya lowland coast in the Adler region of Sochi. It is established that wave setup on the coast in the zones of canyons exceeds the wave setup in the adjacent areas by twice or more which does not correspond to the normative method. There is proposed a mathematical model of wave setup which takes into consideration the differences in inclinations of underwater and above-water parts of the coast slope, allowing obtaining the wave setup parameters in the zones of underwater canyons corresponding to the observation data.*

*Wave setup, waves breaking, waves reflection, underwater canyons, model calibration.*

Нормативные документы рекомендуют рассчитывать высоту наката волн на береговые откосы и пляжи в предположе-

нии, что уклоны надводной и подводной их частей одинаковы [1, 2]. В ранее издававшихся нормативных документах по проек-