

О РАСПРЕДЕЛЕНИИ СКОРОСТЕЙ ВОЛНОВОГО ПОТОКА ПО ПРОФИЛЮ ДИНАМИЧЕСКОГО РАВНОВЕСИЯ

Левкевич В.Е.

Государственное научное учреждение «Институт экономики НАН Беларуси», г.Минск, Республика Беларусь, eco2014@tut.by

The results of the study of the distribution of the flow velocities of the wave in the coastal zone of dynamic equilibrium profile. The data of theoretical calculations and field measurements obtained for a number of reservoirs of Belarus.

Введение

При формировании профиля равновесия и в частности профиля динамического равновесия особую значимость приобретает характер распределения скоростей волнового потока по профилю и его влиянию на динамику и форму отмели. В настоящей работе показано распределение волновых скоростей полученных для береговой зоны водохранилищ Беларуси.

Основная часть

В соответствии с известной схемой развития ветрового волнения в прибрежной зоне водохранилищ, по соотношению глубин и высот волн выделяются следующие зоны волнения: I – зона глубокой воды, II – зона трансформации волны при подходе к берегу; III – зона обрушения; IV – зона наката волны на откос [1]. При разрушении волны наибольшие скорости волнового потока на откосе профиля равновесия возникают в точке В, соответствующей зоне опрокидывания волны (рисунки 1 - 2) [2-5].

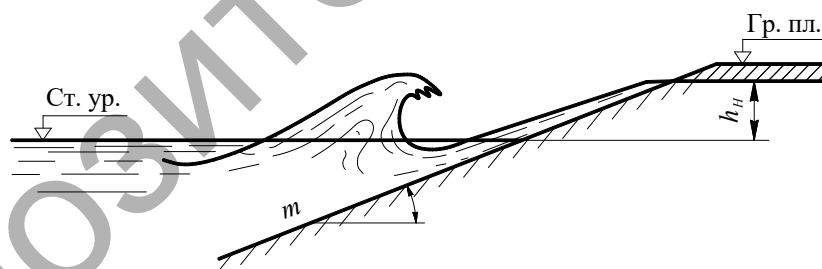


Рисунок 1 – Схема воздействия ветровой волны на откос

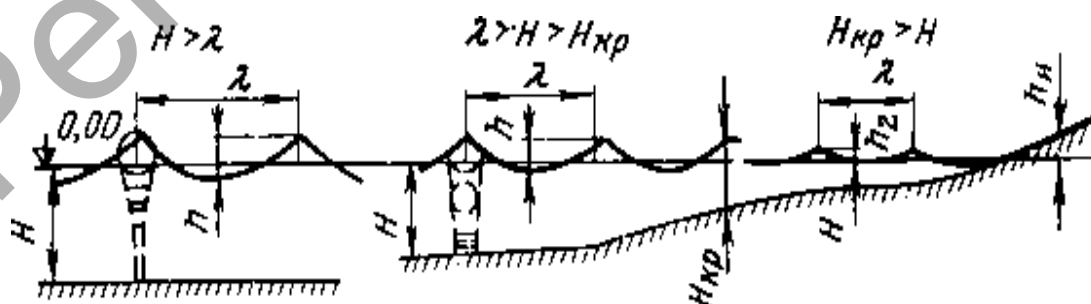
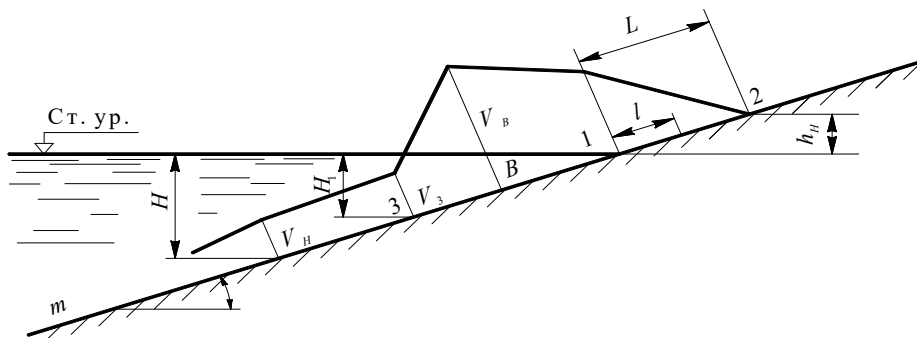


Рисунок 2 – Схема развития ветрового волнения [1]

Распределения скоростей волнового потока при его разрушении на откосе может быть отображено в виде эпюры распределения скоростей [3-5] (рисунок 3).



L – расстояние между точками 1 и 2; l – расстояние от точки 1 до расчетной точки; H – глубина до минимальной скорости волны в зоне наката; h_n – высота наката; B – точка максимального давления; V_n – скорости волны в зоне наката; H_1 – глубина в точке 3; V_3 – скорость в точке максимального давления; m – заложение откоса; α – угол заложения откоса.

Рисунок 3 – Распределение скоростей волнового потока по откосу

Ширина зоны воздействия ветрового волнения на откос определяется параметрами волнения: высотой и длиной. В условиях водохранилищ Беларуси ширина зоны воздействия волнового потока на откос (береговую отмель) ограничена зоной забурунивания, опрокидывания и наката. Ширина ее составляет от 2,5-3,5м до 5,5 – 10.0м. Высота наката волны на откос h_n зависит от параметров волны, крутизны откоса, наличия шероховатости и непроницаемости откоса, а также угла подхода волны. Для определения высоты наката волны на откос известно ряд эмпирических зависимостей по-разному учитывающих перечисленные факторы. Из числа наиболее распространенных можно отметить следующие формулы: Н. Н. Джунковского, Б. А. Пышкина, А. Г. Сидоровой, П.А. Шанкина, а также СН 92– 60 и ТКП [1-7].

Значения высоты наката волн на откосы, полученные по приведенным формулам и вычисленные при одних и тех же исходных данных, дают заметное расхождение. Это можно объяснить структурой формул, которые в одних случаях учитывают факторы крутизны волны, а в других нет. Расхождения в высоте наката становятся особенно заметными с увеличением высоты волны. Наибольшее расхождение дают формулы Н. Н. Джунковского, Б.А. Пышкина, и СТБ, причем во всех случаях получаются заниженные значения. Занижение составило 23-37%. Две формулы - П.А. Шанкина и СН 92- 60 практически дают одинаковые результаты в любом диапазоне крутизны волн, но с завышениями. Сравнение осуществлялось с данными натуральных наблюдений за накатом волны, полученных на Петровичском водохранилище. Высота наката волн по формуле А. Г. Сидоровой незначительно отклоняется от результатов, полученных по формуле П.А. Шанкина, но учет влияния шероховатости и проницаемости по ней затруднителен как по технике вычисления, так и по некоторой неопределенности при подстановке размера абсолютной шероховатости. Натурная проверка высот наката волны на песчаный показала, что формулы СН 92-60 и П.А. Шанкина дают наиболее близкое совпадение вычисленных значений h_n с наблюдаемыми величинами. Отклонение h_n от фактических, измеренных в натуральных условиях $h_{ни}$ составляет 8-10%. Поэтому для водохранилищ малой и средней протяженности высоту наката волны рекомендуется определять по этим формулам. Были выполнены расчеты скоростей волнового потока и получено их распределение по профилю равновесия в контрольных точках 1, 2 и 3 (рисунок 3) [2]:

$$v_1 = \frac{10k_w \sqrt{g}}{2\pi + m} \sqrt[6]{h^2 \lambda} \quad (1)$$

$$v_1 = v_1 \left(1 - \frac{l}{h_n \sqrt{1 + m^2}} \right), \quad (2)$$

$$h_n = \frac{2 k_{ш}}{m} h \sqrt[3]{\frac{\lambda}{h}}, \quad (3)$$

$$v_3 = \frac{n\pi h}{\sqrt{\frac{\pi\lambda}{g} sh \frac{4\pi H_1}{\lambda}}}, \quad (4)$$

$$H_1 = \frac{1,22}{m^{0,8}} \sqrt{h\lambda}, \quad (5)$$

где: $k_{ш}$ – эмпирический коэффициент шероховатости; g – сила ускорения свободного падения, m/c^2 ; h_n – высота наката волны, м; m – коэффициент заложения откоса; h – высота расчетной 1% волны; λ – длина волны, м.

При накате волны на откос скорости потока воды имеют переменное значение. Для ряда характерных точек по откосу, которыми являются точки В, 1, 2 и 3, были вычислены значения скоростей волнового потока. Ниже в таблице 1 приведены значения и распределение по профилю расчетных волновых скоростей, полученных для откосов и естественных берегов, подверженных переработке по ряду водохранилищ Беларуси.

Как видно из таблицы 1, в зонах разрушения и опрокидывания волны значения волновых скоростей превышают размывающие и допускаемые размывающие скорости для песчаных несвязных грунтов, что вызывает переработку и размыв верховых откосов дамб и плотин и уположенных откосов и абразионных берегов (рисунок 4).

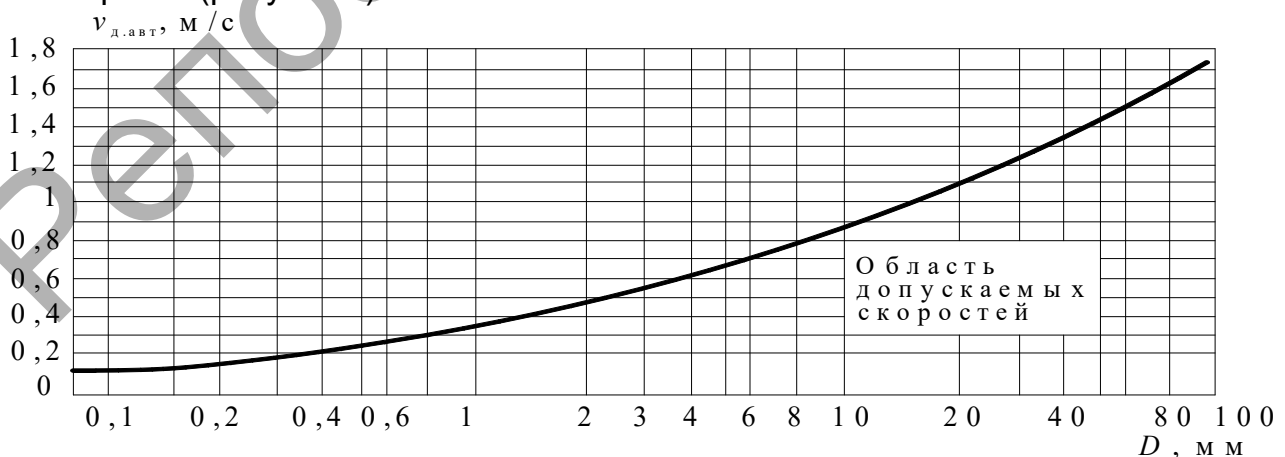


Рисунок 4 – График допустимых неразмывающих донных скоростей [2 - 5]

Таблица 1 – Значения расчетных скоростей волнового потока на профиле равновесия

| Водохранилище | Берег, тип процесса, грунты | Средний диаметр частиц грунта, d_{50} , мм | Волновые скорости, в контрольных точках м/с | | |
|------------------|---|--|---|-------|-------|
| | | | v_1 | v_2 | v_3 |
| 1 | 2 | 3 | 4 | 5 | 6 |
| Вилейское | Левый берег, уположенный пляжный песчаный откос. Объект: «Реабилитационный детский центр «Надежда – XXI век». Незначительная местная переработка, перемещение материала переработки вдоль уреза | 0,51 | 5,12 | 5,09 | 0,34 |
| Заславское | Правый берег. Склон сложен песчаным грунтом различной крупности. Разрушение берега, волновая сортировка материала переработки, вольбереговое перемещение наносов | 0,51 | 5,07 | 4,82 | 0,34 |
| Смолевичское | Правый берег. В районе насосной станции. Разрушение швов между плитами крепления, просадка плит крепления, вынос грунта из-под плит Переработка откоса. Волновая сортировка материала размыва. | 0,38 | 4,64 | 4,42 | 0,30 |
| Дубровское | Левый берег. Местные локальные размывы. Берег сложен песчаным грунтом. Присутствует волновая сортировка грунта отмели. | 0,47 | 4,75 | 4,52 | 0,31 |
| Жодинское | Состояние откоса удовлетворительное. Присутствует переработка коренного берегового склона по правому берегу. | 0,41 | 4,97 | 4,72 | 0,33 |
| Волма | Локальное разрушение грунтового песчаного откоса земляной плотины | 0,39 | 4,75 | 4,52 | 0,31 |
| Петровичское | Левый берег, подверженный переработке. Размываемый грунт-песчаный. Волновая сортировка с активным вдольбереговым переносом материала переработки | 0,47 | 5,12 | 4,87 | 0,34 |
| Краснослободское | Активная переработка верхового уположенного откоса земляной плотины, сложенного песчаным грунтом. Перемещение материала в поперечном направлении по отмели. | 0,41 | 4,98 | 4,73 | 0,33 |
| Солигорское | Левый берег водохранилища. Переработка с аккумуляцией материала по профилю. | 0,36 | 5,12 | 4,87 | 0,34 |
| Осиповичское | Левый берег. Вторичная переработка склона. Грунты разнородного состава. Пески различной крупности, супеси. | 0,35 | 4,43 | 4,21 | 0,28 |

Воздействие волнового потока на грунт, образующий подводную часть склона ведет к волновой сортировке материала переработки по крупности по ширине отмели и переносу частиц грунта в виде влекомых наносов вдоль уреза.

При формировании профиля равновесия значительную роль играет физико-механический состав размываемых волновым потоком грунтов. Необходимо отметить тот факт, что наряду с вдольбереговым движением наносов на водохранилищах присутствует и поперечное перемещение материала переработки.

Как показали натурные исследования автора на водохранилищах, находящихся в эксплуатации небольшой период времени, вдольберегового перемещения материала переработки не происходит, так как отсутствует широкая береговая отмель, а при этом доминирует поперечное перемещение, при котором наносы смещаются к основанию подводного склона [8-9]. Это подтверждается практически полным отсутствием аккумулятивных форм на молодых водохранилищах таких как: Цнянское, Дубровское, Раубичское, Гродненской ГЭС и ряде других, имеющих небольшой срок эксплуатации.

Под воздействием ветрового волнения в приурезовой зоне подводной части отмели за счет взвешивания частиц происходит движение обломочного материала – наносов по профилю, что ведет к их естественной сортировке по ширине отмели и дифференциации частиц грунта по крупности. Эта сортировка происходит как за счет взвешивания и затем выноса мелкозернистых частиц, так и за счет аккумуляции более крупных. Как показали натурные исследования, перемещение материала происходит во взвешенном и сальтирующем состоянии. Ширина зоны взвешивания и перемещения наносов составляет для условий волнения, которое наблюдается на водохранилищах Беларуси составляет около 2—3 м от границы уреза. Объем взвешенных частиц в общем объеме вдольберегового потока наносов на водохранилищах незначителен (мутность волнового потока составляет 250...450 мг/м³). Проведенные автором экспериментальные исследования с использованием разработанного комплекта наносоуловителей специальной конструкции в береговой зоне Петровичского и Заславского водохранилищ при штормовых условиях позволили получить результаты, подтвердившие наличие подвижного слоя наносов на профиле и получить расход влекомых наносов в приурезовой зоне в период формирования профиля динамического равновесия. Ниже на рисунке 5 приведена конструкция наносоуловителя [8]. Каждый наносоуловитель состоит из внешнего цилиндра – 1 с конусом – 2 и бортиком – 3, установленного непосредственно в точке измерений, внутреннего цилиндра – 4 с перегородками – 5, делящими весь объем на 4 равных сектора, бортиком – 6 и заглушкой – 7, поплавка-индикатора – 8. Для регистрации движения наносов вдоль берега на внутреннем цилиндре – 4 установлены лепестки – 9, позволяющие регистрировать вдольбереговое перемещение наносов. Наносоуловители в натуральных условиях устанавливались в следующей последовательности: первый – в зоне наката волны, второй – на урезе, третий – в зоне разрушения волны, четвертый – в зоне трансформации волны и пятый – в глубоководной зоне на краю береговой отмели. Измерения расхода и направления движения наносов выполнялись в осенний период (август - сентябрь), поскольку именно в данный период года преобладают ветра максимальной силы и повторяемости. Измерение осуществлялось следующим образом: в предварительно погруженные в грунт подводной части отмели внешние цилиндры – 1 одновременно опускались внутренние цилиндры – 4 и открывались заглушки – 7, затем через контрольное время извлекались внутренние цилиндры – 4, из каждой секции которого доставалась проба наносов. Полученные пробы высушивались, в лабораторных условиях, взвешивались и определялись объемы наносов в каждом секторе наносоуловителей - а также суммарный объем наносов и направление перемещения по профилю равновесия.

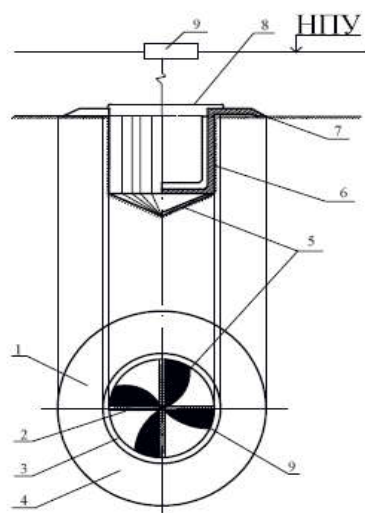


Рисунок 5 – Конструкция и схема установки наносоуловителя на отмели

В период натурального эксперимента по изучению перемещения наносов производилось наблюдение и регистрация скорости и направления ветра при помощи полевого ветромера "8Ю01-М" с анемометром. Скорость ветра измерялась в створе измерения перемещения и расхода наносов на высоте 2 м от плоскости поверхности. При помощи минимально-максимально ветровой вехи, установленной в подводной части отмели водоема, определялось значение элементов ветрового волнения – высота волны $h_{1\%}$ в режиме и соответствующая длина волны.

По результатам натуральных экспериментов строились эпюры распределения продольного вдольберегового Q_x и поперечного Q_y расходов наносов по отмели, а также изменение характеристик их гранулометрического состава (рисунок 6). Величины равнодействующих значений расходов потока наносов показаны в виде векторов R_{xy} в каждой зоне волнения. Приведенное соотношение эпюр расходов наносов является характерным и имеет особенности, присущие всем водохранилищам страны:

- ширина зоны активного движения наносов по отмели (в подводной и надводной частях) составит для условий водохранилищ Беларуси при ветровом волнении, характеризуемом $h_{1\%} = 0,4 \dots 0,85\text{м} - 5,5 - 10,0\text{м}$;
- максимальный расход наносов Q_x приурочен зоне разрушения волны на урезе воды;
- поперечное движение наносов с расходом Q_y имеет знакопеременное направление в зоне разрушения волны и объясняется повышенной турбулентностью волнового потока с образованием потока наката на откос и обратного течения в водоеме.

Приведенные особенности распределения потока наносов при их движении по профилю сказываются на конечной форме и параметрах профиля равновесия, вырабатываемого в несвязных песчаных грунтах.

Уравнения распределения коэффициентов неоднородности (η_0), а также характерного диаметра частиц (d_{50}) наносов по ширине отмели, которые описывают дифференциацию частиц в береговой зоне, в общем виде могут быть записаны:

а) для водохранилищ со значительной сработкой уровней

$$\left. \begin{aligned} \eta_B &= \eta_0 \left[\sum_{i=1}^n (B_{Ht} + B_{nt}) \right] \exp[d_1 - c_1(B_{Ht} + B_{nt})] \\ d_{50} &= d_{50,0} \left[\sum_{i=1}^n (B_{Ht} + B_{nt}) \right] \exp[d_2 - c_2(B_{Ht} + B_{nt})] \end{aligned} \right\} \quad (6)$$

б) для водохранилищ с относительно постоянной отметкой уровней верхнего бьефа

$$\left. \begin{aligned} \eta_B &= \eta_0 \exp[-c_1(B_{nt})] B_{nt}^{d^1} \\ d_{50} &= d_{50,0} B_{nt}^{d^2} \exp(-c_2 B_{nt}) \end{aligned} \right\} (7)$$

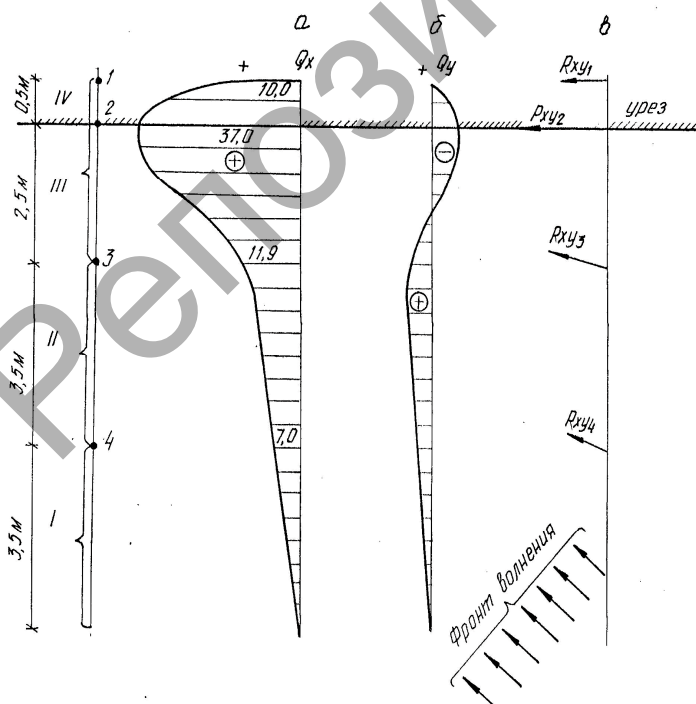
где η_0 , $d_{50,0}$ — соответственно коэффициент неоднородности и средний диаметр исходного, размываемого грунта; B_{Hh} , B_{nt} — ширина надводной и подводной части отмели, $d_{50,0} = (0,5 - 2,0)$ мм, $\eta_0 = (5,0 - 20,0)$.

Наряду с изучением перемещения наносов автором выполнялись также исследования по изучению высотных деформаций отмели при совместном действии ветрового волнения и колебания уровней в различных геологических и гидрологических условиях. Рассматривался наиболее сложный случай - развитие отмели в условиях водохранилища со значительными колебаниями уровня в верхнем бьефе.

В качестве объекта исследования было выбрано одно из опорных тестовых водохранилищ — Заславское. Наблюдения велись на юго-восточном участке берега, подверженном абразии (участок №4), береговой склон которого сложен песками с включением гравия и имеет абразионный уступ высотой 1,0–2,5 м. В наблюдаемых условиях гидрологический режим характеризуется колебаниями уровня в безледный период до 1,0 м, наибольшей повторяемостью волн высотой 0,3...0,4 м ($P = 80\%$) и максимальной высотой волны 1,20 м. Исследования проводились в двух створах, на которых при помощи реперов и высотных марок, выполненных из металла были закреплены характерные точки на отмели в различных зонах волнения. В период наблюдений было выполнено 11 съемок при различных положениях уровня верхнего бьефа.

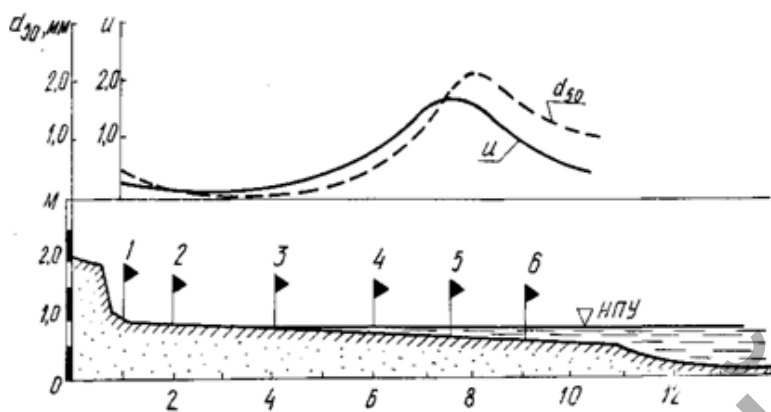
В результате обработки и анализа полученных материалов установлено:

– деформации отмели происходят в приустьевой зоне шириной около 8,0 м, причем вертикальные деформации составляют до 4,0 см в течении сезона, в этой же зоне происходит наибольшая сортировка материала переработки (рисунок 7);



а) – вдольбереговая составляющая потока влекомых наносов;
 б) – поперечная составляющая вдольберегового потока наносов;
 в) – равнодействующие потока наносов в различных зонах волнения.
 1,2,3,4,5 – точки установки наносоуловителей;
 I, II, III, IV – зоны волнения
Рисунок 6 – Эпюры расходов наносов в береговой зоне Заславского водохранилища. Участок 4. створ 5

- контур изменения высотных деформаций по ширине отмели носит ограниченный характер и приурочен к приурезовой зоне, ширина развития деформации определяется величиной колебания уровней совместно с волнением;
- наибольшие изменения высотных отметок наблюдаются при стоянии уровней близких к нормальному подпорному уровню (НПУ) и приурочены к основанию берегового уступа с постепенным уменьшением к внешнему краю отмели;
- при длительном стоянии уровня на одной отметке наблюдается относительная стабилизация локальных процессов размыва и аккумуляции с наибольшими значениями деформаций;
- в зоне отмели кроме высотных деформаций происходит размыв и перемещение материала разрушения берегового склона в продольном и поперечном сечении, которое ведет к образованию местных аккумулятивных форм.



1,2,3,4 – контрольные точки

Рисунок 7 – Развитие вертикальных деформаций отмели и изменение d_{50} и U по ширине отмели (водохранилище Дрозды)

Форма всех аккумулятивных образований в плане и в поперечном сечении определяется в общем случае параметрами волнового режима, колебанием уровней в верхнем бьефе, геоморфологическим строением береговой зоны, топографией подводного склона и литологическими особенностями склона. Зависимость формы профиля равновесия и ширины зоны сортировки материала переработки от параметров ветрового волнения объясняет образование на поверхности подводной части профиля равновесия самоотмостки из крупнофракционного материала, находящегося в статическом равновесии.

Заключение

1. Исследованиями установлено, что наряду с вдольбереговыми течениями, обеспечивающими движение наносов вдоль уреза на малых водохранилищах Беларуси присутствует и поперечное перемещение материала переработки, которое вызывается волновыми течениями и гидродинамикой береговой зоны. Под воздействием ветрового волнения по ширине отмели происходит движение обломочного материала, что ведет к естественной сортировке по крупности в зависимости от зоны трансформации волнения в береговой зоне и распределения скоростей волнового потока.

2. Волновая сортировка грунта происходит как за счет выноса мелкозернистых частиц, так и за счет аккумуляции более крупных.

3. Ширина зоны взвешивания наносов составляет 2...3 м от уреза воды. Ширина зоны наката изменяется от 2,5-3,5 м до 5,5 – 10,0 м в зависимости от параметров ветрового волнения.

4. Расчет скоростей волнового потока и их распределения по профилю равновесия показал, что наибольшие значения скоростей составляют в зоне разрушения волны от 4,73 до 5,12 м/с (Вилейское, Солигорское и др.). Значения скоростей превышают размывающие, что ведет к сортировке и перемещению по профилю материала переработки в виде потока наносов.

Список литературы

1. Пышкин, Б.А. Динамика берегов водохранилищ / Б.А. Пышкин. – Киев: «Наукова думка», 1973. – 416 с.
2. Канарский, В.С. Устойчивость и прочность откосов земляных сооружений / В.С. Канарский. – М. : Энергоиздат, 1982. – 146 с.
3. Шайтан, В.С. Исследование ветровых волн на водохранилище/ В.С. Шайтан. – Москва : Гостстройиздат, 1962.
4. Цайтц, Е.С. Действие волн на откос из несвязанных грунтов: Автореферат. Дис... канд.тех.наук / Е.С. Цайтц. – Киев., 1958. – 21с.
5. Максимчук, В.Л. Рациональное использование и охрана берегов водохранилищ / В.Л. Максимчук. – Киев, 1981. – 112с.
6. ТКП45-3.04-170-2009 Гидротехнические сооружения. Правила определения нагрузок и воздействий (волновых, ледовых и от судов) // Полнотекстовая информационно-поисковая система «СтройДОКУМЕНТ» [Электронный ресурс]. – Электрон. текстовые дан. и прогр. (700 Мб). – Минск, НП РУП «Стройтехнорм», 2007. – 1 электрон. опт. диск (CD-ROM).
7. СНиП 2.06.08-87 Бетонные и железобетонные конструкции гидротехнических сооружений // Полнотекстовая информационно-поисковая система «СтройДОКУМЕНТ» [Электронный ресурс]. – Электрон. текстовые дан. и прогр. (700 Мб). – Минск, НП РУП «Стройтехнорм», 2007. – 1 электрон. опт. диск (CD-ROM).
8. Левкевич, В.Е. Динамическая устойчивость берегов водохранилищ Беларуси / В.Е. Левкевич. – Минск : Право и экономика, 2015. – 306 с.
9. Левкевич, В.Е. Динамика береговых процессов русловых, наливных и озерных водохранилищ Беларуси / В.Е. Левкевич. – Минск : Право и экономика, 2015. – 202 с.

УДК 054.666

ВЛИЯНИЕ ВНЕШНИХ АГРЕССИВНЫХ ФАКТОРОВ НА ПРОЦЕССЫ КОРРОЗИИ ЦЕМЕНТНОГО КАМНЯ

Левчук Н.В., Василевская М.В.

Учреждение образования «Брестский государственный технический университет», г. Брест, Республика Беларусь, marilu141@gmail.com

The corrosion processes that can occur during the interaction of external environment with concrete and reinforced concrete, is very diverse. Significant effect on building structures are the aggressive ions as cabinet-, hydrogen carbonate ions, and sulfate ions. The combined influence of carbonates and sulfates exerts a potentiating effect on the corrosion processes of concrete. In addition the joint presence of sulfate - and carbonate-ions in the environment contributes to the formation of thaumasite in the cement stone formed and accumulated throughout the existence of the facility.

Введение

В последние десятилетия развитие таких отраслей промышленности, как нефтеперерабатывающая, целлюлозно-бумажная, химическая и др., внедрение новых химических и биологических технологий в производственные процессы в зарубежной и отечественной промышленности, приводят к росту числа предприятий с агрессивными технологическими средами. Такое увеличение уровня производительности способствует существенному изменению состава атмосферного воздуха, природных, промышленных сточных вод и окружающей среды в целом.