

05.23.07 Гидротехническое строительство

УДК 502/504: 627.82.034.93

В.Я. ЖАРНИЦКИЙ, Е.В. АНДРЕЕВ, А.М. СИЛКИН

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

УЧЁТ ВЛИЯНИЯ ВОЛНОВЫХ НАГРУЗОК ПРИ ФОРМИРОВАНИИ МОДЕЛИ ОЦЕНКИ ОСТАТОЧНОГО ЭКСПЛУАТАЦИОННОГО РЕСУРСА ГТС

Гидротехнические сооружения являются сложной системой с точки зрения восприятия нагрузок и воздействий, которые в свою очередь являются наименее изученными составляющими такой системы. Нагрузки и воздействия на гидротехнические сооружения можно представить в виде широкого диапазона влияния, как по временным, так и по пространственным критериям. Используемые в настоящее время при проектировании подходы не являются всеобъемлющими, так как носят достаточно условный характер. Самыми распространёнными ошибками при определении нагрузок является попытка их описания по временным показателям, в то время как такой подход искажает общую картину динамического поведения гидротехнического сооружения. Такой подход сложно назвать эффективным ввиду отсутствия связи между динамическим воздействием и системой в целом. По степени влияния на гидротехническое сооружение нагрузки и воздействия подразделяются на внешние и внутренние. Однако и такая классификация не является исчерпывающей, потому как не учитывает таких факторов, как химическая коррозия и, как следствие, изменение расчётной геометрической схемы сооружения, следствием чего является нарушение его отдельных связей. Несмотря на всё многообразие подходов к оценке остаточного эксплуатационного ресурса гидротехнических сооружений, можно при оценке влияния волновых нагрузок произвести замещение набегающих волн на регулярные. В таком подходе волновой процесс не носит случайного характера. Второй аспект учитывает влияние волнового воздействия во времени и не регламентирует его строго обозначенными интервалами влияния на сооружения. В данной статье подчёркивается важность учёта волновых нагрузок как неотъемлемой части композиции нагружений на систему при формировании моделей оперативной оценки остаточного ресурса гидротехнических сооружений.

Гидротехнические сооружения, долговечность, период наблюдений, расчётная модель, статистические данные, прогноз состояния, волновое воздействие, ветровые волны, статистическое описание, нагрузки и воздействия.

Введение. Эксплуатация гидротехнических сооружений обусловлена рядом факторов, оказывающих непрерывное воздействие на сооружение. Остаточный ресурс сооружения является контролируемой величиной при условии соблюдения эксплуатационных показателей. Одним из таких показателей является учёт на стадии проектирования и в последующем эксплуатации сооружения влияния волновых нагрузок. Общепринятый стандарт определяет [1] надёжность как сложное свойство

системы или отдельных её элементов соответствовать заданным параметрам в заранее определённых пределах в течении определённого периода времени. Показатели надёжности определяются конкретными характеристиками, к числу которых можно отнести сохранность, ремонтпригодность, долговечность и безотказность отдельных конструкций или гидротехнических сооружений в целом. Применительно к оценке остаточного эксплуатационного ресурса гидротехнических сооружений различия

долговечности и безотказности очевидны. Связаны они с понятием непрерывности в работе гидротехнических сооружений как системы элементов в целом. Для гидротехнических сооружений особенно важным считается учёт фактора безотказности, так как эксплуатация такого рода сооружений не может быть прекращена или приостановлена мгновенно, поэтому она наиболее часто является более важной, чем долговечность. При этом, если рассматривать, например, такое рабочее оборудование, как турбины гидротехнического сооружения или любое другое оборудование машинного зала ГЭС, то различия этих двух характеристик становятся очевидными. При этом оценивая остаточный эксплуатационный ресурс гидротехнических сооружений, однозначно стоит различать долговечность и безотказность отдельных частей гидротехнического сооружения или так называемой системы в целом. В гидротехнических сооружениях нетрудно найти конструкцию, непрерывная работоспособность которой происходит в результате запланированной замены или ремонта отдельных её элементов, при этом работы по ремонту или замене отдельных частей ведутся без остановки эксплуатации объекта. Такого рода ремонтные работы производятся почти во всех типах зданий и сооружений. И напротив, есть отрасли техники, где такие операции без прерывания эксплуатации невозможны. Для примера, можно взять любое транспортное или автомобильное средство, где ремонтные работы в процессе эксплуатации данного средства невозможны.

Поэтому проблему долговечности отдельных конструкций или систем в целом рассматривают как задачу, учитывающую постепенное изменение эксплуатационных свойств конструкций, применительно к общей теории надёжности. Хотя данная проблема должна рассматриваться и в том числе в контексте параметрических отказов, т.е. постепенных отказов во времени под воздействием различных факторов.

Применительно к ремонтнопригодности гидротехнических сооружений стоит отметить, что в строительной практике практически не используются количественные критерии самой ремонтнопригодности. К ним можно отнести вероятность восстановления конструкции, средний период остановки объекта, период восстановления системы или отдельных её частей. Это связано

с пренебрежительной практикой эксплуатации объектов по сравнению с использованием норм проектирования. Достаточная часть нормативных документов, связанных с регламентом эксплуатации ещё в советский период была упразднена. Лишь недавно такие нормы снова начали внедряться в структуру государственных строительных документов.

Что касается сохранности, то данное свойство целесообразнее относить не к системе в целом, а к отдельным её элементам. Например, детали заводского изготовления, хотя здесь могут рассматриваться мобильные объекты, которые в отдельные периоды эксплуатации могут быть использованы.

Поэтому, если рассмотреть совокупность эксплуатационных критериев (факторов), сохраняемых в тех или иных пределах для какой-либо системы в течение определённого промежутка времени, то их можно принимать как стандарт качества, и тогда надёжность данной системы будет представлять собой характеристику качества, меняющуюся во времени.

Материалы и методы исследований. В практике гидротехнического строительства и эксплуатации можно принципиально (условно) разделить подпорные гидротехнические сооружения на частично проницаемые и непроницаемые. Нагрузки и воздействия на такие сооружения оказывают разное влияние, особенно, если дополнительно учитывать геометрические параметры сооружения.

Воздействие волновых нагрузок на стенки сооружения зависит так же от видов примыкания конструкций к акватории. В основном рассматривается стоячая волна, от которой идёт расчёт нагрузки.

Расчёт подпорных сооружений на влияние стоячих волн со стороны открытой акватории (рис. 1) обычно производится при глубине дна $d_b > 1,25h$ (h - высота набегающей волны); при данном расчёте необходимо учесть, что для определения волнового воздействия вместо глубины дна d_b , м стоит применять расчётную глубину акватории d , м, определяемую по формуле

$$d = d_f + k_{br} (d_b - d_f), \quad (1)$$

где d_f - глубина акватории над подошвой гидротехнического сооружения; k_{br} - коэффициент, принимаемый по графику (рис. 2) в зависимости от отношения d_f/d_b и d_b/λ (λ - средняя длина волны).

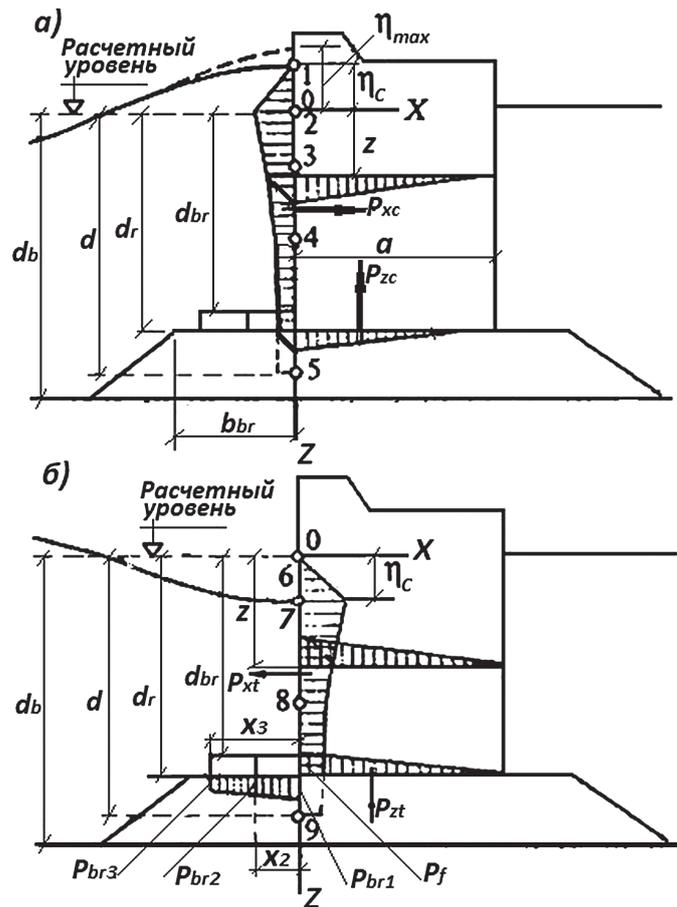


Рис. 1. Эпюры давления стоячих волн на вертикальную стену
а – при гребне волны; б – при ложбине волны

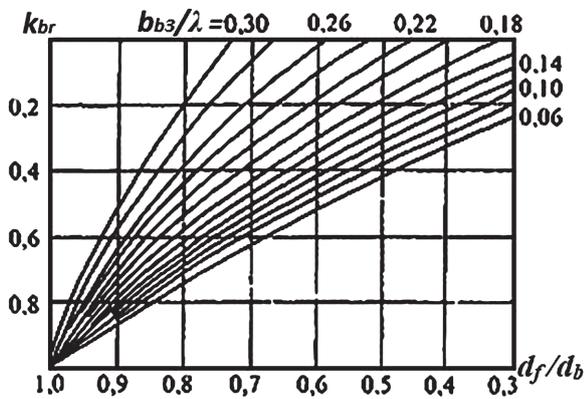


Рис. 2. Графики значения коэффициента k_{br} .

Увеличение или снижение свободной волновой поверхности η у подпорной стенки, отсчитываемое от расчётного уровня жидкости, определяется следующим образом:

$$\eta = -h \cos \omega t - 0,5 k h^2 c t h k d \cos^2 \omega t \quad (2)$$

где $2\pi / \bar{T}$ – круговая частота волны; \bar{T} – средний период волны, с; t – время, с.

Результаты исследований. При оценке действия стоячей волны на вертикальную

подпорную стену можно рассмотреть три основных расчётных случая определения η по формуле (2), для которых принимаются значения $\cos \omega t$:

- накат на подпорную стену вершины волны при этом $\omega t = 1$;
- наивысший показатель горизонтального линейного волнового усилия для гребня накатываемой волны, проходящего выше расчётного уровня на η_c , в этом случае значение $\cos \omega t$ будет определяться из выражения

$$\cos \omega t = \bar{\lambda} / [\pi h (4kd - 3)] \quad (3)$$

тогда $1 > \cos \omega t > 0$;

- наивысший показатель горизонтального линейного волнового усилия для подошвы волны, расположенной ниже расчётного уровня на η_p , тогда $\cos \omega t = -1$.

В глубоководных водохранилищах горизонтальное линейное усилие на подпорную стенку при гребне или ложбине стоячей волны (рис. 1) нужно принимать по эпюрам волновых усилий p (кПа), которое

на глубине z , м, рассчитывается по следующей формуле:

$$p = \rho g [h^{-kz} \cos \omega t - 0,5kh^2 e^{-kz} \cos^2 \omega t - 0,5kh^2(1 - e^{-2kz}) \cos^2 \omega t - 0,5k^2 h^3 e^{-3kz} \cos^2 \omega t \cos \omega t], \quad (4)$$

где ρ – плотность воды, т/м³; $g = 9,81$ м/с² – ускорение свободного падения; z – координаты точек ($z_1 = \eta_c$, $z_2 = 0, \dots z_n = d$), м, отсчитываемые от расчётного уровня воды. Для гребня при $z_1 = \eta_c$, а для ложбины при $z_6 = 0$, следует принимать $p = 0$.

В мелководных водохранилищах p , кПа, на глубине z , м, определяется по таблице 1 [2].

Показатели коэффициентов $k_2, k_3, k_4, k_5, k_6, k_7, k_8, k_9$, представлены на диаграммах 3, 4, 5 [3]. Общее представление таких диаграмм можно увидеть на (рис. 3), где показано построение графиков для показателей k_2 и k_6 , в большей степени отличающихся друг от друга.

В результате наката волны на подпорную стену гидротехнического сооружения под углом α° от водохранилища линейное волновое усилие на вертикальную стену уменьшают, умножая её на показатель k_{cs} , который принимают равным (табл. 2).

Таблица 1

Значения волнового давления p при глубине водохранилища z

№ точек	Заглубление z , м	Волновое давление p , кПа	№ точек	Заглубление z , м	Волновое давление p , кПа
1	η_c	$p_1 = 0$	6	0	$p_6 = 0$
2	0	$p_2 = k_2 \rho g h$	7	η_t	$p_7 = -\rho g \eta_t$
3	$0,25d$	$p_3 = k_3 \rho g h$	8	$0,5d$	$p_8 = -k_8 \rho g h$
4	$0,5d$	$p_4 = k_4 \rho g h$	9	d	$p_9 = -k_9 \rho g h$
5	d	$p_5 = k_5 \rho g h$	-	-	-

Таблица 2

Значение коэффициента k_{cs} в зависимости от угла α°

α° , град	k_{cs}
45	1
60	0,9
75	0,7

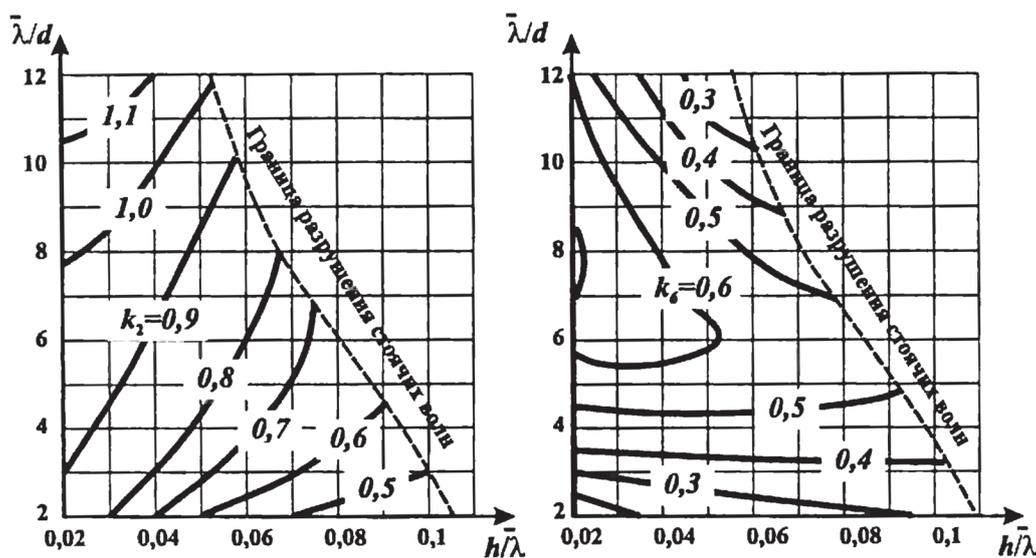


Рис. 3. Графики показателей k_2 и k_6 .

Для расчёта сооружений вертикального профиля при определении воздействия от нагона волны горизонтальная линейная нагрузка для значений ординат z , м, p рассчитывается следующим образом:

$$\left. \begin{aligned} p_1 &= 0 \text{ при } z_1 = -h \\ p_2 &= \rho g h \text{ при } z_2 = 0 \\ p_3 &= \rho g h / ch(kd_f) \text{ при } z_3 = d_f \end{aligned} \right\} \quad (5)$$

Горизонтальная нагрузка от набегающих волн формируется давлениями, показатели которых для ординат z , м, рассчитываются по формулам:

$$\left. \begin{aligned} p_1 &= 0 \text{ при } z_1 = -h_{sur} \\ p_2 &= 1,5\rho gh_{sur} \text{ при } z_2 = -\frac{1}{3}h_{sur} \\ p_3 &= \rho gh_{sur} / ch\left(\frac{2\pi}{\lambda_{sur}}d_f\right) \text{ при } z_3 = d_f \end{aligned} \right\} (6)$$

где λ_{sur} — среднее значение длины набегающей волны, м.

При расчёте остаточного эксплуатационного ресурса необходимо учесть фактор динамического влияния от нерегулярного набегания ветровых волн на подпорные гидротехнические сооружения. Данный фактор рекомендуется рассчитывать путём перемножения показателей статической нагрузки на критерий динамичности k_d , который принимается согласно таблице 3 в зависимости от отношения периода собственных колебаний гидротехнического сооружения T_c к среднему периоду волны \bar{T} .

Таблица 3

Значения фактора динамического влияния в зависимости от отношения периода собственных колебаний

Отношение периодов $\frac{T_c}{T}$	0,01	0,1	0,2	0,2
Коэффициент динамичности K_d	1	1,15	1,2	1,3

При отношении периодов собственных колебаний гидротехнических сооружений $\frac{T_c}{T} > 0,3$ производить расчёт, используя коэффициент динамичности, становится неактуально, так как результат получается слишком грубым, поэтому необходимо выполнить расчёт динамической составляющей гидротехнического сооружения. Для глубоководных водохранилищ учёт динамической составляющей играет значительную роль, и ограничение $\frac{T_c}{T} > 0,3$ в основном выполняется для сооружений, находящихся на мелководных водохранилищах и не имеющих значительной массы надводных строений.

При выполнении динамического расчёта можно прибегнуть к методу, основанному на численном пошаговом имитировании процесса развития и стабилизации движения при прохождении через центральную ось подпорного гидротехнического сооружения набегающей волны, или учесть только установившееся движение, которое можно охарактеризовать длиной одной волны, когда скорости и перемещения в начале и в конце процесса совпадают [4].

Для примера можно представить результат динамической составляющей одним из перечисленных методов. При глубине водохранилища $H = 100$ м и набегающих волнах с характеристиками $h = 10$ м, $T = 10$ с, $\lambda = 156$ м воздействия на вертикальную опору $d = 0,25$ м ($P_i/P_v = 0,2$) и 10м ($P_i/P_v = 8,0$)

указаны на рисунке 4 в виде показателей критериев динамичности k_d .

Исходя из показателей (рис. 4) можно определить, что соотношение скоростной и инерционной составляющих значительным образом оказывает воздействие на конечный результат, при этом образуется пара резонансных максимумов, что можно объяснить нелинейностью волнового усилия. Такие эффекты не учитываются [3] в соответствии с рекомендациями, согласно которым критерий динамичности не зависит от соотношения P_i/P_v [1].

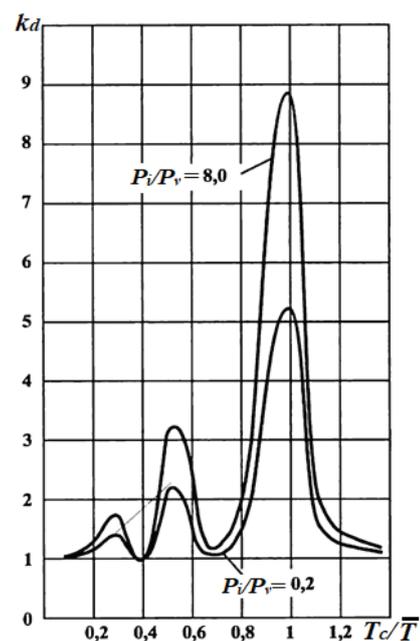


Рис. 4. Графики коэффициентов динамичности

Расчёты динамической составляющей, например, для глубоководных сооружений, можно выполнять в том числе и для регулярных волновых усилий при воздействии на сооружение синусоидальной волны [5]. Однако в данном случае применение стандартного расчёта по методу линейной динамики сооружений неоднозначно, потому как волновое усилие нелинейно, ввиду того, что возбуждающие силы, вычисляемые по Морисону, включают в себя скоростную составляющую, квадратично зависящую от скорости набегания волны на гидротехническое сооружение. В этой связи при выполнении расчёта динамической составляющей выполняют линеаризацию:

- в выражении $V|V|$, которое является составляющей формулы (7), член $|V|$ при необходимости заменяется не зависящим от временных факторов усреднённым значением V^* [6]

$$L = k_{vis} v / V_w, \quad (7)$$

где $k_{vis} = 5 \cdot 10^{11}$ – коэффициент; $v = 10^{-5} \text{ м}^2/\text{с}$ – кинематическая вязкость воздуха; V_w – расчётная скорость ветра на высоте 10 м над поверхностью моря, которая для гидротехнических сооружений I и II классов принимается с обеспеченностью 2%, т.е. 1 раз в 50 лет.

- показатель V^* рассчитывается из условия, чтобы разница между $V|V|$ и VV^* была минимизирована по методу наименьших квадратов.

Для регулярных волн Эйри, имеющих высоту h , круговую частоту ω и волновое число k , при глубине водохранилища H и расчётной глубине области приложения волнового усилия z , действует формула:

$$V^* = \frac{4\omega h}{3\pi} \cdot \frac{chkz}{shkH}$$

При производстве расчётов на нерегулярное волнение с применением спектральной теории волн, аналогично выполняется линеаризация, хотя и при использовании метода статической линеаризации [1; 7].

Выводы

Величина и характер воздействия набегающих волн на гидротехнические сооружения зависит в большинстве случаев от типа волновых потоков. При допущении ошибок проектирования и эксплуатации гидротехнических сооружений воздействие набегающих волн на подпорные стенки может носить разрушительных характер.

Поэтому мероприятия по поддержанию гидротехнических сооружений в работоспособном состоянии должны проводиться в соответствии с действующими рекомендациями нормативных документов.

Для сбора и анализа объективных показателей о текущем эксплуатационном состоянии гидротехнических сооружений и величине наработки отдельных конструкций и сооружения в целом, необходимо учитывать ряд эксплуатационных показателей и их отклонения от допустимых пределов. Одним из таких показателей является воздействие на гидротехническое сооружение от набегающих волн. Учёт влияния волновых нагрузок позволит сформировать адекватную модель оценки остаточного эксплуатационного ресурса гидротехнических сооружений, в полной мере описывающую все процессы, оказывающие влияние на остаточный ресурс сооружения.

Это становится особенно актуальной задачей при отсутствии собственников у большого числа гидротехнических сооружений как на территории Российской Федерации, так и на территории СНГ и, как следствие, отсутствии служб эксплуатации и мониторинга текущего технического состояния ГТС.

Библиографический список

1. ГОСТ 27.410-89. Надёжность в технике. Основные понятия. Термины и определения. – М.: Изд-во стандартов, 1990. – 37 с.
2. Барштейн М.Ф. Воздействие нерегулярной волны на сквозные инженерные сооружения. // Строительная механика и расчёт сооружений. – 1964. – № 1. – С. 31-41.
3. СП 38.13330.2012 Нагрузки и воздействия на гидротехнические сооружения (Волновые, ледовые и от судов). Актуализированная редакция СНиП 2.06.04. – 82*. <http://docs.cntd.ru/document/1200095522>
4. Лужин О.В., Халфин И.Ш. Динамический расчёт глубоководных сквозных сооружений на воздействие случайного штормового волнения. / Волновые воздействия на морские нефтегазовые сооружения. ч. 2. – М.: ВНИИОЭНГ, 1977. – С. 42-84.
5. Ефремов М.М. Расчёт глубоководной платформы на воздействия волны и течения. / Экспериментально-теоретические исследования антенных сооружений и глубоководных оснований. – М.: ЦНИИ проектно-стальконструкция им. Мельникова, 1988. – С. 160-166.

6. Доусон Т. Проектирование сооружений морского шельфа: Пер. с англ. – Л.: Судостроение, 1986. – 288 с.

7. Морские гидротехнические сооружения на континентальном шельфе. / Симаков Г.В., Щхинец К.Н., Смелов В.А. и др. – Л.: Судостроение, 1989. – 328 с.

Материал поступил в редакцию 11.09.2018 г.

Сведения об авторах

Жарницкий Валерий Яковлевич, доктор технических наук, профессор кафедры «Основания и фундаменты, строительство и экспертиза объектов недвижимости» ФГБОУ ВО РГАУ-МСХА имени К.А. Тимирязева; 125550, г. Москва,

Тимирязевская ул., д. 49; e-mail: zharnitskiy@mail.ru

Андреев Евгений Владимирович, кандидат технических наук, доцент кафедры «Основания и фундаменты, строительство и экспертиза объектов недвижимости» ФГБОУ ВО РГАУ-МСХА имени К.А. Тимирязева; 125550, г. Москва, Тимирязевская ул., д. 49; e-mail: andreev-rf@mail.ru

Силкин Александр Михайлович, доктор технических наук, профессор кафедры «Основания и фундаменты, строительство и экспертиза объектов недвижимости» ФГБОУ ВО РГАУ-МСХА имени К.А. Тимирязева; 125550, г. Москва, Тимирязевская ул., д. 49; e-mail: zharnitskiy@mail.ru

V.VA. ZHARNITSKY, YE.VL. ANDREEV, A.M. SILKIN

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

ASSESSMENT OF THE INFLUENCE OF WAVE LOADING WHEN FORMING AN EVALUATION MODEL OF THE RESIDUAL OPERATIONAL RESOURCE OF HES

Hydraulic engineering constructions are a difficult system from the point of view of perception of load and influences which in turn are the least studied components of such a system. Loadings and impacts on hydraulic engineering constructions can be presented in the form of a wide range of influence, both on temporary and spatial criteria. The approaches used at present when designing are not comprehensive as they have rather a conditional character. The most widespread mistakes when determining loads are an attempt of their description on temporary indicators while such an approach distorts a general picture of the dynamic behavior of a hydraulic engineering construction. It is difficult to call such an approach effective due to the lack of connection between the dynamic influence and the system in general. According to the influence on the hydraulic engineering construction loading and influence are subdivided on external and internal. However such classification is not exhaustive as it does not take into consideration such factors as chemical corrosion and as a result changing of the rated geometrical scheme of the structure and breakage of separate connections. Despite all various approaches to the assessment of the residual operational resource of hydraulic engineering constructions it is essentially possible when assessing the influence of wave load to replace incoming waves by regular ones. In such approach the wave process has no casual character. The second aspect considers the influence of the wave influence in time and does not regulate it by strictly designated intervals of influence on constructions. In this article the importance of wave load accounting as an integral part of the load composition on the system is emphasized when forming models of the operational assessment of the residual resource of hydraulic engineering constructions.

Hydraulic engineering constructions, durability, period of observations, rated model, statistical data, forecast of a state, wave influence, wind waves, statistical description, load and influences.

References

1. GOST 27.410-89. Nadezhnost v tehnikе. Osnovnye ponyatiya. Terminy i opredele-niya. – М.: Izd-vo standartov, 1990. – 37 s.

2. Barshtein M.F. Vozdejstvie neregulyarnoj volny na skvoznye inzhenernye sooruzheniya. // Stroiteljnaya mehanika

i raschet sooruzheniy. – 1964. – № 1. – S. 31-41.

3. SP 38.13330.2012 Nagruzki i vozdejstviya na gidrotehnicheskie sooruzheniya (Volvnye, ledovye i ot sudov). Aktualizirovannaya redaktsiya CNIIP 2.06.04. – 82*. <http://docs.cntd.ru/document/1200095522>

4. **Luzhin O.V., Khalfin I.Sh.** Dinamichesky raschet glubokovodnykh skvoznykh sooruzheniy na vozdejstvie sluchainogo shtormovogo volneniya / Volnovye vozdejstviya na morskoe neftegazovye sooruzheniya. ch. 2. – M.: VNIIOENG, 1977. – S. 42-84.

5. **Efremov M.M.** Raschet glubokovodnoy platform na vozdejstviya volny i techeniya. / Experimentalno-teoreticheskie issledovaniya antennykh sooruzheniy i glubokovodnykh osnovaniy. – M.: TSNII projectkonstruktsiya im. Meljnikova, 1988. – S. 160-166.

6. **Douson T.** Proektirovanie sooruzheniy morskogo shelfa: Per. s angl. – L.: Sudostroenie, 1986. – 288 s.

7. Morskoe gidrotehnicheskie sooruzheniya na kontinentalnom shelfe. / Simakov G.V., Shchhinek K.N., Smelov V.A., Marchenko D.V., Khrapaty N.G. – L.: Sudostroenie, 1989. – 328 s.

The material was received at the editorial office 11.09.2018 g.

Information about the authors

Zharnitsky Valerij Yakovlevich, doctor of technical sciences, professor of the chair «Bases and foundations, building and expertise of realty objects» FSBEU HE RGAU-MAA named after C.A. Timiryazev; 127550, Moscow, Timiryazevskaya ul., 49, e-mail: zharnitskiy@mail.ru

Andreev Yevgeniy Vladimirovich, candidate of technical sciences, associate professor of the chair «Bases and foundations, building and expertise of realty objects» FSBEU HE RGAU-MAA named after C.A. Timiryazev; 127550, Moscow, Timiryazevskaya ul., 49, e-mail: andreev-rf@mail.ru

Silkin Alexandr Mikhailovich, doctor of technical sciences, professor of the chair «Bases and foundations, building and expertise of realty objects» FSBEU HE RGAU-MAA named after C.A. Timiryazev; 127550, Moscow, Timiryazevskaya ul., 49, e-mail: zharnitskiy@mail.ru

УДК 502/504:627.8:626.811/.816:338.43

М.И. ЛОСКИН

ГБУ «Управление по мелиорации земель и сельскохозяйственному водоснабжению» Министерства сельского хозяйства Республики Саха (Якутия), г. Якутск, Российская Федерация

ЭКОНОМИЧЕСКАЯ ЭФФЕКТИВНОСТЬ ПРЕДЗИМНЕГО Понижения Уровня Воды НА НИЗКОНАПОРНОМ ГИДРОУЗЛЕ КУОГАЛЫ РЕСПУБЛИКИ САХА (ЯКУТИЯ)

Представлены результаты оценки экономической эффективности предзимнего понижения уровня воды в водохранилище многоцелевого назначения с учетом бесперебойного водоснабжения населенного пункта. Потребность в новых подходах к эксплуатации гидротехнических сооружений в центральной Якутии обусловлена изменением природно-климатических условий, вызывающих снижение степени безопасности гидротехнических сооружений. При дальнейшем развитии сценария потепления наличие талых зон внутри земляных плотин повысит вероятность аварий, связанных с затоплением населенных пунктов в случае прорыва сооружения. В целях безопасной эксплуатации сооружений возникает необходимость пересмотра параметров водохранилищ, особенно в зимний период, с учетом обеспечения нужд водопотребления и экономической эффективности планируемых мероприятий. Выполнено сопоставление предполагаемых ущербов от гидродинамической аварии при различных объемах наполнения водохранилища с планируемыми эксплуатационными затратами на мероприятия по ее предотвращению, показавшее безусловную целесообразность последних.

Эксплуатация гидротехнических сооружений, экономическая эффективность, сельскохозяйственное водоснабжение, предзимнее понижение, безопасность гидротехнических сооружений, ущерб, объем водохранилищ, водопотребление.

Введение. При строительстве гидротехнических сооружений (ГТС) в Республике

Саха (Якутия), получивших широкое распространение в 70-80 годы прошлого столетия,