

**В.Я. ЖАРНИЦКИЙ, Е.В. АНДРЕЕВ**

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

### **УЧЁТ ВЛИЯНИЯ ИНЕРЦИОННЫХ И СКОРОСТНЫХ КРИТЕРИЕВ ВОЛНОВЫХ НАГРУЗОК В МОДЕЛЯХ ОЦЕНКИ ЭКСПЛУАТАЦИОННОЙ НАДЁЖНОСТИ ГИДРОСООРУЖЕНИЙ**

*Учёт влияния неэксплуатационных динамических и статических нагрузок различается в зависимости от вида и типа рассматриваемого сооружения. Гидротехнические сооружения с точки зрения восприятия нагрузок необходимо рассматривать как сложную систему. Широкий спектр влияния по пространственному и временному принципу не позволяет выделить универсальный подход среди существующих методик к оценке остаточного эксплуатационного ресурса гидротехнических сооружений. Самой распространённой проблемой при определении количественных показателей нагруженности является общая практика их описания по временным критериям. При таком подходе невозможно выявить общую картину динамического поведения системы. В этом случае не прослеживается связь между динамическими воздействиями на отдельные элементы и узлы системы и поведением системы в целом. С учётом существующих подходов к оценке остаточной эксплуатационной надёжности, главным образом, можно выделить подход замещения набегающих волн на регулярные. В данном контексте процесс волнового воздействия не носит случайный характер. Так же учитывается воздействие волновых нагрузок по временным параметрам, при этом нет строгой регламентации по интервалам воздействия на сооружения.*

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

**Введение.** В ходе эксплуатации водохозяйственных объектов происходит непрерывное воздействие различного рода нагрузок на гидротехнические сооружения. К наиболее постоянным видам воздействия относятся волновые нагрузки. Степень износа гидротехнических сооружений является контролируемым показателем при условии наличия эксплуатирующей организации и постоянного мониторинга технического состояния водохозяйственного объекта. Для контроля таких показателей на стадии проектирования гидротехнического сооружения необходимо учитывать особенности влияния волновых нагрузок на гидротехническое сооружение в эксплуатационный период.

Если обратиться к общепринятому стандарту [1], то надёжность можно выразить как сложное свойство системы в целом или отдельных элементов такой системы,

которые должны соответствовать определённым параметрам в чётко установленных пределах допустимости за определённый временной интервал. Кроме того, критерии надёжности определяются условиями и показателями эксплуатации объекта, такими как сохранность, безотказность и долговечность отдельных элементов системы или сооружения в целом, ремонтпригодность. При рассмотрении проблемы применительно к оценке эксплуатационной надёжности гидротехнических сооружений отличия безотказности и долговечности очевидны. В основном это связано с тем, что гидротехническое сооружение эксплуатируется непрерывно.

Эксплуатация гидротехнических сооружений не может быть прекращена моментально, поэтому для таких объектов крайне важен критерий безотказности, который

в свою очередь является даже более важным, чем долговечность.

Если применить данные критерии для рабочего оборудования, например, машинного отделения гидротехнических сооружений, то отличия этих двух факторов становятся более понятными в отношении оценки остаточного эксплуатационного ресурса гидротехнических сооружений.

При оценке остаточной эксплуатационной надёжности гидротехнических сооружений не стоит забывать о различиях безотказности и долговечности как отдельных элементов системы, так и самой системы в целом. Поэтому в таких сооружениях несложно найти конструктивный элемент, замена или очередной ремонт которого происходит без прекращения эксплуатации объекта в целом.

Это большая часть ремонтных работ, при которых не происходит остановки эксплуатации зданий и сооружений. Если же рассматривать отрасли, в которых идёт использование технических механизированных средств, то становится ясно, что такие ремонты не возможны. В качестве примера можно привести ремонт автомобильного транспортного средства, когда замена или ремонт любого его элемента невозможен без полной остановки эксплуатации.

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 контексте параметрических отказов, т.е. постепенных отказов во времени под воздействием различных факторов.

Применительно к проблеме ремонтно-пригодности в гидротехнической практике можно сказать, что почти не используются количественные показатели ремонтнопригодности как таковой. К таким показателям можно отнести время восстановления гидротехнического сооружения или отдельных его частей: степень вероятности восстановления конструктивного элемента; среднее время, требуемое для проведения восстановительных работ гидротехнического сооружения в целом или отдельных его частей. Такое положение вещей связано с недооценённостью практической стороны эксплуатации гидротехнических сооружений по сравнению с нормативами по их проектированию.

Ещё в советский период существенным образом была сокращена нормативная документация, связанная с регламентами эксплуатации гидротехнических сооружений. И совсем недавно нормы регламентов эксплуатации стали возвращать в перечень необходимой нормативной литературы.

При рассмотрении свойства сохранности применительно к эксплуатации водохозяйственных объектов нужно понимать, что оно распространяется скорее на отдельные элементы сооружения, нежели на так называемую систему в целом. К примеру, это отдельные детали конвейерного производства, требуемые для работы гидроагрегатов машинного зала сооружения, хотя здесь можно рассмотреть и мобильные элементы или объекты, используемые в разное время эксплуатации.

Из выше изложенного следует, если рассматривать совокупность эксплуатационных показателей, которые сохраняют свои значения и свойства в заданных пределах для заданной системы и периода времени, то эти показатели можно принимать как некий стандарт качества, при котором эксплуатационная надёжность рассматриваемой системы будет выглядеть как характеристика качества, изменяющаяся во времени.

#### **Материалы и методы исследований.**

При проведении расчётов для сквозных сооружений часто исходят из того, что воздействие волновых нагрузок не деформирует само сооружение, т.е. в некоторой степени пренебрегают дифракцией волн у самого сооружения. Кроме того, из-за невысокого влияния геометрических параметров на форму волны, высоту её наката на гидротехническое сооружение можно принимать равной возвышению гребня волны  $\eta$  над расчётным уровнем. Справедливость таких предположений очевидна при условии  $d/\lambda \leq 0,2$  (здесь:  $d$  – линейная величина характерного размера поперечного сечения конструктивного элемента гидротехнического сооружения), при  $d/\lambda \geq 0,2$  уже возникает необходимость учёта интерференции и дифракции волн, при этом необходимо проводить дополнительные гидродинамические расчёты.

Для варианта  $d/\lambda \leq 0,2$  определение влияния волновых нагрузок на обтекаемые преграды, как правило, происходит с использованием теории Морисона [2], предположение которой основано на том, что волновую нагрузку можно разложить на две части. Первая часть описывается как

давление инерционной природы, определение которой происходит методом орбитального ускорения частиц, при этом масса воды суммируется. Связь второй части наиболее чётко просматривается с наличием так называемого пограничного слоя на обтекатель (теле сооружения) и при возникновении вихревого следа за ним. Определение данной части происходит при установлении скоростного напора и с учётом коэффициента сопротивления преграды.

Инерционная составляющая силы  $dP_i$ , оказывающая воздействие на элемент  $dz$ , представляется следующим образом

$$dP_i = C_i \rho \frac{\pi d^2}{4} \frac{\partial V}{\partial t} dz, \quad (1)$$

где  $\rho$  – плотность жидкости действующей на гидротехническое сооружение,  $\frac{\partial V}{\partial t}$  – мгновенное ускорение частиц в потоке до возмущения от столкновения с преградой,  $d$  – линейная величина характерного размера поперечного сечения конструктивного элемента гидротехнического сооружения, который считается меньше длины волны,  $C_i$  – коэффициент инерционного сопротивления.

Формула (1) для инерционной составляющей следует из теории гидродинамики при обтекании элемента гидротехнического сооружения неустановившемся потоком воды, из которой можно заключить, что  $C_i = 2$ . Хотя при исследовании реальных характеристик реальной воды и вихреобразования при столкновении потока с преградой, значение величины  $C_i$  достаточно изменчиво и требует экспериментального определения.

При этом скоростной компонент выглядит следующим образом

$$dP_v = C_v \rho d \frac{V|V|}{2} dz. \quad (2)$$

Такая составляющая подлежит определению практически так же, как и при расчёте ветровых нагрузок. Критерий аэродинамического воздействия в значительной степени отличается от показателя  $C_v$ , поскольку первоначально именно он соответствует воздействию установившегося потока, а  $C_v$  – потока неустановившегося. При этом за период прохождения волны через обтекаемую преграду гидротехнического сооружения скоростная составляющая  $C_v$  даже может изменить свой знак. Чтобы соблюсти условие установившегося потока для картины обтекания и вихреобразования, расстояние, которое преодолевает частица воды,

должно в значительной степени отличаться от размеров преграды гидротехнического сооружения, а именно превышать его.

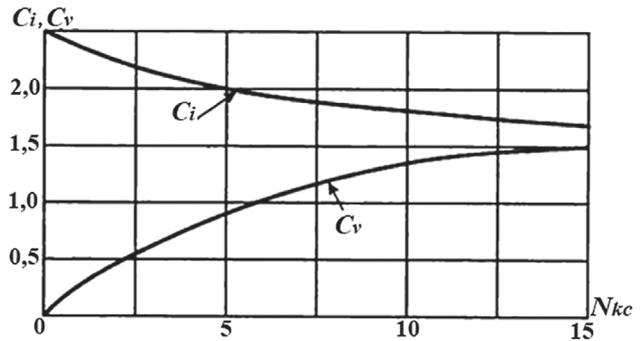


Рис. 1. Зависимость показателей  $C_i$  и  $C_v$  от числа Кюленгана-Карпентера

Основной характеристикой пути движения частицы, проходящей обтекаемые преграды гидротехнических сооружений, является число Кюленгана-Карпентера  $N_{kc} = V_{max} T/d$ , где  $V_{max}$  – горизонтальная максимальная скорость частиц (рис. 1.)

**Результаты исследований.** Во время прохождения волны через преграду показатели скорости и ускорения частиц воды постоянно меняются. Исходя из этого, линейное воздействие от проходящих волн  $q$  кН/м на преграду гидротехнического сооружения (рис. 2) при глубине  $z$ , м, требуется определять из числа показателей, которые формируются в зависимости от геометрического положения обтекаемой преграды гидротехнического сооружения относительно вершины набегаемой волны  $x = x/\lambda$

$$q = q_{i, max} \delta_{xi} + q_{v, max} \delta_{xv}, \quad (3)$$

где  $q_{i, max}$  и  $q_{v, max}$  – скоростные и инерционные составляющие наибольшего линейного воздействия от набегающих волн, кН/м, на преграду гидротехнического сооружения (рис. 2), которые в свою очередь можно определить по формулам

$$q_{i, max} = \frac{1}{2} \rho g \pi^2 \frac{h}{\lambda} k_v \theta_{xi} \beta_i, \quad (4)$$

$$q_{v, max} = \frac{2}{3} \rho g \pi b \frac{h^2}{\lambda} k_v^k \theta_{xv} \beta_v, \quad (5)$$

где  $\delta_{xi}$  и  $\delta_{xv}$  – коэффициенты сочетания скоростного и инерционного компонентов линейного нагружения от волн на гидротехническое сооружение;  $h$  и  $\lambda$  – высота и длина расчётной волны соответственно;  $\theta_{xi}$  и  $\theta_{xv}$  – показатели линейного нагружения от набегающих волн;  $k_v$  – коэффициент, принимаемый по таблице 1;  $\beta_i$  и  $\beta_v$  – инерционный и скоростной критерии геометрических характеристик преграды.

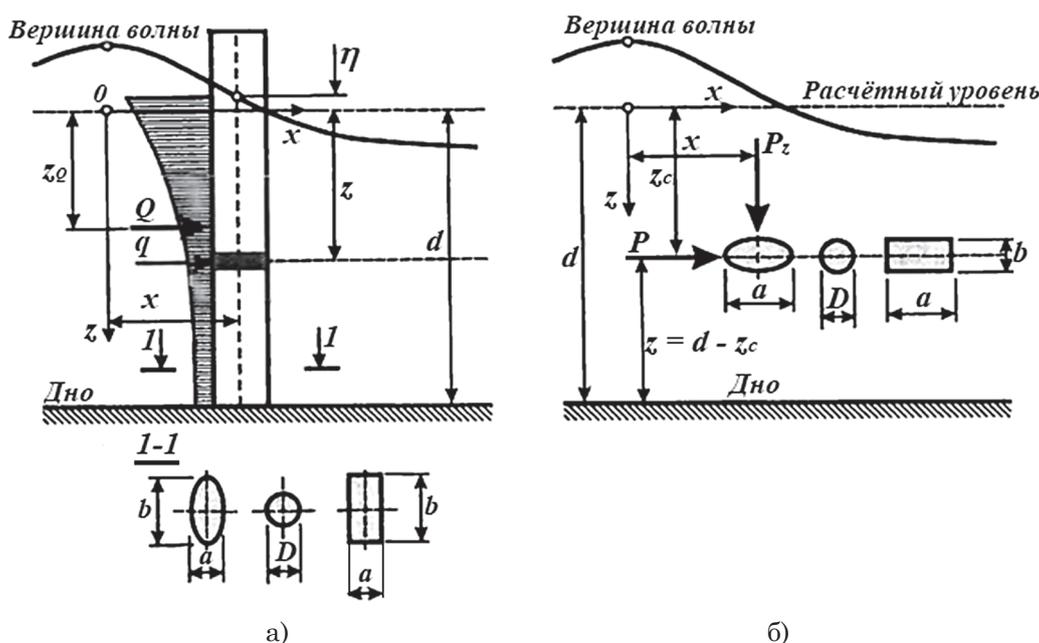


Рис. 2. Схемы для определения волновых воздействий на обтекаемые преграды гидротехнических сооружений:

а) вертикальные; б) горизонтальные

Из рисунка 3 следует, что максимальные показатели инерционного и скоростного критериев достигаются при различных величинах относительного расстояния  $\chi = x/\lambda$  от преграды до гребня волны, что обосновано требованием перебора показателей  $\chi$  для нахождения расчётного сочетания, оказывающего максимальное значение волнового воздействия на гидротехническое сооружение [3].

Для определения линейной нагрузки от набегающих волн  $q_{cr}$  кН/м на цилиндрическую преграду на глубине  $z$  м (рисунок 2) на относительном удалении оси вертикальной преграды от вершины волны  $x/d_i$ , определяется из выражения

$$q_{cr} = q_{i, cr} + q_{v, cr}, \quad (6)$$

где  $q_{v, cr}$  и  $q_{i, cr}$  – инерционный и скоростной критерии линейного нагружения на гидротехническое сооружение от набегающих волн, кН/м, определяются как

$$q_{i, cr} = \frac{1}{2} \rho g \pi D^2 \varepsilon_{i, cr}, \quad (7)$$

$$q_{v, cr} = \frac{2}{5} \rho g D (d_{cr} + \eta_{swr}) \varepsilon_{v, cr}, \quad (8)$$

где  $d_{cr}$  – критическая глубина при первоначальном набегании волны;  $\varepsilon_{i, cr}$  и  $\varepsilon_{v, cr}$  – инерционный и скоростной критерии, принимаемые по графикам из [4].

Таблица 1

Значения коэффициента  $k_v$  в зависимости от величины обтекаемой преграды гидротехнического сооружения

Относительный размер обтекаемой преграды $a/\lambda, b/\lambda, D/\lambda$	0,08	0,1	0,15	0,2	0,25	0,3	0,4
Коэффициенты $k_v$	1	0,97	0,93	0,86	0,79	0,7	0,52

Наибольший показатель линейного нагружения от набегающих волн на гидротехническое сооружение  $P_{max}$ , кН/м, на горизонтальную обтекаемую преграду (рис. 2б) с поперечными размерами  $a \leq 0,1\lambda$ , м, и  $b \leq 0,1\lambda$ , м, при  $z_c \geq b$ , но  $(z_c - b/2) > h/2$ , и при  $(d - z_c) \geq b$  можно определить по формуле

$$P_{max} = \sqrt{P_x^2 + P_z^2} \quad (9)$$

для обоих случаев:

- с наибольшей горизонтальной составляющей линейного нагружения  $P_{x, max}$ , кН/м, при конкретном показателе вертикального показателя линейного нагружения  $P_z$ , кН/м;
- с наибольшей вертикальной составляющей линейного нагружения  $P_{z, max}$ , кН/м, при конкретном показателе горизонтального показателя линейного нагружения  $P_x$ , кН/м.

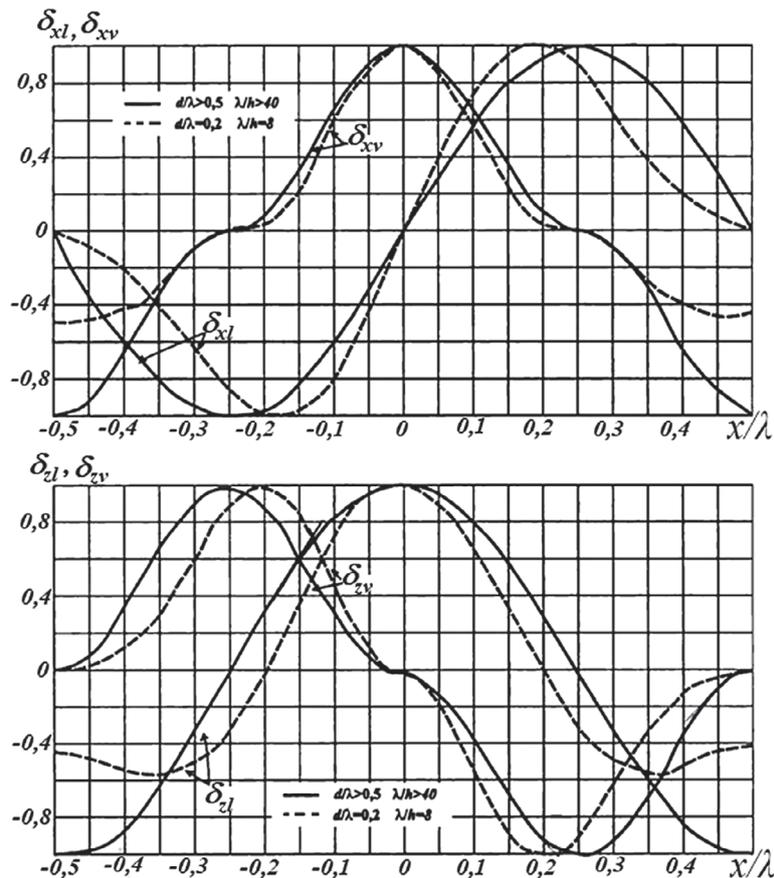


Рис. 3. Диаграммы показателей сочетания инерционной и скоростной составляющих линейного нагружения от набегающих волн на гидротехническое сооружение

Наибольший показатель горизонтальной составляющей линейного нагружения от набегающих на гидротехническое сооружение волн  $P_{x, max}$ , кН/м, на горизонтальную преграду определяется из целого ряда показателей, которые получают при различных значениях  $x$

$$P_{x, max} = P_{xi} \delta_{xi} + P_{xv} \delta_{xv} \quad (10)$$

где  $\delta_{xi}$ ,  $\delta_{xv}$  – показатели сочетания инерционной и скоростной составляющих линейной нагрузки от набегающих на гидротехническое сооружение волн;  $P_{xi}$ ,  $P_{xv}$  – скоростная и инерционная составляющие горизонтального линейного нагружения от набегающих на гидротехническое сооружение волн, которые соответственно определяются по формулам

$$P_{xi} = 1/2 \rho g \pi^2 \cdot b^2 h / \lambda k_v \theta_{xi} \beta_i \quad (11)$$

$$P_{xv} = 2/3 \rho g \pi b \cdot h^2 / k_v^2 \theta_{xv} \beta_v \quad (12)$$

где  $\theta_{xi}$  и  $\theta_{xv}$  – критерии линейного нагружения от набегающих на гидротехническое сооружение волн;  $\beta_i$ ,  $\beta_v$  – скоростная и инерционная составляющие геометрических показателей преграды с соответствующими расчётными сечениями.

Наибольший показатель вертикального линейного нагружения от набегающих волн на горизонтальную преграду ГТС  $P_{z, max}$ , кН/м, определяется из ряда показателей, рассчитываемых при разных значениях  $x$

$$P_{z, max} = P_{zi} \delta_{zi} + P_{zv} \delta_{zv} \quad (13)$$

где  $P_{zi}$  и  $P_{zv}$  – скоростная и инерционная составляющие вертикального линейного нагружения от набегающих на ГТС волн, которые определяются по формулам

$$P_{zi} = 1/2 \rho g \pi^2 \cdot a^2 h / k_v \theta_{zi} \beta_i \quad (14)$$

$$P_{zv} = 2/3 \rho g \pi a \cdot h^2 / k_v^2 \theta_{zv} \beta_v \quad (15)$$

Для гидротехнических сооружений, представляющих собой стержневые системы, отдельные конструктивные элементы которых находятся под воздействием волновых нагрузок, величину нагружения обычно получают суммированием нагружений на все элементы с учётом геометрического положения каждого конструктивного элемента по отношению к профилю расчётной волны [5]. При использовании такого

подхода могут возникнуть неточности, связанные с тем, что предполагаемое движение частиц жидкости не искажается при прохождении сооружения, но при этом величина погрешности от такого предположения небольшая и уменьшается с уменьшением отношения  $D/\lambda$  (здесь  $D$  – величина расчётного поперечного сечения обтекаемой преграды).

В данном подходе отдельные конструктивные элементы гидротехнического сооружения рассматриваются как отдельно расположенные преграды при расстоянии между ними  $l$ , равных и более трёх диаметров  $D$ , а при  $l < 3D$  воздействие волнового нагружения на конкретный конструктивный элемент умножают на показатель сближения по фронту  $\psi_t$  и лучу  $\psi_i$  волн, значения которых можно взять из таблицы 2.

Таблица 2

**Значения коэффициентов сближения  $\psi_t$  и  $\psi_i$  в зависимости от расстояния между осями конструктивных элементов преград**

Относительное расстояние между обтекаемыми преградами $l/D$	Коэффициенты сближения $\psi_t$ и $\psi_i$ при значениях относительных диаметров $D/\lambda$			
	$\psi_t$		$\psi_i$	
	0,1	0,05	0,1	0,06
3	1	1	1	1
2,5	1	1,05	1	0,98
2	1,04	1,15	0,97	0,92
1,5	1,2	1,4	0,87	0,8
1,25	1,4	1,65	0,72	0,68

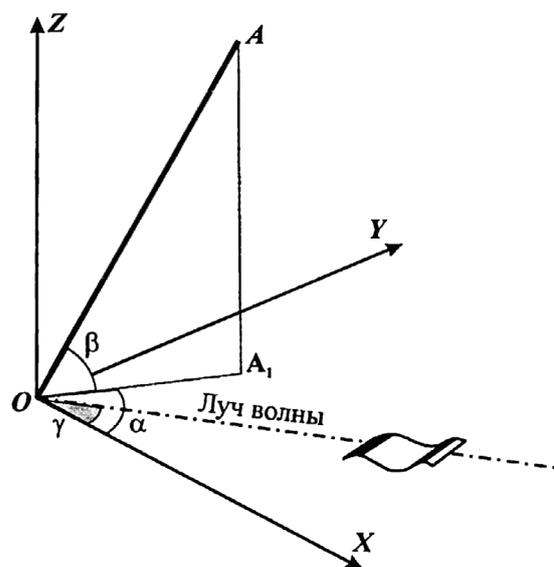
Волновое нагружение на конструктивные элементы гидротехнических сооружений, отклоняемых от вертикали или горизонтали под углом не менее  $25^\circ$ , нормативной литературой допускается рассчитывать как при горизонтальной или вертикальной преградах. Если образуется отклонение свыше  $25^\circ$ , то величину волнового нагружения рекомендуется получать, используя эпюры горизонтальной и вертикальной составляющих нагружения. Из этого следует, что, используя формулу (49) из [4], получаем равнодействующую волнового нагружения на наклонный конструктивный элемент гидротехнического сооружения, что выглядит следующим образом:

$$P = \sqrt{P_x^2 + P_y^2} \quad (16)$$

Данная формула не лишена недостатков, т.к. получается, что независимо от коэффициента поверхностного трения об преграду гидротехнического сооружения возникает тангенциальная составляющая волнового нагружения, показатель величины которой можно определить как угол наклона элемента к направлению потока.

На самом деле следует производить расчёт исходя не из разложения сил, которые при разложении скоростной составляющей линейного нагружения можно представить

в виде давлений на конкретные части конструктивных элементов гидротехнических сооружений, а из разложения векторов скоростных характеристик [6, 7]. Тогда, при наличии между осями конструктивных элементов гидротехнических сооружений и направлением скоростей частиц воды угла  $\varphi$ , скоростной показатель будет пропорционален  $\sin^2 \varphi$ , а соответственно инерционная –  $\sin \varphi$  (рис. 4).



**Рис. 4. Воздействие волнового нагружения на наклонный конструктивный элемент гидротехнического сооружения**

При использовании углов, обозначенных на рисунке 4, выражения для проекций для оси  $X$  скоростных и инерционных показателей

$$P_{xi} = \frac{c_i \rho \pi D^2}{4} \left\{ \begin{array}{l} \ddot{v} [\sin(\alpha - \gamma) \sin \alpha + \cos(\alpha - \gamma) \cos \alpha \sin^2 \beta] - \\ \ddot{w} [\cos \beta \sin \beta \cos \alpha] \end{array} \right\} \quad (17)$$

### Выводы

Если проанализировать вышеуказанные формулы и диаграммы, то можно выделить устойчивые особенности волновых нагружений на гидротехнические сооружения:

- скоростной критерий волновых нагрузок существенным образом отличается от гармонической функции;

- соотношение между инерционным и скоростным критерием имеет зависимость от отношения диаметра геометрической преграды ГТС  $D$  к высоте набегаемой волны  $h$ , т.е. можно сказать, что при небольших  $D$  и больших  $h$  преобладающее влияние будет оказывать скоростной критерий, а с увеличением значения  $D$  будет возрастать инерционный критерий;

- между показателями  $P_i$  и  $P_v$  наблюдается сдвиг по фазе на  $\pi/2$ , в то время как наибольшие суммарные нагружения образуются в различной фазе в соответствии с величинами показателей инерционных и скоростных критериев.

### Библиографический список

1. ГОСТ 27.410-89. Надёжность в технике. Основные понятия. Термины и определения. – М.: Изд-во стандартов, 1990. – 37 с.

2. Morison J.R., O'Brien M.P., Johnson J.W., Shaaf S.A. The forces exerted by surface waves on piles // Petroleum Transaction American Institute of Mining Engineering, 1950. – Vol. 189. – P. 149-154.

3. Барштейн М.Ф. Воздействие нерегулярной волны на сквозные инженерные сооружения. // Строительная механика и расчёт сооружений. – 1964. – № 1. – С. 31-41.

4. СП 38.13330.2012 Нагрузки и воздействия на гидротехнические сооружения

волновых нагружений гидротехнических сооружений на цилиндрическую обтекаемую преграду диаметром  $D$  будет иметь вид:

(Волновые, ледовые и от судов). Актуализированная редакция СНиП 2.06.04. – 82\*. <http://docs.cntd.ru/document/1200095522>

5. 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.

6. Ефремов М.М. Расчёт глубоководной платформы на воздействия волны и течения. / Сб. науч. тр. Экспериментально-теоретические исследования антенных сооружений и глубоководных оснований. – М.: ЦНИИ проект стальной конструкция им. Мельникова, 1988. – С. 160-166.

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

Материал поступил в редакцию 23.04.2019 г.

### Сведения об авторах

**Жарницкий Валерий Яковлевич**, доктор технических наук, заведующий кафедрой «Основания и фундаменты, строительство и экспертиза объектов недвижимости», ФГБОУ ВО РГАУ-МСХА имени К.А. Тимирязева; 127550, г. Москва, Б. Академическая ул., 44; 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; 127550, г. Москва, ул. Б. Академическая, 44; e-mail: andreev-rf@mail.ru

V.YA. ZHARNITSKY, E.V. ANDREEV

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

## THE ACCOUNT OF INFLUENCE OF INERTIA AND SPEED CRITERIA OF WAVE LOAD IN THE ASSESSMENT MODELS OF OPERATIONAL RELIABILITY OF HYDRAULIC STRUCTURES

*The account of non-operational dynamic and static load differs depending on a kind and type of the considered structure. Hydraulic engineering structures from the point of view of load taking need to be considered as a complex system. A wide range of influence according*

*to the spatial and temporal principle doesn't allow distinguishing a universal approach from the existing methods to the assessment of a residual operational resource of hydraulic engineering structures. The most widespread problem when determining quantitative indices of loading is a general practice of their description according temporal criteria. At such approach it is impossible to reveal a general picture of the system dynamic behavior. In this case the relation between dynamic impacts on some elements and units of the system and behavior of system in general isn't traced. Taking into account the existing approaches to the assessment of residual operational reliability mainly it is possible to choose an approach of replacement of the running waves by regular ones. In this context the process of wave impact is not casual. Also the influence of wave load in temporary parameters is considered, thus there is no strict regulation on intervals of impact on structures.*

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

### References

1. GOST 27.410-89. Nadezhnost v tehnikе. Osnovnye ponyatiya. Terminy i opredeleniya. – M. Izd-vo standartov, 1990. – 37 s.

2. **Morison J.R., O'Brien M.P., Johnson J.W., Shaaf S.A.** The forces exerted by surface waves on piles // Petroleum Transaction American Institute of Mining Engineering, 1950. – Vol. 189. – P. 149-154.

3. **Barshtein M.F.** Vozdejstvie neregulyarnoj volny na skvoznye inzhenernye sooruzheniya. // troitel'naya mehanika i raschet sooruzhenij. – 1964. – № 1. – S. 31-41.

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

5. **Luzhin O.V., Halfin I.Sh.** Dinamichesky raschet glubokovodnyh skvoznyh sooruzhenij na vozdejstvie sluchainogo shtormovogo volneniya. / Volnovye vozdejstviya na morskije neftegazovye sooruzheniya. Ch. 2. – M.: VNIIOENG, 1977. – S. 42-84.

6. **Efremov M.M.** Raschet glubokovodnoy platform na vozdejstviya volny i techeniya. / Sb.

nauch. tr. Eksperimentalno-teoreticheskie issledovaniya antennykh sooruzhenij i glubokovodnykh osnovanij. – M.: TSNII project stalkonstruktziya im. Melnikova, 1988. – S. 160-166.

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

The material was received at the editorial office  
23.04.2019 g.

### Information about the authors

**Zharnitskiy Valeriy Yakovlevich**, doctor of technical sciences, head of the department «Bases and foundations, building and expertise of estate objects», FSBEI HE RGAU-MSHA named after C.A. Timiryazev; 127550, Moscow, B. Academicheskaya ul., 44; e-mail: zharnitskiy@mail.ru

**Andreev Evgeniy Vladimirovich**, candidate of technical sciences, associate professor of the department «Bases and foundations, building and expertise of estate objects», FSBEI HE RGAU-MSHA named after C.A. Timiryazev; 127550, Moscow, B. Academicheskaya ul., 44; e-mail: andreev-rf@mail.ru