

ЭКОНОМИКО-ЭКОЛОГИЧЕСКИЕ АСПЕКТЫ ИСПОЛЬЗОВАНИЯ ПОЛУПОГРУЖЕННЫХ ДЕМПИРУЮЩИХ ПЛАТФОРМ ПРИ СТРОИТЕЛЬСТВЕ ГИДРОТЕХНИЧЕСКИХ СООРУЖЕНИЙ

В статье экономически обоснована новая концепция проектирования гидротехнических сооружений, проведен предварительный экономический анализ результатов внедрения нового подхода, обозначены положительные экологические аспекты концепции и условия размещения объекта строительства, благоприятные для внедрения нового подхода.

Ключевые слова: гидротехнический, волнолом, разрушение волн, акватория, прибрежное течение, материалоемкость конструкции.

Введение

Исторически сложившаяся технология строительства внешних волноломов портов состоит в том, что гидростроители насыпают мощный вал, который начинается на дне и, сужаясь кверху, поднимается на несколько метров выше уровня воды. При этом внутренняя стенка сооружения делается вертикальной для удобства причаливания плавсредств. Глубина внутри акватории составляет от 3 до 20 м, в зависимости от категории судов, на обработку которых рассчитан причал. Далее располагается горизонтальная поверхность пирса, которая используется для технических нужд, размещения причальных приспособлений, движения транспортных средств и т.д. Наружная стенка конструкции волнолома полого уходит в море. Для предотвращения её разрушения волнами, и большего сопротивления движению волны, в зоне прибоя обычно формируют пояс из бетонных конструкций.

Если в верхней, горизонтальной, части такой волнолом имеет ширину порядка 3-10 м, то в основании он значительно шире, и эта ширина прямо зависит от глубины. На глубине 6-8 м, характерной для портовых сооружений Одесского залива, ширина основания волнолома может составлять несколько десятков метров. Такая конструкция отличается значительной материалоемкостью и вызывает нарушения режима течений в прибрежной зоне, что, в свою очередь, влияет на экологические характеристики в районе расположения сооружения.

Материалоемкость конструкции оборачивается высокими финансовыми затратами на приобретение материалов, их доставку к месту строительства и осуществление монтажа. Негативное влияние на экологические показатели приводит к затратам на штрафы и компенсацию ущерба, нанесенного экологии [1].

Методы исследования

В данном исследовании применяется комплексный подход, проводится качественная и количественная оценка вопросов материалоемкости конструкции. На основе предложенной упрощенной модели расчетов затрат на проведение монтажа, транспортные издержки и строительство проведен расчет коэффициента снижения затрат для нескольких комбинаций параметров. Проводится оценка значимости анализируемых факторов в зависимости от особенностей проектируемых объектов. Помимо этого рассмотрены вопросы влияния на экологию сооружений традиционного

типа и альтернативных типов сооружений, использующих принцип демпфирующих платформ.

Результаты исследования и их анализ.

Традиционная конструкция волноломов формировалась исторически в течение длительного периода времени, исчисляющегося тысячелетиями, под влиянием необходимости противостоять удару фронта волны при любых параметрах волнения. Ее отработка происходила на основе технологических решений, которые имелись в распоряжении гидростроителей в то время. Появление в наше время новых технологий и развитие науки открывает новые возможности, которые предоставляют хорошие экономические и экологические перспективы. Целью статьи является оценка возможных перспектив в области экономики и экологии возникающих в случае использования новых технических решений. Как и любая другая, классическая конструкция волнолома имеет свои достоинства и недостатки. Среди недостатков можно выделить следующие:

- большой объем материала, который приходится укладывать в тело волнолома;
- большие трудозатраты по перевозке и монтажу этих материалов;
- резкое возрастание объема конструкции с ростом глубины
- нарушение циркуляции воды, вызванные замкнутым характером акватории, которая образуется после строительства таких волноломов, и возникающие из-за этого экологические проблемы.

Проблема замкнутости акватории состоит в том, что, полностью перекрывая циркуляцию воды в прибрежной зоне, такие волноломы вызывают застой воды в акватории порта. В сочетании с дополнительными загрязняющими факторами, связанными с деятельностью порта, данное обстоятельство нередко приводит к серьезным нарушениям экологического баланса. Например, в портах Адриатического моря в летний период нередко отмечается «загнивание» воды, которое сопровождается характерным неприятным запахом. В Одесском заливе такое явление отмечается реже из-за меньших максимальных значений температуры воздуха и воды, однако тоже может иметь место [1].

Схематически сечение волнолома в вертикальной плоскости вдоль вектора движения волны, перпендикулярной волнолому и расположение функциональных зон представлено на рис.1.

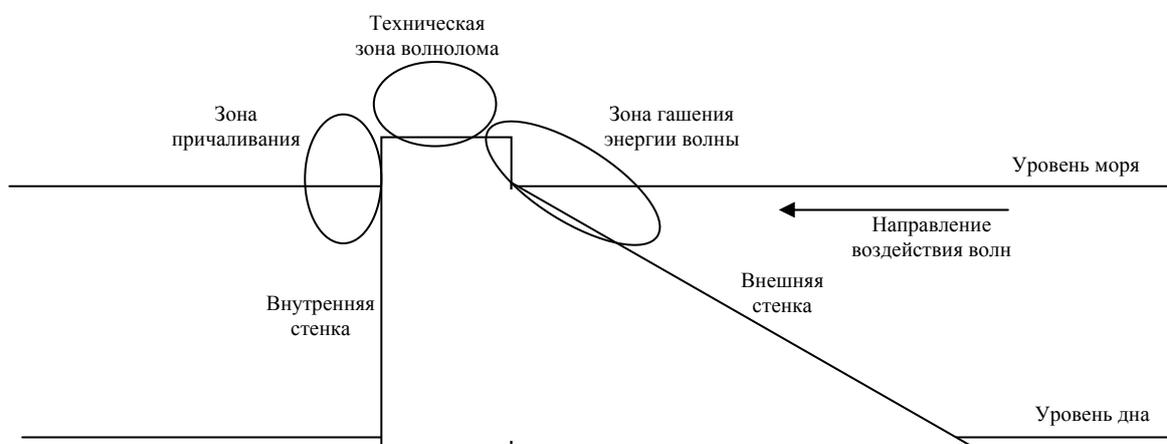


Рисунок 1 – Сечение волнолома традиционной конструкции.

Если проанализировать функцию, которую выполняют различные фрагменты конструкции волнолома, то можно выделить три функциональных зоны:

- зону гашения энергии волны;
- зону причаливания плавсредств;
- техническую зону волнолома, по которой осуществляется доступ к плавсредствам и навигационным объектам, происходит передвижение персонала и технических средств.

Такой анализ показывает, что массивное основание, которое является наиболее материалоемкой частью конструкции, не несет самостоятельной функциональной нагрузки. Это позволяет предположить, что имеется возможность предложить другую компоновку функциональных зон, которая позволит сделать конструкцию более компактной, и уменьшить непроизводительные затраты материала.

Для приблизительной количественной оценки потребности в материале и, соответственно, расходов на его приобретение, доставку и монтаж зададим численные значения пространственных характеристик участка волнолома для двух различных глубин (табл.1).

Таблица 1 – Исходные данные приблизительного расчета расхода материала на строительство отрезка волнолома для двух глубин

Длина отрезка волнолома (м)	100
Высота над водой (м)	2
Ширина в верхней части (м)	5
Ширина на уровне воды (м)	5
Угол наклона внешней стенки основания к горизонтали (град.)	30
Глубина 1 (м)	5
Глубина 2 (м)	10

Объем отрезка конструкции волнолома вычисляется как произведение длины отрезка на площадь сечения и составит:

- Для глубины 1: $100 * ((5+2) * 5 + 1/2 * 5 * (5 * \sin(60^\circ) / \sin(30^\circ))) = 5665 \text{ м}^3$.
- Для глубины 2: $100 * ((10+2) * 5 + 1/2 * 10 * (10 * \sin(60^\circ) / \sin(30^\circ))) = 14660 \text{ м}^3$.

Очевидно, что затраты на закупку и доставку материалов возрастают почти в три раза при увеличении глубины в месте монтажа в два раза – с 5 метров до 10. Затраты на осуществление монтажа растут сильнее, поскольку стоимость строительных работ возрастает с увеличением глубины.

Во всех классических схемах берегозащитных сооружений действию волны противостоит либо стена – это вариант очень жесткого взаимодействия, либо разрушение волны происходит постепенно снизу – волна накатывается на относительно пологий участок берега, который поглощает энергию волны. При смещении такой конструкции в сторону больших глубин это, как только что было показано, резко увеличивает объем материала основания. Поэтому такие волноломы стараются строить, используя имеющиеся естественные отмели, косы или островки, однако обнаружить их в нужном месте удастся далеко не всегда [2]. Это снижает экономическую привлекательность некоторых проектов создания объектов инфраструктуры морехозяйственной отрасли, которые по всем остальным показателям могут оцениваться как весьма перспективные.

Задачу можно поставить следующим образом: ***а обязательно ли для разрушения волны, по мере её продвижения в сторону акватории порта, гасить ее энергию***

путем разрушения трением о дно? Возникает предположение, что *разрушение волны можно производить и обратным способом, заставляя волны проходить под препятствием, создающим эффект гашения волны.* Это может привести к многократному снижению материалоемкости и позволит получить значительный экономический эффект. Такое препятствие можно назвать демпфирующей платформой, поскольку ее назначением становится гашение волновых колебаний морской поверхности.

В варианте строительства гидросооружений волнолома с использованием демпфирующих платформ, компоновка функциональных зон волнолома представлена на рис. 2.

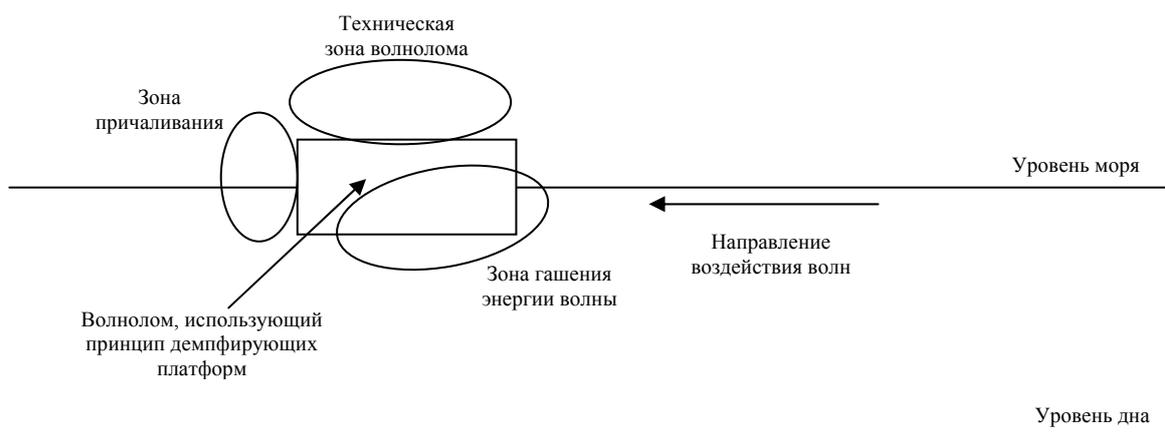


Рисунок 2 - Сечение волнолома новой конструкции, использующего принцип демпфирования поверхностных волн.

Анализируя схему, легко можно определить источник роста экономических показателей. В такой конструкции функциональные зоны охватывают большую ее часть. Конструктивно демпфирующие платформы могут представлять собой понтоны или устанавливаться на сваях. В первом случае неподвижность платформы обеспечивается особенностями конструкции понтона и системой его крепления. Во втором случае неподвижность обеспечивается жесткостью свайной конструкции.

При набегании волны на пологий берег, происходит торможение ее основания из-за трения о дно. Верхушка волны как бы «обгоняет» основание. Происходит уменьшение длины волны, увеличение ее высоты с последующим обрушением гребня. Именно поэтому можно наблюдать огромные гребни волн, перехлестывающие через классические волноломы 5 и более метровой высоты над уровнем моря, даже если фактическая высота волн в отдалении существенно меньше [3]. Для демпфирующих платформ такой эффект не характерен, поскольку подъема дна по мере приближения к гидротехническому сооружению при этом не происходит. Учитывая, что внутри акватории для обеспечения причаливания судов с большой осадкой проводятся дноуглубительные работы, уровень дна в направлении снаружи – внутрь может даже понижаться.

С точки зрения физики процесса, исследование процесса взаимодействия волнолома, использующего принцип демпфирующих платформ, с фронтом волны может быть проведено на следующей модели: взаимодействия волны с полупогруженной конструкцией бесконечной протяженности, расположенной

перпендикулярно вектору движения волны. Глубина погружения конструкции составляет половину ее высоты, а расстояние от нижнего края конструкции до твердого дна больше или равно глубине ее погружения. Моделирование может проводиться для разных значений глубины и соотношений характеристик волны (длина волны и амплитуда) с высотой конструкции. Форма сечения конструкции на начальном этапе может быть принята прямоугольной с различными соотношениями длины основания к высоте.

Расчеты позволят оценить степень затухания волн для различных вариантов комбинации характеристик демпфирующей конструкции и волны. Исследованию взаимодействия уединенных волн (солитонов) и серий волн с наклонными и вертикальными преградами посвящено множество работ, выполненных как на основе численных расчетов, так и в экспериментах. Математическая модель и расчеты строятся на основе модели Стокса, решения уравнения Лапласа. Эксперименты проводятся в опытных бассейнах и лотках с пересчетом результатов на основе корректирующих масштабных коэффициентов [3,4].

Расчеты показывают принципиальную возможность разработки конструкций волноломов, основанных на принципе демпфирующих платформ. Это говорит о том, что в практике строительства гидросооружений будут встречаться такие сочетания задач строительства и природных условий в месте строительства, при которых применение технологии демпфирующих платформ позволит получить существенный экономический эффект.

Проведем примерный расчет материалоемкости конструкции волнолома, построенного с использованием принципа демпфирующих платформ для условий, которые рассматривались выше. При этом необходимо ввести дополнительный параметр: **коэффициент заполнения конструкции** (z). Значение коэффициента определяется как отношение объема затраченного материала к габаритному объему конструкции. При классической схеме строительства гидросооружений они выполняются монолитными или полностью заполняются материалом, чтобы увеличить их массу и, соответственно, устойчивость в горизонтальном направлении перпендикулярно вектору движения волны. Поэтому их коэффициент заполнения соответствует 1.

Демпфирующие платформы производят гашение энергии волн скорее за счет интерференции волн, перевода вектора воздействия энергии волны из горизонтальной плоскости в вертикальную, чем за счет прямого противодействия распространению волн. В этом случае важнее геометрические размеры и форма конструкции, чем ее масса. Поэтому часть конструкции платформы может быть полой. Для варианта платформы-понтон, если принять, что плотность бетона примерно в два раза выше плотности воды и глубина погружения понтона составит половину его высоты, коэффициент заполнения составит 0,25. Для платформы на сваях коэффициент заполнения будет находиться в промежутке между 0,25 и 1 (для нашего расчета примем его значение 0,5). Еще до 5% объема материала, в расчете на каждый метр в глубину, может потребоваться для строительства свайных опорных конструкций.

Расчет параметров конструкции волнолома может быть проведен на основе математического, численного или натурного моделирования физики процесса гашения энергии волны. Моделирование процесса затухания волновых колебаний не является единственным аспектом, существенным для разработки конкретной конструкции волнолома с использованием принципа демпфирующих платформ. Здесь важны также прочностные расчеты конструкции и обеспечение удобной технологии монтажа.

Все приведенные положения указывают на то, что волнолом, построенный по такой технологии, не будет иметь массивного основания и может быть ниже, чем

традиционный. Однако, его протяженность, вдоль фронта движения волны, будет больше, чем традиционного. Для такой конструкции волнолома примем ширину надводной части 15м – в три раза больше, чем у классической конструкции.

Объем строительного материала, необходимого для создания платформы-понтонной протяженностью 100 метров (как и в расчетах для классической конструкции) независимо от глубины составит

$$0,25*(100*4*15)=1500 \text{ м}^3,$$

где $z=0,25$; 4×15 – сечение конструкции; 100 – длина отрезка.

Объем строительного материала платформы на сваях такой же длины составит для принятых выше значений глубины:

- $0,5*100*4*15+0,5*100*4*15*0,05*(5-2)=3450 \text{ м}^3$ для глубины 5м,
- $0,5*100*4*15+0,5*100*4*15*0,05*(10-2)=4200 \text{ м}^3$ для глубины 10м,

где $z=0,5$; 4×15 – сечение конструкции; 100 – длина отрезка; (5-2) и (10-2) – длина свай в зависимости от глубины; 0,05 – коэффициент затрат материала на строительство свайной опоры на каждый метр глубины.

При сравнении результатов видно, что построив волнолом, надводная часть которого будет в три раза шире, чем у традиционного, что создает дополнительные эксплуатационные преимущества, мы затратим для глубины 5 метров при варианте понтонной конструкции в 3,8 раза меньше материала, в варианте конструкции на сваях – в 1,6 раза меньше, а для глубины 10 м – в 9,8 и в 3,5 раза соответственно.

Это подтверждает, что использование конструкций данного типа приводит к значительному снижению потребности в строительных материалах. Однако, для более точной количественной оценки возможного экономического эффекта необходимо определить конкретную конструкцию такого волнолома и оценить финансовые затраты на его возведение в сравнении с теми, которые требуются при возведении традиционного волнолома.

Соотношение количества материала, необходимого для строительства волнолома традиционной конструкции к количеству материала, необходимому для сооружения демпфирующей платформы обозначим как **коэффициент снижения потребности в материалах** (k). Фактически выше получены четыре значения этого коэффициента для различных комбинаций глубин и конструкций демпфирующих платформ.

Для оценки экономического эффекта внедрения новой конструкции необходимо произвести стоимостную оценку. Здесь будет целесообразно оперировать такими экономическими параметрами, как **средневзвешенная цена**, представляющая собой сумму стоимостей всех материалов, отнесенную к их общему количеству и **удельная стоимость монтажа**, представляющая отношение общей стоимости монтажа к объему материалов.

Оценивая значимость различия в объеме строительного материала в стоимостном выражении, необходимо учесть изменение его качественных характеристик. При снижении объема материалов, необходимых для возведения гидротехнического сооружения, в несколько, или даже в десятки раз, вполне вероятно, что качество и, соответственно, средневзвешенная цена материалов несколько возрастут.

Если затраты на доставку и установку деталей волнолома мало зависят от характеристик материала, то его средневзвешенная цена для разных вариантов конструкции может различаться в несколько раз. Здесь же можно сказать и о стоимости

робот по монтажу. Удельная стоимость монтажа гидротехнического сооружения также может различаться весьма существенно, в зависимости от его конструкции.

Примем, что стоимость строительных материалов и затраты на их доставку для обоих вариантов конструкции гидротехнического сооружения примерно равны, и составляют 80% общих затрат на строительство, а стоимость монтажа гидротехнического сооружения составляет 20% общих затрат. Тогда коэффициент снижения расходов на строительство гидротехнического сооружения (K) (вычисляемый как соотношение стоимости строительства традиционного волнолома к стоимости строительства волнолома с использованием принципа демпфирующих платформ) можно рассчитать исходя из выражения

$$K = \frac{X * 40 + X * 40 + X * 20}{X * 40 / k_1 + X * 40 / k_2 + X * 20 / k_3},$$

где $X = 1\%$ стоимости строительства традиционным способом;

k_1, k_2 и k_3 – коэффициенты снижения затрат на закупку материалов, их доставку и монтаж гидросооружения соответственно.

Они могут быть вычислены следующим образом.

Коэффициент k_1 равен отношению общей стоимости материалов, необходимых для строительства классической конструкции к общей стоимости материалов, необходимых для строительства новой конструкции или отношению средневзвешенных цен. Коэффициент k_2 равен отношению общей стоимости доставки материалов, при строительстве классической конструкции к общей стоимости доставки материалов, при строительстве новой конструкции. Коэффициент k_3 равен отношению стоимости монтажа при строительстве классической конструкции к стоимости монтажа при строительстве новой конструкции или отношению удельной стоимости монтажа.

Если считать, что снижение объема строительных материалов в k раз, во столько же раз снижает и затраты на их доставку и монтаж, то формула приводится к виду

$$K = k.$$

В таком случае, предварительный общий коэффициент снижения расходов на строительство гидротехнического сооружения (включая закупку строительных материалов, их доставку к месту строительства и монтаж) примет значения, приведенные в табл. 2.

Таблица 2 – Предварительные значения коэффициента снижения затрат на строительство для понтонной и свайной конструкций волнолома на глубинах 5 и 10 метров

Глубина	Значения коэффициента снижения затрат	
	Понтонная конструкция	Свайная конструкция
5м	3,8	1,6
10м	9,8	3,5

Для учета роста стоимости строительства за счет увеличения цены на материалы (необходимость использовать материалы более высокого качества) и возрастание сложности монтажа примем поправку к соответствующим коэффициентам. Если принять, что средневзвешенная цена материалов и удельная стоимость монтажных работ при использовании новой конструкции, возрастет вдвое, а цена доставки единицы материала не изменится, то значения коэффициентов k_1 и k_3 можно принять равными $0,5 * k$, а k_2 равным k . Результаты вычисления уточненного коэффициента

снижения затрат приведены в табл. 3. Расчеты показывают, что новая технология все равно остается перспективной, особенно на больших глубинах.

Таблица 3 – Уточненные значения коэффициента снижения затрат на строительство для понтонной и свайной конструкций волнолома на глубинах 5 и 10 метров

Глубина	Значения коэффициента снижения затрат	
	Понтонная конструкция	Свайная конструкция
5м	2,4	1
10м	6,1	2,2

Существенным является то, что при вычислении приведенных коэффициентов ширина надводной части волнолома традиционной конструкции была принята 5 метров (что близко к минимально возможному значению), а ширина надводной части демпфирующей платформы – 15 метров (что тоже примерно соответствует минимально возможному значению). Если бы ширина надводной части традиционного волнолома также была принята 15 метров, то значения коэффициентов были бы выше.

Второстепенным, с точки зрения основного назначения конструкции, обстоятельством, является то, что «избавившись» от массивного основания гидросооружения, мы придаем ему новое свойство – проницаемость в придонной зоне. Создавая значительное сопротивление интенсивному волнению и быстрым перемещениям водных масс, особенно в поверхностной зоне, (а именно на границу раздела вода-воздух приходится максимум энергии волновых процессов), такое гидротехническое сооружение практически «прозрачно» для относительно медленного перемещения воды, которое как раз и характерно для стационарных прибрежных течений. Именно такие течения, перемешивая водные массы, создают условия для питания донных организмов, предотвращают застой воды. Кроме этого, перекрывая движение воды в поверхностном слое, демпфирующие платформы увеличивают вертикальную составляющую перемещения воды, и увеличивают степень ее вертикального перемешивания, чем создают дополнительный положительный эффект. Общеизвестно, что в зоне стационарных вертикальных потоков водных масс стабильно отмечается присутствие большого количества рыбы и планктона, следовательно их влияние положительно [1].

Второстепенность указанных свойств предложенной конструкции волноломов, не мешает оценить проявляющийся при этом положительный эффект. Даже не проводя детального исследования, можно утверждать, что применение конструкций волноломов, использующих концепцию демпфирующих платформ, позволяет:

- снизить негативное влияние гидросооружений на систему прибрежной циркуляции воды;
- освободить пути миграции рыбы и других морских организмов вдоль побережья;
- улучшить условия обитания планктона, сохранить кормовую базу, обеспечить устойчивость всей цепочки биоценоза прибрежной зоны;
- повысить привлекательность создаваемого гидротехнического объекта для целей туризма и рекреационной деятельности.

Выводы

В настоящее время значительные перспективы роста экономики Причерноморского региона Украины связывают с деятельностью портов, развитием морской туристической инфраструктуры. Не менее важны вопросы экологической безопасности и устойчивого развития региона [2]. Решаемая в статье научная задача является актуальной, имеет практическое применение. Концепция строительства гидротехнических сооружений, предложенная в статье, расширяет диапазон возможных решений при проектировании прибрежных объектов, позволяет очертить диапазон условий, при которых применение волноломов на основе демпфирующих платформ позволит получить существенный экономический и экологический эффект.

Особенно интересно применение таких решений для объектов, расположенных на значительном удалении от источников строительных материалов, на больших глубинах и в зонах, предъявляющих повышенные требования в части экологической безопасности объектов. Внедрение конструкций волноломов, построенных по принципу демпфирующих платформ, позволит значительно снизить затраты материалов на возведение волнозащитных гидротехнических сооружений, снизить их стоимость, сроки строительства, повысить экологическую безопасность.

Список литературы

1. *Экономическая оценка влияния на состояние природной среды производственных и хозяйственных объектов*, Под редакцией д.э.н. Ковалева В.Г., Одесса, ОГЭКУ, 2005
2. *Чернишов О.С.* Енергобезпечний розвиток економіки (міжнародний та регіональний аспекти). Вісник Одеського державного екологічного університету. Науковий журнал. Одеса, 2006. -вип. 3, –252с.
3. *Афанасьев К.Е., Стуколов С.В.* Накат уединенной волны на наклонный берег. Вестник Омского университета, 1998, Вып. 3. С. 09-12.
4. *Литвиненко А.А., Хабахпашев Г.А.* Численное моделирование динамики нелинейных внутренних возмущений различной длины в двухслойном водоеме с пологим дном. Труды Международной конференции RDAMM-2001. 2001, том 6, Ч.2

Економіко-екологічні аспекти використання напівзанурених демпфуючих платформ при будівництві гідротехнічних споруд. Чернишов О.С.

В статті економічно обґрунтована нова концепція проектування гідротехнічних споруд, проведено попередній економічний аналіз результатів впровадження нового підходу, зазначені позитивні екологічні аспекти концепції та умови розміщення об'єктів будівництва, сприяючі впровадженню нового підходу.

Ключові слова: *гідротехнічний, хвилелом, руйнування хвиль, акваторія, прибережна течія, матеріаломісткість конструкції.*

Economico-ecological aspects of using half-shipped damping platforms in construction of hydrotechnical engineering structures. Chernyshov O.

A new concept of designing of hydrotechnical engineering structures is economically grounded in the article, preliminary economic analysis of the results of introduction of the new approach has been carried out, positive ecological aspects of the concept and conditions of installing of the construction object favorable for the new approach have been determined.

Key words: *hydrotechnical engineering, breakwater, destruction of waves, water area, coastal current, expenses of building materials for construction.*