



Тематический выпуск

СОДЕРЖАНИЕ

К читателям (<i>обращение главного редактора</i>).....	4
Статьи	
<i>Дивинский Б.В., Косьян Р.Д., Куклев С.Б.</i> Параметры ветрового волнения на защищенных акваториях	5
<i>Кантарджи И.Г.</i> Воздействия на водную среду при строительстве морских портов и сооружений на шельфе	17
<i>Пелиновский Е.Н., Шургалина Е.Г.</i> Аномальное усиление волны вблизи вертикальной преграды	29
<i>Камынин Е.Ю., Максимов В.В., Нуднер И.С., Семёнов К.К., Хакимзянов Г.С.</i> Исследование взаимодействия уединенной волны с частично погруженным сооружением	39
<i>Диденкулова И.И., Сергеева А.В., Пелиновский Е.Н., Гурбатов С.Н.</i> Статистические оценки характеристик наката длинных волн на берег	55
<i>Хабахпашева Т.И., Коробкин А.А.</i> Импульсивное воздействие обрушающихся волн на упругие береговые сооружения	64
<i>Леонтьев И.О.</i> Динамика профиля песчаного берега на различных масштабах времени	78
<i>Соомере Т., Зайцева-Пярнасте И., Рямяет А., Куренной Д.</i> О пространственно-временной изменчивости полей волнения Финского залива	90
<i>Гагошидзе Ш.Н.</i> К оценке воздействия вдольбереговых волн на береговые откосы открытых морских и речных каналов	102
Рецензия на книгу	
Холодова С.Е., Перегудин С.И. Моделирование и анализ течений и волн в жидких и сыпучих средах	114
Конференции	
Информация о предстоящих (международных) конференциях по гидрофизике в 2011 г.	115
Поздравляем!	117
Хроника	120
Тематический указатель 2008–2010 гг.	122
Авторский указатель за 2008–2010 гг.	126
Правила представления материалов в редакцию.....	127

CONTENTS

Articles

- Divinsky B.V., Kosyan R.D., Kuklev S.B.* Parameters of Wind Waves on the Protected Water Areas 5

In the paper some aspects of mathematical modeling of wave and hydrodynamic regime at protected water areas are considered, examples of the dangerous hydrodynamic phenomena research (broken water, harbor seiche, resonant characteristics of harbor) are given. Recommendations of various wave and hydrodynamic models applicability for the decision of assigned tasks are given.

Key words: mathematical simulation, protected areas, wave climat, harbor seiche.

- Kantarzhi I.G.* Impacts onto the Water Environment of the Sea Ports and Continental Shelf Structures Construction 17

The experience of development and environmental expert review of the sea hydro technical projects has been generalized. Construction and operation of the sea ports, as well as continental shelf structures may cause the significant impact onto sea water environment. The modern method of coastal processes modeling and the modern construction technologies can help in assessment of the environmental effects and to minimize these effects. The separation of the global project into stages may be applied if the environmental impact assessment is possible, only.

Key words: sea ports, continental shelf structures, construction and operation, design, environmental impact, impact assessment, expert review.

- Pelinovsky E.N., Shurgalina E.G.* Abnormal Intensification of a Wave near a Vertical Barrier 29

One of the possible mechanisms of freak-waves emergence near a vertical barrier, based on the dispersive focusing of unidirectional wave packets is analyzed. This mechanism is associated with the frequency dispersion of water waves and manifested in the interference of many spectral components, moving with different group velocities. Formation of a single freak wave in a random wind wave field is considered in the frame of linear theory. The characteristic lifetime of an abnormal wave in the framework of this mechanism for typical conditions is approximately two minutes, thus such a rapid effect is difficult to predict and prepare for. A rogue wave quickly changes its shape from a high ridge to a deep depression.

Key words: water waves, wind waves, freak waves, dispersive focusing.

- Kamynin E.Yu., Maximov V.V., Nudner I.S., Semenov K.K., Khakimzyanov G.S.* Study of Interaction of the Solitary Wave with a Partially Submerged Stationary Construction 39

The results of laboratory experiments and numerical modeling of the interaction of a solitary wave and a fixed partially submerged body of rectangular shape, located on a flat slope are presented. Carried out research allowed to determine the magnitude run-up on the body and the wave pressure on it, depending on the oncoming wave amplitude, the body length and its immersion, the angle of the slope.

Key words: solitary wave; partially submerged structure; run-up; pressure; laboratory experiment; numerical simulation; results.

- Didenkulova I.I., Sergeeva A.V., Pelinovsky E.N., Gurbatov S.N.* Statistical Estimates of Characteristics of Long Wave Run-up on a Beach 55

The run-up of irregular long sea waves on a beach of a constant slope is studied in the framework of nonlinear shallow water theory. It is shown that the problem nonlinearity does not influence on statistical moments of the velocity of the moving shoreline, but affects statistical moments of the displacement. In particular, for weak-amplitude waves it is demonstrated that the wave run-up process has a longer duration as compared to the duration of the wave run-down process, even if the incident wave field represents Gaussian stationary

process with a zero mean. The probability of wave breaking during the process of wave run-up is calculated and conditions of the model validity are discussed.

Key words: long waves, run-up, statistical moments, probability distributions.

Khabakhpasheva T.I., Korobkin A.A. Impulsive Interaction of Breaking Waves with Flexible Coastal Structures 64

The problem of impact of a water wave with flat front onto an elastic vertical plate which models the surface of a coastal structure is studied. The liquid is assumed weakly-compressible; the liquid flow is described within acoustic approximation. The deflection of the plate and its vibrations caused by impact are described by a linear theory of thin isotropic plates without accounting for shear stresses. The hydrodynamic and structural parts of the problem are coupled by both dynamic and kinematic conditions imposed on the wetted part of the structure. The problem is solved by the normal mode method. By using integral transforms the problem is reduced to a system of differential and integral equations which are numerically solved. Phenomena caused by the structural damping and liquid compressibility are investigated. It is shown that the structural damping affects the global evolution of the plate behavior; however, maximum deflection and maximum bending stress can be determined without account for structural damping. New combined model of violent wave impact is proposed. Within this model only the early stage of impact is described with taking the liquid compressibility into account, the later stage is simulated by using the model of incompressible liquid.

Key words: breaking wave, elastic plate, wave impact, compressible liquid, structural damping, bending stresses, combined model.

Leont'yev I.O. Shoreface profile dynamics in different time scales 78

Dynamics of the sea coast is characterized by both the short-term changes and the long-term trends manifested in the time scales of decades, centuries and milleniums. When modeling the short-term storm-induced deformations the process-based models turn out to be most successful as those simulate the suite of primary mechanisms responsible for sediment transport and bed deformations. Presented model CROSS-P is applicable to calculate the storm-induced deformations on sandy coasts of the seas, large lakes and water stores. To analyse the long-term coastal evolution the model SPELT is suggested determining the position and form of the profile depending on changes in sea level and imbalance of sediment budget.

Key words: coastal profile modeling, erosion, accumulation, storm-induced deformations, erosion, coastal evolution, sediment budget.

Soomere T., Zaitseva-Pärnaste I., Räämet A., Kurennoy D. Spatio-temporal variations of wave fields in the Gulf of Finland 90

We analyse the main properties of wave fields in the Gulf of Finland and their spatial and long-term variations based on visual wave observations performed since 1954 at two locations on the southern coast of the gulf and high-resolution simulations of wave fields for the entire Baltic Sea for 1970-2007. Shown is that both long-term average and maximum wave heights in the gulf are about a half for those in the Baltic Proper. The average wave heights have insignificantly changed in the gulf since the 1970s whereas the extreme wave heights have considerably increased in the northern and in the northeastern sections of the gulf. A probable reason for the changes is the enhancement of south-western winds over the last 40 years.

Key words: wind waves, wave measurements, wave modelling, wave climate, Baltic Sea, Gulf of Finland.

Gagoshidze Sh.N. To the Estimation of the Action of Longitudinal Waves on the Bank Slopes of the Open Sea and River Channels 102

One of the most characteristic properties of longitudinal waves is the growth of their height near the bank line. This property is especially observed in short longitudinal, the mathematical description of which in terms of mathematical approximation was for the first time given by Stokes. In the present paper, Stokes' solution generalized to the case of a stationary longitudinal flow is used to estimate the static stability and deformation of the sea shore slope or of the deep sea and river channel slopes. The stability of shore slopes of a shallow sea or trapezoidal or triangular channels, which have cross-section dimension commensurable with the longitudinal wave length is estimated on the basis of an approximate solution of three-dimensional wave equations by the Galerkin-Kantorovich method. This solution, while preserving the three-dimensional structure of waves over the bank slope, leads to the results which can be easily used in engineering design.

Key words: longitudinal waves, flow, channel depth, bank deformation.

УДК 551.46.09, 551.466.4

© Б.В. Дивинский, Р.Д. Косьян, С.Б. Куклев

Южное отделение Института океанологии им.П.П.Ширшова РАН, Геленджик
divin@coastdyn.ru

ПАРАМЕТРЫ ВЕТРОВОГО ВОЛНЕНИЯ НА ЗАЩИЩЕННЫХ АКВАТОРИЯХ

Рассмотрены некоторые аспекты математического моделирования волнового и гидродинамического режимов на защищенных акваториях, приведены примеры исследования опасных гидродинамических явлений (толчея, тягун, резонансные свойства гавани). Даны рекомендации применимости различных волновых и гидродинамических моделей для решения поставленных задач.

Ключевые слова: математическое моделирование, защищенные акватории, волновой режим, резонанс гавани.

В последнее время шельфовые зоны океана и морей становятся объектами повышенной хозяйственной деятельности. Развивается судоходство, ведется гидротехническое строительство, производится разведка и освоение запасов минерального сырья, развиваются рекреационные комплексы, проектируются уникальные объекты (острова на Северокавказском побережье Черного моря). Первостепенной задачей исследования проектов строительства в шельфовой зоны является их научно-экологическое обоснование. Размещение объекта, его технические решения должны отвечать требованиям экономической целесообразности, с одной стороны, и экологической безопасности – с другой.

Практически во всех областях человеческой деятельности, связанной с морем, прогноз ветрового волнения имеет важное практическое значение. Заниженный результат прогноза ветрового волнения может создать угрозу разрушения объекта строительства, завышенный – привести к неоправданно высоким капитальным затратам на его строительство и эксплуатацию. Эффективными техническими решениями можно исключить еще на стадии проектирования защищенных акваторий или, по крайней мере, учесть в рекомендациях по условиям эксплуатации развитие таких опасных гидродинамических процессов как тягун, толчея, резонансные явления гавани.

Развитие физических представлений о динамике прибрежных вод, а также совершенствование вычислительных методов привело к тому, что большее предпочтение в исследованиях гидродинамики прибрежной зоны моря (в том числе с учетом строительства гидротехнических сооружений) отдается методам математического моделирования. При этом остается открытым вопрос применимости современных методов моделирования, их согласованности с существующими нормами и правилами проектирования. Особенно актуален этот вопрос при проектировании уникальных объектов, таких как, например, «Остров Федерация» (рис. 1) в Хостинском районе г. Сочи: при его проектировании возникла необходимость разработки и согласования с государственными контролирующими органами специальных технических условий (СТУ), где были сделаны обоснования применимости современных методов математического моделирования.

Применение аппарата математического моделирования не снимает вопроса важности прямых натурных измерений, необходимых для верификации и настройки моделей.

Исследование динамики вод акваторий с ограниченным водообменом и сложной геометрией требует особого внимания на всех этапах построения, верификации и проведения численных экспериментов.

Анализ гидродинамического режима подобных объектов предполагает:

- определение волноопасных направлений;
- получение режимных характеристик ветра и волн для условий глубокой воды;
- расчет трансформации волнового поля на мелководье;
- расчет параметров волн на защищенной акватории;
- решение специальных задач, к которым относятся, например, расчет наката волн

на волнозащитные сооружения, анализ возможностей проявления опасных явлений (тягун, толчея), прогноз заносимости акватории и динамики пляжей, экологические аспекты (застойные явления, эвтрофикация вод).

Объекты исследований. Представлены результаты исследований, выполненных в рамках ТЭО проекта «Остров Федерация. Строительство гидротехнических сооружений». Объект расположен в Хостинском районе г. Сочи (мыс Видный) северокавказского побережья Черного моря (см. рис. 1). Уникальность объекта связана с гидротехническими решениями, масштабами создания искусственных территорий (~270 га только тело самого острова). Уникальны по своим масштабам проведенные научные исследования объекта – выполнено моделирование более 20 вариантов острова.

Основной задачей математического моделирования гидролитодинамических процессов проекта была оптимизация расположения, параметров волноломов, малых островов, каналов Острова, пляжей, которая отвечала бы требованиям экономической целесообразности и экологической безопасности. В рамках настоящей работы рассматриваются вопросы выбора методов решения поставленных задач.

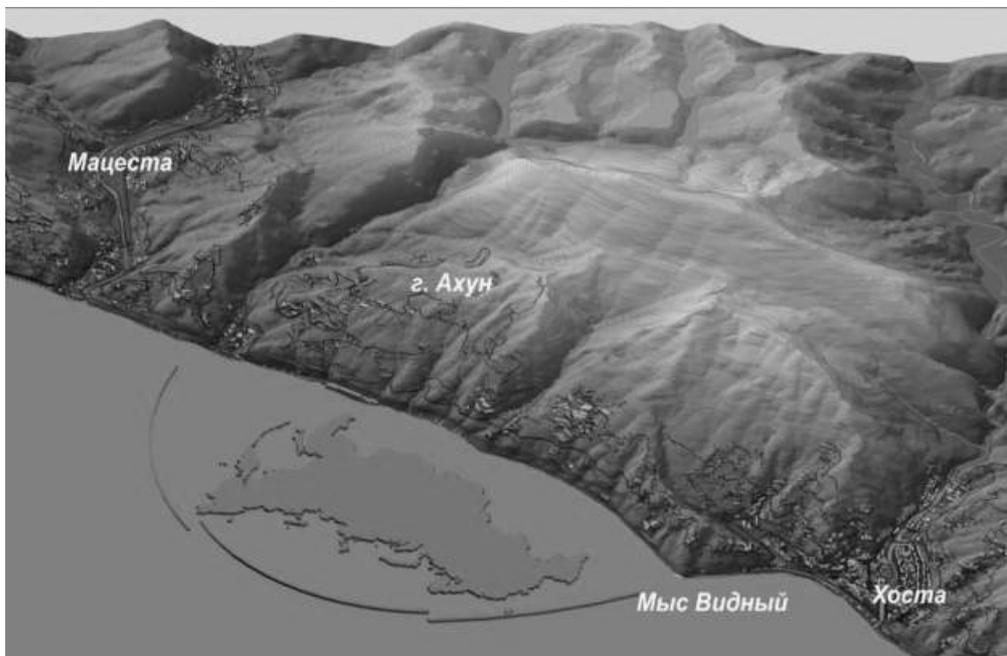


Рис. 1. Ситуационный план объекта «Остров Федерация».

Резонансные свойства защищенных акваторий исследованы на примере порта Туапсе, для которого характерно проявление такого особо опасного гидрометеорологического явления, как тягун, вызываемого сейшевыми колебаниями. В общем случае в

гидротехнических исследованиях под сейшами понимаются длиннопериодные колебания внутри портов и гаваней. Длиннопериодные волны характеризуются периодами от 0.5 до 30 мин. Несмотря на то, что природа сейшевых колебаний довольно разнообразна (как проявление воздействия, например, цунами, флуктуаций атмосферного давления, распространяющихся вдоль берега краевых волн), длиннопериодные колебания внутри защищенных акваторий проявляются, в основном, как результат нелинейного взаимодействия полей ветрового волнения и зыби, а также внутриволнового взаимодействия в спектре поверхностных волн.

Методы исследований. В прибрежной зоне для моделирования трансформации волнового поля используется спектральная (фазоосредненная) модель SWAN (Simulating WAVes Nearshore) [1]. В этой модели реализованы различные схемы генерации волнения, рефракция волновых лучей в поле переменной батиметрии и течений, дифракция (ограничено), блокирование и отражение на встречном течении, учет препятствий, диссипация волновой энергии с учетом различных механизмов, эффекты забурунивания волн, трех- и четырехволновые взаимодействия. Несмотря на то, что модель SWAN постоянно развивается (с физической стороны и с точки зрения численных алгоритмов), она не обеспечивает корректных расчетов на мелкой воде, в частности, очевидна некорректность расчетов в случае сложной конфигурации берега, наличия различных препятствий (заволноломного пространства искусственных территорий, портов, яхтовых стоянок и пр.) [2].

Для исследования волнового режима на защищенной акватории объекта «Остров Федерация» применялась модель CGWAVE [3], основанная на уравнении «комбинированной рефракции-дифракции», впервые предложенном Эккартом [4] в 1952 г. В настоящее время модель CGWAVE является общепризнанным методом оценки прибрежного волнового режима, которая может использоваться при решении широкого круга задач. Она применима для оценки волновых полей в портах, заливах, открытых прибрежных районах, бухтах, береговых проливах, вокруг островов и плавучих стационарных сооружений. Помимо эффектов волновой рефракции-дифракции, модель CGWAVE учитывает эффекты рассеяния волн в результате донного, бокового трения, разрушения волн, нелинейной амплитудной дисперсии и потерь волновой энергии при входе в гавань и заволноломные пространства. Численная реализация модели основана на методе конечных элементов. В настоящей реализации CGWAVE не учитывает внутриволновые взаимодействия, а также явления наката на берегозащитные сооружения.

Детальные исследования волновых процессов в прибрежной области (задача наката волн), а также на ограниченной акватории (порт) проводились с использованием современной волновой модели MIKE 21 Boussinesq Waves, производства DHI Water & Environment (www.dhigroup.com). Модель основана на численном решении уравнений Буссинеска и представлена в двухмерном и одномерном видах. Модель Буссинеска является фазоразрешающей, т.е. описывает поведение индивидуальных волн, и может применяться при исследовании волнового поля в относительно мелководных водоемах, где сильны нелинейные эффекты. В данной модели учитываются: переменная глубина, рефракция-дифракция волн, обрушение волн, донное трение, частичное отражение, нелинейные волновые взаимодействия.

Искусственный остров. Район предполагаемого строительства расположен практически в открытом море и не защищен от непосредственного воздействия штормового волнения. В настоящей работе мы касаемся вопросов *обоснованности* представленных проектных решений.

На рис. 2 изображена карта глубин района предполагаемого строительства.

Внешняя граница защитных сооружений выходит на глубины ~30 м и находится в зоне трансформации ветровых волн, поскольку при характерных условиях волны начи-

нают «чувствовать» дно, начиная с глубин в 60–70 м. Основными физическими механизмами в зоне трансформации являются рефракция волн и влияние дна на перераспределение энергии в волновом пакете.

Волновой режим в пространственных масштабах глубокая вода – зона трансформации исследовался с помощью волновой модели SWAN (расчетная область, покрытая укрупненной сеткой), позволяющей получать в расчетных узлах интегральные характеристики волнового спектра. Условием применимости SWAN (собственно, как спектральной волновой модели) является незначительность изменения волновых параметров на пространственных масштабах порядка нескольких длин волн. SWAN может работать как в стационарном (используемом в настоящем исследовании), так и нестационарном режимах.

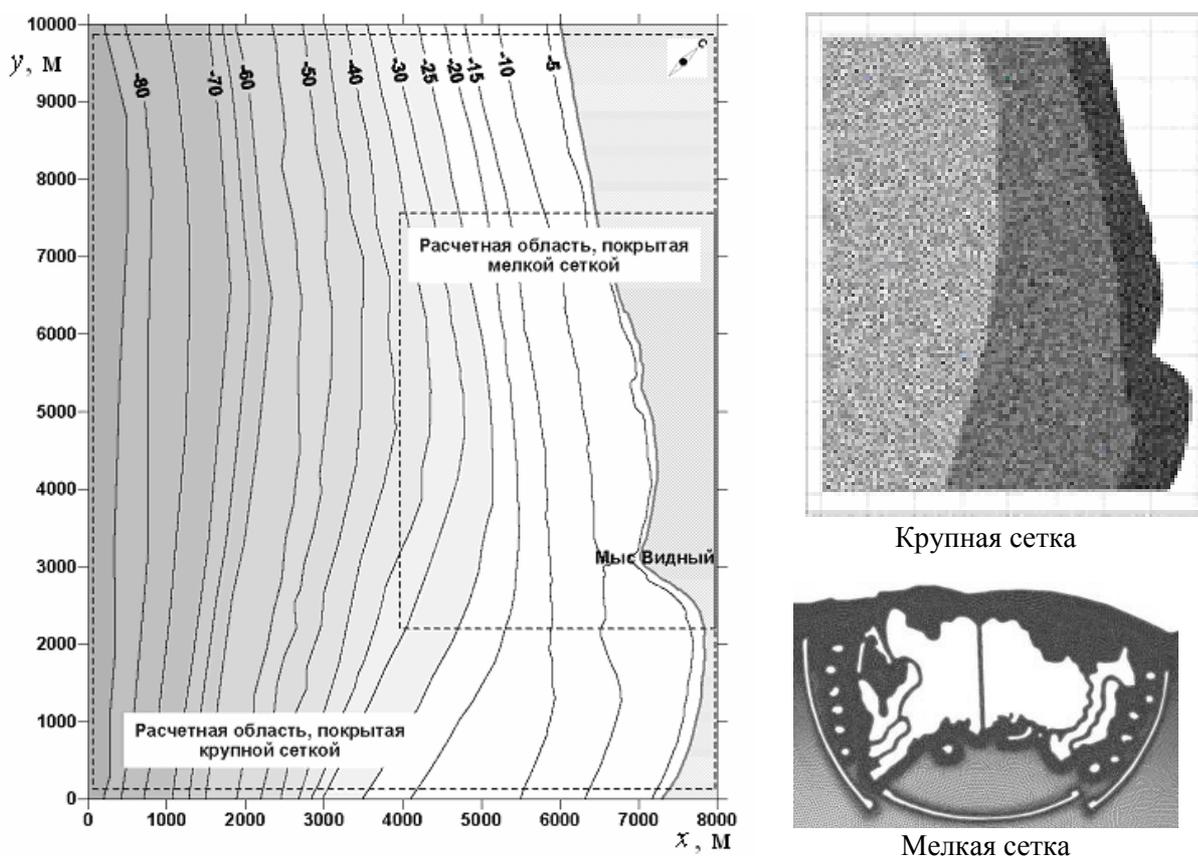


Рис. 2. Исходная батиметрия и расчетные области.

Непосредственно в прибрежной зоне наблюдаются значительные вариации волновых параметров, обусловленные явлениями отражения от препятствий, дифракции волн, обрушения, а также внутриволновыми взаимодействиями. Для расчетов в таких условиях используется модель CGWAVE, разрешающая амплитуду и фазу волны. Для прибрежной зоны возрастает требовательность к качеству задания исходной батиметрии, а также расчетной сетки, плотность которой должна составлять порядка 10–15 расчетных узлов на длину характерной волны, зависящей от локальной глубины и периода волн. Для модели CGWAVE в качестве исходного может задаваться регулярное или спектральное волновое поле, что делает ее совместимой по волновым параметрам с моделью SWAN.

Защищенная акватория. Резонансные свойства защищенной акватории зависят от нескольких определяющих параметров, в том числе локальной батиметрии, внутренней конфигурации (геометрии), отражающих свойств защитных и причальных сооружений, а также непосредственно от состава и характеристик волнового поля.

Выбор в качестве расчетного порта Туапсе (рис. 3) определяется тем обстоятельством, что именно здесь наиболее часто среди российских портов наблюдается явление тягуна (304 случая за 1964–2000 гг., в среднем до 20 случаев в год [5]).

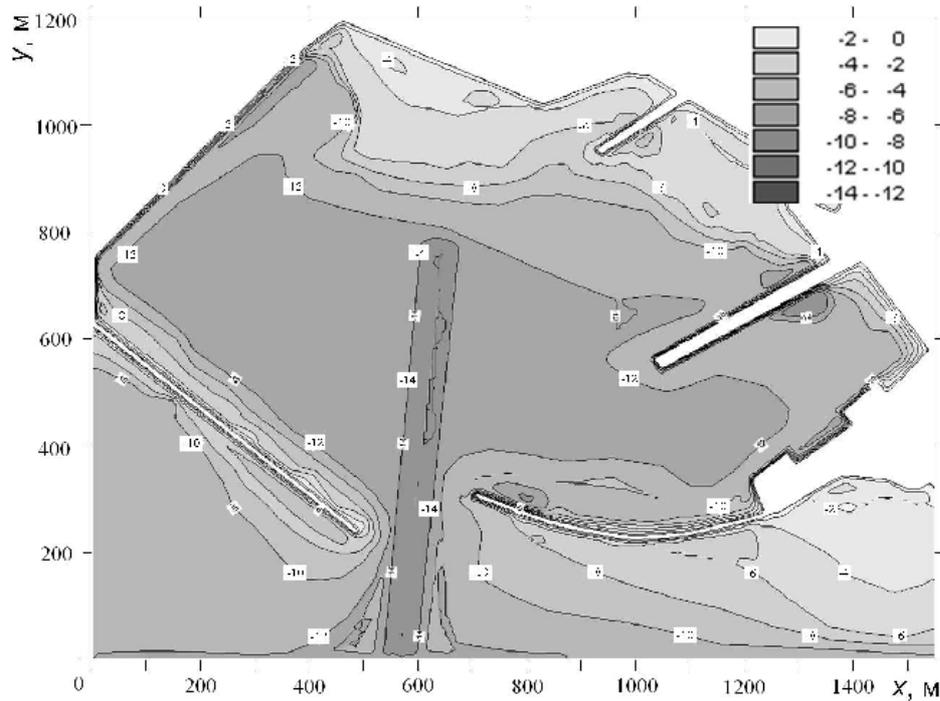


Рис. 3. Батиметрическая основа порта Туапсе, глубины в метрах.

Исследования включают общий анализ резонансного потенциала акватории с использованием волновой модели MIKE 21 Boussinesq Waves. Первоначально исходное волновое поле на открытой границе представляется в виде некоторого искусственного состояния со спектром «белого шума» с одинаковой энергетической плотностью на всех частотах. Несмотря на то, что последовательность возвышений свободной поверхности, сгенерированная на базе «белого шума», не отвечает реальному волнению, такой подход позволяет в достаточной степени надежно определить природные частоты гавани.

Ранее корректность расчетов по классическим уравнениям Буссинеска ограничивалась требованием, при котором отношение максимальной глубины к длине волны на глубокой воде должно было быть меньше 0.22. В настоящей реализации MIKE 21 BW это соотношение может равняться 0.5–0.8 (при условии уменьшения пространственного масштаба сетки и временного шага), что позволяет расширять расчетную область в сторону больших глубин.

В качестве входного волнового поля для модели MIKE 21 Boussinesq Waves может служить практически любое ее представление (регулярное, нерегулярное, с заданным частотным и угловым спектром), полученное разнообразными путями: синтетическим построением, непосредственным измерением с помощью волнографов, результатами расчетов по спектральной модели.

Обсуждение результатов. Изложенный подход позволяет решать широкий спектр задач, задаваемый практикой гидротехнического строительства, в числе которых расчет параметров ветровых волн (высот, периодов, длин волн) в заданных точках защитных сооружений и в заволноломном пространстве; анализ режима течений на защищенной акватории с определением зон недостаточной промываемости или, наоборот, интенсивного размыва; исследование резонансных свойств гаваней и др.

Закономерности трансформации поля ветрового волнения при распространении волн с глубокой воды на мелкую исследовались для трех волноопасных в случае Северокавказского побережья Черного моря направлений (Ю, ЮЗ, З) и при исходных параметрах волн разной обеспеченности.

На рис. 4 приведен пример расчета волнового поля для высот волн 1%-ной обеспеченности в штормах повторяемостью 1 раз в 50 лет. Расчет произведен по модели SWAN. Стоит отметить вопросы верификации модели. Практически полное отсутствие каких-либо длительных мониторинговых наблюдений за ветровым волнением в рассматриваемом регионе вынуждают обратиться к вопросам подобия процессов. Ранее модель SWAN была верифицирована для района Геленджика [6]. Для этого использовались данные продолжительного волноизмерительного эксперимента [7], проведенного на базе Южного отделения Института океанологии РАН в 1996–2003 гг. С точки зрения типизации ветро-волнового режима Черного моря побережья Геленджика и Сочи относятся к одному району независимо от подходов к районированию моря, изложенных в существующих пособиях по гидрометеорологии Черного моря [8–10]. Таким образом, при известных допущениях модель, верифицированная для одного участка побережья, может служить в качестве оценочной модели для другого участка в пределах одного динамического района.

Отметим, что модель SWAN не может разрешать фазу волны. Такое важное волновое явление, как волновая дифракция, реализовано параметрически. Это накладывает ограничения на применимость модели в присутствии большого числа отдельных островов и волноломов.

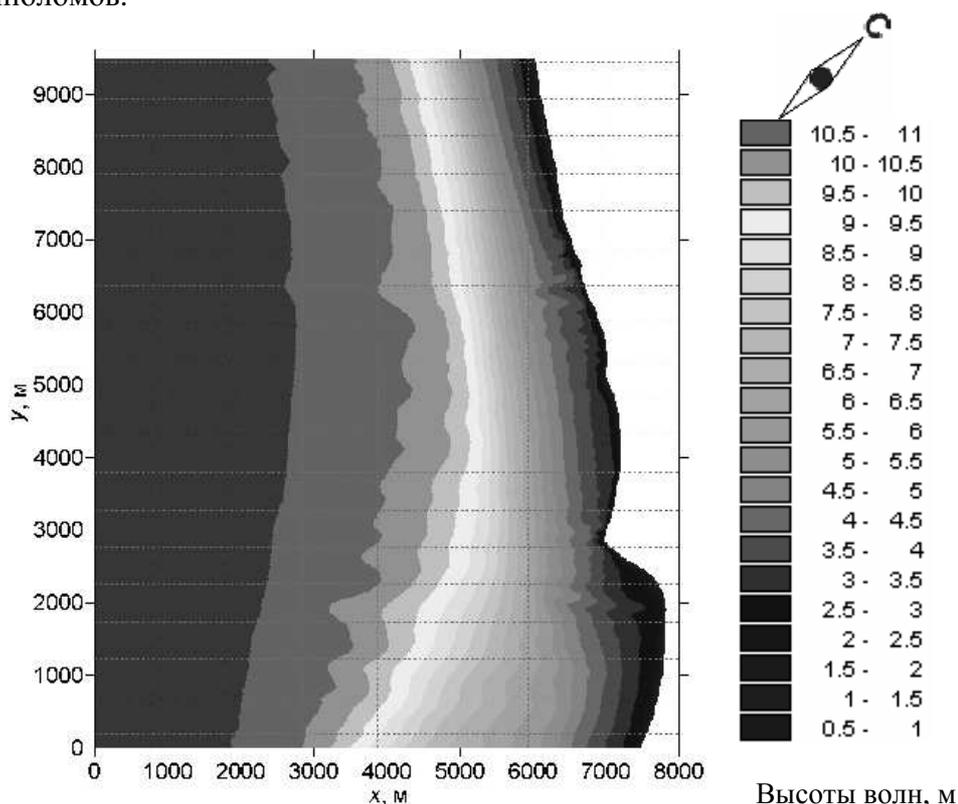


Рис. 4. Юго-западное волнение. Высоты волн 1%-ной обеспеченности для штормов повторяемостью 1 раз в 50 лет.

В отличие от SWAN, модель CGWAVE является фазоразрешающей и хорошо подходит для расчета параметров волн в сложных батиметрических условиях. Численная реализация модели CGWAVE предъявляет повышенные требования к вычислительным

мощностям компьютера. Напомним также, что пространственная сетка должна быть построена с таким расчетом, чтобы на характерную длину волны приходилось порядка десяти-пятнадцати расчетных точек. Рис. 5 дает представление о закономерностях распространения волн на защищенной волноломами акватории.

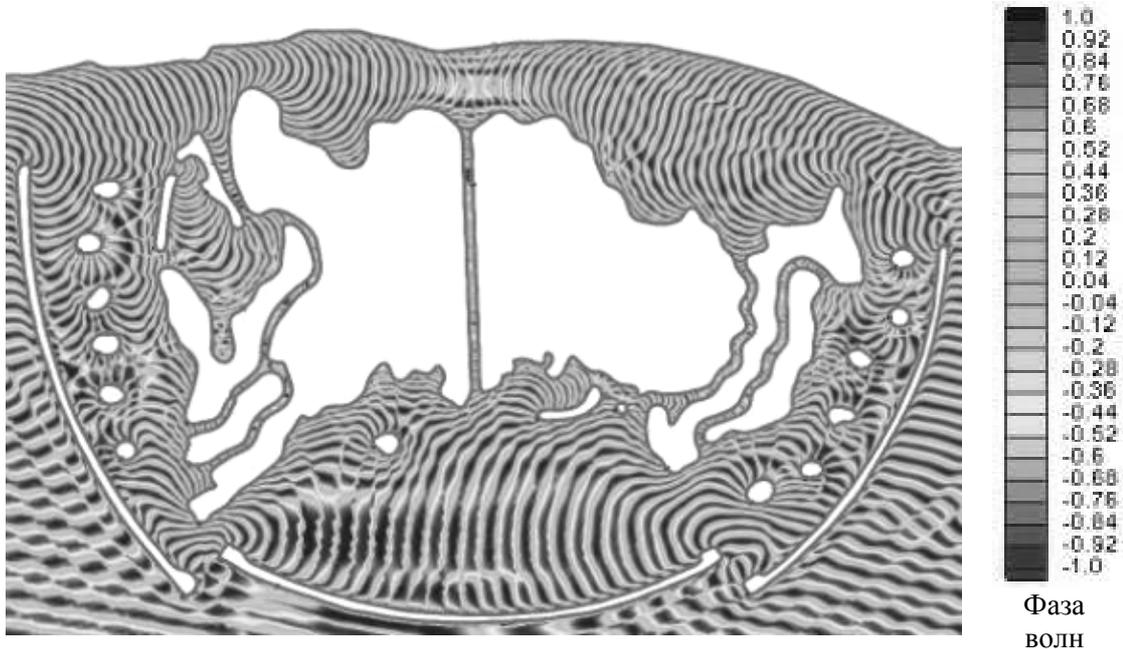


Рис. 5. Пример расчета распространения волн на защищенной акватории. Модель CGWAVE.

Модель Буссинеска, реализованная в двухмерном виде, позволяет исследовать некоторые специфические волновые свойства ограниченных акваторий. К примеру, в промежутках между основными волноломами, окружающими остров, может развиваться толчея, сильно ухудшающая навигационные возможности акватории (рис. 6). На мгновенных картах пространственного распределения высот взволнованной поверхности толчея проявляется в виде характерной мозаики, чередования гребней и ложбин. Частотный спектр становится более широким с менее выраженными пиками спектральной плотности.

Как показывают исследования, при данном варианте компоновки волноломов толчея может образовываться как в северном, так и в южном проходах между волноломами, в зависимости от угла подхода волн. В данном случае наиболее заметно толчея проявляется при волнении в 1–2 м и периодах 7–8 с. Необходимо подчеркнуть, что выбор технического решения при проектировании защитного сооружения (вертикальная стенка, наброска, кессоны) существенно влияет на гидродинамику проливов, в которых возрастает роль отражения и диссипативных эффектов. Таким образом, нелинейная модель Буссинеска может с успехом применяться при проработке вопросов относительной компоновки и конструктивных особенностей заградительных сооружений.

Природа длиннопериодных волн, вызывающих резонансные колебания массы воды в портах, довольно разнообразна. Они могут формироваться в открытом море как результат, например, флуктуаций атмосферного давления и напрямую проникать на акваторию порта. Кроме того, посредством нелинейных внутриволновых взаимодействий в спектре короткопериодных ветровых волн происходит перераспределение волновой энергии в сторону низких частот. При этом энергия длинноволновых колебаний может составлять от нескольких до десятка процентов общей энергии колебаний.

Важной задачей исследования динамики ограниченных акваторий (произвольной конфигурации и батиметрии) является выявление собственных частот колебаний. С этой

целью на входе расчетной области (программный волнопродуктор) задается поверхностное волнение со спектром «белого шума» в диапазоне волновых периодов 20–200 с. Далее в заданных точках внутри порта (рис. 7) определяются коэффициенты волнового усиления (ослабления) относительно входа в расчетную область (точка «А» на рис. 7). Коэффициент усиления определяется как отношение значительной высоты волны в точке к значительной высоте волны на входе ($H_s/H_{s,0}$).

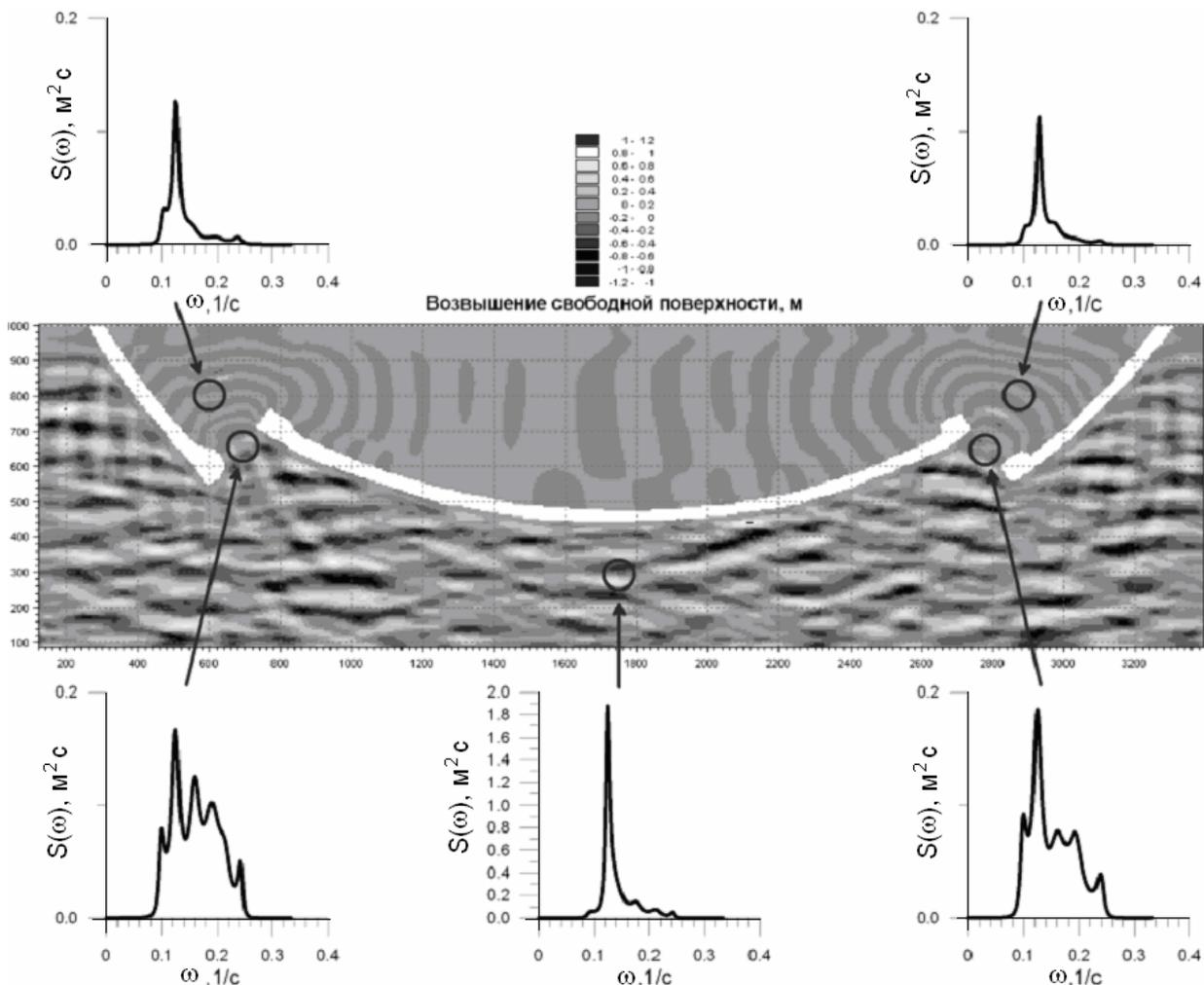


Рис. 6. Трансформация спектров возвышений свободной поверхности при проникновении волн за огражденную акваторию. Исходные параметры: угол подхода – 0 градусов, значительная высота волн – 1 м, период пика спектра – 8 с.

Необходимо отметить, что спектр в точке «А» несколько отличается от задаваемого на волнопродукторе, поскольку при распространении волн между волноломами происходит частичная трансформация волнового спектра и потеря энергии.

Избирательные свойства гавани, как искусственного резонатора, демонстрирует рис. 8, на котором приведены вычисленные спектры волнения в точках 4, 5 и 7 (сплошные линии), пунктиром приведена спектральная плотность колебаний в точке «А».

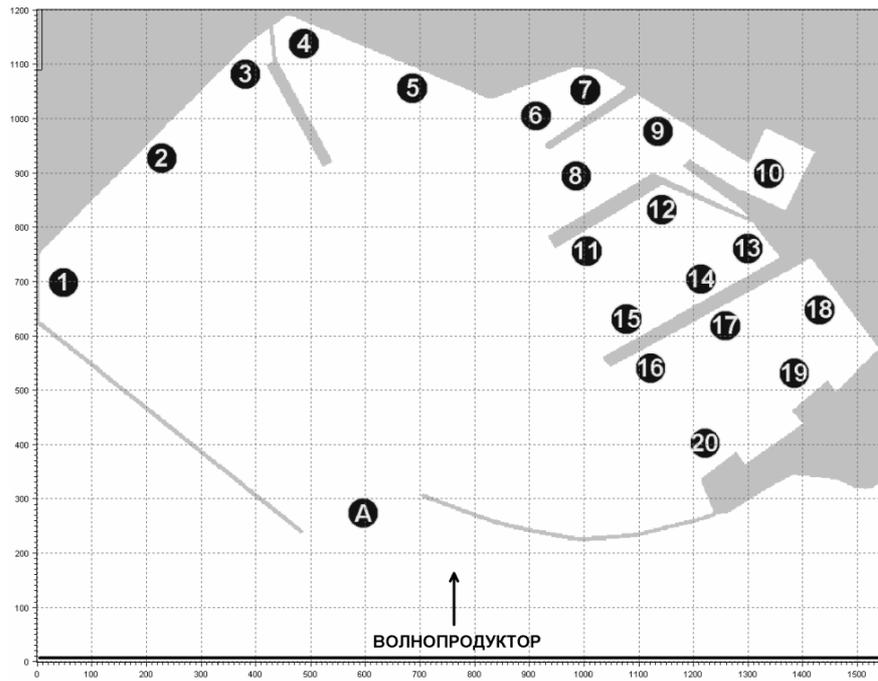


Рис. 7. Положение расчетных точек внутри акватории порта.

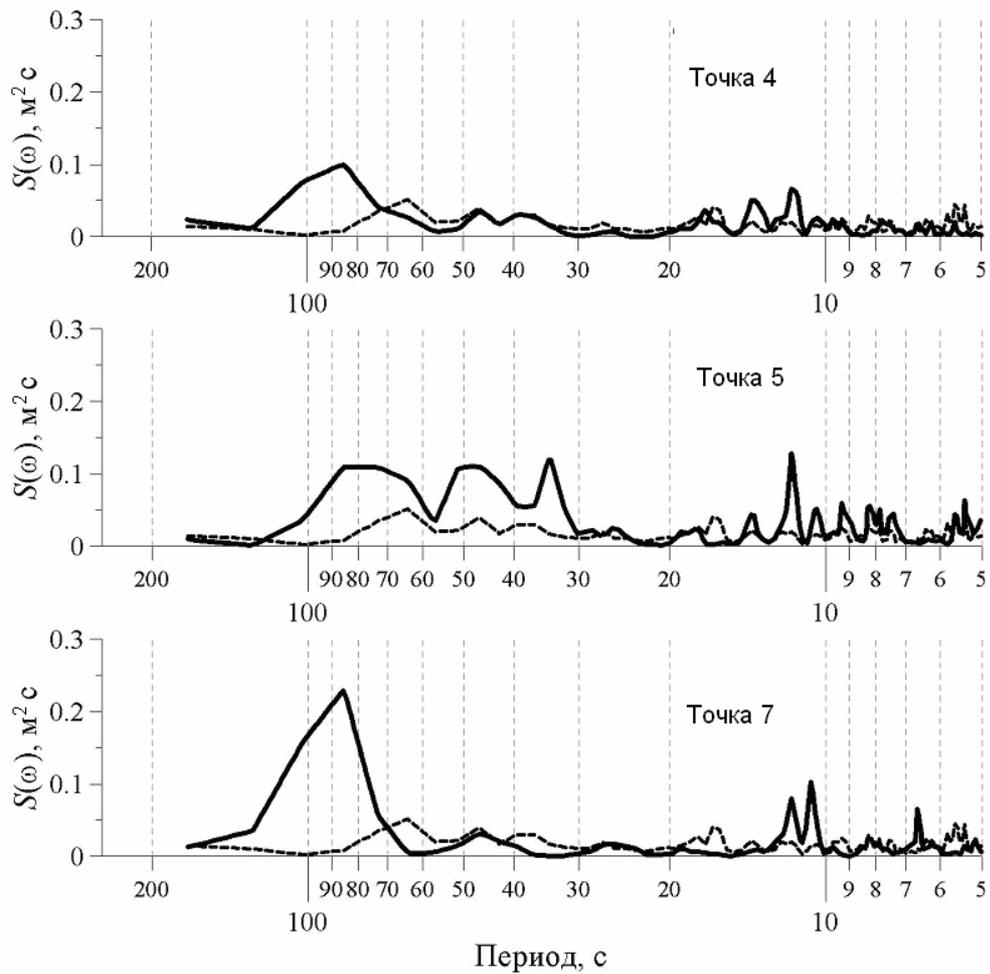


Рис. 8. Спектры колебаний в некоторых точках бассейна при внешнем воздействии возмущений со спектром «белого шума».

В точке 5, к примеру, отклик имеет более широкополосный вид, поскольку она расположена на относительно открытом участке. Обобщенную картину характера воздействия внешнего источника дает рис. 9. Здесь приведены коэффициенты усиления для всех указанных точек акватории.

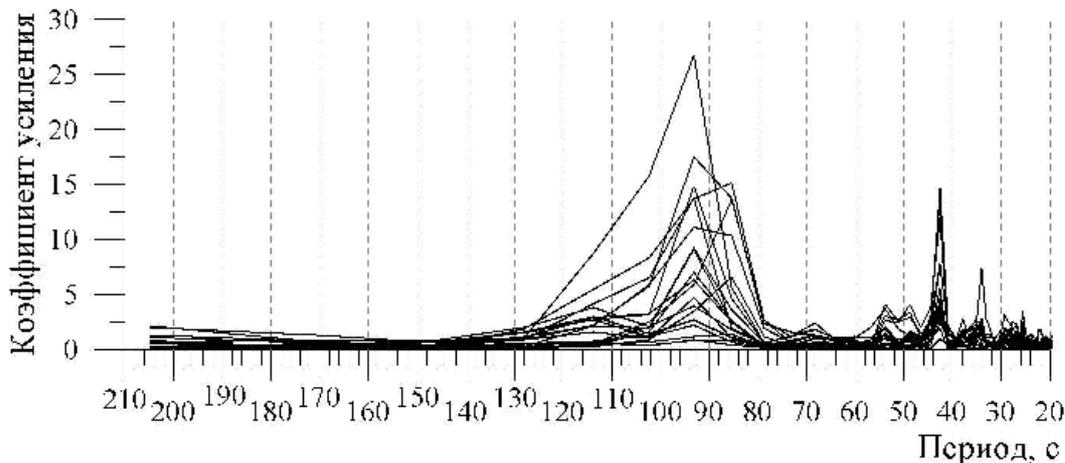


Рис. 9. Коэффициенты усиления для отмеченных точек акватории порта.

Таким образом, можно ожидать, что в целом по акватории явления резонанса наблюдаются при воздействии внешнего источника в диапазоне периодов в 40–50 и 80–100 с. Напомним, что речь идет о **качественной** картине воздействия.

В качестве эксперимента на волнопродукторе задавалась монохроматическая волна высотой 0.2 м и периодом 40 с. На рис. 10 приведено пространственное распределение коэффициента усиления (> 1) или ослабления (< 1) поверхностного волнения по отношению к мощности внешнего источника. Хорошо видны возможные зоны формирования узлов и пучностей стоячих волн в северной части порта.

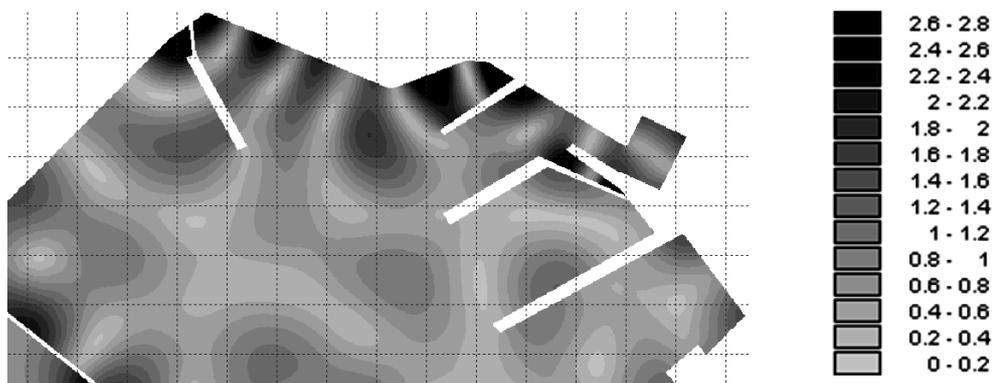


Рис. 10. Проявление резонансных явлений при воздействии монохроматического волнения периодом в 40 с.

Структура стоячих волн достаточно различима при рассмотрении мгновенных профилей взволнованной поверхности по разрезам (рис. 11).

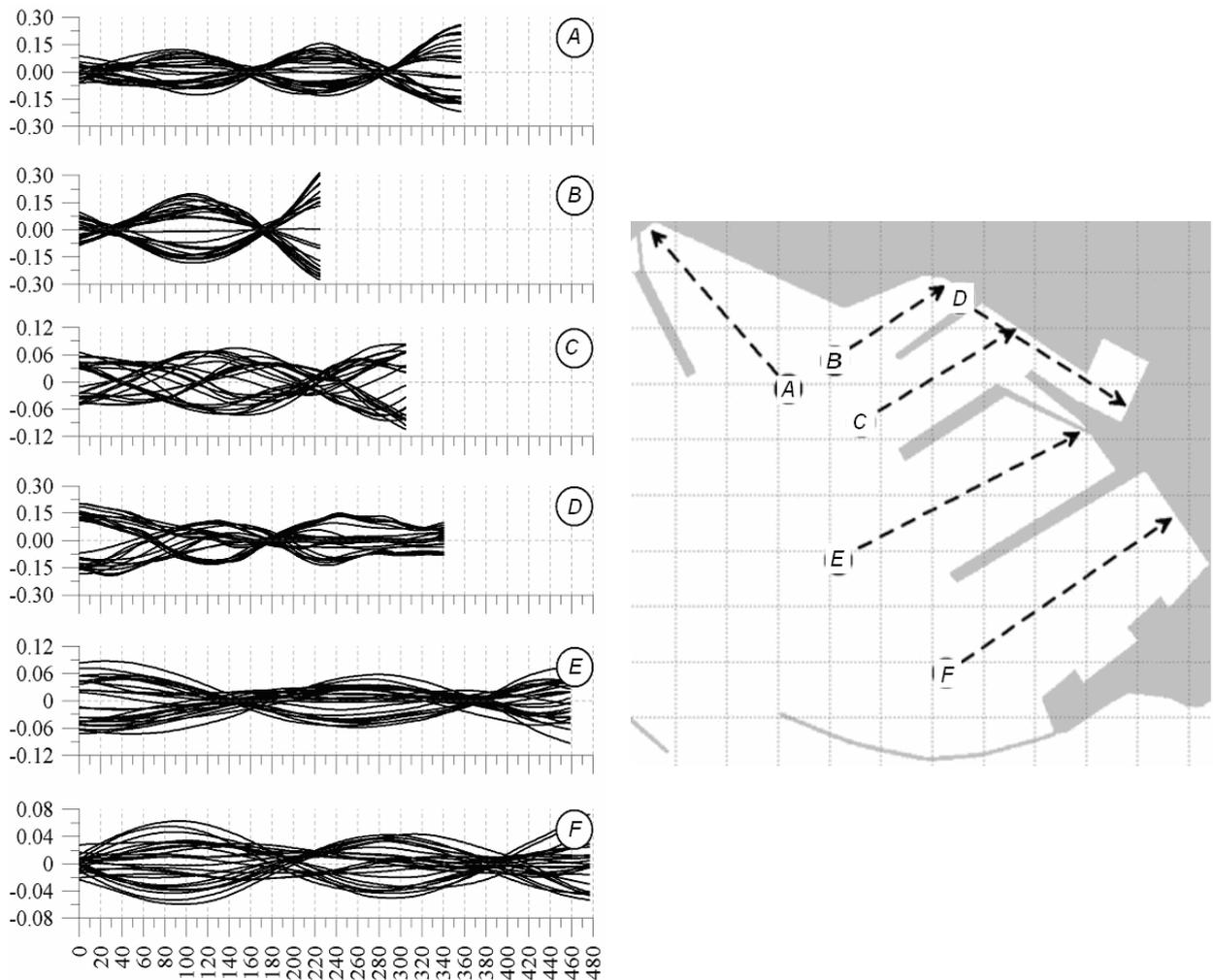


Рис. 11. Мгновенные профили стоячих волн на разрезах.
По оси x – расстояние, м; по оси y – возвышения свободной поверхности, м.

Наибольшей амплитуды (при данных условиях) сейшевые колебания достигают на разрезах A и B , чему способствует, очевидно, их расположение практически по фронту подходящих волн. На этих участках происходит усиление в несколько раз вертикальных движений, поэтому даже фактически малозаметные в штилевую погоду низкочастотные колебания могут вызывать существенные подвижки вод у причальных сооружений.

Спектральная волновая модель SWAN хорошо описывает процессы зарождения, развития ветрового волнения на глубокой воде, трансформацию волнового поля в прибрежной зоне для условий однородной батиметрии, отсутствия особенностей линии берега. При моделировании взаимодействия волнового поля с волноломами, распространения волн в заволноломном пространстве SWAN дает некорректные результаты. В этом случае рекомендуется применять фазоразрешающие модели, например CGWAVE. Ограничением использования модели CGWAVE внутри акватории является то обстоятельство, что она не учитывает внутриволновые взаимодействия.

Наилучшие результаты при исследованиях опасных гидродинамических процессов достигаются на основе решения уравнений Навье-Стокса в приближении Буссинеска. Использование спектра «белого шума» дает картину резонирующих свойств гавани в

широком частотном диапазоне и может применяться в условиях произвольной геометрии и переменной глубины акватории.

Приведенные в настоящей работе исследования частично проведены благодаря поддержке РФФИ, гранты №№ 09-05-96524, 09-05-00543.

Литература

1. *Booij, N., R. C. Ris, and L. H. Holthuijsen.* A third-generation wave model for coastal regions. 1. Model description and validation // *J. Geophys. Res.* 1999. 104. 7649–7666.
2. *Куклев С.Б., Дивинский Б.В.* Некоторые аспекты математического моделирования гидродинамических процессов заволноломном пространстве искусственных территорий // Тр. Междун. конф. «Создание и использование искусственных земельных участков на берегах и акватории водоемов». Новосибирск. 2009. С. 80–89.
3. *Demirbilek, Z. and Panchang, V.* CGWAVE: A coastal surface water wave model of the mild slope equation // *Technical Report CHL-98-26.* 1998.
4. *Eckart C.* The propagation of gravity waves from deep to shallow water. National Bureau of Standards. Circular. 1952. 20:165~173.
5. Руководство по гидрометеорологическому обеспечению морской деятельности. М.: Гидрометеиздат, 2009.
6. *Divinsky B.V., Kos'yan R.D.* Identification and analysis of sea waves climatic directional spectrum // *Proc. of the 9th International Conference 2A changing coast: challenge for the environmental policies.* 25–28 Nov. Venice, Italy. 2008.
7. *Дивинский Б.В., Косьян Р.Д., Подымов И.С., Пушкарев О.В.* Экстремальное волнение в северо-восточной части Черного моря в феврале 2003 г. // *Океанология.* 2003. Т.43. № 6. С.948–950.
8. Атлас волнения и ветра Черного моря. Л.: Гидрометеиздат, 1969. С.111.
9. Проект «Моря СССР». Гидрометеорология и гидрохимия морей СССР. Т.IV. Черное море. Вып.1. Гидрометеорологические условия. Л.: Гидрометеиздат, 1991. С.429.
10. Регистр СССР. Ветер и волны в океанах и морях. Спр. данные. Л.: Транспорт, 1974. С.359.

Статья поступила в редакцию 19.08.2010 г.

