ИССЛЕДОВАНИЕ ЭФФЕКТИВНОСТИ ВОЛНОЗАЩИТНЫХ СООРУЖЕНИЙ ПОРТОВОГО КОМПЛЕКСА НЕФТЕПЕРЕРАБАТЫВАЮЩИХ И НЕФТЕХИМИЧЕСКИХ ПРОИЗВОДСТВ ЗАО «ВОСТОЧНАЯ НЕФТЕХИМИЧЕСКАЯ КОМПАНИЯ»

О.А. Приходько, Н.Д. Зуев*, А.С. Шунько*, Н.В. Шунько*

*«Инжиниринговая компания «Современные Морские Системы»,
115088, г. Москва, 2-я улица Машиностроения, д. 17, стр. 1;*

**Национальный исследовательский Московский государственный строительный университет
(НИУ МГСУ), 129337, г. Москва, Ярославское шоссе, д. 26*

АННОТАЦИЯ. Описаны исследования по апробации проектных решений порта нефтеперерабатывающих и нефтехимических производств ЗАО «Восточная нефтехимическая компания» с применением метода физического моделирования портового комплекса.

КЛЮЧЕВЫЕ СЛОВА: научное сопровождение проектирования, портовый комплекс, расчетный шторм, голова волнолома, волновые воздействия, эффективность конструкции, физическое моделирование, бетонные блоки

ДЛЯ ЦИТИРОВАНИЯ: Приходько О.А., Зуев Н.Д., Шунько А.С., Шунько Н.В. Исследование эффективности волнозащитных сооружений портового комплекса нефтеперерабатывающих и нефтехимических производств ЗАО «Восточная нефтехимическая компания» // Вестник МГСУ. Т. 12. Вып. 5 (104). С. 496–505. DOI: 10.22227/1997-0935.2017.5.496-505

STUDY OF EFFECTIVENESS OF BREAKWATER STRUCTURES OF THE “EASTERN PETROCHEMICAL COMPANY” JSC OIL REFINERY AND PETROCHEMICAL PLANTS PORT COMPLEX

O.A. Prikhod'ko, N.D. Zuev*, A.S. Shunko*, N.V. Shunko*

*ZAO “Inzhiniringovaya kompaniya “Sovremennye morskije sistemy”,
17, bldg 1, 2nd Mashinostroeniya str., Moscow, Russian Federation;*

**Moscow State University of Civil Engineering (National Research University) (MGSU),
26 Yaroslavskoe shosse, Moscow, 129337, Russian Federation*

ABSTRACT. The article presents the research of MGSU Corporation for testing of design solutions of the “Eastern petrochemical company” JSC oil refinery and petrochemical plants port complex using the physical modeling method. Construction of the marine terminal of the oil refinery and petrochemical plants port complex is planned to be on the Eastern shore of the Vostok Bay which is the part of Peter the Great Bay in the Sea of Japan. The port area is created by means of an artificial land site. The water area of the terminal will be guarded against sea waves by a breakwater. Experiments on the study of wave propagation in the port model water area at the Eastern and Western breakwaters were performed in the laboratory wave basin in three-dimensional layout, with the aim of obtaining of data about wave heights at berthing facilities. Effectiveness of the breakwater designs was studied in two-dimensional layout in a wave flume. During the port model construction all the designed waterworks as well as the project bathymetry of the port water area were reproduced at a scale of 1:100. Analysis of the experiment results with the slope protection embodiment version demonstrates that this engineering solution is able to withstand waves of the design parameters.

KEY WORDS: design scientific monitoring, port complex, standard project storm, outshore end of breakwater, wave action, effectiveness of design, physical modeling, concrete blocks

FOR CITATION: Prikhod'ko O.A., Zuev N.D., Shunko A.S., Shunko N.V. Issledovanie effektivnosti volnozashchitnykh sooruzheniy portovogo kompleksa neftepererabatyvayushchikh i neftekhimicheskikh proizvodstv ZAO «Vostochnaya neftekhimicheskaya kompaniya» [Study of Effectiveness of Breakwater Structures of the “Eastern Petrochemical Company” JSC Oil Refinery and Petrochemical Plants Port Complex]. Vestnik MGSU [Proceedings of Moscow State University of Civil Engineering]. 2017, vol. 12, issue 5 (104), pp. 496–505. DOI: 10.22227/1997-0935.2017.5.496-505

Строительство морского терминала комплекса нефтеперерабатывающих и нефтехимических производств ЗАО «Восточная нефтехимическая ком-

пания» предусматривается на восточном берегу залива Восток, входящего в состав залива Петра Великого Японского моря, в его юго-восточной части.

Территория порта создается за счет искусственного земельного участка, который простирается от берега до изобаты с глубиной 12,5...13,0 м. С южной стороны территории предусматривается строительство свайной эстакады до изобаты глубиной 19,0 с размещаемыми на ней причалами. Акватория терминала защищается от волнения волноломом, который размещается с южной стороны на глубинах от 12 до 20 м.

Опыты на физической модели по апробации проектных решений портового комплекса выполнялись в рамках научно-исследовательской работы по договору с ЗАО «Инжиниринговая компания «Современные морские системы».

Данная работа является продолжением комплексных исследований НИЛ «Гидротехнические сооружения» НИУ МГСУ по изучению устойчиво-

сти набросных откосных гидротехнических сооружений, спроектированных на основании расчетов [1–4].

Опыты по изучению распространения волн на акватории модели порта у восточного и западного волнолома проводились в волновом бассейне лаборатории в трехмерной постановке с целью получения данных о высотах волн у причальных сооружений. Эффективность конструкций оградительных сооружений исследовалась в двумерной постановке в волновом лотке [5–9].

При строительстве модели порта воспроизводились в масштабе 1 : 100 все проектируемые гидротехнические сооружения, а также проектная батиметрия акватории порта. План порта приведен на рис. 1, схематическое изображение плана модели порта в волновом бассейне — на рис. 2.

Рис. 1. Генеральный план порта

Рис. 2. Схема расположения волнопродуктора, генерирующего волны южного направления на восточную часть волнолома в волновом бассейне

Измерение и регистрация параметров волн производилась с помощью волнографов заводского изготовления. Схемы расположения волнографов в плане представлены на рис. 3, модель порта — на рис. 4. Волны генерировались щитовыми передвижными волнопродукторами. Бассейн, наполненный

водой до проектного уровня, представлен на рис. 5. Экспериментальные исследования воздействия штормов южного и юго-западного направления на восточную и западную части волнолома приведены на рис. 6.

Рис. 3. Точки установки датчиков-волнографов в волновом бассейне

Рис. 4. Выстроенная физическая модель портового комплекса

Рис. 5. Монтаж и отладка измерительного оборудования

Рис. 6. Волновая картина у исследуемых сооружений

На основании данных четырех серий опытов:

- 1) получено представление о трансформации волнового фронта вследствие взаимодействия штормовых волн южного и юго-западного румба с проектными сооружениями порта;
- 2) исследовано развитие волн на акватории порта с получением данных о безопасной швартовке расчетных судов у проектируемых причалов;
- 3) в общем плане исследована работа конструкций гидротехнических сооружений при воздействии наиболее волноопасных направлений расчетных штормов;

4) определены основные задачи по изучению конструкций проектных сооружений, требующие опытного решения с применением физического моделирования в волновом лотке.

Исследование волнового воздействия юго-западного направления шторма на западную часть волнолома. Параметры волн шторма юго-западного направления в опыте № 4, генерируемые щитовым волнопродуктором, на глубине 44 см составляли $T = 1,47$ с, $h_{5\%} = 14,40$ см (натурные данные: глубина 22,0 м, $T = 10,40$ с, $h_{5\%} = 7,20$ м). Конструкция волнолома показана на рис. 7.

Рис. 7. Конструкция сооружения

Главную часть модели волнолома можно видеть на рис. 8. Расположение волнопродуктора показано на рис. 9. Картина взаимодействия волн

с сооружениями в процессе физического моделирования приведена на рис. 10.

Рис. 8. Головная часть волнолома перед экспериментами

Рис. 9. Схема расположения волнопродуктора в опыте

Рис. 10. Взаимодействие волн и набросной конструкции

Разрушение набросной конструкции на откосе в головной части волнолома приведено на рис. 11.

Вид головы волнолома с разрушением набросной откосной конструкции дан на рис. 12.

На рис. 13, 14 приведены примеры колебаний волновой поверхности, записанных датчиками-волнографами в течение 10 с в точках измерений 1 и 4, в соответствии со схемой расстановки датчиков на рис. 3.

По результатам проведенного опыта можно сделать такие выводы:

- накат волн достигал парапета западной части волнолома, расположенного со стороны формирования волнения;
- наблюдался подмыв и сдвиг набросных элементов конструкции сооружения с торцевой грани головы волнолома;
- наблюдалось частичное явление дифракционного разворота волнового фронта у головы вол-

нолома с распространением дифракционной волны далее в зону акватории.

Основной волновой фронт распространялся левее входа в порт. Проектная откосная конструкция головы волнолома с защитной наброской из гексабитов в данном опыте повела себя неустойчиво. Следует отметить, что разрушение фиксировалось не на всей западной части волнолома, а только с торцевой части сооружения (в районе головы волнолома). Данное обстоятельство подтверждает известный из нормативной литературы факт о необходимом усилении конструкции в зоне голов волноломов [10–13], в данном конкретном случае целесообразно проведение мероприятий по увеличению массы набросных элементов-гексабитов по сравнению с проектной.

Работа по исследованию устойчивости конструкции головной части волнолома и подбору наиболее эффективной проводилась в волновом лотке,

Рис. 11. Подмыв и начинающееся разрушение откоса сооружения

Рис. 12. Состояние откоса в зоне головы волнолома после опыта

Рис. 13. Колебания волновой поверхности, измеренные в точке установки волнографа 1

Рис. 14. Колебания волновой поверхности, измеренные в точке установки волнографа 4

в двумерной постановке. Строительство модели головы защитного волнолома (масштаб 1 : 50) в зависимости от направления воздействия юго-западного волнения, воздействующего на модель в течение 70 мин (8 ч) с параметрами волн на глубине 40 см (16 м) $T = 10,4$, $h_{1\%} = 8,4$ м (натурные значения), $T = 1,5$ сек, $h_{1\%} = 16,8$ см (модельные экспериментальные), показано на рис. 15–18.

На рис. 7 приведено конструктивное решение исследуемого сооружения. Готовая модель показана на рис. 16, эксперимент — на рис. 17, разрушение модели — на рис. 18.

По результатам проведенного опыта можно отметить:

- накат волн достигал парапета, проходя по всему участку сооружения;

- волновой заплеск способствовал поступлению воды за парапет;

- наблюдался сдвиг и подмыв набросных элементов сооружения.

По представленной выше шкале гексабиты неустойчивы, происходит массовый сброс блоков, профиль деформируется (модель разрушена), необходимо увеличение массы гексабитов.

После окончания предыдущего опыта модель разбиралась, профиль дна восстанавливался и производилось строительство модели головы защитного волнолома заново в зависимости от воздействия юго-западного волнения с параметрами волнения из предыдущего опыта и укладкой гексабитов массой 15 т.

Рис. 15. Схема опыта в лотке

Рис. 16. Модель перед экспериментом

Рис. 17. Набегающая на модель волна

Рис. 18. Разрушение профиля модели

Готовая модель показана на рис. 19. Экспериментальные исследования приведены на рис. 20.

Состояние профиля после эксперимента приведено на рис. 21.

По результатам проведенного опыта можно сделать такие выводы:

- накат волн достигал парапета, проходя по всему участку сооружения;
- волновой заплеск способствовал поступлению воды за парапет;
- подмыва набросных элементов сооружения не было;
- незначительный сдвиг гексабитов происходил в районе стыка граней откоса из-за разрушения крепления замка.

По представленной выше шкале гексабиты устойчивы, однако наблюдается шевеление отдельных блоков, сброс последних с откоса отсутствует.

Анализ результатов данных опытов с вариантом конструкции крепления откоса, разработанным ЗАО «Инжиниринговая компания «Современные морские системы», показывает, что данное техническое решение способно противостоять волнам

расчетных параметров¹ [14]. Крепление откоса головы волнолома гексабитами массой 10 т является недостаточно надежным решением, и именно в данной зоне необходимо увеличение массы защитной наброски — гексабитов в надводной части (15 т), что будет являться вполне оправданным и целесообразным.

¹ СНиП 2.06.04-82*. Нагрузки и воздействия на гидротехнические сооружения (волновые, ледовые и от судов).

СП 38.13330-2012. Нагрузки и воздействия на гидротехнические сооружения (волновые, ледовые и от судов), Актуализированная редакция СНиП 2.06.04-82*. СП 32-103-97. Проектирование морских берегозащитных сооружений.

СНиП 33-01-2003. Гидротехнические сооружения. Основные положения.

Р 31.3.07-01. Указания по расчету нагрузок и воздействий от волн, судов и льда на морские гидротехнические сооружения. Дополнение и уточнение СНиП 2.06.04-82* Нагрузки и воздействия на гидротехнические сооружения (волновые, ледовые и от судов).

ВСП 33-03-07 (МО РФ). Инструкция по проектированию откосных и сквозных оградительных сооружений и специальных подводных стендов.

Рис. 19. Заново выстроенная модель головы волнолома

Рис. 20. Набегающая на сооружение волна

Рис. 21. Модель после остановки волнопродуктора

ЛИТЕРАТУРА

1. Шунько Н.В., Кантаржи И.Г. Устойчивость защитных набросных откосных гидротехнических сооружений // Строительство — формирование среды жизнедеятельности : сб. тр. 17-й междунар. межвуз. науч.-практ. конф. М., 2014. С. 484–488.
2. Шунько Н.В. Волновой накат и устойчивость для сооружений откосного профиля с закрепленным и незакрепленным проницаемым покрытием : автореф. дис. ... канд. техн. наук. М., 2015. 24 с.
3. Кантаржи И.Г., Шунько Н.В. Численное и физическое моделирование портовых гидротехнических сооружений // Интеграция, партнерство и инновации в строительной науке и образовании : сб. мат. междунар. науч. конф. М., 2015. С. 639–643.
4. Шахин В.М., Радионов А.Е. О научном обосновании морского гидротехнического строительства в Сочинском регионе // Гидротехника. 2012. № 3. С. 46–48.
5. Пиляев С.И., Морозов Ф.В. Исследование волнения на пространственных моделях портов // Водное хозяйство, порты и портовые сооружения : сб. тр. М. : МИСИ, 1999.
6. Офицеров А.С. Гидравлические лабораторные исследования морского порта. М. : Госстройиздат, 1961.
7. Вайсфельд И.А. Выбор масштаба и масштабные поправки при моделировании акваторий портов. М. : Госстройиздат, 1961.
8. Шарп Д. Гидравлическое моделирование / пер. с англ. Л.А. Яскина. М. : Мир, 1984. 392 с.
9. Рекомендации по гидравлическому моделированию волнения и его воздействий на песчаные побережья морей и водохранилищ. М. : ЦНИИС, 1987.
10. Смирнов Г.Н., Горюнов Б.Ф., Курлович Е.В. и др. Порты и портовые сооружения / под ред. Смирнова Г.Н. М. : Стройиздат, 1979. 607 с.
11. Горюнов Б.Ф. Морские порты. М. : Транспорт, 1979. 62 с.
12. Левачев С.Н., Корчагин Е.А., Пиляев С.И. и др. Гидросооружения водных путей, портов и континентального шельфа. Ч. 2. Порты и портовые сооружения / под ред. С.Н. Левачева. 4-е изд., перераб. М. : Изд-во АСВ, 2015. 534 с.
13. Никеров П.С., Яковлев П.И. Морские порты. М. : Транспорт, 1987. 415 с.
14. Лаппо Д.Д., Стрекалов С.С., Завьялов В.К. Нагрузки и воздействия ветровых волн на гидротехнические сооружения. Теория. Инженерные методы. Расчеты / под ред. Д.Д. Лаппо. Л. : ВНИИГ им. Б.Е. Веденеева, 1990. 431 с.

Поступила в редакцию в октябре 2016 г.

Принята в доработанном виде в феврале 2017 г.

Одобрена для публикации в апреле 2017 г.

Об авторах: Приходько Олег Алексеевич — главный инженер, ЗАО «Инжиниринговая компания «Современные морские системы», 115088, г. Москва, 2-я улица Машиностроения, д. 17, стр. 1, prikhodko@smsystems.ru;

Зуев Николай Дмитриевич — кандидат технических наук, заведующий сектором измерений НИЛ «Гидротехнические сооружения», Национальный исследовательский Московский государственный строительный университет (НИУ МГСУ), 129337, г. Москва, Ярославское шоссе, д. 26, nd43zuev@yandex.ru;

Шунько Андрей Сергеевич — инженер НИЛ «Гидротехнические сооружения», Национальный исследовательский Московский государственный строительный университет (НИУ МГСУ), 129337, г. Москва, Ярославское шоссе, д. 26, andrej.shunk@rambler.ru;

Шунько Наталья Владимировна — кандидат технических наук, заведующая НИЛ «Гидротехнические сооружения», Национальный исследовательский Московский государственный строительный университет (НИУ МГСУ), 129337, г. Москва, Ярославское шоссе, д. 26, natshunko@rambler.ru.

REFERENCES

1. Shun'ko N.V., Kantarzi I.G. Ustoychivost' zashchitnykh nabrosnykh otkosnykh gidrotekhnicheskikh sooruzheniy [Stability of the Protective Sketch Slope Hydraulic Engineering Constructions]. *Stroitel'stvo — formirovaniye sredy zhiznedeatelnosti : sbornik trudov 17-y mezhdunarodnoy mezhvuzovskoy nauchno-prakticheskoy konferentsii* [Construction as Formation of the Living Environment: collected works of the 17th International Interuniversity Scientific-practical. conference]. Moscow, 2014, pp. 484–488. (In Russian)
2. Shun'ko N.V. *Volnovoy nakat i ustoychivost' dlya sooruzheniy otosnogo profilya s zakreplennym i nezakreplennym pronitsaemym pokrytiem : avtoreferat dissertatsii ... kandidata tekhnicheskikh nauk* [Wave Runup and Stability for Constructions with a Slope Profile with the Fixed and Loose Non-Tight Covering : the Author's Abstract of the Thesis of Candidate of the Technical Science]. Moscow, 2015, 24 p. (In Russian)
3. Kantarzi I.G., Shun'ko N.V. Chislennoye i fizicheskoe modelirovaniye portovykh gidrotekhnicheskikh sooruzheniy [Numerical and Physical Modelling of the Port Hydraulic Engineering Constructions]. *Integratsiya, partnerstvo i innovatsii v stroitel'noy nauke i obrazovanii : sbornik materialov mezhdunarodnoy nauchnoy konferentsii* [Integration, Partnership and Innovations in the Construction Science and Education : Collected Works of the International Scientific Conference]. Moscow, 2015, pp. 639–643. (In Russian)
4. Shakhin V.M., Radionov A.Ye. O nauchnom obosnovanii morskogo gidrotekhnicheskogo stroitel'stva v Sochinskom regione [On the Scientific Substantiation of the Sea Hydraulic Engineering Construction in the Sochi Region]. *Gidrotekhnika* [Hydrotechnics]. 2012, no. 3, pp. 46–48. (In Russian)

5. Pilyaev S.I., Morozov F.V. Issledovanie volneniya na prostranstvennykh modelyakh portov [Investigation of Waves on Ports Spatial Models]. *Vodnoye khozyaystvo, porty i portovyye sooruzheniya : sbornik trudov* [Water Management, Ports and Port Constructions : collected works]. Moscow, MISI Publ., 1999. (In Russian)
6. Ofitserov A.S. *Gidravlicheskie laboratornye issledovaniya morskogo porta* [Hydraulic Laboratory Researches of Seaport]. Moscow, Gosstroyizdat Publ., 1961. (In Russian)
7. Vaysfel'd I.A. *Vybor masshtaba i masshtabnye po-pravki pri modelirovanii akvatoriy portov* [Choice of Scale and Scale Amendments at Modelling of Ports Water Areas]. Moscow, Gosstroyizdat Publ., 1961. (In Russian)
8. Sharp J.J. *Hydraulic modeling*. Butterworths, 1981.
9. Rekomendatsii po gidravlicheskomu modelirovaniyu volneniya i ego vozdeystviy na peschanye poberezh'ya morey i vodokhranilishch [Recommendations on the Waves Hydraulic Modeling and Their Effects on the Sandy Coasts of the Seas and Reservoirs]. Moscow, TSNIIS Publ., 1987. (In Russian)
10. Smirnov G.N., Goryunov B.F., Kurlovich E.V. et al. *Porty i portovyye sooruzheniya* [Ports and Port Facilities]. Moscow, Stroyizdat Publ., 1979, 607 p. (In Russian)
11. Goryunov B.F. *Morskiye porty* [Seaports]. Moscow, Transport Publ., 1979, 62 p. (In Russian)
12. Levachev S.N., Korchagin E.A., Pilyaev S.I. et al. *Gidrosooruzheniya vodnykh putey, portov i kontinental'nogo shel'fa. Ch. 2. Porty i portovyye sooruzheniya* [Hydraulic Structures of Waterways, Ports and the Continental Shelf. Part II. Ports and Port Constructions]. Moscow, ASV Publ., 2015, 534 p. (In Russian)
13. Nikerov P.S., Yakovlev P.I. *Morskiye porty* [Seaports]. Moscow, Transport Publ., 1987, 415 p. (In Russian)
14. Lappo D.D., Strekalov S.S., Zav'yalov V.K. *Nagruzki i vozdeystviya vetrovykh voln na gidrotekhnicheskie sooruzheniya. Teoriya. Inzhenernye metody. Raschety* [Loads and Impacts of Wind Waves on Hydraulic Engineering Constructions. Theory. Engineering Methods. Calculations]. Leningrad, Vedeneev VNIIG Publ., 1990, 431 p. (In Russian)

Received in October 2016.

Adopted in revised form in February 2017.

Approved for publication in April 2017.

About the authors: **Prikhod'ko Oleg Alekseevich** — Chief Engineer, ZAO "Inzhiniringovaya kompaniya "Sovremennyye morskyye sistemy"", 17, 1d 1, 2nd Mashinostroeniya str., Moscow, Russian Federation, prikhodko@smsystems.ru;

Zuev Nikolay Dmitrievich — Candidat of Technical Sciences, Research Marine Laboratory, **Moscow State University of Civil Engineering (National Research University) (MGSU)**, 26 Yaroslavskoe shosse, Moscow, 129337, Russian Federation; nd43zuev@yandex.ru;

Shunko Andrey Sergeevich — Engineer, Research Marine Laboratory, **Moscow State University of Civil Engineering (National Research University) (MGSU)**, 26 Yaroslavskoe shosse, Moscow, 129337, Russian Federation; andrej.shunko@rambler.ru;

Shunko Natalia Vladimirovna — Candidat of Technical Sciences, Research Marine Laboratory, **Moscow State University of Civil Engineering (National Research University) (MGSU)**, 26 Yaroslavskoe shosse, Moscow, 129337, Russian Federation; natshunko@rambler.ru.