

doi: 10.51639/2713-0576_2024_4_3_23

УДК 624.138.41

ГРНТИ 67.11.29

ВАК 2.1.2

Из опыта усиления основания фундаментов склада № 3 на Широком пирсе №1 Новороссийского морского торгового порта методом инъектирования песчаных грунтов

¹ Рыбникова И. А., ² Рыбников А. М.¹НФ БГТУ им. В.Г. Шухова, 353919, Россия, Новороссийск, Мысхакское шоссе, 75²ГМУ им. адм. Ф.Ф. Ушакова, 353918, Россия, Новороссийск, пр. Ленина, 93Email: 7upa7@mail.ru, a.ribnikov@novoroskhp.ru

Аннотация

В статье освещены результаты обследования технического состояния несущих конструкций здания склада генеральных грузов № 3, расположенного на причале № 19 Широкого пирса № 1 Новороссийского морского торгового порта. За счёт значительного превышения нагрузок от металлических грузов на полы склада выявлены сверхнормативные деформации монолитных столбчатых железобетонных фундаментов. Приведены виды грунтов основания фундаментов и их физико-механические характеристики. Описаны технология, применяемое оборудование для усиления грунтового массива способом инъектирования цементно-песчаной смесью и состав этой смеси. Применение принятого варианта усиления позволило создать под подошвой фундаментов цементно-песчаный массив с высокими механическими характеристиками, что практически исключило осадки фундаментов. Факт в дальнейшем отсутствия деформаций подтвердился визуальными наблюдениями и замерами деформаций конструкций здания в течении нескольких лет.

Ключевые слова: фундамент, грунты основания, осадка фундамента, цементно-песчаная смесь, инъектор, инъектирование грунта, несущая способность, деформации конструкций.

Склад хранения генеральных грузов размером в плане 121×60 м расположен вдоль Причала № 19 на Широком пирсе №1 Новороссийского морского торгового порта (НМТП) с глубиной у причала 11,5 м. Высота причала над уровнем поверхности воды (УПВ) незамерзающей Цемесской бухты составляет 2,75 м [1]. Здание склада одноэтажное каркасное, высотой 9,4 м, возведенное из сборных железобетонных конструкций с шагом колонн в продольном направлении 6 м, в поперечном направлении имеет три пролёта - два крайних по 18 м и средний – 24 м [2]. Средний пролёт перекрыт сборными железобетонными сегментными фермами с шагом 6 м, два крайних пролёта - железобетонными балками с шагом также 6 м. Посередине здания имеются деформационный и температурный швы. Плиты покрытия – сборные железобетонные ребристые размером 6×1,5 м. Стены смонтированы из навесных сборных железобетонных панелей. Полы монолитные железобетонные толщиной 20 см, рассчитанные для проезда колёсной техники и складирования тяжелых грузов из дорогостоящих металлических изделий.

В процессе длительной и не всегда правильной эксплуатации полов склада некоторые фундаменты получили значительные деформации, а в колоннах появились трещины. Обследованиями и замерами были выявлены наиболее характерные дефекты некоторых

конструкций здания склада, а именно:

- значительные осадки фундаментов;
- проседание и разрушение участков полов;
- деформации и наклонные трещины в наружных стенах здания;
- крен колонн в верхней части;
- разрушение защитного слоя бетона у некоторых колонн, ферм и балок.

Существующие фундаменты склада – железобетонные столбчатые стаканного типа, основными размерами подошвы $2,1 \times 2,1 \text{ м}^2$, на искусственном песчаном основании. Глубина заложения подошвы фундамента $-2,05 \text{ м}$ от нулевой отметки чистого пола склада. Таким образом прослойка песка до уровня поверхности воды (УПВ) бухты составляет: $(2,75 - 2,05) = 0,70 \text{ м}$. Расчёты показали, что нагрузки на фундаменты от веса конструкций здания склада составляют не более 1 т/м^2 .

С целью определения фактического размера фундаментов наиболее просевшей части здания, а также подтверждения вида грунтов основания и положения уровня грунтовых вод были отрыты шурфы глубиной 3 м до УПВ. Подтвердилось, что основанием фундаментов являются намывные рефулированные морские пески с примесью ракушек, засыпанные способом гидромеханизации [3] в контур Широкого пирса № 1 при его строительстве.

Уровень грунтовых вод находится на уровне поверхности солёной воды бухты. Это позволяет сделать вывод о том, что основания фундаментов сообщаются с бухтой. Песок, расположенный ниже уровня бухты под фундаментами здания склада, круглогодично находится в водонасыщенном состоянии. Таким образом, вода из песков при осадке фундаментов не выдавливается.

Обследования показали, что фундаменты находятся в удовлетворительном состоянии и их размеры соответствуют проектным как в плане, так и по высоте. Для определения ориентировочных величин осадок фундаментов было произведено нивелирование верха колонн, что позволило определить также разность в осадках фундаментов. По образцам сухих (до УПВ) и водонасыщенных (ниже УПВ) песков были определены их основные среднённне физико-механические характеристики, представленные в табл.1.

Таблица 1 – Физико-механические характеристики сухих и водонасыщенных песков

Наименование грунта	Модуль деформации $E, \text{ МПа}$	Пористость $n, \%$	Коэффициент пористости, e	Плотность $\rho, \text{ т/м}^3$
Песок сухой до УПВ	12	38	0,5	1,62
Песок водонасыщенный ниже УПВ	8	46	0,7	1,46

Учитывая, что нагрузки от веса здания небольшие (1 т/м^2) и постоянные, можно сделать вывод, что повреждения несущих конструкций здания произошло из-за сверхнормативных осадок фундаментов, за счёт нагрузок, передаваемых от складированного груза на полы склада. Через уплотнившийся под полами слой песка нагрузка передавалась на верхний обрез фундаментов, из-за чего произошла их деформация и, следовательно, деформации конструкций здания.

Согласно СП 22-13330-2016 «Основания зданий и сооружений» (Приложение Г) для одноэтажных железобетонных зданий с полным каркасом допустимая осадка не должна превышать 10 см , а относительная разность осадок соседних фундаментов – $0,002$. Таким образом, относительная разница осадок соседних фундаментов каркасных зданий не должна превышать в пролётах 6 м – $1,2 \text{ см}$, для пролётов 18 м – $3,6 \text{ см}$, для пролётов 24 м – $4,8 \text{ см}$. Проведенные замеры показали, что в действительности относительная разница осадок для

многих соседних фундаментов в разных пролётах превышает допустимые значения на 30...60 %. При этом некоторые колонны отклонялись в верхней части от вертикали на 20...25 мм.

Фактическая осадка фундаментов определялась нивелированием положения верха колонн от их проектного положения и составила 12...18 см, что превышает допустимую. Согласно Справочнику допускаемых нагрузок на гидротехнические сооружения, разработанному в НМТП [4], нагрузка на пол склада № 13 от груза не должна превышать $2,5 \text{ т/м}^2$. Однако при складировании упаковок в пять ярусов листовой меди весом 1,7 т и цинковых слитков в 4 яруса нагрузки на пол составляют до 10 т/м^2 . Несколько меньшая нагрузка составляла при складировании рулонов белой консервной жести – порядка 6 т/м^2 , а бухт катушек медных троллейных проводов – $3...6 \text{ т/м}^2$. Неравномерными загрузками полов на разных участках склада объясняется разность осадок соседних фундаментов здания.

Особую опасность представляют сверхнормативные осадки соседних фундаментов. В этом случае конструкции покрытия (балки, фермы) смещаются в сторону больших осадок и, следовательно, или скалывают опорную часть колонн, или изгибают их. За счёт наклона ферм или балок уменьшается площадь опирания их опорной части на колонны, поэтому происходит разрушение этой части конструкции в виде наклонных трещин. Стены также деформируются с появлением трещин в сторону фундаментов с большими осадками. При дальнейшей деформации панели стены могут потерять устойчивость и обрушиться. Это может произойти особенно в тех местах, где появляются дополнительные вертикальные нагрузки.

Исходя из изложенного, было принято решение закрепить и усилить каким-либо способом основания фундаментов, а надземные конструкции отремонтировать известными методами. Необходимость усиления грунтов основания была обусловлена значительными сверхнормативными осадками столбчатых фундаментов здания, связанных с недостаточными прочностными характеристиками грунтов основания и технологическими нагрузками на полы склада, превышающими допустимые

Для усиления слабых водонасыщенных, неоднородных по плотности песчаных грунтов основания склада, выравнивания прочностных и деформационных свойств усиливаемых грунтов, а также предотвращения неравномерных осадок фундаментов был применён инъекционный метод «Геомассив» [5,6]. Этот метод предусматривает насыщение массива грунта цементно-песчаным раствором посредством нагнетания его под давлением. При давлении раствора, превышающем напряжения в грунте, происходит гидроразрыв частиц грунта и образование мелких полостей в массиве в местах инъекции и одновременным заполнением их раствором. В результате чего происходит улучшение механических свойств слабых грунтов как за счёт уплотнения, так и за счёт образования жёстких включений из застывшего уплотняющего раствора,

Высокая избирательность уплотняющего раствора обуславливает усиление наиболее слабых зон грунтового массива с обеспечением высокой несущей способностью грунта. На месте извлеченного инъектора окаменевший (набравший прочность) цементно-песчаный раствор образует местный природно-техногенный массив композита закреплённого грунта с высокими прочностными и низкими деформационными свойствами. В качестве примера на рис. 1. представлена схема инъектирования грунта основания рядового фундамента ФМ-2. Размеры его подошвы $2,1 \times 2,1 \text{ м}$, глубина заложения $-2,05 \text{ м}$.

Технология работ по усилению основания инъектированием включает три этапа:

1. Подготовительные работы: организация площадки, установка специального бурильного оборудования и оборудования для приготовления цементно-песчаной смеси, подключение к сетям инженерного обеспечения, изготовление инъекторов с тремя типами перфорированных наконечников (рис. 2) и др.

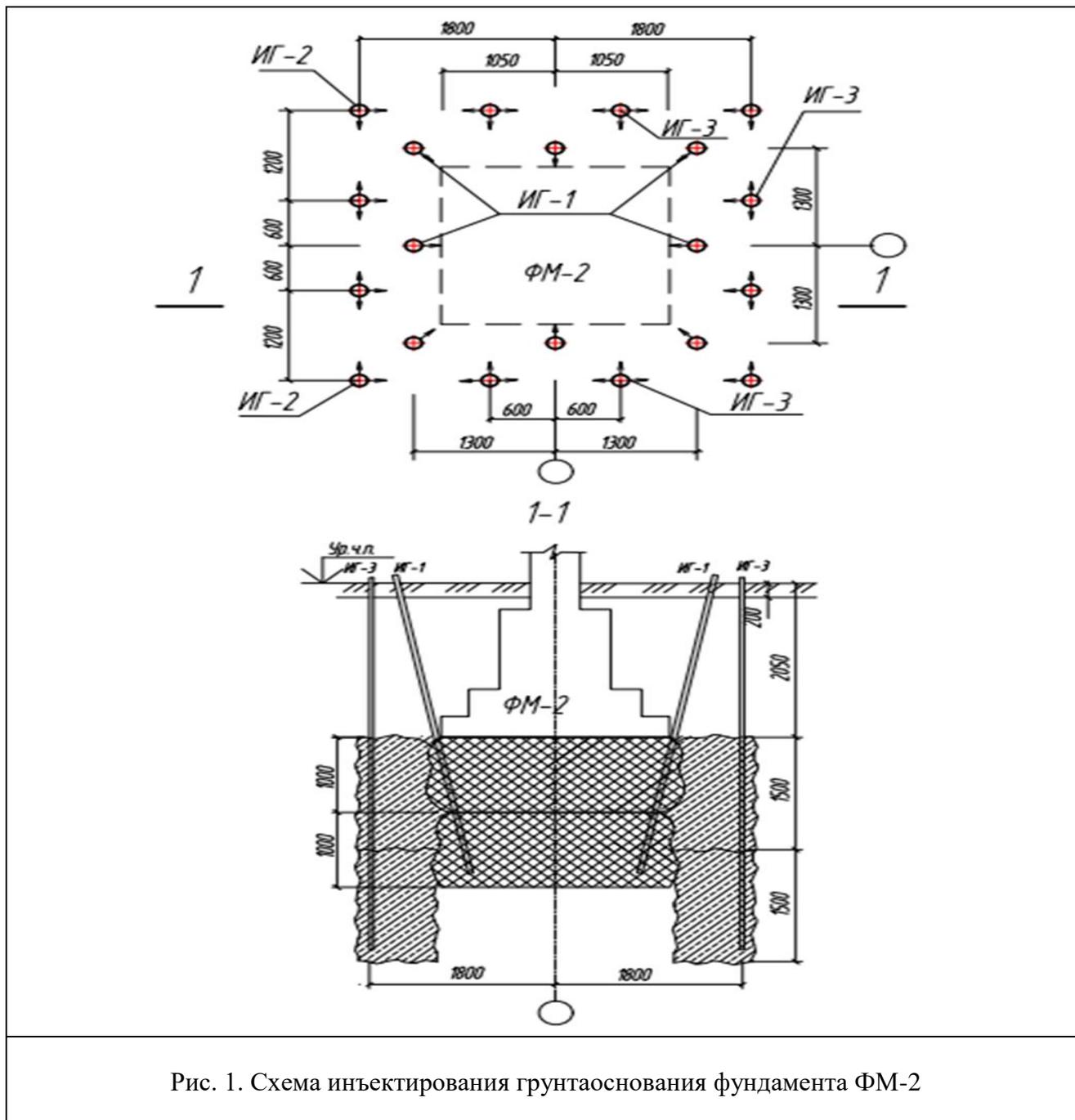


Рис. 1. Схема инъектирования грунта основания фундамента ФМ-2

2. Создание вертикального защитного экрана в двух уровнях (законтурной обоймы) на глубину 3 м (1,5 м + 1,5 м) от подошвы фундамента по периметру усиливаемого грунтового массива. Цель обоймы с непроницаемыми и устойчивыми стенками – обеспечение оптимальных условий для создания грунтоцементной плиты под подошвой фундамента без распространения раствора за контуры экрана. Объем раствора на один фундамента на законтурную обойму составил 11,6 м³.

3. Создание под подошвой фундамента в пределах защитного экрана грунтоцементной плиты толщиной 2,0 м (рис. 1) с обеспечением её модуля деформации не менее $E = 2 \text{ МПа}$ (20 кГ/см²). При этом включается в работу и массив законтурной обоймы. Объем раствора на одну грунтоцементную плиту под подошвой фундамента составил 5,2 м³.



Для нагнетания раствора использовались штанги иньекторов из стальных труб диаметром $63,5 \times 3,5$ мм со съёмными перфорированными нижними участками (наконечниками). Наконечники изготавливались длиной 1,5 м для нагнетания раствора в законтурную обойму и 1 м – для изготовления плиты под подошвой фундамента. Погружение иньекторов производилось через предварительно пробуренные отверстия в железобетонном полу склада. Скважины диаметром 80 мм для погружения иньекторов выполнялись бурильным станком КБУ-80. Для создания законтурной обоймы они были вертикальными, а под подошвой фундамента – наклонными (рис.3). Иньекторы для создания вертикального защитного экрана располагались по периметру закрепляемого грунтового массива (рис. 1). При погружении иньекторов строго соблюдалась ориентация отверстий в их перфорированных частях. Нагнетание раствора осуществлялось насосами НБЗ-120/40, которые создавали давление раствора порядка $5,0 \dots 10$ атм с производительностью его подачи $10 \dots 20$ м³/час.



Рис. 3. Бурение наклонных скважин под иньекторы

Нагнетание раствора по высоте массива производилось поэтапно из двух уровней в очередности снизу-вверх. При нагнетании раствора на первый уровень насос выключался, запорный кран перекрывался (рис. 4) и перфорированная часть иньектора поднималась на второй уровень.

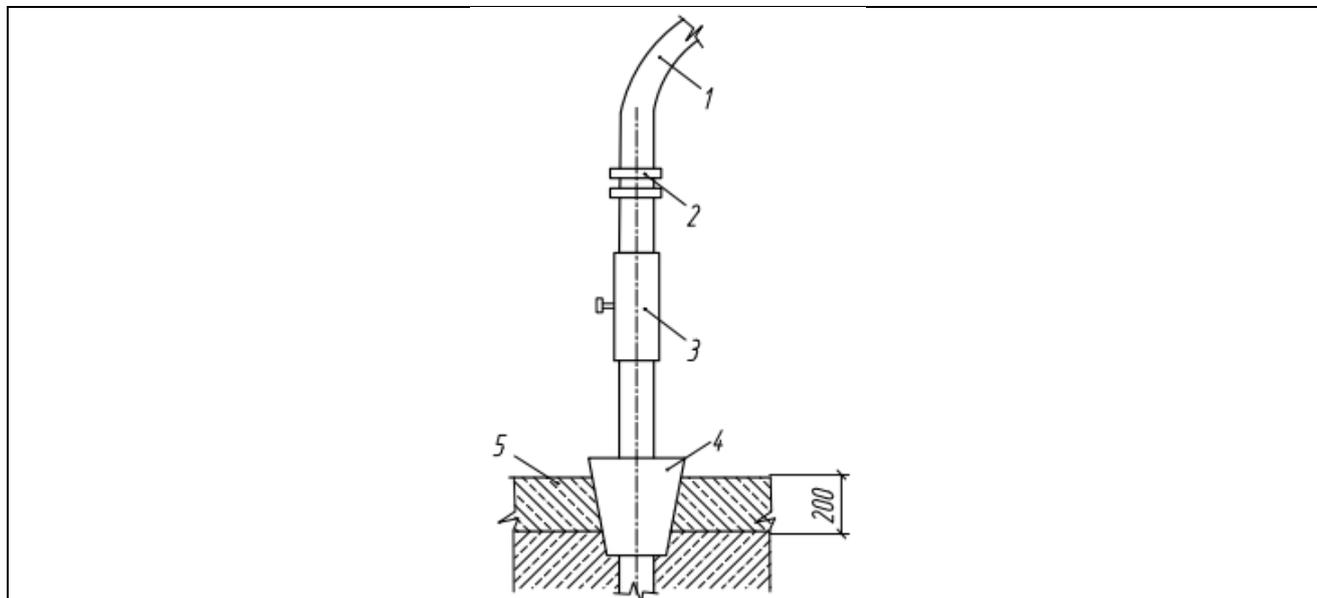


Рис. 4. Схема верхней части иьектора:

1 – гибкий шланг высокого давления; 2– быстроразъёмное соединение;
3 – запорный кран; 4 – пакер; 5 – железобетонный пол склада

Для предотвращения выдавливания раствора через пробуренные отверстия в полу склада они перекрывались центрирующими такерами. После нагнетания раствора на оба уровня иньектор полностью извлекался, отсоединялся от технологического трубопровода, и нагнетательная линия перемещалась к следующей точке иньектирования. Извлечённый иньектор очищался от раствора, продувался сжатым воздухом и переносился на другую точку иньектирования. Иньектирование производилось последовательно по линии в ряд через одну точку.

В качестве иньекционного раствора применялся песчано-цементный раствор марки М200 (класс В22) с водоцементным отношением В/Ц = 0,6 марки М 200. Его состав на 1 м³ состоял из:

- песок речной - 1 200 кг;
- цемент М 500 - 700 кг;
- вода пресная - 340 л;
- пластификатор С-3 - 35 л.

Песчано-цементный раствор готовился в растворомешалке марки РМ-750, продолжительность перемешивания после засыпки и подачи воды в сухие компоненты составляла не менее 7 минут. После приготовления сразу перед закачиванием в иньектор раствор процеживался через сито с отверстиями диаметром 5 мм и использовался в течении 1 часа.

После завершения создания вертикального защитного экрана выполняли по аналогичной технологии грунтоцементную плиту под подошвой фундаментов - нагнетался раствор черезнаклонные иньекторы, располагаемые по периметру фундаментов (рис. 1).

Глубина погружения иньекторов составляла 2 м от подошвы фундаментов.

Нагнетание раствора производилось по глубине поэтапно с двух пунктов инъектирования. Приведенным способом были усилены основания у 12 фундаментов.

Инструментальные наблюдения за ними в течении нескольких лет показали, что деформация фундаментов с усиленными основаниями методом «Геомассив» практически отсутствует. Это даёт возможность рекомендовать к практическому применению этого метода в условиях гидротехнических сооружений ПАО «НМТП», выполненных с применением рефулированных морских песков.

Конфликт интересов

Авторы статьи заявляют, что у них нет конфликта интересов по материалам данной статьи с третьими лицами, на момент подачи статьи в редакцию журнала, и им ничего не известно о возможных конфликтах интересов в настоящем со стороны третьих лиц.

Список литературы

1. Паспорт Причала № 19 НМТП. Новороссийск. НМТП. 2012 г.
2. Технический паспорт склада № 3. Широкий пирс № 1. НМТП. 2015 г.
3. Рыбников А.М., Рыбников Р.А. Морские порты и портовые сооружения: учебное пособие. – Новороссийск: РИО ГМУ им. адм. Ф.Ф. Ушакова, 2017. – 194 с.
4. Справочник допускаемых нагрузок на гидротехнические сооружения, складские площадки и полы крытых складов. НМТП. 2014 г.
5. Мельников Б.Н. Геотехнические массивы как новый вид оснований инженерных сооружений // Инженерная геология. 1985. № 2. С.11-21.
6. Ибрагимов М.Н. Опыт применения методов инъекционного укрепления грунтов основания // Основания, фундаменты и механика грунтов. 2009. № 1. С. 15-19.

Automation of quality control of sealing of road construction elements

¹ Rybnikova I. A., ² Rybnikov A.M.

¹ *Novorossiysk branch of Belgorod State Technological University
named after V.G. Shukhov (NF BSTU named after V.G. Shukhov), 353919, Russia, Novorossiysk,
Myshakskoe highway, house 75*

² *Adm. F.F. Ushakov State Maritime University, 93 Lenin Avenue, Novorossiysk, 353924, Russia*

Email: 7upa7@mail.ru, a.ribnikov@novoroskhp.ru

Abstract

The article highlights the results of a survey of the technical condition of the load-bearing structures of the general cargo warehouse building No. 3, located at pier No. 19 of the Wide Pier No. 1 of the Novorossiysk Commercial Seaport. Due to significantly exceeding the loads on the warehouse floors from metal loads, excessive deformations of monolithic columnar reinforced concrete foundations were revealed. The types of foundation soils and their physical and mechanical characteristics are given. The technology, the equipment used to strengthen the soil mass by injecting a cement-sand mixture and the composition of this mixture are described. The use of the adopted reinforcement option made it possible to create a cement-sand massif with high mechanical characteristics under the sole of the foundations, which practically eliminated further precipitation

of the foundations. This fact was confirmed by visual observations and instrumental measurements of deformations of building structures over several years, which showed their absence.

Keywords: foundation, foundation soils, foundation sediment, cement-sand mixture, injector, soil injection, bearing capacity, structural deformations.

References

1. Passport of Berth No. 19 NCSP. Novorossiysk. NCSP. 2012
2. Technical data sheet of warehouse No.
3. Wide pier No. 1. NCSP.2015 3. Rybnikov A.M., Rybnikov R.A. Seaports and port facilities: a textbook. Novorossiysk: RIO State Medical University named after Adm. F.F. Ushakov, 2017. – 194 p.
4. Handbook of permissible loads on hydraulic structures, storage areas and floors of covered warehouses. NCSP. 2014
5. Melnikov B.N. Geotechnical arrays as a new type of foundations for engineering structures // Engineering geology. 1985. No. 2.pp.11-21.
6. Ibragimov M.N. Experience in the application of methods of injection strengthening of foundation soils // Foundations, foundations and soil mechanics. 2009. No. 1. pp. 15-19.