

УДК 681.3.06:69

Д. О. ГОЛУБЕЦ, Д. Р. ПРОКОПЕНКО, Д. О. МОЗГОВОЙ, Е. А. ДМИТРЕНКО, А. С. ВОЛКОВ
ГООУ ВПО «Донбасская национальная академия строительства и архитектуры»**ИССЛЕДОВАНИЕ И РАЗРАБОТКА КОНСТРУКЦИЙ УСИЛЕНИЯ
ПОДЗЕМНОГО РЕЗЕРВУАРА**

Аннотация. Данная статья посвящена вопросу обеспечения надежной и безопасной эксплуатации строительных конструкций заглубленных сооружений после реконструкции. В работе представлены результаты обследования состояния конструкций и результаты расчета сооружения с использованием ПК «Лири-САПР». Особое внимание уделено анализу вариантов конструктивных схем реконструкции и усиления элементов сооружения.

Ключевые слова: резервуар, напряженно-деформированное состояние, железобетонные конструкции, обследование, реконструкция, усиление, конечно-элементная модель.

ВВЕДЕНИЕ

Обеспечение надежной работы строительных конструкций зданий и сооружений является главной задачей долгосрочной и безопасной службы объекта строительства. Оценка технического состояния зданий и сооружений предназначена для качественного и количественного представления показателей, характеризующих свойства и состояние объектов, изучения процессов, протекающих в конструкциях, основаниях и оборудовании, а также выявления фактических эксплуатационных свойств материалов, элементов конструкций и установления их соответствия техническим требованиям [2, 3, 5]. Однако часто возникают ситуации, когда реальные условия эксплуатации, характеристики материалов и даже действительные схемы работы отдельных элементов имеют существенные отклонения от проектных значений.

Повышенные требования предъявляются к методам оценки технического состояния здания и его строительных конструкций при анализе причин аварий вследствие повреждения конструкций при монтаже или эксплуатации. Проводимые оценки технического состояния зданий и сооружений позволяют выявить наиболее характерные дефекты и разработать рекомендации по уточнению параметров напряженно-деформированного состояния конструкций, повышению их надежности, совершенствованию конструктивных схем, технологии изготовления, монтажа и эксплуатации.

Здания и сооружения представляют собой системы, состоящие из большого числа элементов, работающих в условиях сложных напряженно-деформируемых состояний. Поэтому для оценки технического состояния здания, сооружения или отдельных их элементов необходимо точно определять параметры напряженно-деформированного состояния, в том числе с учетом взаимосвязей и случайного характера формирования свойств.

Особенно данные факторы являются значимыми при реконструкции зданий и сооружений, в том числе и для подземных резервуаров, рассматриваемых в данном исследовании. При реконструкции сооружений теоретическое обоснование расчетных схем железобетонных конструкций основано на результатах полевых исследований, а также опытных данных, на законах механики, на использовании действительного напряженно-деформированного состояния конструкций на различных стадиях роста внешней нагрузки. Точные параметры напряженно-деформируемого состояния очень важны для выбора и проектирования рациональных схем усиления и реконструкции отдельных элементов и зданий и сооружений в целом.

В исследовании рассмотрено влияние изменения параметров напряженно-деформированного состояния на несущую способность и эксплуатационную пригодность заглубленного резервуара при его реконструкции с устройством конструкций покрытия.

Цель и задачи исследования:

- обеспечение надежной и безопасной эксплуатации сооружения после его реконструкции;
- исследование НДС железобетонных элементов при различных конструктивных схемах реконструкции резервуара, включающих в себя устройство перекрытия.

Для достижения указанных выше целей были решены следующие задачи:

- 1) оценка технического состояния существующих конструкций и определение действительных параметров НДС с учетом фактических характеристик материалов и армирования;
- 2) выбор конструктивных схем для реконструкции резервуара с дальнейшим формированием расчетных схем, проведением расчетов, анализом их результатов;
- 3) выбор рациональной конструктивной схемы реконструкции и усиления отдельных элементов резервуара.

Краткая характеристика объекта:

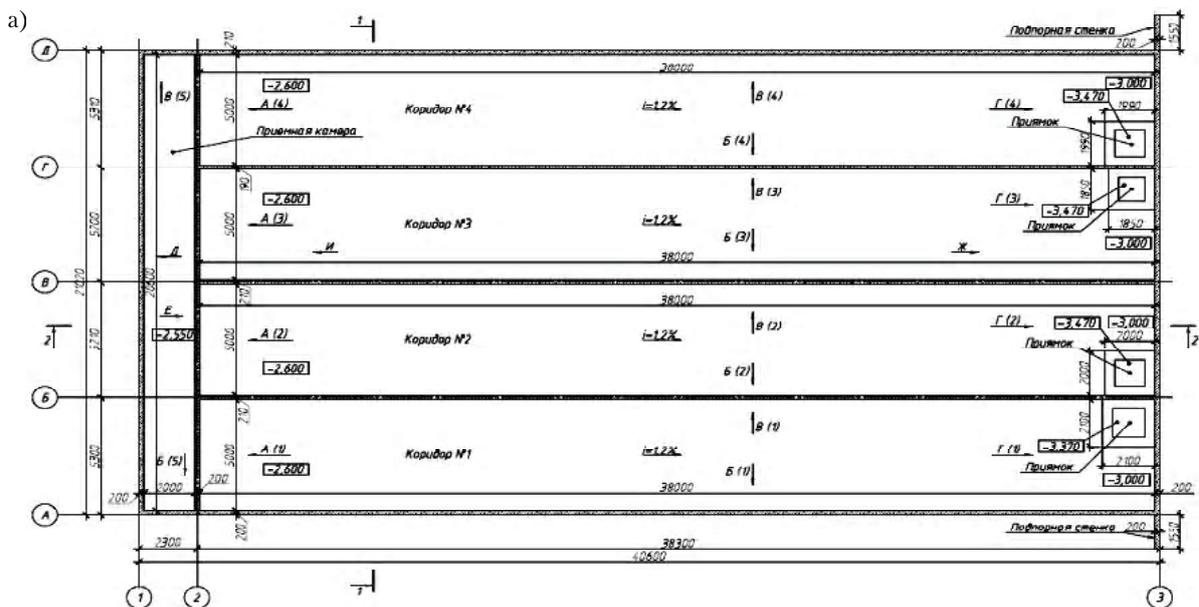
Обследование конструкций резервуара ливневых вод было выполнено специалистами ООО «ОЗИС-Венчур» в 2018 году [1].

Объект обследования представляет собой прямоугольное сооружение, обвалованное по периметру грунтом и предназначенное для сбора и отведения ливневых вод парка Мега Дыбенко. Размеры сооружения в плане в крайних осях составляют 21,0×40,6 м, глубина резервуара переменная от 2,5 до 3,0 м. В конструкции сооружения имеется общий приёмник ливневых вод и четыре коридора длиной 38,3 м с уклоном 1,2‰ для их сбора и отведения. План сооружения и разрезы представлены на рис. 1.

Фундамент сооружения представлен в виде монолитной железобетонной плиты толщиной 300 мм в основной части сооружения и 350 мм под приёмной камерой в осях 1–2 между осями А–Д (рис. 1). Фундаментная плита является днищем резервуара. Плита устроена с уклоном по направлению от оси 1 к оси 3, уклон плиты постоянный и составляет $i = 1,2 \text{ ‰}$. Вдоль оси 3 в осях А–Д в фундаментной плите устроены четыре приямка размерами 2,0×2,0×0,4(н) м.

Стены резервуара монолитные железобетонные толщиной 190÷210 мм. Высота продольных стен резервуара переменная и составляет от 2,5 м вдоль оси 1 и до 3,0 м вдоль оси 3. Поперечные стены имеют постоянную высоту, составляющую 2,5 м вдоль оси 1, 2 м и 3 м вдоль оси 3. В поперечных стенах по осям 1 и 3 имеются технологические отверстия для пропуска подающих и отводящих технологических трубопроводов. В поперечной стене по оси 2 устроены технологические отверстия размером 500×500 мм, служащие для перепуска воды из приемной камеры и оборудованные щитовыми затворами.

В результате обследования [1] выявлены многочисленные дефекты и повреждения, наиболее опасными из которых являются:



б)

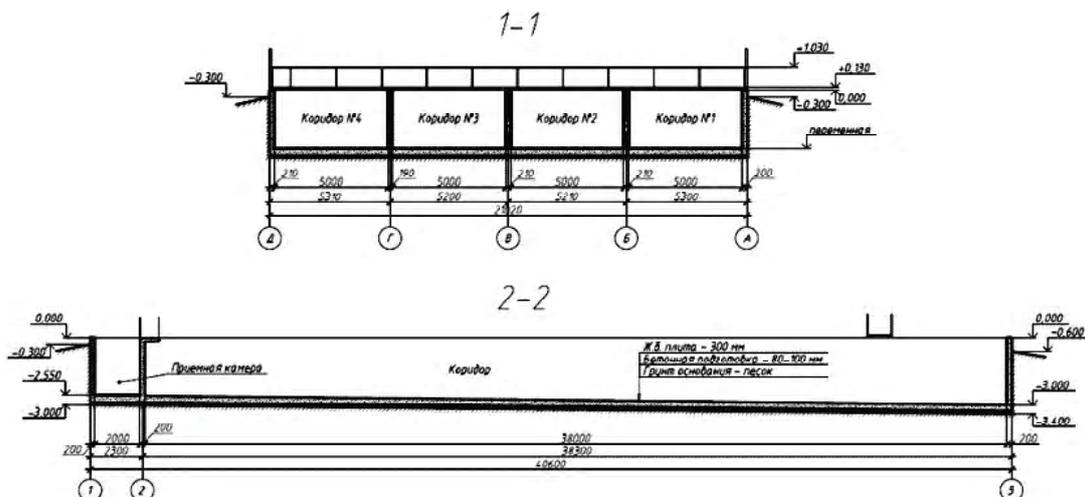


Рисунок 1 – Резервуар ливневых вод: а) план резервуара; б) разрезы 1-1 и 2-2.

– в фундаментной плите – трещины шириной раскрытия до 0,6 мм, что превышает предельно допустимое значение;

– в стенках резервуара – сквозные вертикальные трещины шириной раскрытия до 1,2мм, силовые сквозные наклонные трещины шириной раскрытия до 1,0 мм, трещины в стенке резервуара в зоне опирания металлического мостка шириной раскрытия до 4,0 мм.

Основные дефекты и повреждения представлены на рис. 2.

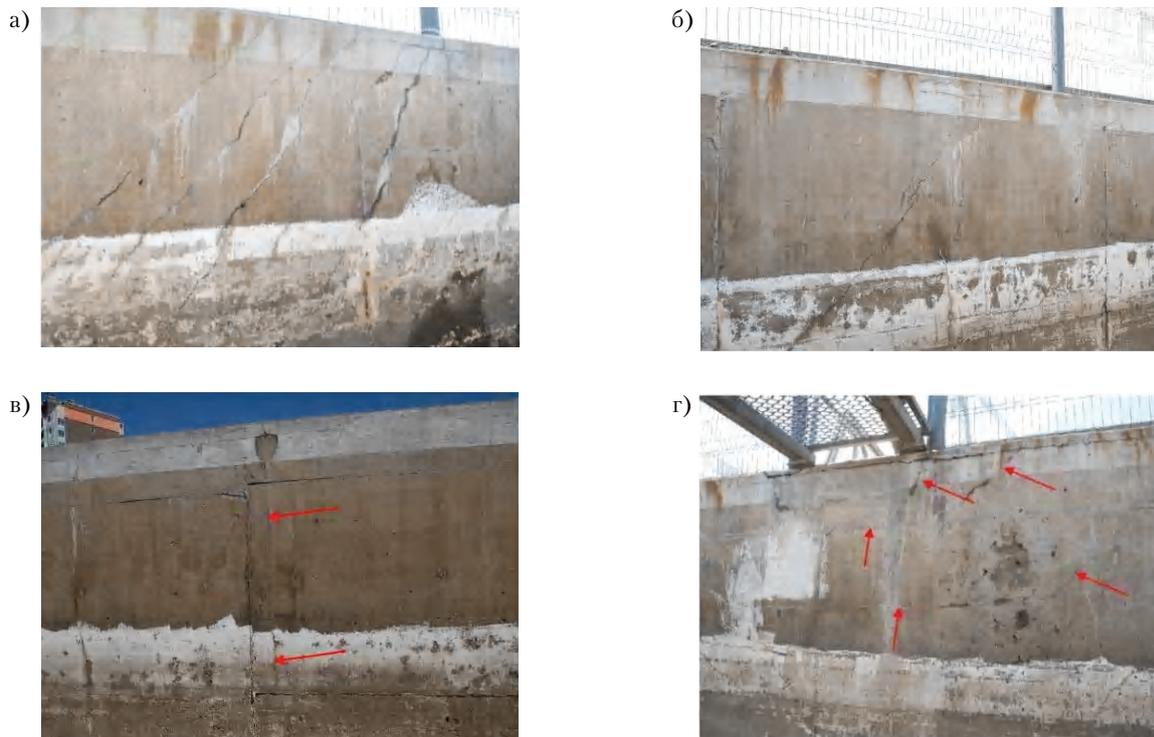


Рисунок 2 – Основные дефекты и повреждения: а, б) силовые сквозные наклонные трещины шириной раскрытия до 1,0 мм; в) сквозные вертикальные трещины шириной раскрытия до 1,2 мм; г) трещины в стенке резервуара в зоне опирания металлического мостка шириной раскрытия до 4,0 мм.

Основной причиной появления в стенах резервуара повреждений в виде сквозных вертикальных и наклонных трещин раскрытием до 1,2 мм является несоответствие фактического армирования

элементов расчетному. Трещины в зоне опирания стального мостика раскрытия до 4,0 мм вызваны недоучетом вырывающих усилий в анкерных устройствах креплений к стенкам вследствие неравномерных деформаций конструкций резервуара. Причиной чрезмерного раскрытия трещин в днище сооружения являются нарушения технологии выполнения бетонных работ (что привело к образованию трещин в результате усадки и температурных деформаций) и не учет при проектировании сооружения совместной работы дна резервуара с деформируемым основанием.

Измерения прочности бетона выполнены прямым неразрушающим способом контроля с помощью прибора ОНИКС-1. По результатам измерений установлен фактический класс бетона по прочности на сжатие: для стен резервуара – не менее В40; для днища – не менее В35.

Фактическое армирование конструкций резервуара определялось с использованием георадара Proceq GPR Live. Был определен шаг и диаметр арматуры в продольном и поперечном направлении, а также определена величина защитного слоя бетона характерных элементов конструкций резервуара (рис. 3).

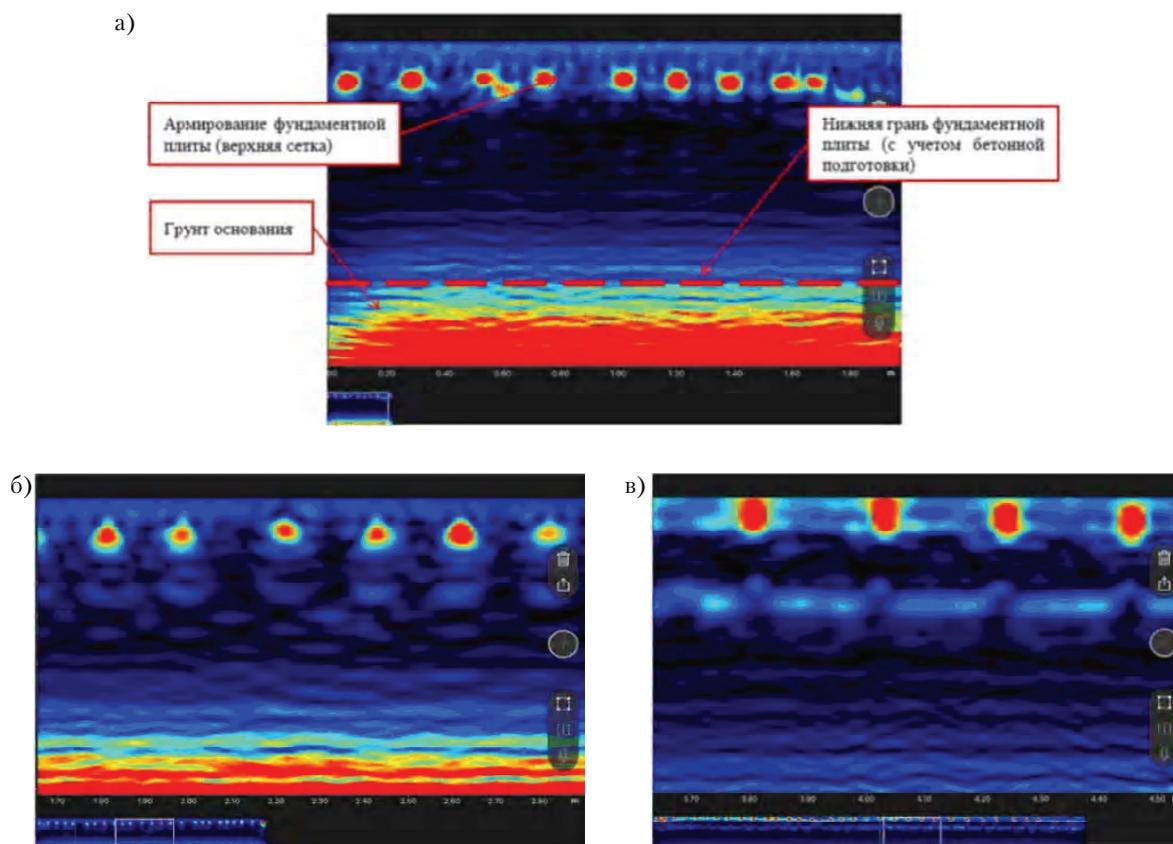


Рисунок 3 – Результаты определения шага и глубины заложения армирования плиты: а) фундамента, б) продольных стен; в) поперечных стен.

Для уточнения результатов неразрушающего контроля было выполнено алмазное бурение конструкций на глубину 100 мм. По результатам бурения установлено, что фактическое верхнее армирование фундаментной плиты представлено продольной арматурой класса АIIIØ10 мм с шагом 200 мм, и поперечной арматурой класса АIIIØ14 мм с шагом 200 мм, защитный слой бетона составляет ~100÷120 мм. Нижнее армирование представлено продольной арматурой класса АIIIØ10 мм, уложенной с шагом 200 мм и поперечной арматурой класса АIIIØ12 мм, уложенной с шагом 200 мм.

Для уточнения результатов, полученных с использованием георадара (рис. 3), были выполнены вскрытия продольных и поперечных стен резервуара. По результатам вскрытий установлено, что в приопорной зоне фактическое вертикальное армирование представлено рабочей арматурой АIIIØ12 с шагом 200 мм, дополнительным армированием (выпуски арматуры из плиты фундамента высотой 700÷800 мм от уровня днища резервуара), выполненным из арматуры класса АIIIØ20 мм с шагом

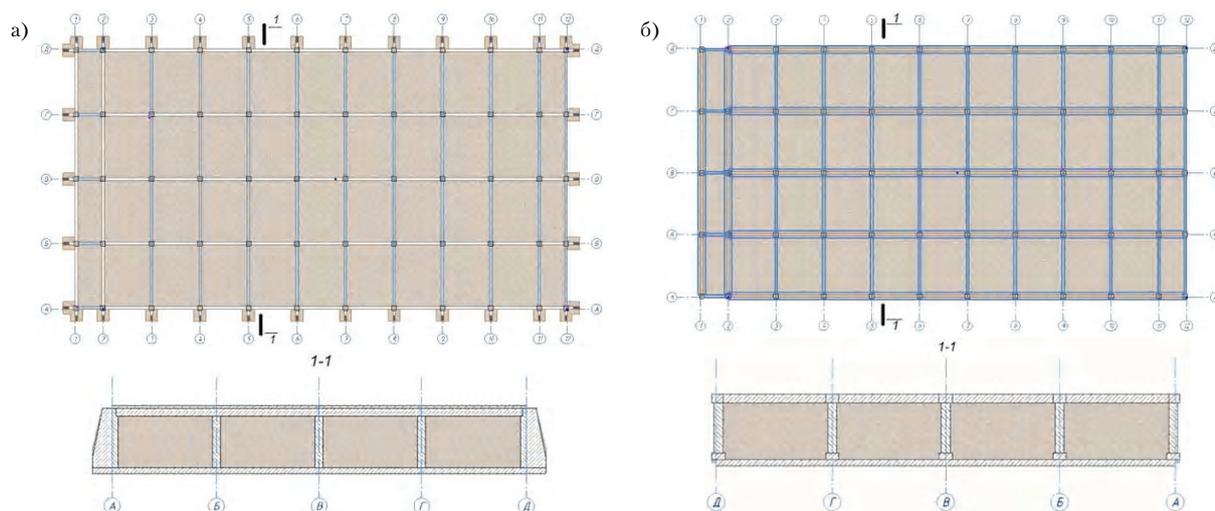


Рисунок 4 – Конструктивные схемы реконструкции и усиления: а) вариант 1, б) вариант 2.

200 мм. Фактическое горизонтальное армирование стен представлено арматурой класса АПШО10 мм с шагом 300 мм.

При реконструкции резервуара, включая устройство покрытия, были рассмотрены следующие варианты конструктивных схем реконструкции и усиления отдельных элементов резервуара.

Вариант 1: усиление наружных стен контрфорсами по периметру сооружения, устройство стоек с шагом 4,0 м сечением 400×400 мм вдоль осей А–Д, в перпендикулярном направлении вдоль осей 3–12 и А–Д устройство балок перекрытия сечением 200×400 мм, устройство монолитной плиты толщиной 150 мм.

Вариант 2: устройство стоек с шагом 4,0 м сечением 400×400 мм вдоль осей А–Д, вдоль стен устройство балок поверху сечением 600×400 мм и понизу сечением 600×300 мм, в перпендикулярном направлении вдоль осей 3–12 и А–Д устройство балок перекрытия сечением 200×400 мм, поверху устройство монолитной плиты толщиной 150 мм.

В результате расчета существующей конструктивной схемы сооружения выявлен недостаток армирования стен резервуара:

- по осям А, Д в вертикальном направлении максимальная расчетная площадь арматуры в зонах сопряжения стен с дном резервуара выше выпусков арматуры из фундаментной плиты составила 12,7 см² (Ø18 с шагом 200 мм), что на 124 % превышает фактическое армирование (Ø12 с шагом 200 мм);
- по осям А, Д в горизонтальном направлении максимальная расчетная площадь арматуры практически на всех участках составила 8,48 см² (Ø18 с шагом 300 мм), что на 224 % превышает фактическое армирование (Ø10 с шагом 300 мм);
- по осям Б, В, Г в вертикальном направлении максимальная расчетная площадь арматуры в зонах сопряжения стен с дном резервуара составила 10,1 см² (Ø16 с шагом 200 мм), что на 78 % превышает фактическое армирование (Ø12 с шагом 200 мм);
- по осям Б, В, Г в горизонтальном направлении максимальная расчетная площадь арматуры практически на всех участках составила 5,13 см² (Ø14 с шагом 300 мм), что на 95 % превышает фактическое армирование (Ø10 с шагом 300 мм);
- по осям 1, 2, 3 в вертикальном направлении максимальная расчетная площадь арматуры в зонах сопряжения стен с дном резервуара составила 7,7 см² (Ø14 с шагом 200 мм), что на 36 % превышает фактическое армирование (Ø12 с шагом 200 мм);
- по осям 1, 2, 3 в горизонтальном направлении максимальная расчетная площадь арматуры составила 10,5 см² (Ø20 с шагом 300 мм), что на 300 % превышает фактическое армирование (Ø10 с шагом 300 мм).

Анализ усилий в элементах сооружения при его реконструкции показывает существенное снижение величин в конструктивном **варианте 2** по сравнению с **вариантом 1**: вертикальные и горизонтальные усилия в стенах снизились в 2÷3 раза; изгибающие моменты снизились в 1,5÷6 раз; величины поперечных сил в стенах, параллельных буквенным осям, снизились в 2÷15 раз, а в стенах по цифровым осям возросли в 1,5÷3 раза.

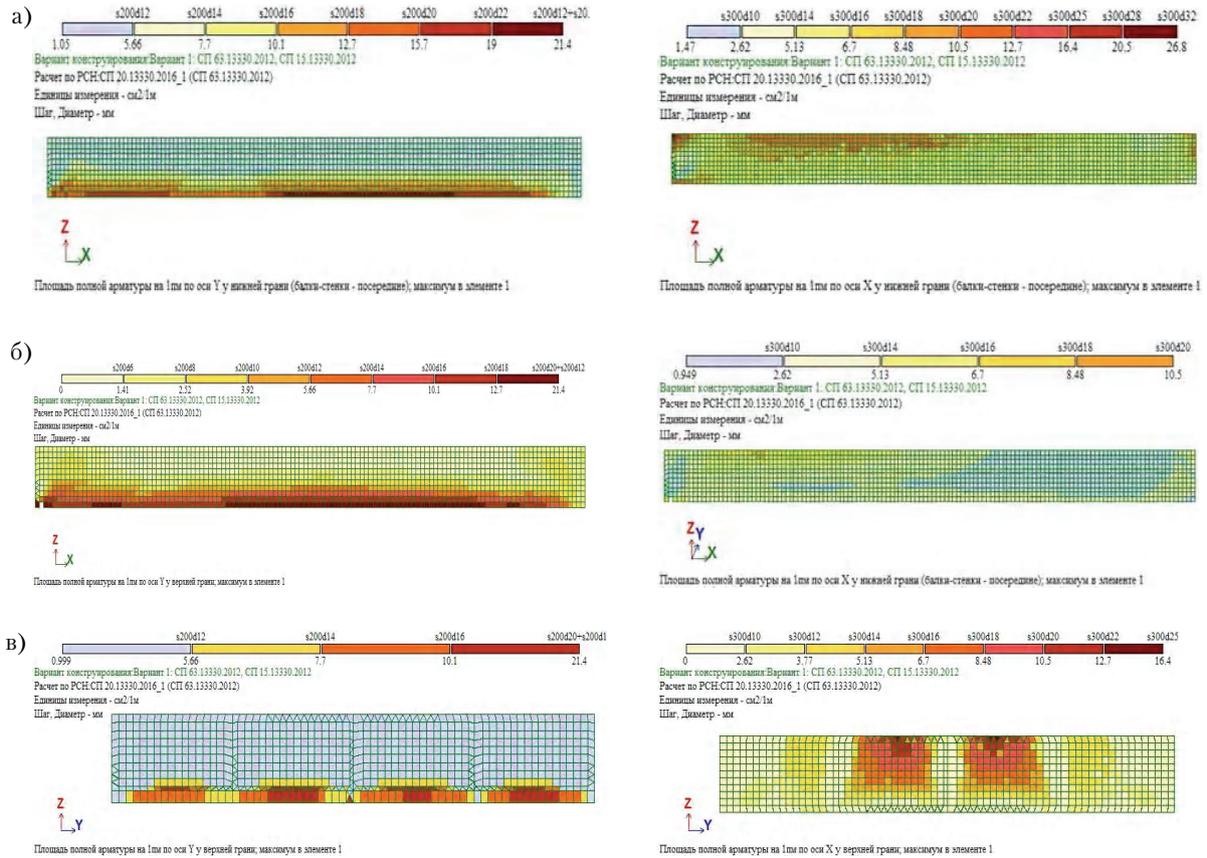


Рисунок 5 – Результат расчета существующей конструктивной схемы: а) вертикальное и горизонтальное армирование наружных продольных стен по осям А, Д; б) вертикальное и горизонтальное армирование внутренних продольных стен по осям Б, В, Г; в) вертикальное и горизонтальное армирование поперечных стен по осям 1, 2, 3.

Расчетное армирование конструктивных элементов сооружения при его реконструкции с устройством покрытия для конструктивного **варианта 2** оказалось существенно меньше по сравнению с **вариантом 1** (рис. 6). Снижение требуемой площади армирования для различных элементов в **варианте 2** относительно **варианта 1** составило:

- для вертикального и горизонтального армирования продольных стен до 78 %;
- для вертикального и горизонтального армирования поперечных стен до 36 %.

Таким образом, при устройстве конструкций усиления согласно **варианту 2** требуемое расчетное армирование продольных и поперечных стен резервуара соответствует фактическому армированию, выявленному при обследовании.

Расчетное армирование стоек усиления, балок покрытия и монолитной железобетонной плиты покрытия для **вариантов 1 и 2** изменилось несущественно.

ВЫВОДЫ

Точный учет параметров НДС элементов сооружений, особенно при их реконструкции, просто необходим для обеспечения конструктивной способности, надежности, долговечности и эксплуатационной пригодности отдельных конструкций зданий и сооружений в целом.

Результаты обследования конструкций резервуара и выполненные расчеты позволяют сделать вывод, что основной причиной появления повреждений является существенный недостаток фактического армирования относительно расчетных величин. Характер развития выявленных повреждений совпадает с зонами возникновения максимальных усилий в элементах резервуара.

В результате сравнения двух конструктивных вариантов усиления и реконструкции сооружения выявлено, что более рациональным является конструктивный вариант 2. При данном конструктивном варианте требуемое расчетное армирование продольных и поперечных стен резервуара, даже с учетом устройства монолитной плиты покрытия, не превышает фактической площади арматуры, выявленной при обследовании.

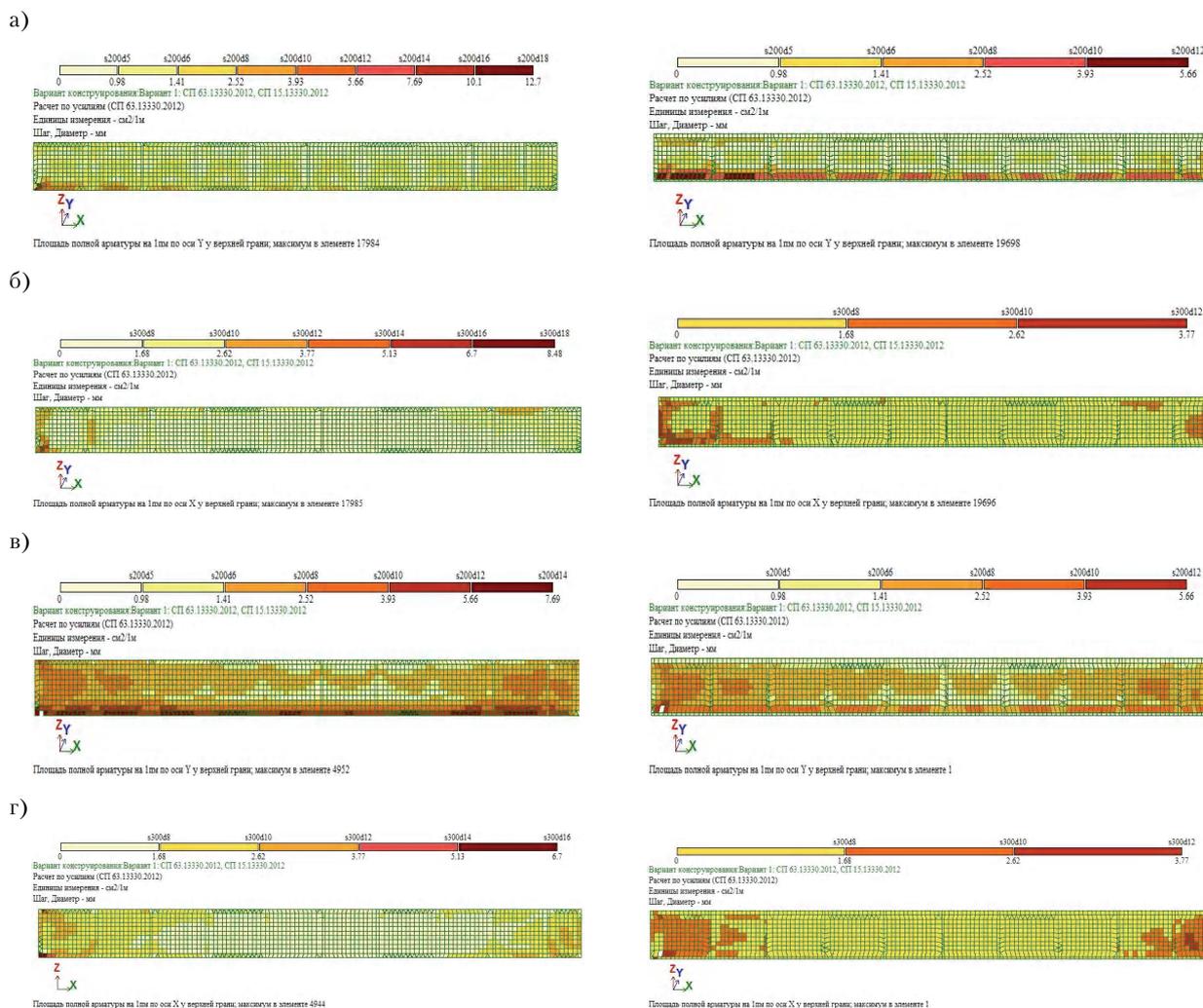


Рисунок 6 – Сравнение армирования вариант 1 с вариантом 2: а) вертикальное и б) горизонтальное армирование продольных стен по осям А, Д; в) вертикальное и г) горизонтальное армирование продольных стен по осям Б, В, Г.

СПИСОК ЛИТЕРАТУРЫ

1. ОБ-581. Отчет по результатам технического обследования конструкций резервуара ливневых вод по адресу: Ленинградская обл., Всеволожский р-н, 12-й км Мурманского ш., ТЦ Мега Дыбенко, резервуар ливневых вод парка Мага Дыбенко [Текст] / ООО «ОЗИС-Венчур»; рук. А. В. Улыбин. – Санкт-Петербург: [б. и.], 2018. – 98 с.
2. ГОСТ 31937-2011 Здания и сооружения. Правила обследования и мониторинга технического состояния [Текст]. – Введ. 2014-01-01. – М.: Стандартинформ. 2014. – 59 с. – (Межгосударственный стандарт).
3. СП 13-102-2003 Правила обследования несущих строительных конструкций зданий и сооружений [Текст]. – Введ. 2003-08-21. – М.: Гос. предпр. – Центр проектной продукции массового применения, 2010. – 33 с. – (Свод правил по проектированию и строительству).
4. СП 20.13330.2016 Нагрузки и воздействия. Актуализированная редакция СНиП 2.01.07-85* [Текст]. – Взамен СП 20.13330.2011 «СНиП 2.01.07-85* Нагрузки и воздействия»; введ. 2017-06-04. – М.: Минстрой России. 2017. – 104 с. – (Свод правил).
5. СП 63.13330.2012 Бетонные и железобетонные конструкции. Основные положения [Текст]: актуализированная редакция СНиП 52-01-2003. – Введ. 2013-01-01. – М.: Минрегион России. 2012. – 152 с. – (Свод правил).
6. Туголуков, А. М. Рекомендации по усилению и ремонту строительных конструкций инженерных сооружений [Текст] / А. М. Туголуков. – М.: ЦНИИпромзданий, 1997. – 180 с.
7. Никифорова, Т. Д. Исследование напряженно-деформированного состояния железобетонных конструкций заглубленных зданий с учетом их взаимодействия с грунтовым массивом [Текст] / Т. Д. Никифорова // Сборник статей «Вісник ПДАБА». – 2013. – № 1. – С. 19–25.

8. Анализ напряженно-деформируемого состояния железобетонных конструкции с учетом основания [Текст] / Ю. А. Кожанов, А. Г. Ефименко, В. А. Загильский, А. П. Якубенко // Сборник статей «Вісник ПДАБА». – 2013. – № 8. – С.42–47.
9. Hasan, J. M. Economical Design of Water Concrete Tanks [Текст] / J. M. Hasan // European Journal of Scientific Research. – 2011. – Vol. 49. – № 4. – P. 510–520. – ISSN 1450-216X.
10. Leao, M. F. Strees-Strain Analysis of a Concrete Dam in Predominantly Anisotropic Residual soil. [Текст] / M. F. Leao, M. P. Pacheco, B. R. Danziger // Soils and Rocks. – 2018. – Vol. 41(2). – P. 171–178.
11. Hariri-Ardebili, M. A. Reservoir Fluctuation Effects on Seismic Response of High Concrete Arch Dams Considering Material Nonlinearity[Текст] / H. Mirzabozorg // Journal of Civil Engineering Research. – 2011. – Vol. 1(1). – P. 9–20.
12. Evaluation of Reinforced Concrete Cylindrical Reservoirs with Single-Layered Walls [Текст] / V. N. Aksenov, V. L. Quyen, E. V. Trufanova // Procedia Engineering. – 2016. – Vol. 150. – P. 1919–1925.
13. Analysis of stress-strain state rainfall runoff control system buttress dam [Текст] / O. Degtyareva, G. Degtyarev, I. Togo, V. Terleev et and // Procedia Engineering. – 2016. – Vol. 165. – P. 1619–1628.

Получено 06.03.2019

Д. О. ГОЛУБЕЦЬ, Д. Р. ПРОКОПЕНКО, Д. О. МОЗГОВИЙ, Є. А. ДМИТРЕНКО,
А. С. ВОЛКОВ
ДОСЛІДЖЕННЯ І РОЗРОБКА КОНСТРУКЦІЙ ПОСИЛЕННЯ ПІДЗЕМНОГО
РЕЗЕРВУАРА
ДОУ ВПО «Донбаська національна академія будівництва і архітектури»

Анотація. Дана стаття присвячена питанню забезпечення надійної і безпечної експлуатації будівельних конструкцій заглиблених споруд після реконструкції. У роботі представлені результати обстеження технічного стану конструкцій і результати розрахунку споруди з використанням ПК «Ліра-САПР». Особливу увагу приділено аналізу варіантів конструктивних схем реконструкції і посилення елементів споруди.

Ключові слова: резервуар, напружено-деформований стан, залізобетонні конструкції, обстеження, реконструкція, посилення, скінченно-елементна модель.

DARYA GOLUBETS, DANA PROKOPENKO, DENIS MOZGOVOI, EVGENIY
DMITRENKO, ANDREI VOLKOV
RESEARCH AND DEVELOPMENT OF UNDERGROUND RESERVOIR
REINFORCEMENT STRUCTURES
Donbas National Academy of Civil Engineering and Architecture

Abstract. This article is devoted to ensuring reliable and safe operation of building structures of buried reservoirs after reconstruction. The results of the survey of the state of the structures and the results of the calculation of the stress-strain state of its elements using the Lira-SAPR software, are presented in this article. Particular attention is paid to the analysis of variations for design schemes for the reconstruction and strengthening of elements of the structure.

Key words: reservoir, stress-strain state, reinforced concrete structures, inspection, reconstruction, reinforcement, finite element model.

Голубец Дарья Олеговна – студентка ГОУ ВПО «Донбасская национальная академия строительства и архитектуры». Научные интересы: оценка технического состояния и проектирование железобетонных конструкций.

Прокопенко Дана Романовна – студентка ГОУ ВПО «Донбасская национальная академия строительства и архитектуры». Научные интересы: оценка технического состояния и проектирование железобетонных конструкций.

Мозговой Денис Олегович – студент ГОУ ВПО «Донбасская национальная академия строительства и архитектуры». Научные интересы: оценка технического состояния и проектирование железобетонных конструкций.

Дмитренко Евгений Анатольевич – кандидат технических наук, доцент кафедры железобетонных конструкций ГОУ ВПО «Донбасская национальная академия строительства и архитектуры». Научные интересы: развитие методик определения характеристик напряженно-деформированного состояния железобетонных элементов при сложных режимах силового и температурного воздействий, оценка технического состояния и проектирование железобетонных конструкций.

Волков Андрей Сергеевич – кандидат технических наук, доцент кафедры железобетонных конструкций ГОУ ВПО «Донбасская национальная академия строительства и архитектуры». Научные интересы: исследование прочностных и деформативных свойств конструкций из модифицированного высокопрочного бетона, оценка технического состояния и проектирование железобетонных конструкций.

Голубец Дар'я Олегівна – студентка ДООУ ВПО «Донбаська національна академія будівництва і архітектури». Наукові інтереси: оцінка технічного стану та проектування залізобетонних конструкцій.

Прокопенко Дана Романівна – студентка ДООУ ВПО «Донбаська національна академія будівництва і архітектури». Наукові інтереси: оцінка технічного стану та проектування залізобетонних конструкцій.

Мозговий Денис Олегович – студент ДООУ ВПО «Донбаська національна академія будівництва і архітектури». Наукові інтереси: оцінка технічного стану та проектування залізобетонних конструкцій.

Дмитренко Євген Анатолійович – кандидат технічних наук, доцент кафедри залізобетонних конструкцій ДООУ ВПО «Донбаська національна академія будівництва і архітектури». Наукові інтереси: розвиток методик визначення характеристик напружено-деформованого стану залізобетонних елементів при складних режимах силового і температурного впливів, оцінка технічного стану і проектування залізобетонних конструкцій.

Волков Андрій Сергійович – кандидат технічних наук, доцент кафедри залізобетонних конструкцій ДООУ ВПО «Донбаська національна академія будівництва і архітектури». Наукові інтереси: дослідження міцнісних та деформативних властивостей конструкцій з модифікованих високоміцних бетонів, оцінка технічного стану і проектування залізобетонних конструкцій.

Golubets Darya – student, Donbas National Academy of Civil Engineering and Architecture. Scientific interests: assessment of technical condition and design of reinforced concrete structures.

Prokopenko Dana – student, Donbas National Academy of Civil Engineering and Architecture. Scientific interests: assessment of technical condition and design of reinforced concrete structures.

Mozgovoi Denis – student, Donbas National Academy of Civil Engineering and Architecture. Scientific interests: assessment of technical condition and design of reinforced concrete structures.

Dmitrenko Evgeniy – Ph. D. (Eng.), Associate Professor, Reinforced Concrete Constructions Department, Donbas National Academy of Civil Engineering and Architecture. Scientific interests: development of methods of estimation of characteristics of the stress-strain state of reinforced concrete elements under complex modes of power and temperature influences, estimation of technical state and design of reinforced concrete constructions.

Volkov Andrei – Ph. D. (Eng.), Associate Professor, Reinforced Concrete Constructions Department, Donbas National Academy of Civil Engineering and Architecture. Scientific interests: determination of strength and strain properties of modified high strength concrete structures, estimation of technical state and design of reinforced concrete constructions.