



Н. А. ИЛЬИН
С. С. МОРДОВСКИЙ

ОСОБЕННОСТИ РАСЧЕТА И КОНСТРУИРОВАНИЯ УСТАНОВКИ ДЛЯ ИСПЫТАНИЯ НАГРУЖЕНИЕМ ЖЕЛЕЗОБЕТОННОГО СТЕНОВОГО КОЛЬЦА

FEATURES OF CALCULATION AND DESIGN OF THE INSTALLATION
FOR TESTING THE LOAD OF REINFORCED CONCRETE WALL RING

Представлено конструктивное решение установки для испытания нагружением железобетонного стенового кольца смотрового колодца, которое относится к области строительства, в частности к конструированию испытательной техники по установлению прочности материалов и конструкций. Предложены формулы, по которым можно определить прочность стенового кольца (максимальное усилие грузового домкрата на силовую раму испытательной установки), диаметр тяжа, ширину деревянного бруска, подобрать сечение составной балки. Рассмотрено несколько примеров расчёта. Приведенная конструкция испытательной установки способствует снижению материалоемкости и упрощению конструирования по сравнению с известными аналогами.

Ключевые слова: железобетонное стеновое кольцо, испытание нагружением, испытательная установка, элементы силовой рамы, расчет и конструирование, усовершенствование проектирования, упрощение конструкции

Испытательные стенды относятся к основным видам оборудования при статическом нагружении железобетонных конструкций [1–3]. Выявление экономической эффективности усовершенствований проектных и конструкторских решений испытательной установки для оценки прочности железобетонных стеновых колец (не допускающая чрезмерного запаса прочности) является актуальной темой научно-исследовательской работы.

The article presents a constructive solution for the installation for testing the loading of a reinforced concrete wall ring of an inspection well, which belongs to the field of construction, in particular, to the design of testing equipment to establish the strength of materials and structures. Formulas are proposed by which it is possible to determine the strength of the wall ring (the maximum force of the load jack on the power frame of the test installation), the diameter of the tie, the width of the wooden block, and select the cross-section of the composite beam. Several calculation examples are considered. The given design of the test setup helps to reduce the consumption of materials and simplify the design in comparison with the known analogs.

Keywords: reinforced concrete wall ring, loading test, test rig, load frame elements, calculation and design, design improvement, design simplification

Цель данной работы заключается в разработке конструктивного решения установки для испытания нагружением железобетонного стенового кольца смотрового колодца.

Основным в предлагаемом конструктивном решении является изготовление компактной, легкой, автономной установки для статического испытания нагружением стенового кольца смотрового колодца, снижение материалоемкости элементов установки. При этом отсутствует необходимость применения силового пола, изгото-

товление элементов силовой рамы установки упрощено, как и система передачи нагрузки на испытуемый образец, а статическая схема испытуемого образца приближена к действительной работе стенового кольца. Материалоемкость стальных элементов силовой рамы установки снижена относительно аналогов [1].

Испытанию статическим нагружением подвергают стеновое кольцо заданных геометрических размеров. Стеновые железобетонные кольца имеют широкое применение в различных сферах человеческого существования ввиду своей простоты и универсальности. Модернизации подвергается как конструкция самого кольца, так и установка для его изготовления [4–8].

Конструкция испытательной установки вместе со стеновым кольцом представлена на рис. 1. Компактный сборно-разборный стенд обеспечивает возможность проведения испытания нагружением как в горизонтальном, так и вертикальном положении испытуемого стенового кольца.

Установка для испытания включает в себя: стеновое кольцо, деревянные бруски, резиновые прокладки, упорную распределительную траверсу, две опорные распределительные траверсы, грузовой гидравлический домкрат, упорную и опорную составные балки силовой рамы, ребра жесткости составных стальных балок, металлические тяжи с нарезкой резьбы на концах,

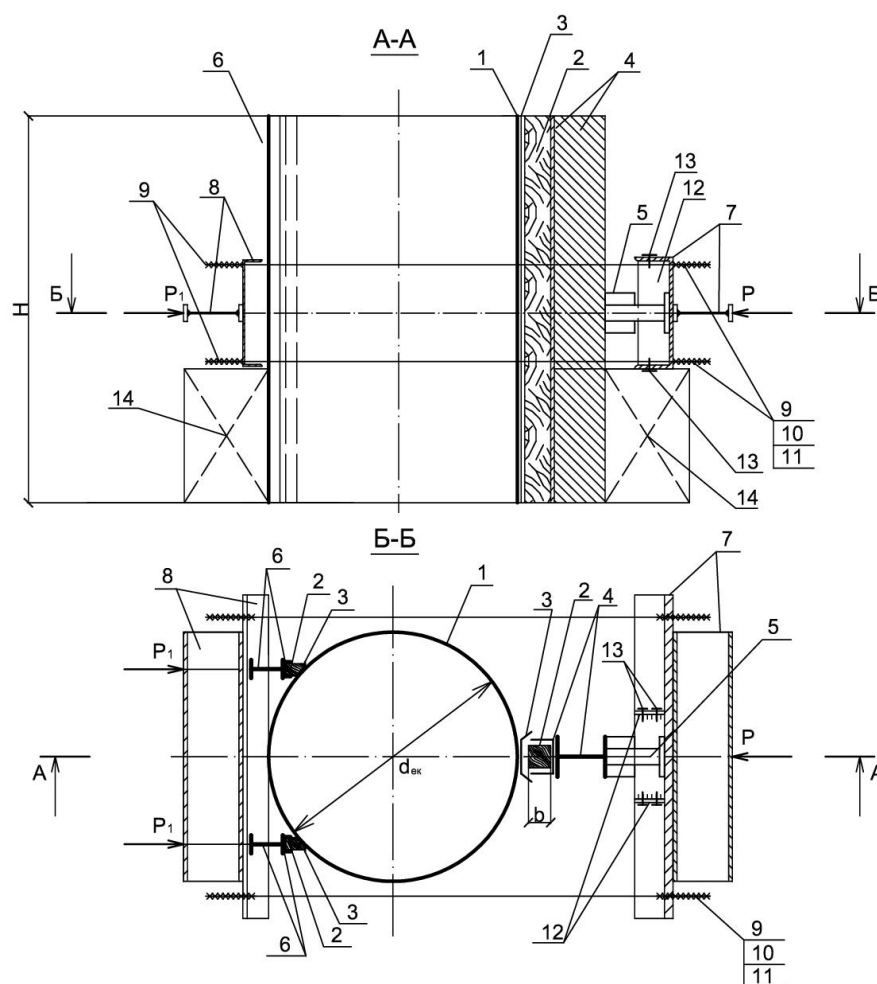


Рис. 1. Установка для испытания нагружением цилиндрического стенового кольца:

1 – стеновое кольцо; 2 – деревянные бруски; 3 – резиновые прокладки; 4 – стальной составной брус упорной траверсы; 5 – грузовой гидродомкрат с манометром; 6 – стальной составной брус опорной траверсы; 7 и 8 – упорная и опорная составная стальная балка силовой рамы; 9 – металлические тяжи, оборудованные гайками и шайбами; 10 и 11 – натяжная и упорная гайки; 12 – ребра жесткости – ограничители размещения гидродомкрата и траверсы; 13 – установочные винты; 14 – опорные столики

натяжные и упорные гайки, пружинные шайбы, установочные винты и опорные столики.

Стеновое кольцо устанавливают (ГОСТ 8020-2016. Конструкции бетонные и железобетонные для колодцев канализационных сетей (п. 7. Методы испытания и контроля. Приложение В) в рабочее положение (вертикально или горизонтально). Определяют геометрические характеристики элементов силовой рамы и упорной распределительной траверсы (рис. 2) по результатам расчета на прочность сечений элементов силовой рамы и упорной траверсы (СП 16.13330.2017. Стальные конструкции. Актуализированная редакция СНиП II-23-81* (с Поправкой, с Изменением № 1).

Испытательную нагрузку принимают в виде сосредоточенной силы и прикладывают ее по середине длины упорной распределительной траверсы с упругим опиранием на бетонную поверхность стенового кольца (рис. 4). Величину испытательной нагрузки принимают равной контрольной разрушающей нагрузке по прочности и/или контрольной нагрузке по ширине раскрытия трещин.

Максимальное усилие грузового домкрата на силовую раму испытательной установки N_{\max} , кН, определяют по уравнению

$$N_{\max} = 0,475 \times \delta_{\text{ст}}^{0,125} \times (R_b \times A_{\text{bc}} + R_{\text{sc}} \times A_{\text{s,tot}}), \quad (1)$$

где $\delta_{\text{ст}}$ – толщина стенового кольца, мм; R_b, R_{sc} – расчетное сопротивление бетона и арматуры на сжатие (СП 63.13330.2018. Бетонные и железобетонные конструкции. Основные положения. СНиП 52-01-2003 (с Изменением № 1), МПа; $A_{\text{s,tot}}$ – площадь сечения всей рабочей арматуры, мм².

Рабочую площадь сечения сжатого бетона, мм, вычисляют по формуле

$$A_{\text{bc}} = 2 \times \delta_{\text{ст}} \times H_{\text{ст}}, \quad (2)$$

где $\delta_{\text{ст}}$ и $H_{\text{ст}}$ – толщина и высота стенового кольца, мм.

Условия опирания распределительной траверсы принимают в виде жесткой составной стальной упругой опоры с деревянным брусом, закрепленным в пазу швеллера основания траверсы (рис. 3).

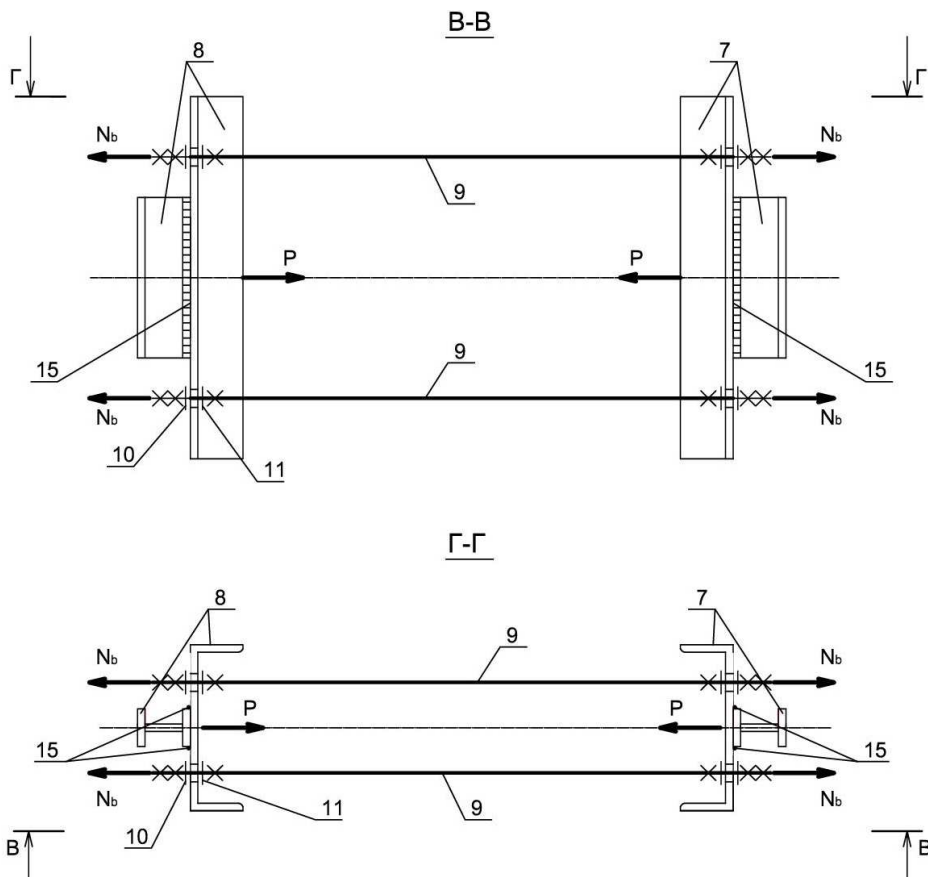


Рис. 2. Схема силовой рамы испытательной установки:

7 и 8 – упорная и опорная составная балка силовой рамы; 9 – металлические тяжи; 10 и 11 – натяжные и упорные гайки; 15 – сварные швы; P – усилие сжатия на упорную траверсу; N_b – усилие растяжения в тяже

Элемент силовой рамы – упорная и опорная составная стальная балка – представляет собой основание в виде тонкостенного швеллера с ребрами жесткости и усилительного элемента в виде отрезка двутавра, соединенного с основанием на сварке (см. рис. 2).

Геометрические характеристики элементов упорной и опорной составной стальной балки, воспринимающей испытательную нагрузку от грузового домкрата после ее компоновки и подбора составного сечения, определяют расчетом на прочность и устойчивость.

Распределительная траверса содержит усилительный элемент в виде двутавра и сочлененное с ним основание в виде облеченного швеллера, с укрепленным в его пазу деревянным бруском с резиновой прокладкой (см. рис. 3).

Геометрические характеристики усилительного элемента траверсы, воспринимающего испытательную нагрузку от грузового домкрата, определяют по результатам расчета на срез и изгиб усилительного элемента как бесконечной двухсторонней балки на упругом основании с сосредоточением нагрузки в середине длины.

Диаметр металлического троса $d_{\text{тяж}}$, мм, силовой установки определяют расчетом на осевое растяжение по уравнению

$$d_{\text{тяж}} = 2 \times [(N_b / \pi) / R_{bt} \times (\gamma_c / \gamma_m)]^{0.5}, \quad (3)$$

где N_b – продольная сила, воспринимаемая тросом, кН; R_{bt} – сопротивление болтовой стали растяжению, МПа; γ_c и γ_m – коэффициенты условия работы и надежности по материалу; $\pi = 3,142$ – постоянная величина.

Металлические тросы силовой рамы, принятые диаметром, который определяют по результатам расчета на растяжение элемента, выполняют из круглой болтовой стали.

Ширину деревянного бруска $b_{\text{дб'}}$ мм, распределительной траверсы вычисляют по формуле

$$b_{\text{дб}} = N_{\text{max}} / L_{\text{дб}} \times R_{b, \text{loc}} \quad (4)$$

где N_{max} – максимальное усилие от силового домкрата, кН; $L_{\text{дб}}$ – длина деревянного бруска, мм; $R_{b, \text{loc}}$ – сопротивление бетона стенового кольца сжатию, МПа ($R_{b, \text{loc}} \geq 2,5 \times R_b$, где R_b – сопротивление бетона на сжатие).

В качестве измерителей деформации бетона и арматуры могут приниматься тензодатчики, которые устанавливают в основном сечении стенового кольца.

Измерение показаний давления в грузовом домкрате осуществляют техническим манометром класса точности $\pm 2,5\%$.

Для проверки прочности упорной составной балки при изгибе требуемый момент сопротивления составной стальной балки $W_{\text{тр}}$, см³, силовой рамы вычисляют по уравнению

$$W_{\text{тр}} = (P_i \times l_0 / 2) / R_y \times \gamma_c \quad (5)$$

где P_i – усилие от смежной пары металлических тросов, кН; l_0 – расстояние между спаренными тросами в плане, мм; R_y – расчетное сопротивление прокатной стали, Н/мм²; γ_c – коэффициент условий работы стали.

Линейную характеристику жесткости распределительной траверсы $S_{\text{ж}}$, м, вычисляют по формуле

$$S_{\text{ж}} = (4 \times E_b \times J_{sy} / b_n \times k_b)^{1/4}, \quad (6)$$

где E_b – модуль деформации бетона стенового колодца, МПа; J_{sy} – момент инерции стального бруска траверсы, см⁴; b_n – ширина деревянного бруска траверсы, см; k_b – коэффициент постели для бетона стенового кольца.

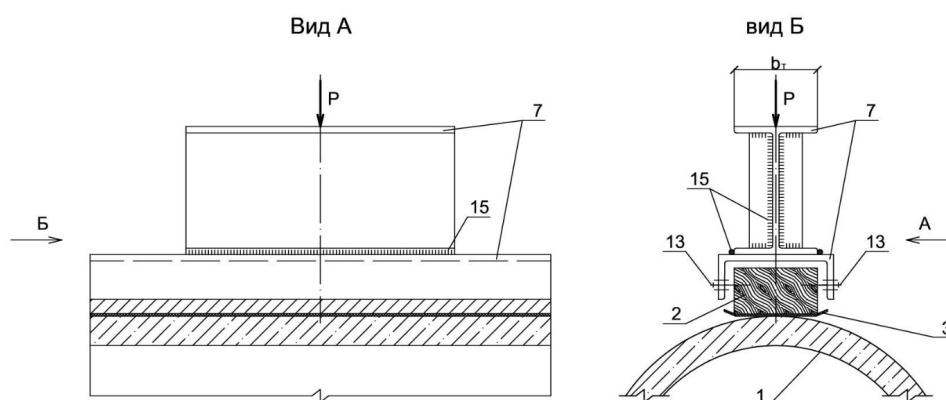


Рис. 3. К расчету стальных элементов металло-деревянной траверсы: 1 – стеновое кольцо; 2 – деревянный брусок; 3 – резиновая прокладка; 7 – упорная составная стальная балка силовой рамы; 13 – установочные винты; 15 – сварные швы; P – нагрузка от грузового домкрата, кН

Расчетный изгибающий момент M_0 , кН·м, в нулевой точке распределительной траверсы определяют по уравнению

$$M_0 = S_{\text{ж}} \times \pi/4, \quad (7)$$

где $S_{\text{ж}}$ – линейная характеристика жесткости траверсы, кН·м; $\pi = 3,142$ – постоянная величина.

Величину поперечной силы в нулевой точке траверсы Q_0 , кН, вычисляют по формуле

$$Q_0 = P/2, \quad (8)$$

где P – давление от грузового домкрата на траверсу, кН.

Приведём примеры расчётов по изложенным выше формулам.

Пример 1. Дано: упорная балка силовой рамы выполнена составной; основание в виде отрезка швеллера № 40 ($h_{\text{ш}} = 400$, $b_{\text{ш}} = 115$, $\delta = 13,5$ мм, $W_{\text{ш}} = 73,4$ см³) принято из условий размещения в его пазу силового домкрата (ширина домкрата 400 мм) грузоподъемностью 1000 кН (100 тс); усилительный элемент – в виде отрезка двутавра; концы оснований составной балки оборудованы отверстиями для пропуска двух пар металлических тяжей; расстояние между парами тяжей в плане принимают не менее величины наружного диаметра испытуемого стенового кольца $I_0 \geq d_{\text{ex}} = 2000$ мм (2 м); усилие от грузового домкрата в каждой паре металлических тяжей равно $N_{2b} = P/2 = 1000/2 = 500$ кН, для изготовления составной балки силовой рамы принимают сталь С235 с расчетным сопротивлением проката $R_y = 230$ Н/мм²; коэффициент условий работы $\gamma_c = 1,1$.

Требуется подобрать сечение элементов составной стальной балки силовой рамы и проверить ее прочность.

Расчет: 1) Требуемый момент сопротивления составной стальной балки вычисляют по уравнению (5):

$$W_{\text{тр}} = (N_{2b} \times l_0/2)/(R_y \times \gamma_c) = \\ = (500/2)/(230 \times 1,1) = 1976 \text{ см}^3.$$

2) Требуемый момент сопротивления для усилительного элемента составной балки составляет:

$$W_{\text{ус}} = W_{\text{тр}} - W_{\text{ш}} = 1976 - 73,4 = 1903 \text{ см}^3.$$

3) По сортаменту подбирают усилительный элемент в виде короткого отрезка двутавра № 55; $W_{\text{ус}} = 2035$ см³; $h_{\text{т}} = 550$ мм; $b_{\text{т}} = 180$ мм.

Пример 2. Дано: стеновые железобетонные кольца высотой $H_{\text{ст}} = 890$ мм, толщина $\delta_{\text{ст}} = 80$ мм, бетон класса В15, $R_b = 8,5$ МПа; арматура класса А240, $R_{sc} = 215$ МПа; площадь сечения $4\varnothing 4$ мм ($A_s = A'_s = 50,2$ мм²); схема расчета короткого центрально сжатого железобетонного элемента прямоугольного сечения с симметричной арматурой.

Требуется определить максимальное усилие грузового домкрата на силовую раму испытательной установки N_{max} , кН.

Расчет: 1) Площадь сечения всей рабочей арматуры вычисляют по условию

$$A_{s,\text{tot}} = A_s + A'_s = 2 \times 50,2 = 100,4 \text{ мм}^2.$$

2) Площадь сечения сжатого бетона A_{bc} , мм², вычисляют по условию (2):

$$A_{bc} = 2 \times (\delta_{\text{ст}} \times H_{\text{ст}}) = 2 \times (80 \times 890) = 142,4 \times 10^3 \text{ мм}^2.$$

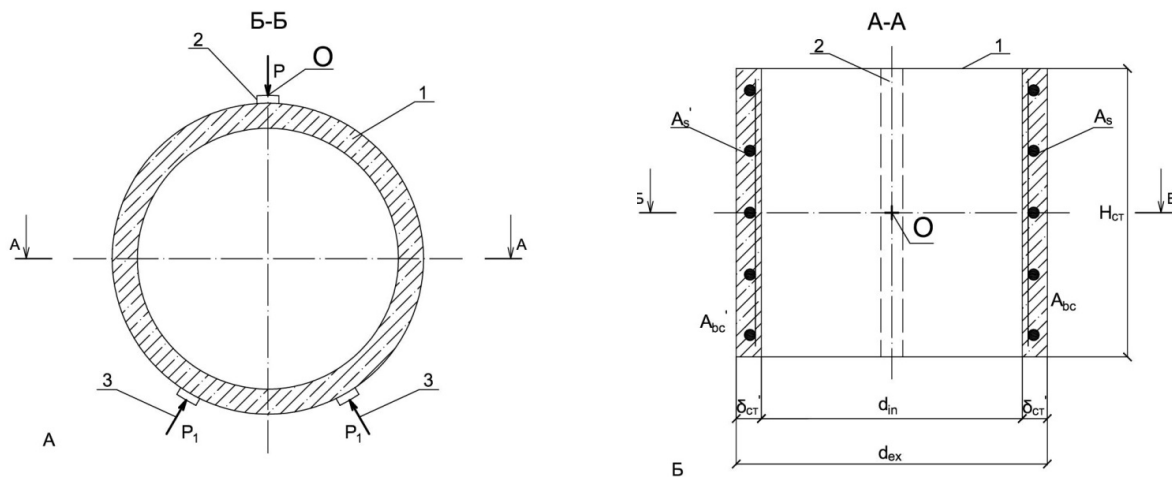


Рис. 4. Схема испытания стенового кольца (А); схема к расчету прочности центрально-сжатого железобетонного элемента прямоугольного сечения А-А с симметричной арматурой $A_s = A'_s$ (Б): 1 – стеновое кольцо; 2 – упорная траверса; 3 – реакция опоры; 4 – упорная траверса; $\delta_{\text{ст}}$ и $H_{\text{ст}}$ – толщина и высота стенового кольца; b и h – ширина и высота прямоугольного сечения; d_{in} и d_{ex} – внутренний и наружный диаметр стенового кольца; A_s и A'_s – площадь арматуры, мм²; A_{bc} и A'_{bc} – рабочая площадь сжатого бетона, мм²; P – контрольная разрушающая нагрузка по прочности, кН; O – точка приложения нагрузки на траверсу

3) Максимальное усилие гидродомкрата N_{\max} , кН, вычисляют по уравнению (1):

$$\begin{aligned} N_{\max} &= N_{\text{cc}} = 0,475 \times \delta_{\text{ст}}^{0,125} \times (R_b \times A_{\text{bc}} + R_s \times A_{\text{s,tot}}) = \\ &= 0,475 \times 80^{0,125} \times (8,5 \times 142,4 \times 10^3 + 215 \times 100,4) = \\ &= 0,82 \times (1210,4 \times 10^3 + 21,586 \times 10^3) = 1010 \times 10^3 \text{ Н} = \\ &= 1010 \text{ кН} = 100 \text{ тс}. \end{aligned}$$

Пример 3. Дано: на металлический тяз действует продольная сила $N_b = 250$ кН; сталь класса 4,8; расчетное сопротивление растяжению $R_{bt} = 160$ МПа; коэффициент условий работы $\gamma_c = 0,9$; коэффициент надежности по материалу $\gamma_m = 1,05$. Требуется определить диаметр круглого металлического тяза ($d_{\text{тяж}}$, мм).

Расчет: требуемый диаметр тяза вычисляют по уравнению (3):

$$\begin{aligned} d_{\text{тяж}} &= 2 \times [(N_b / \pi) / R_{bt} \times (\gamma_c / \gamma_m)]^{0,5} = \\ &= 2 \times [(250 / 3,142) / 160 \times (0,9 / 1,05)]^{0,5} = \\ &= 2 \times (79,57 / 137,14)^{0,5} = 1,52 \text{ см} = 15,2 \text{ мм} \\ &(\text{принято в проекте } d_{\text{тяж}} = 16 \text{ мм}). \end{aligned}$$

Выводы. 1. Предложено конструктивное решение установки для испытания нагружением железобетонного стенового кольца смотрового колодца.

2. Предложены уравнения для расчета максимального усилия грузового домкрата на силовую раму испытательной установки, выявления диаметра металлических тязей силовой рамы установки и ширины деревянного бруска распределительной траверсы, определения величины изгибающего момента в нулевой точке распределительной траверсы и выявления линейной характеристики жесткости распределительной траверсы.

3. Дальнейшие исследования по теме научно-исследовательской работы предполагают изготовление испытательной установки и проведение статических испытаний нагружением модели железобетонного стенового кольца.

БИБЛИОГРАФИЧЕСКИЙ СПИСОК

1. Патент 2 351 910 Российская Федерация МПК G01N 3/10. Экспериментальная установка для испытания балочных конструкций / Колчунов В.И., Скобелева Е.А., заяв. ОрелГТУ: 13.11.07, опубликовано 10.04.09. Бюл. № 10.
2. Панфилов Д.А., Ильин Н.А., Мордовский С.С., Бузовская Я.А. Экспериментальная установка для испытания на изгиб железобетонных балочных элементов // Градостроительство и архитектура. 2019. Т.9, № 3. С. 12–16. DOI: 10.17673/Vestnik.2019.03.2.
3. Ильин Н.А., Мордовский С.С., Мальгина В.А., Киреева Н.А. К расчету прочности внецентренно сжа-

того железобетонного элемента прямоугольного сечения // Градостроительство и архитектура. 2020. Т. 10, № 1. С. 4–8. DOI: 10.17673/Vestnik.2020.01.1.

4. Добромислов А.Н. Примеры расчета конструкций железобетонных инженерных сооружений: справочное пособие. М.: Издательство АСВ, 2010. 272 с.

5. Рыспаев Т.А., Абдиев М.М., Чериков С.Т., Кожшов Т.Т. Разработка усовершенствованной конструкции устройства для изготовления канализационных железобетонных колец для колодцев // Известия Кыргызского государственного технического университета им. И. Раззакова. 2013. № 29. С. 12–16.

6. Чериков С.Т. Опыт работы на ОЭМ заводе «Монолит» по изготовлению канализационных железобетонных колец для колодцев с использованием отходов сахарного завода, содержащие CaCO_3 // Вестник Кыргызского государственного университета строительства, транспорта и архитектуры им. Н. Исанова. 2014. № 1. С. 159–163.

7. Пескова Ю.Ю., Белозор М.Ю. Подбор состава тяжелого бетона с использованием местных материалов для производства железобетонных колец на установке «ATLAS» // Вестник Череповецкого государственного университета. 2013. № 2–1 (47). С. 16–19.

8. Цепляев М.Н., Муцанов В.Ф. Обеспечение устойчивости стенок резервуаров на основе рационального расположения колец жесткости // Строительство уникальных зданий и сооружений. 2018. № 9 (72). С. 61–73.

REFERENCES

1. Kolchunov V.I., Skobeleva E.A. *Eksperimental'naya ustanovka dlya ispytaniya balochnykh konstruktsiy* [Experimental setup for testing girder structures]. Patent RF, no.2 351 910 MPK G01N 3/10, 2009.
2. Panfilov D.A., Ilyin N.A., Mordovsky S.S., Buzovskaya Ya.A. Experimental Test Installation of Bending Reinforced Concrete Beam Elements. *Gradostroitel'stvo i arhitektura* [Urban Construction and Architecture], 2019, Vol. 19, no. 3, pp. 12–16. (in Russian) DOI: 10.17673/Vestnik.2019.03.2.
3. Ilyin N.A., Mordovsky S.S., Malgina V.A., Kireeva N.A. Calculating the strength of an eccentrically compressed reinforced concrete element of rectangular section. *Gradostroitel'stvo i arhitektura* [Urban Construction and Architecture], 2020, Vol. 10, no. 1, pp. 4–8. (in Russian) DOI: 10.17673/Vestnik.2020.01.1.
4. Dobromyslov A.N. *Primery rascheta konstruktsij zhelezobetonnnykh inzhenernykh sooruzhenij* [Examples of structural analysis of reinforced concrete engineering structures]. Moscow, Publishing house of the Association of Construction Universities, 2010. 272 p.
5. Ryspaev T.A., Abdiev M.M., Cherikov S.T., Kojshov T. T. Development of an improved design of the device for the manufacture of reinforced concrete sewer rings for wells. *Izvestiya kyrgyzskogo gosudarstvennogo tekhnicheskogo universiteta im. I. Razzakova* [Izvestiya kyr-

gyz state technical university named after I. Razzakova], 2013, no. 29, pp.12-16. (in Russian)

6. Cherkov S.T. Work experience at the OEM plant "Monolit" for the manufacture of sewer reinforced concrete rings for wells using waste from a sugar plant containing CaCO_3 . *Vestnik kyrgyzskogo gosudarstvennogo universiteta stroitel'stva, transporta i arhitektury im. N. Isanova* [Bulletin of the Kyrgyz State University of Construction, Transport and Architecture named after N. Isanova], 2014, no. 1, pp.159-163. (in Russian)

7. Peskova YU.YU., Belozor M.YU. Selection of the composition of heavy concrete using local materials for production of reinforced concrete rings at the installation "ATLAS". *Vestnik cherepoveckogo gosudarstvennogo universiteta* [Bulletin of cherepovets state university], 2013, no 2-1 (47), pp.16-19. (in Russian)

8. Tcepliaev M.N., Mushchanov V.F. Ensuring the stability of the walls of the tanks based on the rational arrangement of the stiffening rings, *Stroitel'stvo unikal'nyh zdaniy i sooruzhenij* [Construction of unique buildings and structures], 2018, no 9 (72), pp.61-73. (in Russian)

Об авторах:

ИЛЬИН Николай Алексеевич

кандидат технических наук, доцент кафедры водоснабжения и водоотведения Самарский государственный технический университет Академия строительства и архитектуры 443100, Россия, г. Самара, ул. Молодогвардейская, 244 тел. (846)339-14-71

МОРДОВСКИЙ Сергей Сергеевич

кандидат технических наук, доцент кафедры железобетонных конструкций Самарский государственный технический университет Академия строительства и архитектуры 443100, Россия, г. Самара, ул. Молодогвардейская, 244, тел. (846)339-56-35 E-mail: qaer1@yandex.ru

ILYIN Nikolay A.

PhD in Engineering Science, Associate Professor of the Water Supply and Waste Water Chair Samara State Technical University Academy of Architecture and Civil Engineering 443100, Russia, Samara, Molodogvardeyskaya str., 244, tel. (846) 339-14-71

MORDOVSKY Sergey S.

PhD in Engineering Science, Associate Professor of the Reinforced Concrete Structures Chair Samara State Technical University Academy of Architecture and Civil Engineering 443100, Russia, Samara, Molodogvardeyskaya str., 244, tel. (846)339-56-35 E-mail: qaer1@yandex.ru

Для цитирования: Ильин Н.А., Мордовский С.С. Особенности расчета и конструирования установки для испытания нагружением железобетонного стенового кольца // Градостроительство и архитектура. 2021. Т.11, № 4. С. 36–42. DOI: 10.17673/Vestnik.2021.04.4.

For citation: Ilyin N.A., Mordovsky S.S. Features of Calculation and Design of the Installation for Testing the Load of Reinforced Concrete Wall Ring. *Gradostroitel'stvo i arhitektura* [Urban Construction and Architecture], 2021. Vol. 11, no. 4. Pp. 36–42. (in Russian) DOI: 10.17673/Vestnik.2021.04.4.