

doi: 10.18720/CUBS.69.5

Прочность стальных заглушек на водоводах Красноярской ГЭС

Strength steel plugs for conduits Krasnoyarskaya HPP

Г.Л. Козинец 1*, П.В. Козинец 2G.L. Kozinetc 1*, P.V. Kozinetc 2Санкт-Петербургский политехнический университет
Петра Великого, Санкт-Петербург, РоссияPeter the Great St. Petersburg Polytechnic University,
St. Petersburg, Russia

КЛЮЧЕВЫЕ СЛОВА

стальные конструкции; коррозия; заглушки; водоводы; обследование; метод конечных элементов; прочность; деформации;

история

Подана в редакцию: 21.02.2018 Принята: 27.08.2018 KEYWORDS

steel structures; corrosion; plugs; conduits; inspection; finite element method; strength; deformation;

ARTICLE HISTORY

Submitted: 21.02.2018 Accepted: 27.08.2018

АННОТАЦИЯ

Объектом представленных исследований являются стальные заглушки, перекрывающие водоводы гидравлической лаборатории Красноярской ГЭС. Выполнен обзор публикаций по методике обследования состояния и расчетного обоснования конструкций, работающих в условиях коррозии. Расчетные исследования проведены методом конечных элементов. По результатам расчетов определены запасы прочности стали. Определены напряжения и усилия в шпильках. Даны рекомендации по дальнейшей эксплуатации заглушек.

ABSTRACT

The object represented by the research are steel caps covering water hydraulic laboratory Krasnoyarskaya hpp. Gives an overview of publications on methodology and survey of computational substantiation of structures under corrosion. Calculations carried out using finite elements. Based on the results of the calculations identified stockpiles of steel strength. Defined voltage and stiletto. Recommendations for future stubs.

Содержание

1.	Введение	59
2.	Методика	60
3.	Результаты и обсуждение	63
4.	Заключение	64

1. Введение

Особенностью работы стальных гидротехнических конструкций является их постоянный контакт с водой. Сталь под действием водной и воздушной среды коррозирует, что может нарушить целостность конструкции и привести к аварии [1]. Методы исследования фактора коррозии арматуры и стальных конструкций описаны в работах [2, 3]. Следует заметить, что из-за процессов коррозии уменьшается проектная толщина деталей, что влияет на обеспечение прочности конструкций. Поэтому обследование коррозионноизношенных металлоконструкций представляет собой важную задачу.

Многие ученые занимаются исследованиями коррозии металла и обоснованиями прочности конструкций с дефектами коррозии. Факты аварий стальных конструкций описаны в работе Я. Аугустина, Е. Шлезевского [1]. Методика определения коррозионного износа, приборы измерения толщин металла, выявление дефектов конструкций детально рассмотрены в публикациях А.В. Улыбина, А.В. Пузанова,

С.Д. Федорова. [2, 3]. Р. Broberg, R. Xiong, R.Tang, K.A.Fowler, P. Broberg, A.A. Землянского, О.С. Вертынского, С.А. Старцева и других [4-12]. Теория метода конечных элементов освещена в работах О. Зенкевича, К. Моргана, Г. Стренга, R. Taylo и других авторов [13-27]. Метод тесно связан со строительной механикой и реализован в ряде программных комплексов, таких как: SCAD, ANSYS и других [16, 28].

Физические характеристики сталей, оценка напряженного состояния, устойчивости представлены в работах А.В. Теплых, М.Р. Гариффуллина, Н.И. Ватина, А.С. Синельникова [28-30].

Целью работы являлись расчеты запаса прочности стальной заглушки с последующим обсуждением результатов.

Объектом представленных исследований являются стальные заглушки, перекрывающие водоводы гидравлической лаборатории Красноярской ГЭС. Поперечный разрез по сооружению, описывает расположение водоводов в лаборатории (рисунок 1). Разрешение на обследование получено от Красноярской ГЭС в связи с предстоящим ремонтом помещения лаборатории, а также с целью получения заключения о состоянии стальных заглушек.

Задачами исследования являлось:

- 1. Определение фактических толщин металла водоводов и заглушек.
- 2. Построение конечно-элементных расчетных моделей.
- 3. Определение напряженно-деформированного состояния водоводов и заглушек.
- 4. Определение усилий в шпильках крепления заглушек.
- 5. Обоснование прочности стальных заглушек высоконапорной гидравлической лаборатории Красноярской ГЭС.



Рисунок 1. Помещение лаборатории отметка пола 223,50, потолка – 236,00 на поперечном разрезе плотины

2. Методика

В состав высоконапорной гидравлической лаборатории входит помещение задвижек, которое расположено в глухой части плотины со стороны левого берега реки Енисей на отметке 223,50 с размерами в плане 20 м х 7м. В помещении расположены напорные водозаборы с установленными задвижками, которые предназначены для подачи воды при проведении испытаний в помещении

гидравлической лаборатории. Подача воды в водозаборы осуществляется через водоприемник с верхнего бьефа. Подход к оборудованию (задвижкам) обеспечивается с помощью лестниц и установленных мостков. Для обеспечения монтажа и обслуживания оборудования предусмотрен мостовой кран грузоподъемностью 20 т. Аэрационные трубы, обеспечивающие воздухообмен, выходят на поверхность в нижнем бьефе на отметке 241,00.

Установленные со времен строительства запорная арматура находилась в неудовлетворительном, аварийном состоянии. В связи с тем, что в лаборатории долгое время не проводятся испытания, и для предотвращения случайного затопления помещения через аварийные задвижки было принято решение смонтировать на водозаборах в помещении лаборатории со стороны верхнего бьефа заглушки, предварительно установив на порог водоприемника ремонтные затворы.

В период проведения обследования проведен осмотр помещения и выполнены все необходимые замеры.

Диаметр каждого водовода равен 2000 мм, толщина оболочки водоводов с учетом коррозии -11мм, выпуск водоводов из бетонной стены в помещение лаборатории составляет 600 мм, каждый водовод имеет фланец для соединения с заглушками, толщина листа фланца 20 мм (рисунок 2).



Рисунок 2. Водовод, закрытый заглушкой

Исследуемые заглушки выполнены из двух прямоугольных металлических листов с максимальной стороной листа, равной L = 2630 мм. Толщины листов составляют 30 мм и 20 мм, листы стянуты между собой и фланцем водовода 48 шпильками Ø 25 мм, длина шпильки L = 150 мм, каждая шпилька с одной гайкой (рисунок 3).

Поверхности листов заглушек и водоводов имеют сплошную коррозию.



Рисунок 3. Лист заглушки

61

Физические характеристики материала стальных оболочек водовода и заглушек: Плотность стали үст =7,85 т/м3. Расчетное сопротивление, соответствующее нормативному пределу текучести стали Ст 3сп ГОСТ380-2005: «Сталь углеродистая обыкновенного качества» в толщинах до 50 мм: Rcт=240 000 Кпа; Модуль упругости стали при сжатии и растяжении Ест = 2,1×108 Кпа. Коэффициент поперечной деформации стали (коэффициент Пуассона) v = 0,3.

Расчетные исследования проведены в рамках пространственной постановки задачи Методом Конечных Элементов (МКЭ) по программе SolidWorks.

Построение расчетной модели выполнялось на основе визуального и инструментального обследования конструкций заглушек с учетом коррозии металла, рисунок 4.



Рисунок 4. Расчетная модель заглушки с граничными условиями

Результаты расчета представлены в виде полей напряжений, деформаций в элементах стальных заглушек и стальной трубы, и усилий в шпильках креплений.

В расчете учитывались постоянные нагрузки от собственного веса и гидростатического давления внутри трубы, при расчетном напоре 20 м, давление составляет P = 200 Кпа.

Собственный вес сооружения (Gnc). Нормативное значение веса сооружения принято по проектным размерам при объемном весе стали үст = 7,85 т/м3.

Условие прочности по предельным состояниям:

$$\sigma_{\max} \leq R \, \frac{\gamma_c}{\gamma_n \cdot \gamma_{1c}}$$

где γ_{1c} =1,00 - коэффициент сочетаний нагрузок, при расчетах по предельным состояниям первой группы – для основного сочетания нагрузок и воздействий в период нормальной эксплуатации.

Статическими нагрузками являлись собственный вес и гидростатическое давление воды.

В расчетную область включалось стальной водовод и заглушки.

Граничные условия: узлы водовода, примыкающие к бетонной стене закреплены от всех перемещений и поворотов по всем осям.

Расчетные напряжения в оболочечных элементах стали сравнивались с критериальными напряжениями σ ст = +164160 Кпа.

Исследования прочности оболочечных и профильных элементов проводилось в работах [35, 36].

Расчет напряжений в шпильке выполнен из условия выхода из работы 8 шпилек, при затяге 40 шпилек на одну заглушку:

$$\sigma_{6} = \frac{\Sigma N u}{\Sigma F u} = \frac{62800}{76} = 826 \frac{\kappa^{2} c}{c^{2}} = 82600 Kna$$

где ∑N_ш = 628 КН = 628000 Н = 62800 кгс – суммарные реакции в шпильках,

F_ш = 1,9 см² – площадь поперечного сечения одной шпильки, диаметром Ø 25 мм,

 ΣF_{μ} = 40 x 1,9 = 76 см² – площадь 40 шпилек на одну заглушку.

3. Результаты и обсуждение

- 1. Листы заглушки деформируются под внутренним давлением воды (рисунок 5), поэтому герметичность соединения листов заглушки с фланцами водовода должна быть обеспечена в условиях полной консервации водоводов приваркой фланцев к листам;
- 2. Шпильки находятся в постоянном напряженном состоянии, вместе с тем, ряд шпилек полностью проржавели или отсутствуют;
- 3. Прочность стали заглушек обеспечена с запасом прочности металла заглушек k = 2,07;
- 4. Прочность стали шпилек обеспечена с запасом прочности металла шпилек k = 2,0;

Напряженно-деформированное состояние конструкции характеризуется следующими показателями:

- 1. Общие деформации в листах заглушек составляют максимум 4,2 мм (рисунок 5);
- Напряжения по Мизесу не превышают критериальные значения и составляют 79107 Кпа, (рисунок 6);
- Суммарные реакции по оси водовода в заделке равны усилиям в шпильках и составляют 628 КН (рисунок 7).



Рисунок 5. Общие деформации в заглушке, м. Максимальные деформации 0,0042 м, (4,2 мм)



Рисунок 6. Напряжения по Мизесу в заглушке, максимальные напряжения 79107 Кпа, (791 кг/см²)

63



Рисунок 7. Векторы реакций сил в узлах крепления к бетонной стене, КН Сумма реакций составляет 628 КН, (62800 кгс)

4. Заключение

References

Для последующей безаварийной эксплуатации помещения лаборатории необходимо выполнить следующие мероприятия:

- 1. Очистить от коррозии и приварить заглушки к водоводу.
- 2. Прогрунтовать и покрасить заглушки.
- 3. Следить за состоянием заглушек.
- 4. Один раз в 5 лет проводить визуальные обследования.

Литература

- [1]. Аугустин Я., Шледзевский Е. Аварии стальных конструкций // Сб. статей ЦНИИСК.- М. : Стройиздат, 1973. 54-85 с.
- [2]. Пузанов А.В., Улыбин А.В. Методы обследования коррозионного состояния арматуры железобетонных конструкций // Инженерно-строительный журнал. 2011. №7(25). 18-25 с.
- [3]. Федоров С.Д., Улыбин А.В., Шабров Н.Н. О методике определения коррозионного износа стальных конструкций // Инженерно-строительный журнал. 2013. №1. 13-20 с.
- [4]. Broberg P., Runnemalm A., Sjodahl M. Improved corner detection by ultrasonic testing using phase analysis // Ultrasonics. 2013. № 53 (2). Pp. 630 - 634.
- [5]. Xiong R., Lu Z., Ren Z., Xu C. Experimental research on small diameter concrete-filled steel tubular by ultrasonic detection //Applied Mechanics and Materials. 2012. Vol. 226-228. Pp. 1760-1765.
- [6]. Tang R., Wang S., Zhang Q. Study in ultrasonic flaw detection for small-diameter steel pipe with thick wall // International Journal of Digital Content Technology and its Applications. 2012. № 6 (16). Pp. 17-27.
- [7]. Introduction to Phased Array Ultrasonic Technology Applications: R/D Tech Guideline. Quebec: R/D Tech inc., 2004. 368 p.
- [8]. Samokrutov A. A., Kozlov V. N., Shevaldykin V. G. New approaches and hardware means of ultrasonic thickness

Augustin Ya., Shledzevskiy Ye. Avarii stalnykh konstruktsiy [Steel Construction Failures]. Sb. statey TsNIISK.- M. : Stroyizdat, 1973. Pp. 54-85.

- [2]. Puzanov A.V., Ulybin A.V. Metody obsledovaniya korrozionnogo sostoyaniya armatury zhelezobetonnykh konstruktsiy [Methods of inspection of the corrosion state of reinforcement of reinforced concrete structures]. Magazine of Civil Engineering. 2011. No. 7(25). Pp.18-25.
- [3]. Fedorov S.D., Ulybin A.V., Shabrov N.N. O metodike opredeleniya korrozionnogo iznosa stalnykh konstruktsiy [On the method of determining the corrosive wear of steel structures] Magazine of Civil Engineering. 2013. No. 1. Pp.13-20.
- [4]. Broberg P., Runnemalm A., Sjodahl M. Improved corner detection by ultrasonic testing using phase analysis. Ultrasonics. 2013. No. 53 (2). Pp. 630 - 634.
- [5]. Xiong R., Lu Z., Ren Z., Xu C. Experimental research on small diameter concrete-filled steel tubular by ultrasonic detection. Applied Mechanics and Materials. 2012. Vol. 226-228. Pp. 1760-1765.
- [6]. Tang R., Wang S., Zhang Q. Study in ultrasonic flaw detection for small-diameter steel pipe with thick wall. International Journal of Digital Content Technology and its Applications. 2012. No. 6(16). Pp. 17-27.
- [7]. Introduction to Phased Array Ultrasonic Technology Applications: R/D Tech Guideline. Quebec: R/D Tech inc., 2004. 368 p.
- [8]. Samokrutov A. A., Kozlov V. N., Shevaldykin V. G. New approaches and hardware means of ultrasonic thickness

64

measurement with the usage of one-element single probes // 8 th European conference on Non- Destructive Testing, Barcelona, 17 -21 June, 2002. Pp. 134-139.

- [9]. Землянский А.А., Вертынский О.С. Опыт выявления дефектов и трещин в крупноразмерных резервуарах для хранения углеводородов // Инженерно-строительный журнал. 2011. № 7 (25). 40-44 с.
- [10]. Старцев С.А. Проблемы обследования строительных конструкций, имеющих признаки биоповреждения // Инженерно-строительный журнал. 2010. N27(17). 41-46 с.
- [11]. Зенкевич О., Морган К. Конечные элементы и аппроксимация. М.: Мир, 1986. 318 с.
- [12]. Сорокин В.Г., Марочник сталей и сплавов. М.: «Машиностроение». 1989. 640 с.
- [13]. Стренг Г., Фикс Дж. Теория метода конечных элементов. М.: Мир. 1977. 349 с.
- [14]. Коррозия: справочник: пер. с англ./ под ред. Л. Л. Шрайера М.: Металлургия. 1981. 631 с.
- [15]. Бубнов, А.А. Моделирование напряженного состояния трубопроводов, подвергающихся высокотемпературной водородной коррозии в неоднородном поле температур текст. / А.А. Бубнов: автореферат. Дис. канд ф - м. наук: Саратов, 2007. 20 с.
- [16]. Бубнов, С.А. Учет водородной коррозии в расчете НДС толстостенной трубы в программном комплексе ANSYS / С.А. Бубнов // Инновационные технологии в обучении и производстве: сборник научных трудов - Камышин, 2010. 23-26 с.
- [17]. Мужицкий В.Ф., Попов Б.Е., Безлюдько Г.Я. и др. Магнитный контроль напряженно-деформированного состояния и остаточного ресурса стальных металлоконструкций грузоподъемных кранов//Дефектоскопия, 1996, № 3.12-19 с.
- [18]. Zienkiewicz O.C., Taylor Robert L., Taylor R.L., Finite Element Method: Volume 1, The Basis. Butterworth-Heinemann, 2000. Pp. 712.
- [19]. Zienkiewicz O.C., Taylor Robert L., Taylor R.L., Finite Element Method: Volume 2, Solid Mechanics. Butterworth-Heinemann, 2000. Pp. 480.
- [20]. Zienkiewicz O.C., Taylor R.L., Zhu J.Z. The Finite Element Method: Its Basis and Fundamentals // Butterworth-Heinemann. 2013. Pp 756.
- [21]. Shahani A.R., Amini Fasakhodi M.R. Finite element analysis of dynamic crack propagation using remeshing technique. // (Materials and Design), Elsevier Science Publishing Company, Inc. №30. 2009. Pp 1032-1041.
- [22]. Lee C.K., Hobbs R.E. Automatic adaptive finite element mesh generation over arbitrary two-dimensional domain using advancing front technique. // (Computers & Structures), Elsevier Science Publishing Company, Inc. №71.1999.Pp9-34.
- [23]. Tranxuan D. Finite Element simulation of a layout optimisation technique by photoelastic stress minimization. // (Finite Elements in analysis and design), Elsevier Science Publishing Company, Inc. №28. 1998. Pp 277-292.
- [24]. Widjaja B.R. Path-following technique based on residual energy suppression for nonlinear Finite Element analysis. // (Computers & Structures), Elsevier Science Publishing Company, Inc. №66. 1998. Pp 201-209.
- [25]. Ren Y.J., Elishakoff I. New results in Finite Element Method for stochastic structures. // (Computers & Structures), Elsevier Science Publishing Company, Inc. №67. 1998. Pp 125-135.
- [26]. Oh H.S., Lim J.K. Modified h-method with directional error estimate for finite element stress analysis. // (Computers & Structures), Elsevier Science Publishing Company, Inc. №65. 1997. Pp 191-204.
- [27]. Pankiewicz E. On limit analysis of discs by a rigid Finite

measurement with the usage of one-element single probes. 8 th European conference on Non- Destructive Testing, Barcelona, 17-21 June, 2002. Pp. 134-139.

- [9]. Zemlyanskiy A.A., Vertynskiy O.S. Opyt vyyavleniya defektov i treshchin v krupnorazmernykh rezervuarakh dlya khraneniya uglevodorodov [The experience of identifying defects and cracks in large-sized tanks for storing hydrocarbons]. Magazine of Civil Engineering. 2011. No. 7(25). Pp. 40-44.
- [10]. Startsev S.A. Problemy obsledovaniya stroitelnykh konstruktsiy, imeyushchikh priznaki biopovrezhdeniya [Problems of inspection of building structures with signs of biodeterioration]. Magazine of Civil Engineering. 2010. No. 27(17). Pp. 41-46.
- [11]. Zenkevich O., Morgan K. Konechnyye elementy i approksimatsiya [Finite Elements and Approximation]. M.: Mir, 1986. 318 p.
- [12]. Sorokin V.G., Marochnik staley i splavov [Markector of steels and alloys]. M.: «Mashinostroyeniye». 1989. 640 p.
- [13]. Streng G., Fiks Dzh. Teoriya metoda konechnykh elementov [he Theory of the Finite Element Method]. M.: Mir. 1977. 349 p.
- [14]. Korroziya: spravochnik: per. s angl./ pod red. L. L. Shrayera M.: Metallurgiya. 1981. 631 p.
- [15]. Bubnov, A.A. Modelirovaniye napryazhennogo sostoyaniya truboprovodov, podvergayushchikhsya vysokotemperaturnoy vodorodnoy korrozii v neodnorodnom pole temperatur tekst. / A.A. Bubnov: avtoreferat. Dis. kand f - m. nauk: Saratov, 2007. 20 p.
- [16]. Bubnov, S.A. Uchet vodorodnoy korrozii v raschete NDS tolstostennoy truby v programmnom komplekse ANSYS [Accounting for hydrogen corrosion in the calculation of the VAT of a thick-walled pipe in the ANSYS software package] / S.A. Bubnov. Innovatsionnyye tekhnologii v obuchenii i proizvodstve: sbornik nauchnykh trudov - Kamyshin, 2010. Pp. 23-26.
- [17]. Muzhitskiy V.F., Popov B.Ye., Bezlyudko G.Ya. i dr. Magnitnyy kontrol napryazhenno-deformirovannogo sostoyaniya i ostatochnogo resursa stalnykh metallokonstruktsiy gruzopodyemnykh kranov [Magnetic control of the stress-strain state and the residual life of steel steel cranes]. Defektoskopiya, 1996, No. 3. Pp 12-19.
- [18]. Zienkiewicz O.C., Taylor Robert L., Taylor R.L., Finite Element Method: Volume 1, The Basis. Butterworth-Heinemann, 2000. Rp. 712.
- [19]. Zienkiewicz O.C., Taylor Robert L., Taylor R.L., Finite Element Method: Volume 2, Solid Mechanics. Butterworth-Heinemann, 2000. Rp. 480.
- [20]. Zienkiewicz O.C., Taylor R.L., Zhu J.Z. The Finite Element Method: Its Basis and Fundamentals. Butterworth-Heinemann. 2013. Pp 756.
- [21]. Shahani A.R., Amini Fasakhodi M.R. Finite element analysis of dynamic crack propagation using remeshing technique. (Materials and Design), Elsevier Science Publishing Company, Inc. No. 30. 2009. Pp 1032-1041.
- [22]. Lee C.K., Hobbs R.E. Automatic adaptive finite element mesh generation over arbitrary two-dimensional domain using advancing front technique. (Computers & Structures), Elsevier Science Publishing Company, Inc. No. 71. 1999. Pp 9-34.
- [23]. Tranxuan D. Finite Element simulation of a layout optimisation technique by photoelastic stress minimization. (Finite Elements in analysis and design), Elsevier Science Publishing Company, Inc. No. 28. 1998. Pp 277-292.
- [24]. Widjaja B.R. Path-following technique based on residual energy suppression for nonlinear Finite Element analysis. Computers & Structures), Elsevier Science Publishing Company, Inc. No. 66. 1998. Pp 201-209.
- [25]. Ren Y.J., Elishakoff I. New results in Finite Element Method for stochastic structures. (Computers & Structures), Elsevier Science Publishing Company, Inc. No. 67. 1998. Pp 125-135.
- [26]. Oh H.S., Lim J.K. Modified h-method with directional error

65

Kozinetc, G.L., Kozinetc, P.V. Strength steel plugs for conduits Krasnoyarskaya HPP. Construction of Unique Buildings and Structures. 2018. 69 (6). Pp. 59-66. (rus) DOI: 10.18720/CUBS.69.5

Element Method. // (Computer methods in applied mechanics and engineering), Elsevier Science Publishing Company, Inc. № 127. Pp 1-12.

- [28]. Теплых А.В. Применение оболочечных и объемных элементов при расчетах строительных стальных конструкций в программах SCAD и Nastran с учетом геометрической и физической нелинейности // Инженерностроительный журнал. 2011. № 3 (21). 4-20 с.
- [29]. Гарифуллин М.Р., Ватин Н.И. Устойчивость тонкостенного холодногнутого профиля при изгибе, // Строительство уникальных зданий и сооружений. 6 (21). 2014. 32-57 с.
- [30]. Ватин Н.И., Синельников А.С. Большепролетные надземные пешеходные переходы из легкого холодногнутого стального профиля // Строительство уникальных зданий и сооружений. 2012. № 1. 47-52 с.

estimate for finite element stress analysis. (Computers & Structures), Elsevier Science Publishing Company, Inc. No. 65. 1997. Pp 191-204.

- [27]. Pankiewicz E. On limit analysis of discs by a rigid Finite Element Method. Computer methods in applied mechanics and engineering), Elsevier Science Publishing Company, Inc. No. 127. Pp 1-12.
- [28]. Teplykh A.V. Primeneniye obolochechnykh i obyemnykh elementov pri raschetakh stroitelnykh stalnykh konstruktsiv v programmakh SCAD i Nastran c uchetom geometricheskoy i fizicheskoy nelineynosti [The use of shell and volume elements in the calculations of building steel structures in the SCAD and Nastran programs with regard to geometric and physical nonlinearity]. Magazine of Civil Engineering. 2011. No. 3(21). Pp. 4-20.
- [29]. Garifullin M.R., Vatin N.I. Ustoychivost tonkostennogo kholodnognutogo profilya pri izgibe [The stability of a thin-walled cold-formed profile at bending]. Construction of Unique buildings and Structures. 6 (21). Pp. 32-57.
- [30]. Vatin N.I., Sinelnikov A.S. Bolsheproletnyye nadzemnyye peshekhodnyye perekhody iz legkogo kholodnognutogo stalnogo profilya [Large-scale elevated pedestrian crossings of light coldrolled steel]. Construction of Unique buildings and Structures. 2012. No. 1. Pp. 47-5.

Контактная информация

- 1.* +7(964)3870500, galina4410@yandex.ru (Козинец Галина Леонидовна, д.т.н., профессор)
- 2. +7(931)3718408, pavelkozinetc@yandex.ru (Козинец Павел Викторович, инженер)

Contact information

- 1.* +7(964)3870500, galina4410@yandex.ru (Galina Kozinetc, Ph.D., Professor)
- 2. +7(931)3718408, pavelkozinetc@yandex.ru (Pavel Kozinetc, Engineer)

©Козинец Г.Л., Козинец П.В., 2018