

**Для цитирования:** Булгаков А.И., Вишталов Р.И., Муселемов Х.М., Устарханов О.М. Расчет трехслойных труб большого диаметра на ПК «Лира» Вестник Дагестанского государственного технического университета. Технические науки. 2018;45 (2):191-199 DOI:10.21822/2073-6185-2018-45-2-191-199

**For citation:** Bulgakov A. I., Vishtalov R.I., Muselemov H.M., Ustarkhanov O.M. Calculation of three-layer large diameter pipes on the PC «LIRA». Herald of Daghestan State Technical University. Technical Sciences. 2018; 45 (2): 191-199. (In Russ.) DOI:10.21822/2073-6185-2018-45-2-191-199

## ТЕХНИЧЕСКИЕ НАУКИ СТРОИТЕЛЬСТВО И АРХИТЕКТУРА

УДК 624.011.1

DOI:10.21822/2073-6185-2018-45-2-191-199

### РАСЧЕТ ТРЕХСЛОЙНЫХ ТРУБ БОЛЬШОГО ДИАМЕТРА НА ПК «ЛИРА»

**Булгаков А.И.<sup>2</sup>, Вишталов Р.И.<sup>4</sup> Муселемов Х.М.<sup>3</sup> Устарханов О.М.<sup>1</sup>**

<sup>1-4</sup>Дагестанский государственный технический университет,

<sup>1-4</sup>367026, г. Махачкала, пр. Имама Шамиля, 70, Россия,

<sup>1</sup>e-mail: dgtu.pgs@mail.ru, <sup>2</sup>e-mail: dgtu.pgs@mail.ru,

<sup>3</sup>e-mail: hairulla213@mail.ru, <sup>4</sup>e-mail: dgtu.pgs@mail.ru

**Резюме. Цель.** В данной статье рассматривается оценка возможности применения трехслойных трубопроводов. Для этого исследуется напряженно-деформированное состояние трехслойных труб при действии внутреннего давления. Самыми крупными в современном мире считаются магистральные трубопроводы. В основном их используют для транспортировки нефти и газа с мест добычи до перерабатывающих предприятий. Трубопроводы предназначены для перемещения жидкости, газов и других сред и, прежде всего, это водопроводы. Как известно, магистральные и технологические трубопроводы являются исключительно металлоемкими сооружениями, на строительство которых расходуются миллионы тонн стали. С другой стороны, одним из главных показателей экономичности магистральных трубопроводов является их расход материала. Магистральные трубопроводы, как правило, имеют большую протяженность, и поэтому необоснованное увеличение расчетной толщины стенок труб хотя бы на 1 мм приводит к перерасходу стали на десятки и даже сотни тысяч тонн. В связи с этим к расчетам магистральных трубопроводов на прочность должно уделяться самое серьезное внимание. **Метод.** Расчет проводится численными методами, а именно с помощью метода конечных элементов (МКЭ), реализованного в ПК «ЛИРА». **Результат.** Расчет труб выполнен на нагрузку от транспортируемой среды, приложенный к внутреннему контуру трубы. При этом для трехслойной трубы (первый вариант) и для труб второго и третьего вариантов, определялись кольцевые растягивающие напряжения и деформации. Приведены изополя растягивающих и касательных напряжений, построена сравнительная графическая зависимость кольцевых растягивающих напряжений. **Вывод.** Полученные численные результаты, показали, что выбранная расчетная схема (вар.1), то есть представление сплошностенчатого сечения трубы в виде трехслойной, является правильной. Расхождения между полученными данными связаны с поворотом сечения по радиусу трубы. В целом результаты расчетов показали возможность применения трехслойной стенки труб для транспортировки различных сред.

Работа выполнена при финансовой поддержке грантом Президента Российской Федерации (МК-6112.2018.8).

**Ключевые слова:** метод конечных элементов, трехслойные конструкции, заполнитель, несущие слои, трубы различного диаметра

TECHNICAL SCIENCE  
BUILDING AND ARCHITECTURE

CALCULATION OF THREE-LAYER LARGE DIAMETER PIPES  
ON THE PC «LIRA»

*Aleksandr I. Bulgakov<sup>2</sup>, Rajab I. Vishtalov<sup>3</sup>, Hayrulla M. Muselemov<sup>4</sup>, Osman M. Ustarkhanov<sup>1</sup>*  
*<sup>1-4</sup>Дагестанский государственный технический университет,  
<sup>1-4</sup>367026, г. Махачкала, пр. Имама Шамиля, 70, Россия,  
<sup>1</sup>e-mail: dgtu.pgs@mail.ru, <sup>2</sup>e-mail: dgtu.pgs@mail.ru,  
<sup>3</sup>e-mail: hairulla213@mail.ru, <sup>4</sup>e-mail: dgtu.pgs@mail.ru*

**Abstract Objectives** This article discusses the evaluation of the possibility of application of three-layer pipelines. For this purpose, the stress-strain state of three-layer pipes under the action of internal pressure is investigated. The largest in the modern world are considered to be the main pipe-water. They are mainly used to transport oil and gas from production sites to processing plants. Pipelines are intended for movement of liquid, gases and other environments and first of all it is water pipelines. As you know, main and technological pipelines are IP-elite club that cares only metal buildings, the construction of which consume Xia millions of tons of steel. On the other hand, one of the main indicators of efficiency of trunk pipelines is their material consumption. As a rule, trunk pipelines have a long length, and therefore an unreasonable increase in the even thickness of the pipe walls by at least 1 mm leads to an overspending of steel by de-siyatki and even hundreds of thousands of tons. In this regard, to the calculations of the main pipe wires for strength should be given the most serious attention. **Methods** The calculation is carried out by numerical methods, namely with the help of finite element meto-da (FEM), implemented in the PC "LIRA". **Results** The calculation of the pipes is performed on the load from the transported medium applied to the inner contour of the pipe. In this case, for the three-layer pipe (the first option) and for the pipes of the second and third options, the ring tensile stresses and strains were determined. The isofields of tensile and shear stresses are given, the comparative graphical dependence of ring tensile stresses is constructed. **Conclusion.** The obtained numerical results showed that the selected calculation scheme (var.1), that is, the representation of the continuous section of the pipe in the form of a three-layer, is correct. The discrepancies between the data obtained are related to the rotation of the section along the radius of the pipe. In General, the results of calculations showed the possibility of using a three-layer pipe wall for transportation of various media.

**Acknowledgment.** This work was supported by a grant from the President of the Russian Federation (МК-6112.2018.8).

**Keywords:** finite element method, three-layer structures, filler, bearing layers, pipes of different diameters

**Введение.** Основой любой современной трубопроводной системы являются трубы большого диаметра (ТБД), на которые возлагается важная задача по перемещению по ним различных веществ. Именно они применяются при строительстве всевозможных канализационных и водопроводных сетей, тепловых сооружений, водоканалов, магистральных газо- и нефтепроводов. Как известно, трубопроводы большого диаметра и протяженности являются материалоёмкими сооружениями, на изготовление которых тратятся миллионы тонн стали. Необоснованное увеличение толщины стенок труб приводит к большим перерасходам материала и, в связи с этим, расчету магистральных трубопроводов должно уделяться самое серьезное внимание [1,18].

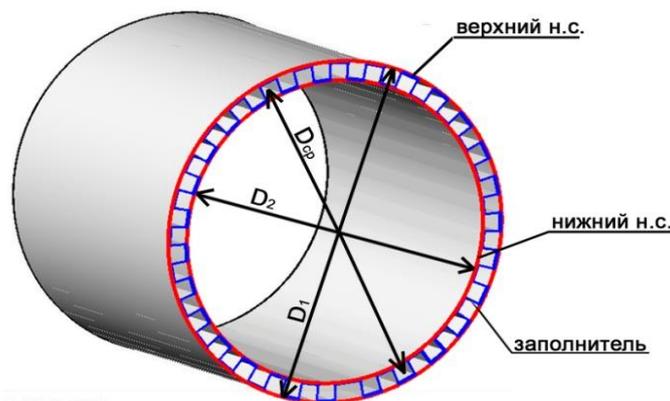
**Постановка задачи.** В процессе эксплуатации магистральные трубопроводы подвергаются воздействию ряда силовых факторов, которые в той или иной степени влияют на условия работы конструкции. При расчете необходимо ясно представить себе значение этих факторов и их влияние на предельное состояние трубопроводов. К числу таких силовых воздействий отно-

сятся: внутреннее давление, продольные растягивающие и сжимающие усилия, изгиб трубопровода по рельефу местности, давление засыпки грунта и подвижных нагрузок и т.д. Внутреннее давление является одним из основных и решающих силовых воздействий, которое влияет на работу трубопроводов. Поэтому при расчете трубопроводов толщину стенок труб находят исходя из заданного внутреннего давления [2-4].

Исследования, проводимые в ДГТУ показали, что для повышения эксплуатационных качеств трубопроводной системы можно использовать трехслойную конструкцию, то есть изготовить трехслойную цилиндрическую оболочку (трубу), состоящую из двух несущих слоев и дискретного заполнителя [6,17,19], как показано на рис.1. Данная система позволит повысить прочностные характеристики и эксплуатационные качества трубопроводов, и кроме этого по ней можно будет транспортировать две среды (например, газ и воду).

Как известно, многослойные конструкции при малом весе обладают повышенной жесткостью на изгиб, что позволяет получить значительный выигрыш в весе. Кроме того, во многих случаях многослойные пакеты обладают высокими теплоизолирующими и другими свойствами, что является немаловажным фактором при эксплуатации ряда современных изделий различного назначения. Трехслойные трубопроводы представляют собой сложную пространственную конструкцию, образованную наружным и внутренним несущими слоями, а также дискретной конструкцией заполнителя. При этом слои могут различаться как по толщине, так и по физико-механическим свойствам, то есть пакет может быть существенно неоднороден [5,20].

**Методы исследования.** Как отмечалось выше, трехслойная конструкция представляет собой систему, которая состоит из двух внешних сравнительно тонких слоев (несущие слои) и среднего, более толстого слоя (заполнитель, рис.1) [6].



**Рис. 1. Общий вид трехслойной трубы**  
**Fig.1. General view of the three-layer pipe**

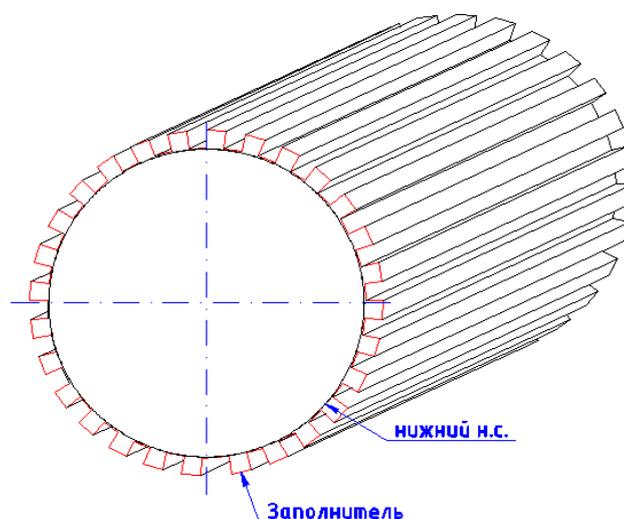
Несущие слои воспринимают продольные нагрузки (растяжение, сжатие, сдвиг) в своей плоскости и поперечные изгибающие моменты. Заполнитель воспринимает поперечные силы при изгибе и обеспечивает совместную работу и устойчивость несущих слоев. Способность заполнителя воспринимать нагрузку в плоскости несущих слоев зависит от конструкции заполнителя и его жесткостных характеристик.

В данной статье описано исследование НДС трехслойной трубы с применением МКЭ, реализованного на ПК «ЛИРА» [7-12,15-16]. МКЭ является одним из широко применяемых в практике методов прочностного расчета конструкций. МКЭ представляет собой процедуру приближенного решения дифференциальных уравнений. На сегодняшний день МКЭ считается универсальным методом получения численных решений для широкого диапазона инженерных задач.

В данной статье авторы рассматривают задачу замены сплошностенчатого сечения трубы на трехслойное сечение, в котором заполнителем является гофра (рис. 2).

Для оценки напряженно-деформированного состояния рассматриваются три варианта трубы  $R_1 = \frac{D_1}{2} = 500$  мм,  $R_2 = \frac{D_2}{2} = 450$  мм,  $R_{cp} = \frac{D_{cp}}{2} = 475$  мм:

- сечение в виде двутавра (трехслойная труба, рис. 3а) - вариант 1;
- сплошное сечение равной жесткости  $J_Y$  (рис. 3б) - вариант 2;
- сплошное сечение равной площадью (рис. 3в) - вариант 3.

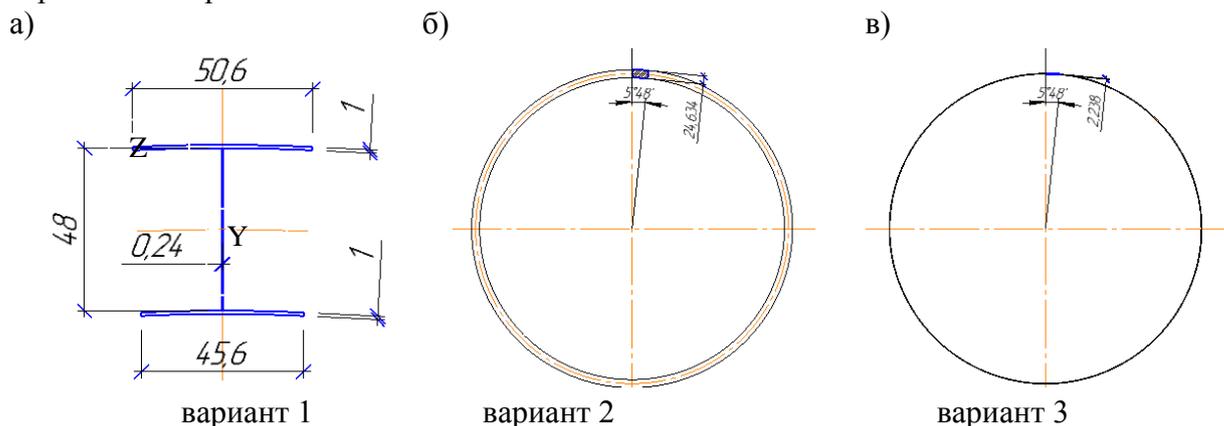


**Рис. 2. Заполнитель для трехслойной трубы в виде гофра**  
**Fig. 2. Filler for three-layer pipe in the form of corrugation**

Материалом всех труб служит алюминий марки АМГ с расчетными характеристиками  $\rho=2,78\text{т/м}^3$ ,  $E=6,9\text{ т/м}^2$  [13-14]. В общем случае для изготовления трехслойной трубы можно использовать и другие материалы.

Расчет производим для среднего участка бесконечной трубы. Так как такое условие в расчетной модели реализовать невозможно, то соответственно принимаем модель трубы конечной длины, в нашем случае длиной 3 м, «подвешенной» по концам на связевых элементах длиной 1 м и имеющих погонную жесткость равную отброшенной части сечения.

При этом, напряженно-деформированное состояние трубы на участках, примыкающих к связям в расчет не берем.



**Рис. 3. Варианты сечения труб**  
**Fig. 3. Options of the pipe sections**

Расчет производился на равномерно распределенную нагрузку, приложенную к внутреннему несущему слою трубы.

Схема приложения нагрузки к трубе первого варианта показана на рис. 4.а.

Схема приложения нагрузки для второго и третьего вариантов труб аналогичная и показано на рис. 4.б.

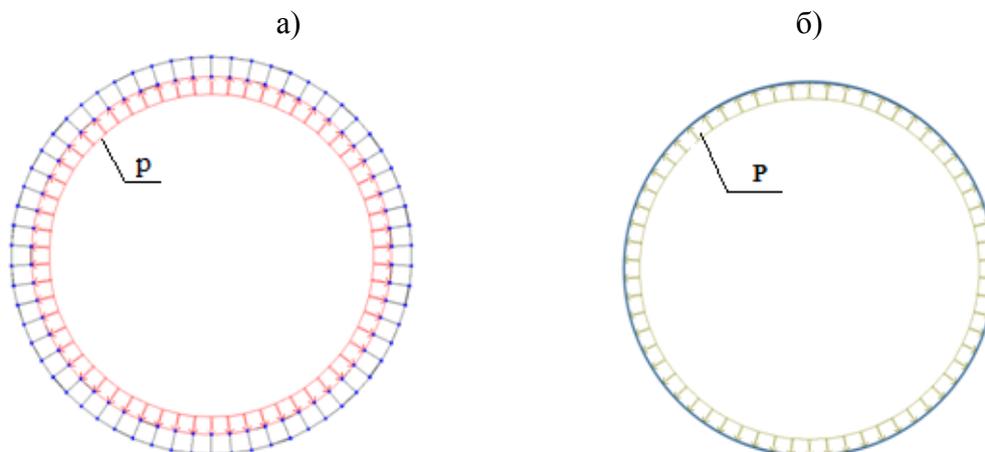


Рис. 4. Схема приложения нагрузки

Fig. 4. The scheme of load application

**Обсуждение результатов.** Как было отмечено выше, расчет труб выполнен на нагрузку от транспортируемой среды, приложенной к внутреннему контуру трубы.

При этом для трехслойной трубы, определялись кольцевые растягивающие напряжения и деформации. Для труб второго и третьего вариантов определялись аналогичные напряжения и деформации, что и для первого варианта. Результаты расчета трубы, показаны на рис. 5–8 и в таблице 1.

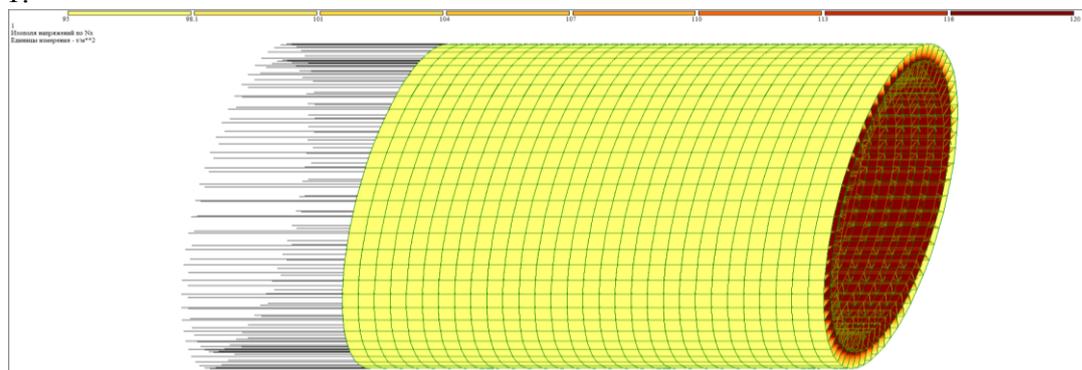


Рисунок 5. Кольцевые растягивающие напряжения  $N_x$

Figure 5. Ring tensile stresses  $N_x$

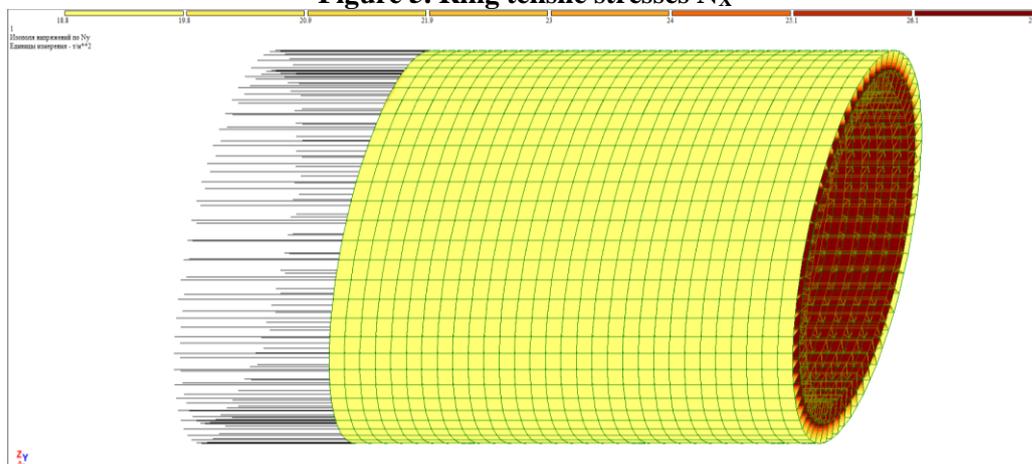


Рис. 6. Кольцевые растягивающие напряжения  $N_y$

Fig. 6. Ring tensile stresses  $N_y$

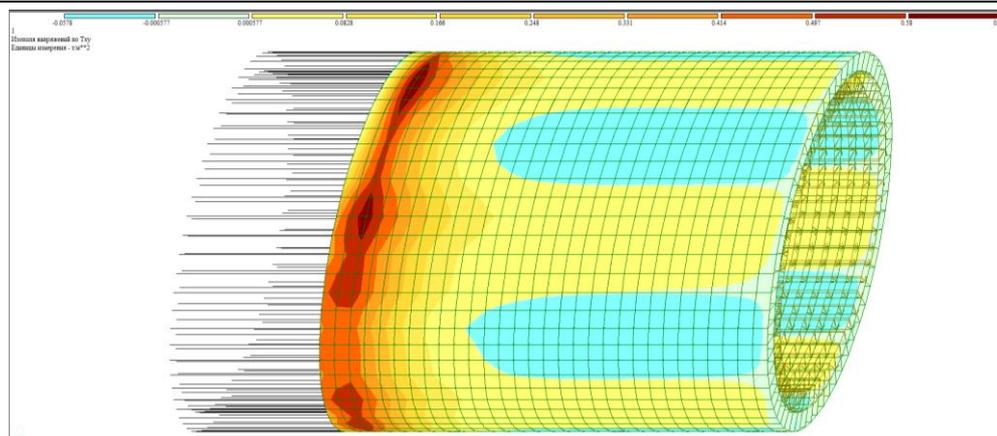


Рис.7. Касательные напряжения  $T_{xy}$   
 Fig. 7. Tangential stresses  $T_{xy}$

Таблица 1. Результаты расчета трубы  
 Table 1. The results of the calculation of the pipe

N п/п	Показатели	Результаты при $p=1\text{т/м}^2$			
		Трехслойная (вар.1)		Однослойная, $t=24,634\text{мм}$ (вар.2)	Однослойная, $t=2,238\text{мм}$ (вар.3)
		наружный несущий слой (н. н. с.)	внутренний несущий слой (в. н. с.)		
1	Y, мм	$\pm 0,00371$	$\pm 0,00371$	$\pm 0,00125$	$\pm 0,0404$
2	Z, мм	$\pm 0,0296$	$\pm 0,0296$	$\pm 0,00124$	$\pm 0,0113$
3	$N_x, \text{т/м}^2$	98,1	120	19,5	218
4	$N_y, \text{т/м}^2$	19,8	27,2	4,05	45,1
5	$T_{xy}, \text{т/м}^2$	$-0,0578 \div$ $+0,0828$	$-0,0578 \div$ $+0,0828$	$\pm 0,00114$	$\pm 2,6$

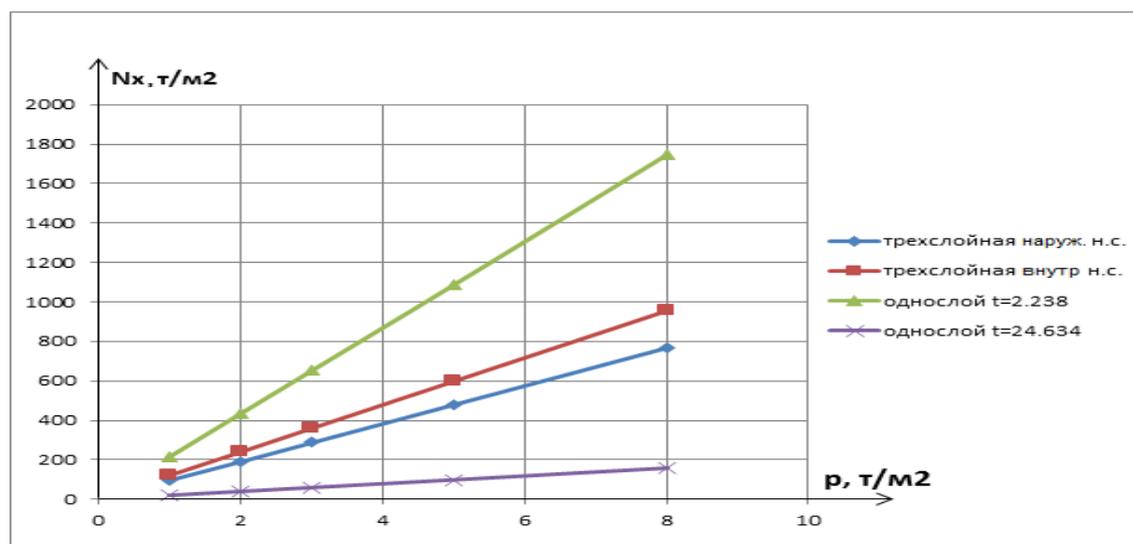


Рис. 8. График сравнение кольцевых растягивающих напряжений  
 Fig.8. Chart comparison of the ring tensile stress

Для оценки работы выбранных вариантов под действующей нагрузкой были сравнены кольцевые растягивающие напряжения  $N_x$ .

Анализ напряжений  $N_x$  показал:

1. Напряжения в варианте 2:

- на 91% меньше, чем в варианте 3;
- на 80% меньше, чем в наружном несущем слое варианта 1 и на 84% , чем во внутреннем несущем слое того же варианта;

2. Напряжения в варианте 1:

- в наружном несущем слое на 55% меньше, чем в варианте 3;
- во внутреннем несущем слое на 45% меньше чем в варианте 3;

3. Расход материала во втором варианте на 91% больше, чем в вариантах 1 и 3;

4. Расход материала в первом и в третьем варианте одинаковый в силу равенства площадей сечения труб. Однако, напряжение в каждом несущем слое варианта 1, меньше чем в варианте 2.

**Вывод.** Полученные результаты показали, что выбранная расчетная схема (вар.1), то есть представление сплошностенчатого сечения трубы в виде трехслойной, является правильной. Расхождения между полученными данными связаны с поворотом сечения по радиусу трубы.

В целом результаты расчетов показали возможность применения трехслойной стенки труб для транспортировки различных сред.

#### Библиографический список:

1. А.Г.Камерштейн, В.В. Рождественский, М.Н. Ручимский – Расчет трубопроводов на прочность. Москва 1963.
2. Айнбиндер А.Б., Камерштейн А.Г. Расчет магистральных трубопроводов на прочность и устойчивость. Справочное пособие. М.: Недра, 1982. - 341 с.
3. Березина И.В., Самойлов Б.В. Особенности расчета профиля магистрального трубопровода большого диаметра. Транспорт и хранение нефти и нефтепродуктов, 1976, JS 10, с. 15-17.
4. Бородавкин П.П., Синюков А.М. Прочность магистральных трубопроводов. М.: Недра, 1984. - 245 с.
5. Александров А. Я. Куршин Л. М. Трехслойные пластинки и оболочки. – В– кн.: Прочность, устойчивость, колебания. М.: Машиностроение, 1968, т.2.
6. Кобелев В.Н., Коварский Л.М., Тимофеев С.И. Расчет трехслойных конструкций. М.: Машиностроение, 1984.
7. Агапов В.П. Метод конечных элементов в статике, динамике, и устойчивости пространственных тонкостенных подкреплённых конструкций. Учебное пособие М.: Изд АСВ, 2000, 152с.
8. Галлагер Р. Метод конечных элементов. М.: 1984г, 424с.
9. Городецкий А.С., Евзеров И.Д. Компьютерные модели конструкций. М.: Издательство Ассоциации строительных вузов. 2009г, 360стр.
10. Рикардс Р.Б. Метод конечных элементов в теории оболочек и пластин. Рига: Зинатне, 1988, 284с.
11. Стренг Г., Фикс Д. Теория метода конечных элементов. М.: 1977, 350с.
12. Устарханов О.М., Булгаков А.И., Муселемов Х.М., Устарханов Т.О. Журнал «Известия высших учебных заведений» «Технические науки». 2012, №5. Расчет трехслойных балок с учетом клевого шва по методу конечных элементов с помощью ПК ЛИРА.
13. Квасов Ф.И., Фридляндер И.Н. Промышленные деформируемые, спеченные и литейные алюминиевые сплавы. Справочное руководство. 1984, 528 с.
14. Квасов Ф.И., Фридляндер И.Н. Промышленные алюминиевые сплавы. М.: Металлургия, 1984 г. 528 с.
15. Сабоннадьер Ж.К., Кулон Ж.Л. Метод конечных элементов и САПР. М.: Мир, 1989, 190с.
16. Розин Л.А. Метод конечных элементов в применении к упругим системам. М.: Стройиздат, 1977, 132с.
17. Штамм К., Витте Г. Многослойные конструкции: пер. с нем. М.: Стройиздат, 1983. 300с.
18. Устарханов О.М., Булгаков А.И., Гаджиев М.Д. Совершенствование моделей расчета трехслойных конструкций// Тезисы докладов XXII научно-технической конференции преподавателей, со-

трудников, аспирантов и студентов ДГТУ. Махачкала, 1999. С.52-54.

19. Хэбип Л.М. Обзор современного состояния исследований по трехслойным конструкциям // Механика.: Периодич. сб. переводов иностранных статей. -1996. Т.96, №2. - С. 119-130.
20. Пелех Б.Л., Лазыко В.А. Слоистые анизотропные пластины и оболочки с концентратами напряжений. Киев: Наук. Думка, 1982,295 с.

#### References:

1. A.G.Kamershteyn, V.V. Rozhdestvenskiy, M.N. Ruchimskiy – Raschet truboprovodov na prochnost'. Moskva 1963..[ Kammerstein, A. G., V. V. Rozhdestvenskiy, M. N. Rucinski – Calculation of pipeline strength. Moscow 1963. (in Russ.)]
2. Aynbinder A.B., Kamershteyn A.G. Raschet magistral'nykh truboprovodov na prochnost' i ustoychivost'. Spravochnoye posobiye. M.: Nedra, 1982. - 341 s. [Ainbinder A. B., Kamenstein A. G., Calculation of pipelines for others strength and stability. Reference book. M.: Nedra, 1982. - 341 p. (in Russ.)]
3. Berezina I.V., Samoylov B.V. Osobennosti rascheta profilya magistral'nogo truboprovoda bol'shogo diametra. Transport i khraneniye nefi i nefteproduktov, 1976, JS 10, s. 15-17. [Berezina I. V., Samoylov B. V., Features of calculation of the profile of the trunk pipelinelarge diameter wires. TRANS-176 port and storage of oil and oil products, 1976, JS 10, pp. 15-17. (in Russ.)]
4. Borodavkin P.P., Sinyukov A.M. Prochnost' magistral'nykh truboprovodov. M.: Nedra, 1984. - 245 s. [Borodavkin p. P., Sinyukov A. Strength of trunk pipelines. Mmm.: Nedra, 1984. - 245 p. (in Russ.)]
5. Aleksandrov A. YA. Kurshin L. M. Trekhslonnyye plastinki i obolochki. – V– kn.: Prochnost', ustoychi-vost', kolebaniya. M.: Mashinostroyeniye, 1968, t.2. [Alexandrov A. Kurshin L. M. three-Layer plates and shells. - W-kN.: Strength, stability, vibrations. M.: Mashinostroenie, 1968, vol.2. (in Russ.)]
6. Kobelev V.N., Kovarskiy L.M., Timofeyev S.I. Raschet trekhslonnykh konstruksiy. M.: Mashinostroye-niye, 1984. [Kobelev V. N., L. M. Kovarskii, and S. I. Timofeev, Calculation of sandwich structures. M.: Mechanical Engineering, 1984. (in Russ.)]
7. Agapov V.P. Metod konechnykh elementov v statike, dinamike, i ustoychivosti prostranstvennykh tonkostennykh podkreplonnykh konstruksiy. Uchebnoye posobiye M.: Izd ASV, 2000, 152s. [Agapov V. P. finite element Method in statics, dynamics, and stability of Prostrange thin-walled reinforced structures. Textbook M.: ASV publishing house, 2000, 152c. (in Russ.)]
8. Gallagher R. Metod konechnykh elementov. M.: 1984g, 424s. [Gallagher R. finite element Method. M.: 1984, 424c. (in Russ.)]
9. Gorodetskiy A.S., Yevzerov I.D. Komp'yuternyye modeli konstruksiy. M.: Izdatel'stvo Assotsiatsii stroitel'nykh vuzov. 2009g, 360str. [Gorodetskiy A. S., Evzerov I. D. Computer models of designs. M.: Publisher the Association of construction universities. 2009, 360 p. (in Russ.)]
10. Rikards R.B. Metod konechnykh elementov v teorii obolochek i plastin. Riga: Zinatne, 1988, 284s. [Rickards R. B. the finite element Method in the theory of shells and plates. Riga: Znatne, 1988, 284s. (in Russ.)]
11. Streng G., Fiks D. Teoriya metoda konechnykh elementov. M.: 1977, 350s. [Strang G., Fix D. theory of the finite element method. M.: 1977, 350C. (in Russ.)]
12. Ustarkhanov O.M., Bulgakov A.I., Muselemov KH.M., Ustarkhanov T.O. Zhurnal «Izvestiya vysshikh ucheb-nykh zavedeniy» «Tekhnicheskiye nauki». 2012, №5. Raschet trekhslonnykh balok s uchetom kleyevogo shva po metodu konechnykh elementov s pomoshch'yu PK LIRA. [Ustarhanov O. M., Bulgakov A. I., Muslimov H. M., T. O. Ustarhanov Journal "News of higher educational institutions "" Technical Sciences». 2012, №5. Calculation of three-layer beams taking into account the adhesive seam method finite elements using PC LIRA. (in Russ.)]
13. Kvasov F.I., Fridlyander I.N. Promyshlennyye deformiruyemyye, spechennyye i liteynyye alyuminiyevyye splavy. Spravochnoye rukovodstvo. 1984, 528 s. [F. I. Kvasov, I. N. Fridlyander. Industrial deformable, sintered and whether aluminum alloys. Reference guide. 1984, 528 p. (in Russ.)]
14. Kvasov F.I., Fridlyander I.N. Promyshlennyye alyuminiyevyye splavy. M.: Metallurgiya, 1984 g, 528 s. [F. I. Kvasov, I. N. Fridlyander. Industrial aluminum alloys. M.: Metallarge, 1984, 528 p.(in Russ.)]
15. Sabonnad'yer ZH.K., Kulon ZH.L. Metod konechnykh elementov i SAPR. M.: Mir, 1989, 190s. [Sabandar J. C., Coulomb J. L., finite element Method and CAD. M.: Mir, 1989, 190C. (in Russ.)]
16. Rozin L.A. Metod konechnykh elementov v primenenii k uprugim sistemam. M.: Stroyizdat, 1977, 132s. [L. A. Rozin, the finite element Method applied to elastic systems. Mmm.: Stroyizdat, 1977,

- 132s. (inRuss.)]
17. Shtamm K., Vitte G. Mnogosloynnye konstruksii: per. s nem. M.: Stroyizdat, 1983. 300s. [Strain K., Witte G. Multilayer structures: lane with it. M.: Stroyizdat, 1983. 300с. (in Russ.)]
  18. Ustarkhanov O.M., Bulgakov A.I., Gadzhiyev M.D. Sovershenstvovaniye modeley rascheta trekhsloynnykh konstruksiy// Tezisy dokladov XXII nauchno-tekhnicheskoy konferentsii prepodavateley, sotrudnikov, aspirantov i studentov DGTU. Makhachkala, 1999. S.52-54. [Ustarkhanov O. M., Bulgakov A. I., Gadzhiev M. D. improvement of the models of TA three-layer structures// Abstracts of XXII scientific and technical conference rations of teachers, employees, post-graduates and students of DSTU. Makhachkala, 1999. P. 52-54. (in Russ.)]
  19. Khebir J.I.M. Obzor sovremennogo sostoyaniya issledovaniy po trekhsloynnym konstruksiyam\\ Mekhanika.: Periodich. sb. perevodov inostrannykh statey. -1996. T.96, №2. - S. 119-130. [Habib J.I.M. a review of the current state of research on three-layer con structures\\ Mechanics.: Periodic. collection of translations of foreign articles. -1996. Vol. 96, №2. - P. 119-130. (in Russ.)]
  20. Pelekh B.L., Laz'ko V.A. Sloistyye anizotropnyye plastiny i obolochki s kontsentratami napryazheniy. Kiyev: Nauk. Dumka, 1982,295 s. [Peleh, B. L., lazko, V., Laminates, anisotropic plates and shells, L. Tami tensions. Kiev: Sciences. Dumka, S. 1982,295(in Russ.)]

#### **Сведения об авторах:**

**Булгаков Александр Исакович** - кандидат технических наук, доцент, кафедра строительных конструкций и гидротехнических сооружений.

**Вишталов Раджаб Исабекович** - кандидат технических наук, доцент, кафедра строительных конструкций и гидротехнических сооружений.

**Муселемов Хайрулла Магомедмуратович** - кандидат технических наук, доцент, кафедра строительных конструкций и гидротехнических сооружений.

**Устарханов Осман Магомедович** - доктор технических наук, профессор, заведующий кафедрой строительных конструкций и гидротехнических сооружений.

#### **Information about the authors.**

**Aleksandr I. Bulgakov** – Cand. Sci. (Technical), Assoc. Prof., Department of Construction structures and hydraulic engineering structures.

**Rajab I. Vishtalov** – Cand. Sci. (Technical), Assoc. Prof., Department of Construction structures and hydraulic engineering structures.

**Hayrulla M. Muselemov** –Cand. Sci. (Technical), Assoc. Prof., Department of Construction structures and hydraulic engineering structures.

**Osman M. Ustarkhanov** – Dr. Sci. (Technical), Prof., Department of Construction structures and hydraulic engineering structures.

#### **Конфликт интересов**

Авторы заявляют об отсутствии конфликта интересов.

**Поступила в редакцию** 15.03.2018.

**Принята в печать** 10.05.2018.

#### **Conflict of interest.**

The authors declare no conflict of interest.

**Received** 15.03.2018.

**Accepted for publication** 10.05.2018.