

УДК 622.692.23:004

**ОПРЕДЕЛЕНИЕ ОПТИМАЛЬНЫХ РАЗМЕРОВ УСПОКОИТЕЛЕЙ
ДЛЯ ПОНТОНОВ СТАЛЬНЫХ ВЕРТИКАЛЬНЫХ
ЦИЛИНДРИЧЕСКИХ РЕЗЕРВУАРОВ**

**DEFINITION OF OPTIMUM SIZES FOR COVERING WITH DAMPERS OF
STEEL VERTICAL CYLINDRICAL TANKS**

Лукьянова В.А., Кузеев И.Р.

ФГБОУ ВПО «Уфимский государственный нефтяной технический университет»,
г. Уфа, Российская Федерация

V.A. Lukyanova, I.R. Kuzeev

FSBEI of HPE “Ufa State Petroleum Technological University”,
Ufa, the Russian Federation

e-mail: ViolettaL89@mail.ru

Аннотация. В нашей стране ведутся активный поиск и разработка новых методов и средств сокращения потерь нефти и нефтепродуктов от испарения. Использование понтонов – один из наиболее эффективных способов сокращения потерь от испарения нефти и нефтепродуктов из стальных вертикальных резервуаров. Исследована новая конструкция понтона с успокоителями, повышающими остойчивость, для резервуаров типа РВС. Для увеличения остойчивости согласно полезной модели понтон предполагается снабдить устройством для обеспечения остойчивости, расположенным на днище. Успокоитель для обеспечения остойчивости расположен на днище по периметру понтона, выполнен из металла. Разработана математическая модель, позволившая получить оптимальные размеры успокоителей для понтонов стальных вертикальных цилиндрических резервуаров. С помощью программы ANSYS были проведены серии расчетов для оптимизации конструкции понтона с успокоителем. В среде Turbo Pascal была разработана программа для вычисления восстанавливающего момента и для подбора оптимальных размеров успокоителей. Была выведена зависимость восстанавливающего момента от длины, ширины и высоты крепления успокоителя. При исследовании усовершенствованного типа успокоителя, была выведена зависимость высоты успокоителя от возникающих в конструкции напряжений, длина и ширина крепления при этом остаются величинами постоянными. Также была выведена зависимость ширины успокоителя от возникающих в конструкции напряжений, длина и высота крепления при этом остаются величинами постоянными. Расчеты показали, что понтон с успокоителями может выдержать кренящие моменты на 100% большей величины, чем без использования успокоителей.

Abstract. In our country active search and development of new methods and means of reduction of losses of oil and oil products from evaporation are conducted. Use of coverings – one of the most effective ways of reduction of losses from evaporation of oil and oil products from steel vertical tanks. The new design of a covering with dampers increasing stability, for RVS tanks is investigated. For increase in stability according to useful model the covering is supposed to be supplied with the device for ensuring the stability, located on the bottom. Damper for ensuring stability is located on the bottom on covering perimeter, executed from metal. The mathematical model, allowed to receive the optimum sizes of dampers for coverings of steel vertical cylindrical tanks is developed. By means of the ANSYS program series of calculations for optimization of a design of a covering with damper were carried out. In the software Turbo Pascal the program for calculation of the restoring moment and for selection of the optimum sizes of damper was developed. Dependence of the restoring moment on length, width and height of fastening of damper was derived. At research of advanced type of damper, dependence of height of damper on tension arising in a design was derived, length and fastening width thus remain sizes constant. Also dependence of width of damper on tension arising in a design was derived, length and fastening height thus remain sizes constant. Calculations showed that the covering with damper can hold heeling moments for 100% of bigger size, than without use of damper.

Ключевые слова: конструкция, остойчивость, понтон, математическая модель, резервуар типа PBC.

Key words: construction, stability, covering, mathematical model, vertical steel tanks.

В нашей стране ведутся активный поиск и разработка новых методов и средств сокращения потерь нефти и нефтепродуктов от испарения. Потери от испарения наносят ущерб, исчисляемый в несколько миллиардов рублей, не считая вреда, наносимого окружающей среде. Как показали исследования, значительные потери от испарения происходят в резервуарах [1]. В атмосферу уходят миллионы тонн углеводородов. Испаряются, главным образом легкие фракции [2]. Резервуары для нефти и нефтепродуктов относятся к промышленным сооружениям повышенной пожарной опасности. Резервуар с понтоном представляет собой модификацию резервуара со стационарной крышей. Понтон в виде плоской конструкции плавает на поверхности хранимой жидкости, существенно сокращая открытое зеркало испарения [3].

Использование понтонов – один из наиболее эффективных способов сокращения потерь от испарения нефти и нефтепродуктов из стальных вертикальных резервуаров [4].

В УГНТУ разработано плавающее покрытие с устройством для обеспечения остойчивости и получен патент на изобретение [5]. Остойчивость – способность плавучего средства противостоять внешним силам, вызывающим его

крен или дифферент, и возвращаться в состояние с допустимыми величинами углов крена и дифферента по окончании возмущающего воздействия [6]. Задачей изобретения было повысить надежность работы резервуара за счет увеличения остойчивости плавающего покрытия, так как случаи возникающих аварийных ситуаций часто связаны с перекосом и заклиниванием понтона [5]. На основе этого изобретения был получен патент на полезную модель № 111118 РФ “Плавающее покрытие для резервуара”, экономически более выгодную [7]. Для увеличения остойчивости согласно полезной модели понтон предполагается снабдить устройством для обеспечения остойчивости, расположенным на днище. Успокоитель для обеспечения остойчивости расположен на днище по периметру понтона, выполнен из металла.

На рисунке 1 представлен общий вид снизу плавающего покрытия.

На рисунке 2 представлен разрез А - А (вид сбоку), место крепления килей.

На рисунке 3 представлено устройство для обеспечения остойчивости (киль).

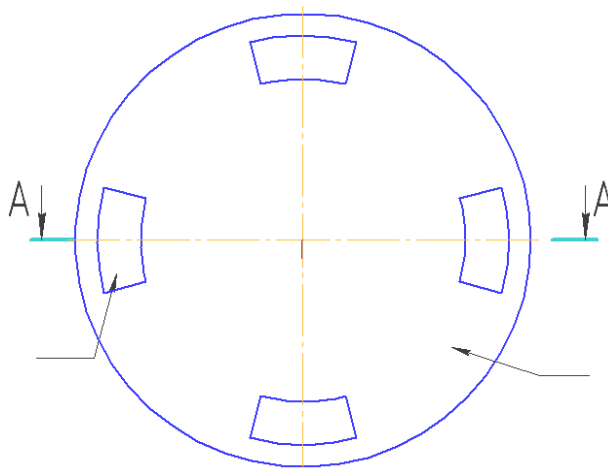


Рисунок 1. Общий вид плавающего покрытия

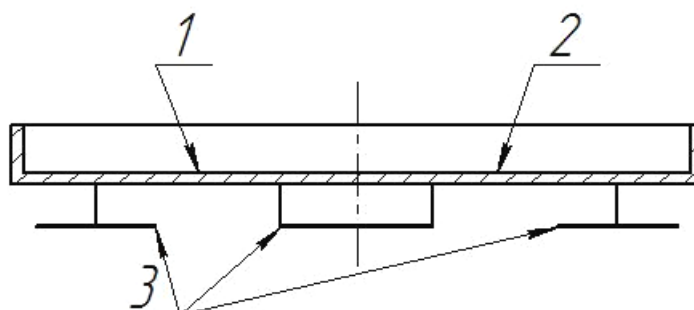


Рисунок 2. Разрез А - А (вид сбоку)



Рисунок 3. Устройство для обеспечения устойчивости (Киль)

Плавающее покрытие содержит 1 – плавающий понтон, 2 – днище понтона, на котором расположены кили (устройство, повышающее устойчивость) - 3.

Устройство работает следующим образом: воздух, попадая в резервуар, поднимается и ударяется в понтон - 1, пневмоудар воспринимается понтоном - 1 и распределяется по всему днищу – 2 плавающего покрытия и килем - 3, кили - 3 увеличивают площадь смачивания и увеличивают силу поверхностного натяжения, улучшая устойчивость.

Идея возможности применения успокоителей качки типа килей впервые была экспериментально проверена в опытном бассейне Ленинградского кораблестроительного института (ЛКИ) в 1957 г. В.В. Семеновым-Тян-Шанским и дала положительный результат.

В программе ANSYS была разработана модель устройства, повышающего устойчивость понтона. На рисунке 4 представлена разработанная модель.

Первоначально модель имела размеры: ширина $b = 4$ м, длина наибольшей дуги успокоителя $\omega = 8$ м, высота крепления $H_2 = 1,7$ м, толщина крепления $s = 0,004$ м.

В среде Turbo Pascal была разработана программа для вычисления восстанавливающего момента и для подбора оптимальных размеров успокоителей. По результатам вычислений произведенных в данной программе было выявлено, что для резервуара вместимостью 5000 м^3 приемлемой является конструкция понтона со следующими параметрами успокоителя: ширина $b = 4$ м, длина наибольшей дуги успокоителя $\omega = 8$ м, высота крепления $H_2 = 1,7$ м, толщина крепления $s = 0,004$ м. Затем в программе ANSYS было определено напряженно-деформированное состояние. Результат работы программы ANSYS представлен на рисунке 5.

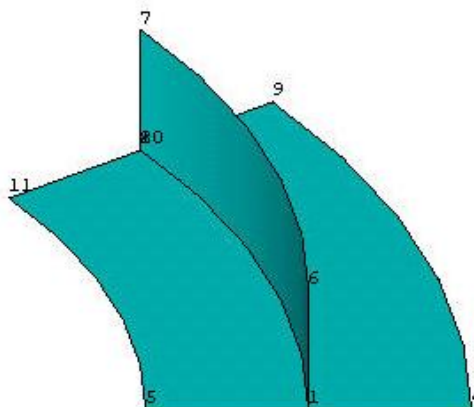


Рисунок 4. Первоначальная модель устройства, повышающего остойчивость понтона

Из рисунка 5 видно, что максимальные напряжения составляют 15800 МПа. Допускаемое значение напряжений для стали 09Г2С составляет

$$[\sigma] = \sigma_m \cdot \gamma_c = 370 \cdot 0,9 = 333 \text{ МПа},$$

где σ_m – предел прочности,

γ_c – коэффициент условий работы, $\gamma_c = 0,9$ [4].

$333 \text{ МПа} < 15800 \text{ МПа}$ – возникающие напряжения в успокоителе значительно превышают допускаемые.

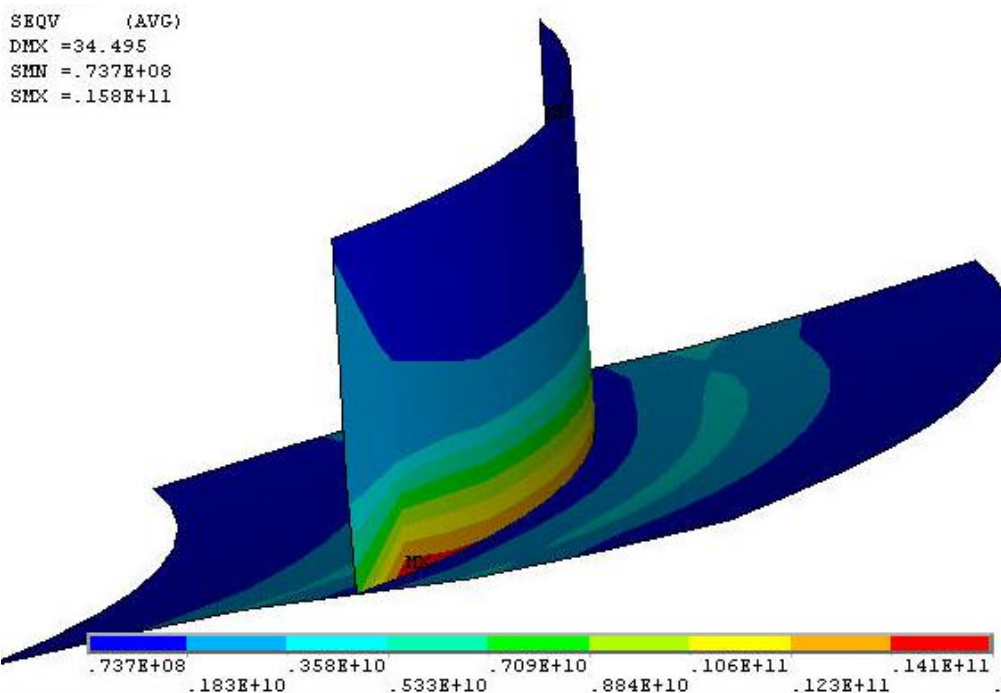


Рисунок 5. Напряжения, возникающие в успокоителе с шириной $b = 4$ м, длиной наибольшей дуги $\omega = 8$ м, высотой крепления $H_2 = 1,7$ м, толщиной крепления $s = 0,004$ м

С помощью программы ANSYS были проведены серии расчетов для оптимизации конструкции понтона с успокоителем.

В результате выявлено, что для резервуара вместимостью 5000 м^3 приемлемой являются две конструкции понтона, которые имеют следующие параметры успокоителя:

1) ширина $b = 2 \text{ м}$, длина наибольшей дуги успокоителя $\omega = 6 \text{ м}$, высота крепления $H_2 = 0,5 \text{ м}$, толщина крепления $s = 0,004 \text{ м}$;

2) шириной $b = 3 \text{ м}$, длиной наибольшей дуги $\omega = 6 \text{ м}$, высотой крепления $H_2 = 0,15 \text{ м}$, толщиной крепления $s = 0,004 \text{ м}$.

Задача определения оптимальных размеров успокоителей решалась для резервуара объемом 5000 м^3 одновременно с задачей повышения остойчивости понтонов с устройствами, повышающими остойчивость.

Была выведена зависимость восстанавливающего момента от длины успокоителя (рисунок 6).

На рисунке 6 показана зависимость для конструкции понтона со следующими параметрами успокоителя: ширина успокоителя $b = 1 \text{ м}$, высота крепления $H_2 = 0,5 \text{ м}$, толщина крепления $s = 0,004 \text{ м}$.

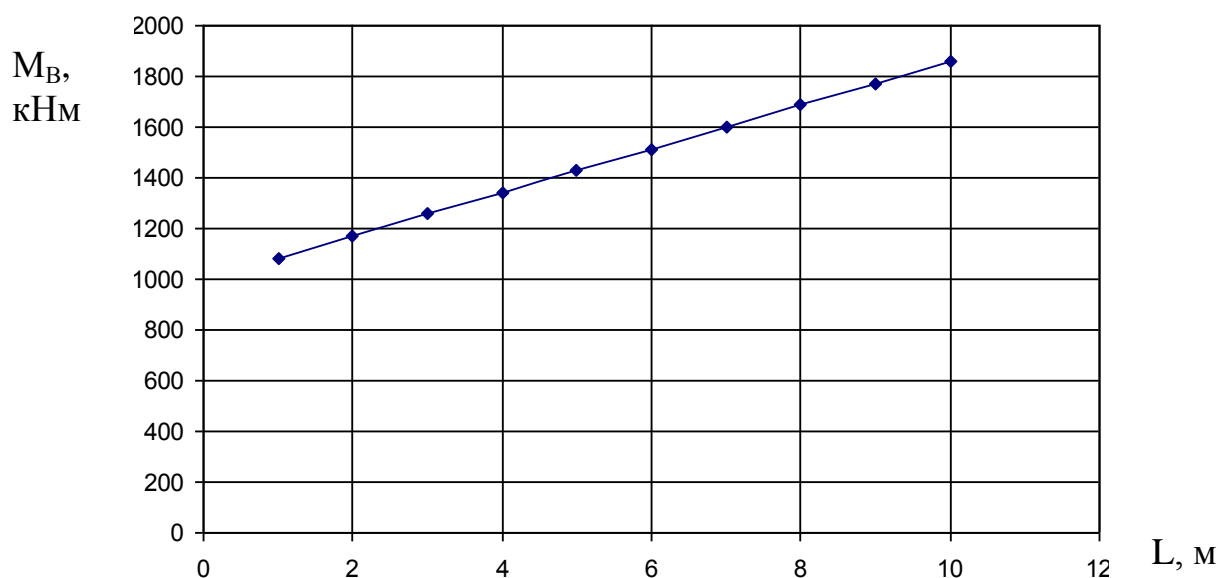


Рисунок 6. Зависимость восстанавливающего момента от длины успокоителя

Была выведена зависимость восстанавливающего момента от ширины успокоителя (рисунок 7). На рисунке 7 показана зависимость для конструкции понтона со следующими параметрами успокоителя: длина наибольшей дуги успокоителя $\omega = 6 \text{ м}$, высота крепления $H_2 = 0,5 \text{ м}$, толщина крепления $s = 0,004 \text{ м}$.

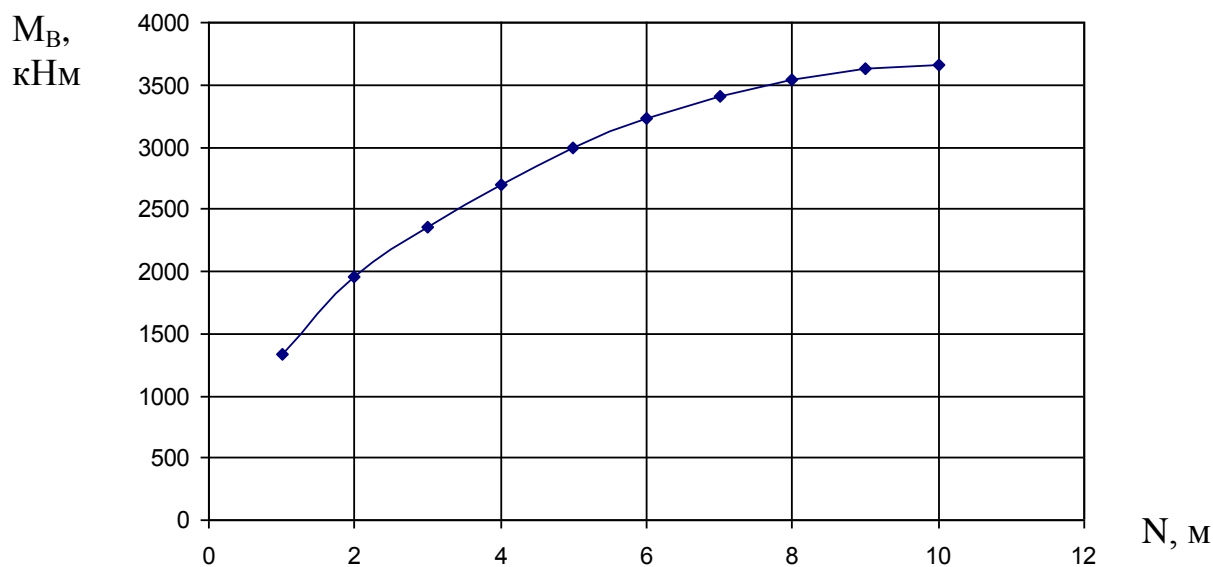


Рисунок 7. Зависимость восстанавливающего момента от ширины успокоителя

Была выведена зависимость восстанавливающего момента от высоты крепления успокоителя (рисунок 8). На рисунке 8 показана зависимость для конструкции понтона со следующими параметрами успокоителя: длина наибольшей дуги успокоителя $\omega = 6 \text{ м}$, ширина успокоителя $b = 1 \text{ м}$, толщина крепления $s = 0,004 \text{ м}$.

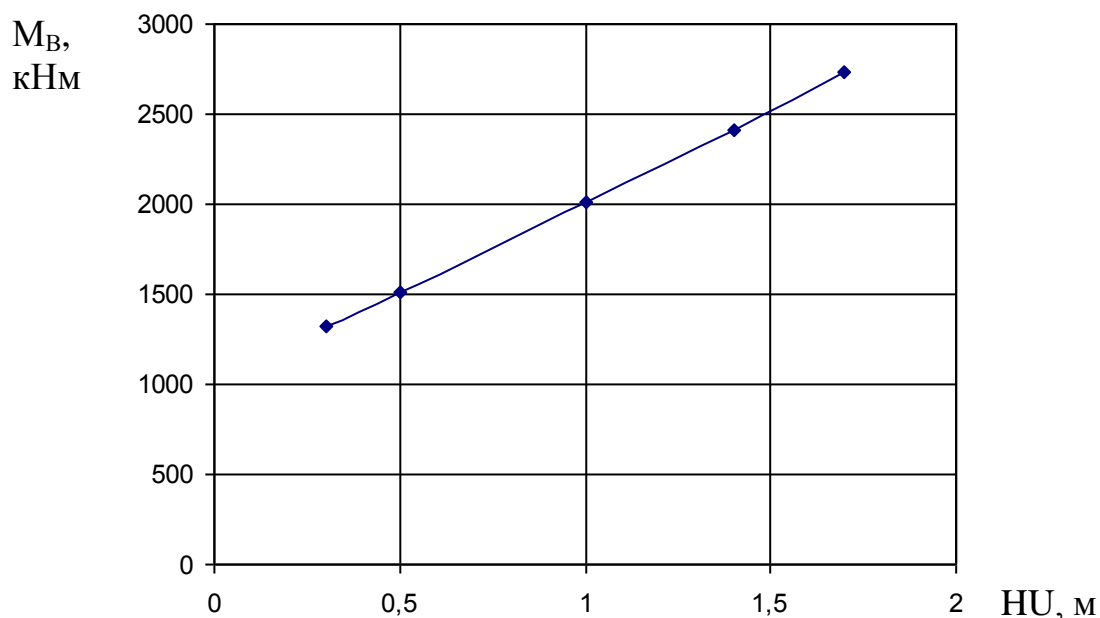


Рисунок 8. Зависимость восстанавливающего момента от высоты крепления успокоителя

Сравнивая рисунки 6, 7 и 8 можно сделать вывод о том, что восстанавливающий момент значительно увеличивается при увеличении ширины

и высоты крепления успокоителя, при увеличении длины успокоителя восстанавливающий момент увеличивается незначительно.

На рисунке 9 представлена диаграмма восстанавливающего момента: ряд 1 – понтон без успокоителей; ряд 2 – понтон с успокоителями (полезная модель); ряд 3 – понтон с успокоителями (изобретение).

При исследовании усовершенствованного типа успокоителя (полезная модель), была выведена зависимость высоты успокоителя от возникающих в конструкции напряжений, длина и ширина крепления при этом остаются величинами постоянными, равными соответственно 6 м и 1 м (рисунок 10).

Также была выведена зависимость ширины успокоителя от возникающих в конструкции напряжений, длина и высота крепления при этом остаются величинами постоянными, равными соответственно 6 м и 0,5 м (рисунок 11).

Из рисунка 11 видно, что при высоте крепления успокоителя 0,5 м и длине 6 м предпочтительнее ширина 2 м.

Аналогично в программном комплексе ANSYS были просчитаны различные варианты успокоителей, в результате было выявлено, что при высоте крепления успокоителя 0,15 м и длине 6 м предпочтительнее ширина успокоителя 3 м.

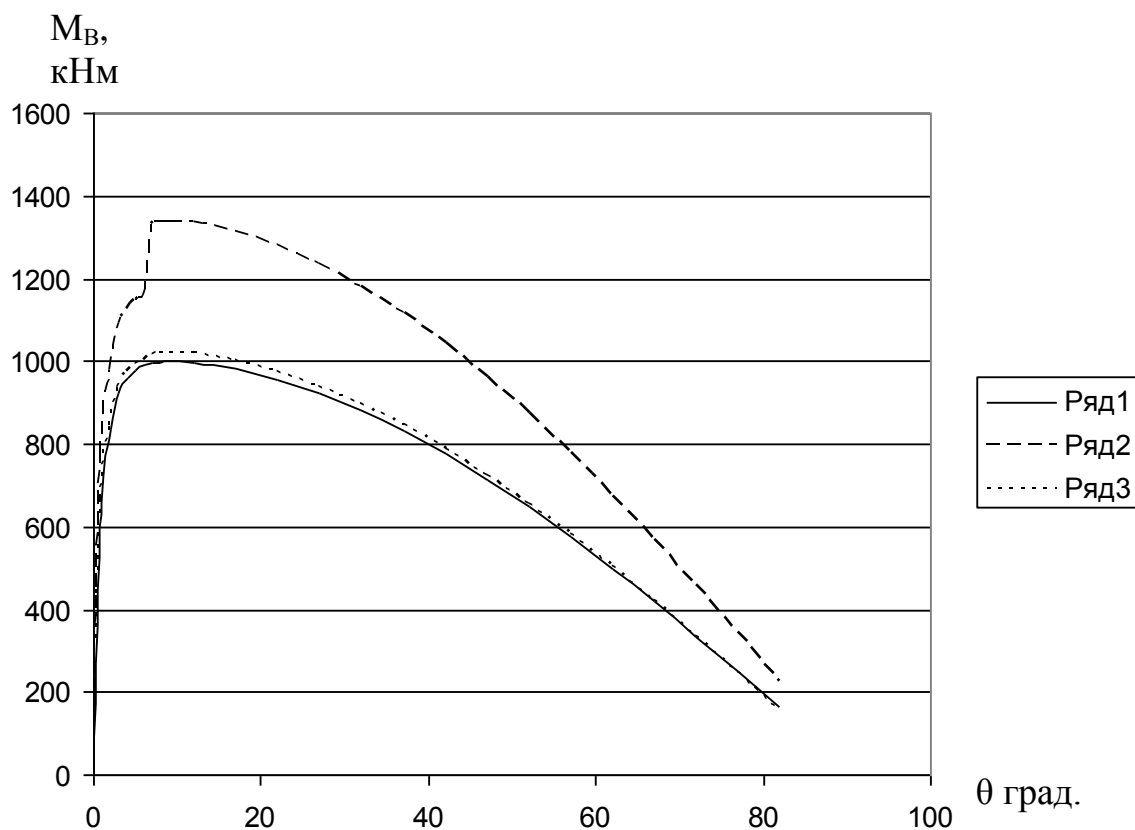


Рисунок 9. Диаграмма восстанавливающего момента

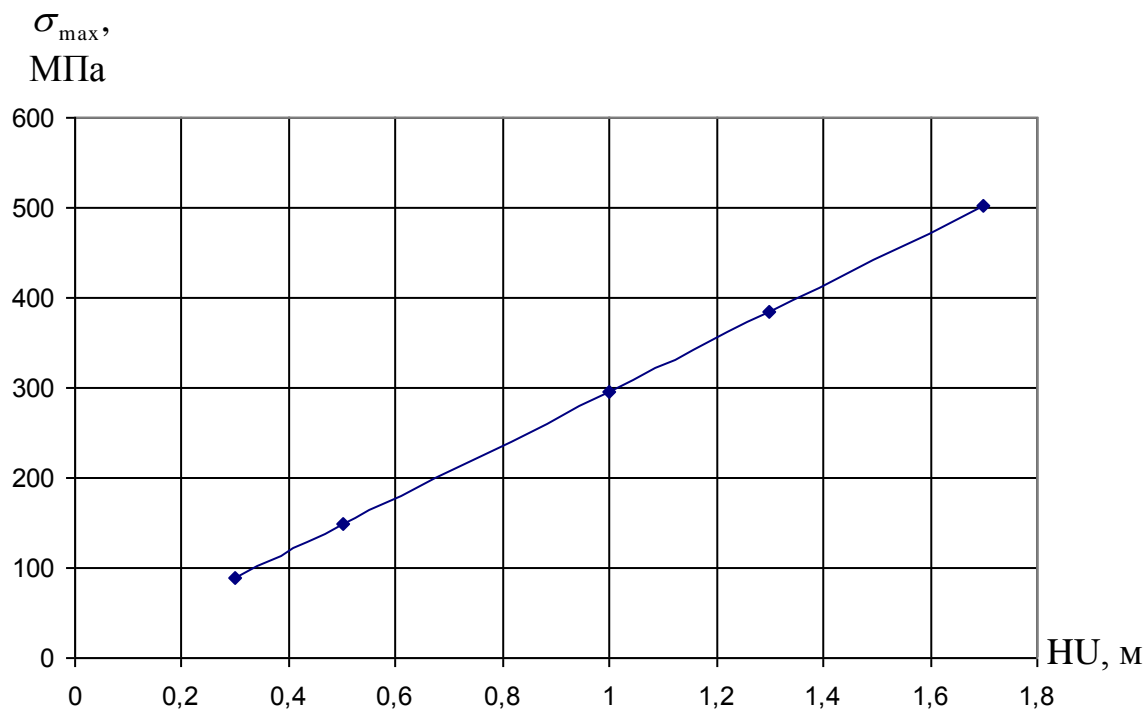


Рисунок 10. Зависимость возникающих в конструкции напряжений от высоты успокоителя

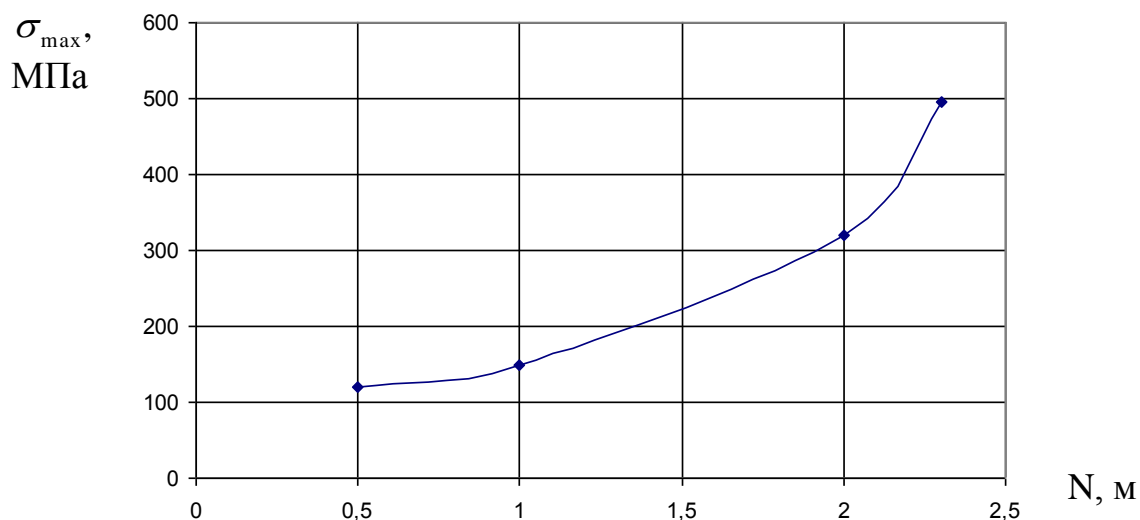


Рисунок 11. Зависимость возникающих в конструкции напряжений от ширины успокоителя

Для того чтобы выявить какой из двух вариантов успокоителей наиболее выгоден, в программе, разработанной с помощью программного комплекса Turbo Pascal, проводились вычисления, результат которых представлен на рисунке 12.

Из рисунка 12 видно, что наиболее выгодным вариантом успокоителя, выполненного из стали марки 09Г2С для резервуара 5000 м³ является успокоитель с шириной 2 м, длиной 6 м и высотой крепления 0,5 м.

Величина восстанавливающего момента понтона в резервуаре согласно полезной модели для обеспечения остойчивости в зависимости от материала и размеров понтонов и успокоителей увеличивается на 100% (рисунок 13).

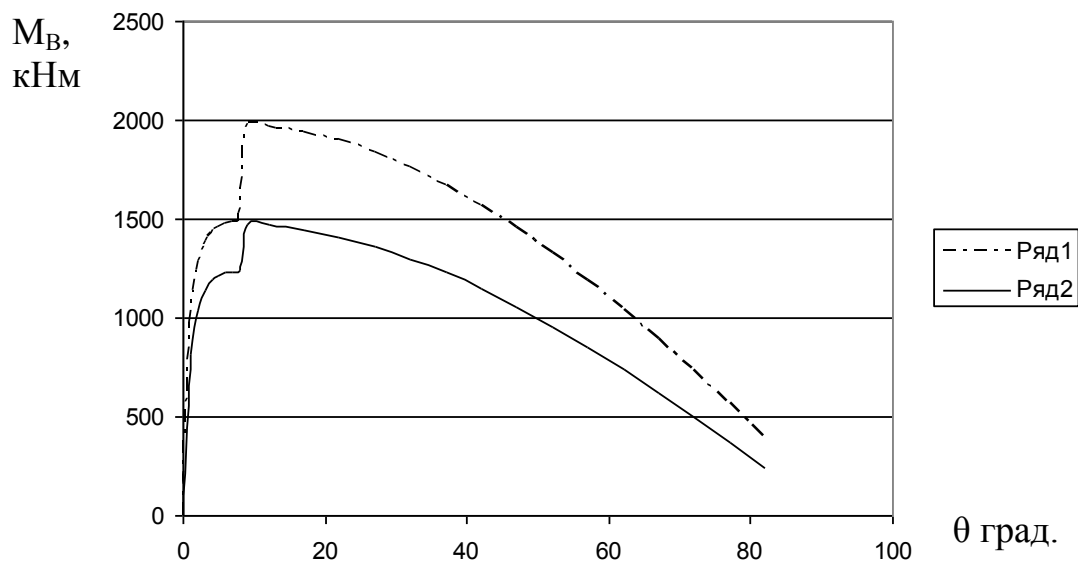


Рисунок 12. Диаграмма восстанавливающего момента: ряд1 – понтон с успокоителями с шириной 2 м, длиной 6 м и высотой крепления 0,5 м; ряд 2 – понтон с успокоителями с шириной 3 м, длиной 6 м и высотой крепления успокоителей 0,15 м

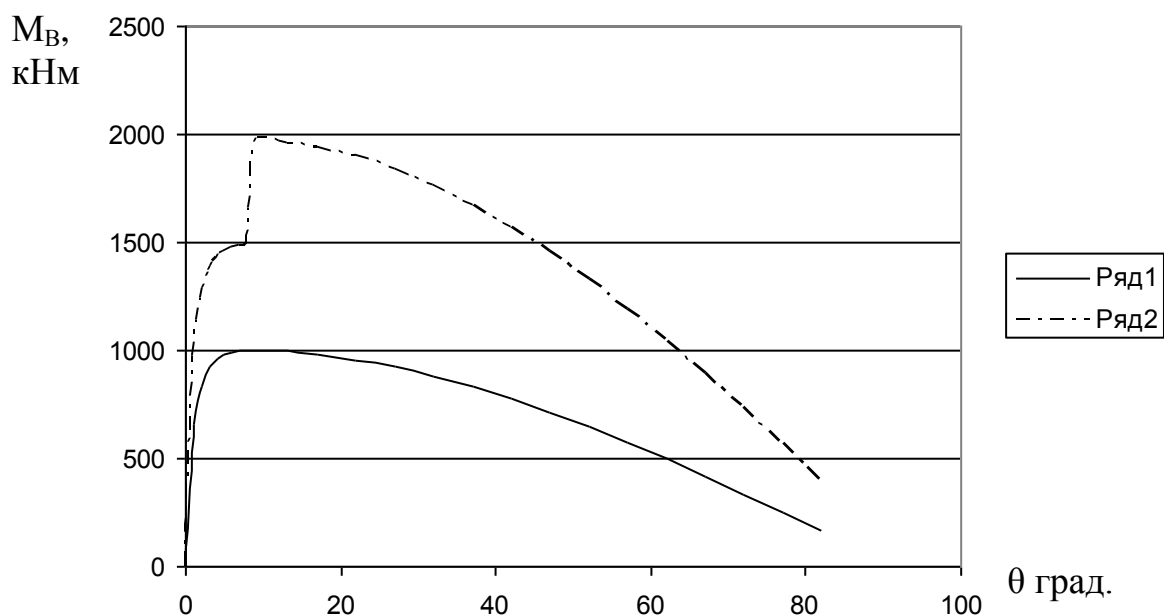


Рисунок 13. Диаграмма восстанавливающего момента: ряд 1 – понтон без успокоителей; ряд 2 – понтон с успокоителями с шириной 2 м, длиной 6 м и высотой крепления успокоителей 0,5 м

Выводы

1. Получены зависимости восстанавливающего момента от ширины, длины и высоты крепления успокоителя.
2. Восстанавливающий момент значительно увеличивается при увеличении ширины и высоты крепления успокоителя, при увеличении длины успокоителя восстанавливающий момент увеличивается незначительно.
3. Получена зависимость высоты успокоителя от возникающих в конструкции напряжений, длина и ширина крепления при этом остаются величинами постоянными.
4. Получена зависимость ширины успокоителя от возникающих в конструкции напряжений, длина и высота крепления при этом остаются величинами постоянными.
5. Величина восстанавливающего момента понтона в резервуаре согласно полезной модели для обеспечения остойчивости в зависимости от материала и размеров понтонов и успокоителей увеличивается на 100%.

Список используемых источников

1. Веревкин С.И., Ржавский Е.Л. Повышение надежности резервуаров, газгольдеров и их оборудования. М.: Недра, 1980. 284 с.
2. Борьба с потерями нефти и нефтепродуктов при их транспортировке и хранении / Абузова Ф.Ф. [и др.]. М., 1981. 243 с.
3. Волков О.М. Пожарная безопасность резервуаров с нефтепродуктами. М.: Недра, 1984. 122 с.
4. Резервуары для нефти и нефтепродуктов / Мустафин Ф.М. [и др.]. СПб.: Недра, 2010. Т. 1. 480 с.
5. Плавающее покрытие для резервуара / Мустафин Ф.М., Лукьянова И.Э., Рябинин В.П.: пат. 2302365, Рос. Федерация. №2005140873/12; заявл. 26.12.05; опубл.10.07.07. Бюл. №19. 7 с.
6. Бабин Л.А., Каравайченко М.Г., Жданов Р.А. Основы теории и расчет плавающей крыши резервуара: учеб. пособие. Уфа: изд-во УНИ, 1990. 88 с.
7. Плавающее покрытие для резервуара / Мустафин Ф.М., Лукьянова И.Э., Лукьянова В.А.: пат. на полезную модель 111118, Рос. Федерация. № 2011122968/12; заявл. 07.06.11; опубл. 10.12.11. Бюл. №34. 2 с.

References

1. Veryovkin S.I., Rzhavskij E.L. Povyshenie nadyozhnosti rezervuarov, gazgol'derov i ih oborudovaniya. M.: Nedra, 1980. 284 s. [in russian].
2. Bor'ba s poteryami nefiti i nefteproduktov pri ih transportirovke I hranenii / Abuzova F.F. [i dr.]. M., 1981. 243 s. [in russian].

3. Volkov O.M. Pozharnaya bezopasnost' rezervuarov s nefteproduktami. M.: Nedra, 1984. 122 s. [in russian].
4. Rezervuary dlya nefti i nefteproduktov / Mustafin F.M. [i dr.]. SPb.: Nedra, 2010. T. 1. 480 s. [in russian].
5. Plavajushhee pokrytie dlya rezervuara / Mustafin F.M., Luk'yanova I.E., Ryabinin V.P.: pat. 2302365, Ros. Federatciya. №2005140873/12; zayavl. 26.12.05; opubl.10.07.07. Byul. №19. 7 s. [in russian].
6. Babin L.A., Karavajchenko M.G., Zhdanov R.A. Osnovy teoryi i raschet plavajushhey kryshi rezervuara: uchebnoe posobie. Ufa: Izd-vo UNI, 1990. 88 s. [in russian].
7. Plavajushhee pokrytie dlya rezervuara / Mustafin F.M., Luk'yanova I.E., Luk'yanova V.A.: pat. na poleznuju model 111118 Ros. Federatciya. № 2011122968/12; zayavl. 07.06.11; opubl. 10.12.11. Byul. №34. 2 s. [in russian].

Сведения об авторах

Information about authors

Лукьянова В.А., аспирант кафедры «Технологические машины и оборудование», ФГБОУ ВПО УГНТУ, г. Уфа, Российская Федерация

V.A. Lukyanova, Post-Graduate Student of the Chair of “Technological Machines and Equipment” FSBEI of HPE USPTU, Ufa, the Russian Federation

e-mail: ViolettaL89@mail.ru

Кузеев И.Р., д-р техн. наук, проф., зав. кафедрой «Технологические машины и оборудование», ФГБОУ ВПО УГНТУ, г. Уфа, Российская Федерация

I.R. Kuzeev, Doctor of Technical Sciences, Professor, Head the Chair of “Technological Machines and Equipment” FSBEI of HPE USPTU, Ufa, the Russian Federation

e-mail: kuzeev2007@rambler.ru