

Библиографический список

1. Сторожев М.В., Попов Е.А. Теория обработки металлов давлением. – М.: Машиностроение, 1971. 423 с.
2. Губкин С.И. Теория обработки металлов давлением. – М.: Metallurgizdat, 1947. 532 с.
3. Головин А.Ф. Прокатка. – М.: Metallurgizdat, 1933. 236 с.
4. Зибель Э. Обработка металлов в пластическом состоянии. – М.: ОНТИ, 1934.
5. Sobbe C. Beiträge zur Technologie des Schmiedepressens // Werkstattstechnik, 1908, No 9, s. 457-471.
6. Березкин В.Г. Кузнечная вытяжка под плоскими бойками // Сборник «Машины и технологии обработки металлов давлением». – М.: Машгиз, 1955.
7. Соломонов К.Н., Костарев И.В., Абашкин В.П. Моделирование процессов объемной штамповки иковки плоских заготовок. – М.: Издательский дом МИСиС, 2008.
8. Надаи А. Пластичность и разрушение твердых тел. – М.: Иностранная литература, 1954. 647 с.
9. Ильюшин А.А. Пластичность. – М.: Гостехиздат, 1948. 376 с.
10. Тарновский И.Я., Поздеев А.А., Ганаго О.А. Деформации и усилия при обработке металлов давлением. – М.: Машгиз, 1959.
11. Соломонов К.Н., Свирин В.В. Анализ кинематических схем течения металла с помощью виртуального эксперимента // Технология легких сплавов, 2010, № 3, С. 58-64.



УДК 658.52.011.56

А.К. Иванюк, Ю.П. Сердобинцев
ФГБОУ ВО «Волгоградский государственный
технический университет»
г. Волгоград, Россия
E-mail: ivanyuk_aleksei@mail.ru
Дата поступления 14.05.2016

В авторской редакции

РАСЧЕТ И КОРРЕКТИРОВКА КОЭФФИЦИЕНТА ПРОДОЛЬНОГО ИЗГИБА ТРУБ, ИСПЫТЫВАЮЩИХ ВНЕШНЕЕ СЖАТИЕ

Аннотация

Произведен расчет и оценка полученных значений минимальной толщины стен труб, испытывающих внешнее сжатие. В ходе исследования выявлены расхождения значений из-за неполной исследованности влияния геометрии трубы на коэффициент продольного изгиба. Рассчитаны и проанализированы погрешности, с помощью современных САД систем получены критические значения для дальнейшей корректировки данного коэффициента. Разработаны две программы для автоматизированного расчета и произведена корректировка исследуемого коэффициента. В результате получены уменьшенные значения погрешности расчетов, что в дальнейшем способствует более точному расчету труб, испытывающих внешнее сжатие.

Ключевые слова: коэффициент продольного изгиба труб, автоматизированный расчет деформаций, Autodesk Inventor, критическое давление.

Введение

В данной статье рассматривается вопрос о повышении точности расчета минимальной толщины стенок, испытывающих заданное внешнее давление. Решение достигается анализом и корректировкой коэффициента продольного изгиба труб. Так

как определение толщины стенок трубы является важным вопросом в разных отраслях, то авторам видится целесообразным повышением точности в расчетах труб.

Исследования проводились для труб, используемых для создания подводных технических средств, т.е. небольшого размера,

до 1 метра, и испытывающих объемное гидростатическое сжатие.

При анализе известной таблицы значений коэффициента продольного изгиба было выявлено, что значения для труб малых размеров (до 1 метра в длину и до 200 мм в диаметре) значения отсутствуют и при использовании ближайшего коэффициента дают большую погрешность.

После проведения ряда экспериментов определены зависимости геометрии и результирующих расчетных значений. Полученные результаты показали уменьшение погрешности, что позволило существенно доработать созданную авторами автоматизированную расчетную программу.

Основная часть

В первую очередь проанализируем существующий метод расчета на прочность труб испытывающих объемное сжатие [1]. Для анализа использовалась следующая основная формула:

$$\delta_{min} = \frac{(p_H - p_B)d_H}{2[\sigma_y]} ; \quad (1)$$

где p_H – внешнее давление,

p_B – внутреннее давление,

d_H – наружный диаметр стенки,

$[\sigma_y]$ – допустимое напряжение, учитывающее устойчивость стенок трубы к продольному изгибу $[\sigma_y] = \varphi[\sigma]$,

$[\sigma]$ – допустимое напряжение на сжатие материала оболочки,

φ – коэффициент продольного изгиба, зависящий от гибкости трубы

$$\lambda = \mu l / i,$$

μ – коэффициент Пуассона,

l – длина трубы, i – момент инерции поперечного сечения трубы [2]

Провести данный расчет возможно не для всех материалов. Проанализировав существующую литературу, выяснилось, что зависимость $\varphi = f(\lambda)$ является известной только для небольшой группы материалов, в частности для металлов и сплавов. На рисунке приведена известная таблица таких зависимостей (Рисунок 1) [3].

ДАННЫЕ К РАСЧЕТАМ НА УСТОЙЧИВОСТЬ

Коэффициенты продольного изгиба φ (увеличенные в 1000 раз)

Материал	Г и б к о с т ь л														
	10	20	30	40	50	60	70	80	90	100	110	120	130	140	150
АМг	973	945	917	870	770	685	603	530	465	415	365	327	296	265	235
АМг6	973	946	890	770	640	542	458	387	322	280	243	213	183	162	148
АВТ1	996	992	900	780	660	557	463	387	312	252	210	175	150	129	113
Д16Т	999	998	835	700	568	455	353	269	212	172	142	119	101	87	76
Ст2, Ст3 Ст4	990	970	950	920	890	860	810	750	690	600	520	450	400	360	320
Ст5	980	950	930	900	840	800	740	660	590	500	430	380	320	280	270
НЛ-2 15ХСНД	980	950	930	900	830	780	710	630	540	450	390	330	290	260	230
СЧ12, 15 СЧ18, 21	970	910	810	690	570	440	340	260	200	160	-	-	-	-	-
СЧ24 СЧ28	950	870	750	600	430	320	230	180	140	120	-	-	-	-	-
Сосна	990	970	930	870	800	710	610	490	380	310	250	220	180	160	140

Рисунок 1. Данные к расчетам на устойчивость

Так исходными данными для наших расчетов являлись:

Длина трубы - 40см, материал - алюминий 6061, μ - 0.33, σ - 275 МПа, начальный коэффициент продольного изгиба φ - 0.973, внутренний диаметр d_B - 120 мм.

С помощью САД программы Autodesk Inventor были найдены критические значения давлений для труб с определенной толщиной стенки [4]. По напряжениям фон Мизеса и коэффициенту запаса прочности данное значение было подобрано максимально точно [5]. Результаты представлены на рисунках 2 и 3. Данные значения были занесены в разработанную авторами автоматизированную программу для расчета толщины стен, для проверки адекватности рассчитанных значений, установлении причины расхождений, дальнейшей корректировки для уменьшения расчетной погрешности. Интерфейс программы представлен на рисунке 4.

Зная критическое давление при которой труба с заданной толщиной стенки начинает разрушаться, можно точно отследить погрешность расчетов по выше описанной формуле и по разработанной на ее базе программе [6]. Так было проведено 7 виртуальных экспериментов, данные которых занесены в таблицу 1. Очень точно прослеживается логическая связь – при увеличении давления, необходима большая толщина стенки [7].

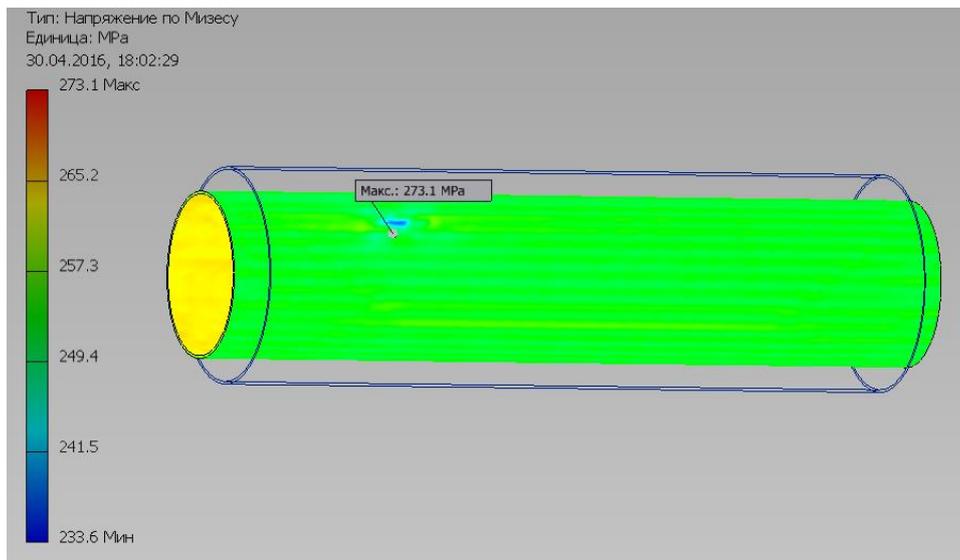


Рисунок 2. Виртуальное исследование, напряжение по Мизесу

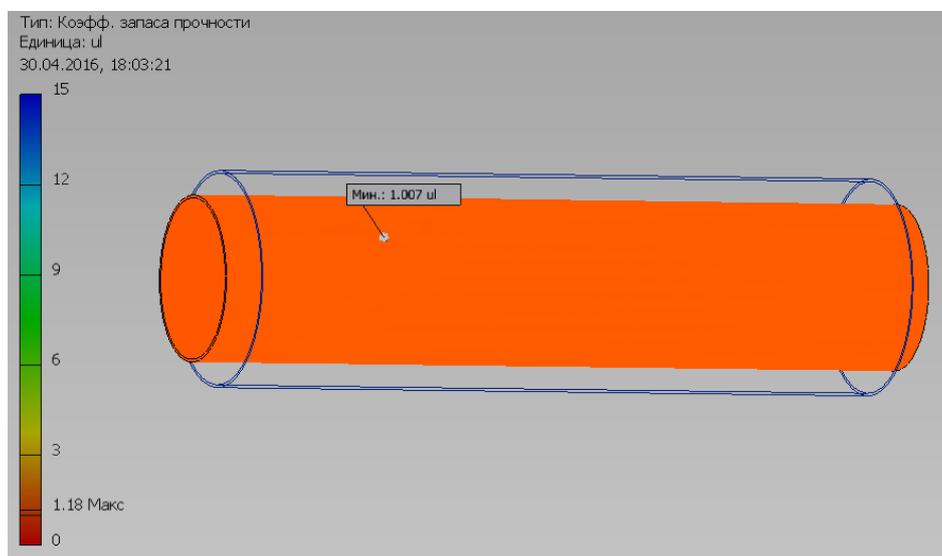


Рисунок 3. Виртуальное исследование, коэффициент запаса прочности

Автоматизированный расчет толщины стенки оболочек испытывающих гидростатическое сжатие

Расчет толщины стенки трубы:		Расчет толщины стенки сферы:	
Материал: <input type="text" value="Алюминий 6061"/>			
Давление наружное, МПа	<input type="text" value="6.4"/>	Давление наружное, МПа	<input type="text" value="6.4"/>
Давление внутреннее, МПа	<input type="text" value="0.1"/>	Давление внутреннее, МПа	<input type="text" value="0.1"/>
Сигма, предел прочности, МПа	<input type="text" value="275"/>	Сигма, предел прочности, МПа	<input type="text" value="275"/>
Длина трубы, м	<input type="text" value="0.4"/>	Диаметр наружный, м	<input type="text" value="0.123"/>
Диаметр начальный внутр, м	<input type="text" value="0.12"/>	Мин. толщина стенки, мм	<input type="text" value="0.7045"/>
μ , коэф. Пуассона	<input type="text" value="0.33"/>	<input type="button" value="Расчет стенки сферы"/>	
Диаметр наружный, м	<input type="text" value="0.123"/>		
Расчитать гибкость трубы	<input type="text" value="3.073"/>	<input type="button" value="Открыть таблицу с коэф. продольного изгиба"/>	
Коэффициент продольного изгиба	<input type="text" value="0.973"/>		
<input type="button" value="Расчет стенки трубы"/>	Мин. толщина стенки, мм		
	<input type="text" value="1.448"/>		
<input type="button" value="Выход"/>			

Рисунок 4. Автоматизированная программа для расчета толщины стенок оболочек, испытывающих гидростатическое сжатие

Таблица экспериментальных значений

	Расчетная программа			CAD система		
	Критическое давление, МПа	Расчётная толщина стенки, мм	Идеализированный коэффициент продольного изгиба	Критическое давление, МПа	Диаметр наружный, мм	Толщина стенки, мм
Эксперимент 1	6.4	1.448	0.939	6.4	123	1.5
Эксперимент 2	20	4.834	0.94	20	130	5
Эксперимент 3	35	9.13	0.888	35	140	10
Эксперимент 4	44.8	12.53	0.812	44.8	150	15
Эксперимент 5	59	17.61	0.856	59	160	20
Эксперимент 6	67.5	21.41	0.833	67.5	170	25
Эксперимент 7	75	25.19	0.817	75	180	30

По разработанной программе расчетные значения с увеличением критического давления становятся более отличными от полученных посредством CAD системы. То есть видно, что для 7 эксперимента толщина стенки должна выходить в 30 мм, но по рассчитанной программе она составляет 25,19 мм. В чем же здесь ошибка? Ошибки в формуле нет, просто не учтено изменение самого коэффициента продольного изгиба для данных малых величин гибкости трубы. Следовательно, появляется необходимость его корректировки, что можно сделать по созданной авторами программе [8].

В ходе исследований выявлена и рассчитана погрешность, а также обоснована необходимость корректировки коэффициента продольного изгиба для повышения точности расчетов. Расчет погрешности представлен в таблице 2.

Таблица 2

Соотношение полученной погрешности от изменения толщины стенки трубы

Изменение толщины стенки, мм	Погрешность расчета, %	Гибкость трубы
0.3	3.47	3.073
1	3.32	2.984
2	8.7	2.863
3	16.47	2.749
4	11.95	2.64
5	14.36	2.537
6	16.03	2.441

На рисунке 5 приведены два графика – расчетное значение и заданное, будем считать его за идеальное, к которому мы должны стремиться при расчетах [9].

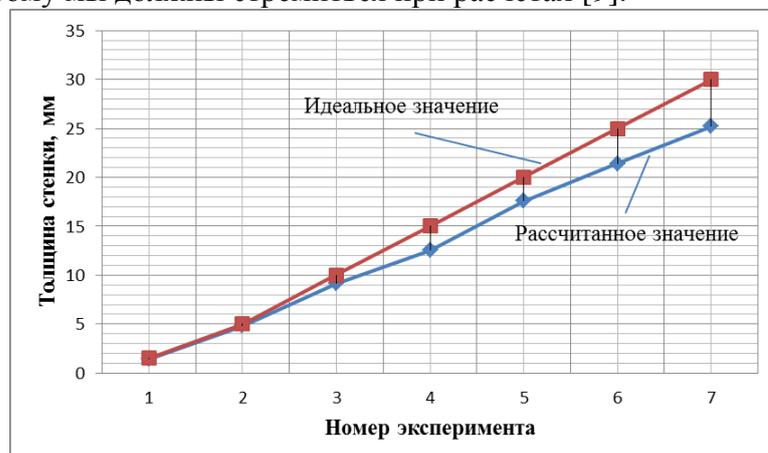


Рисунок 5. Графики расхождений значений толщины стенок

После анализа и расчета для конкретных значений была получена таблица 3 зависимости гибкости трубы и скорректированного коэффициента изгиба, обеспечивающего приближение расчетных значений к идеальным.

Таблица 3
Соотношение скорректированного коэффициента продольного изгиба и гибкости трубы

Гибкость трубы	Скорректированный коэффициент продольного изгиба
3.073	0.939
2.984	0.94
2.863	0.888
2.749	0.812
2.64	0.856
2.537	0.833
2.441	0.817

По данной таблице был построен график и произведена аппроксимация. Полученные данные представлены на рисунке 6.

Из рисунка 6 видно, что при уменьшении гибкости трубы коэффициент продольного изгиба уменьшается. Коэффициент достоверности выведенной формулы достаточно велик – 0.9988. Это означает, что мы можем в дальнейшем использовать данную расчетную формулу для корректировки и нахождения значений толщин труб с разной геометрией и находящейся под разным давлением.

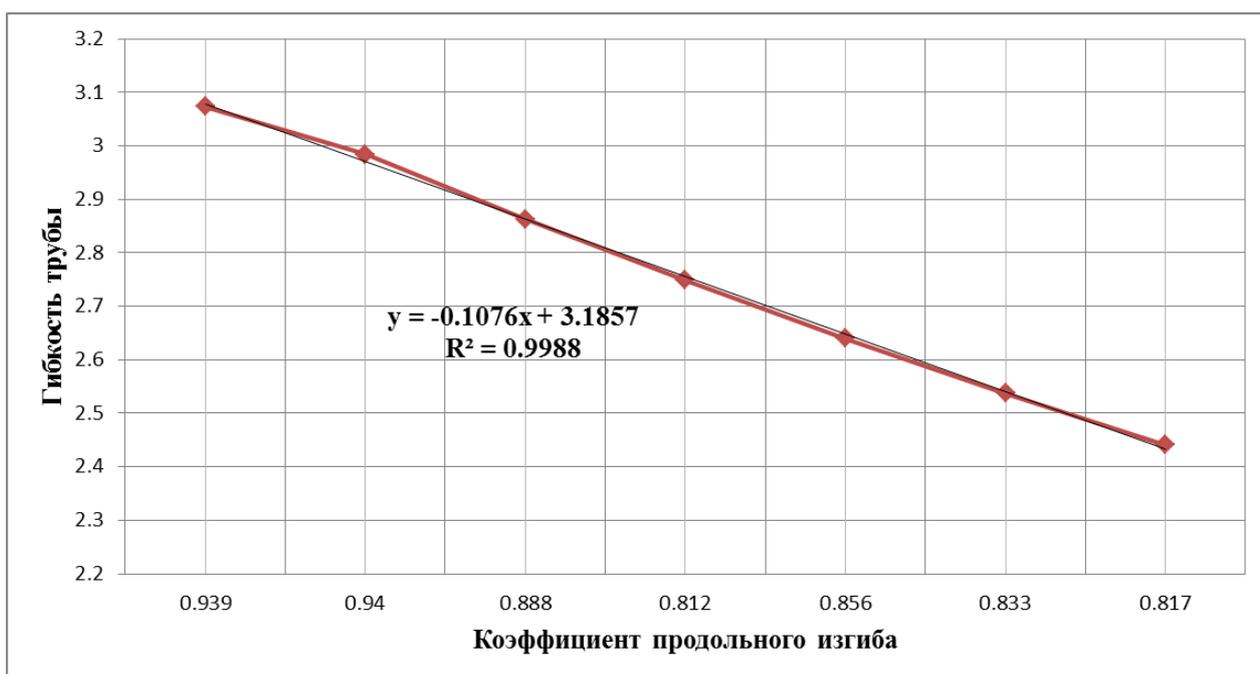


Рисунок 6. Аппроксимация функции зависимости гибкости трубы и коэффициента продольного изгиба

Заключение

Проанализирована существующая методика определения толщины стенки герметичных оболочек (приборов связи), испытывающих гидростатическое давление.

Разработаны объемные модели посредством компьютерного моделирования.

Используя различные модификации геометрических размеров, были проведены виртуальные испытания, для определения максимального значения давления, которое может выдержать заданная труба из конкретного материала [10].

Разработана автоматизированная программа для расчета толщины стен оболочек

находящихся под гидростатическим давлением. Программа была написана по исследованной методике и учитывает все физико-химические параметры исследуемого объекта. Такие как предел прочности, геометрия трубы, коэффициент μ , и др.

Решена задача проверки точности расчетов по разработанной программе. При проведении вычислений была обнаружена нехватка известных значений зависимости коэффициента продольного изгиба и гибкости трубы.

Была предложена идея корректировки найденных экспериментальным путем коэффициентов, для уменьшения погрешностей расчета.

По результатам анализа и вычислений использование данной аппроксимированной функции позволяет уменьшить расчетную погрешность, при этом обеспечивая достаточный запас прочности трубе испытывающей гидростатическое напряжение.

Библиографический список

1. Иванюк, А.К. Проектирование автоматизированной системы технологической подготовки производства корпусных деталей прибора связи [Электронный ресурс] / Иванюк А.К., Барабанов В.Г. // 65-я международная студенческая научно-техническая конференция, посвящённая 85-летию со дня основания вуза / Астраханский гос. техн. ун-т. - Астрахань, 2015. - 1 электрон. опт. диск (CD-ROM).
2. Капустин, Н.М. Автоматизация машиностроения / Н.М. Капустин, Н.П. Дьяконова, П.М. Кузнецов. Под ред. Н.М. Капустина. – М.: Высшая школа, 2007. – 224 с.
3. Иванюк А.К., Барабанов В.Г. Разработка новых подходов в методологии проектирования АСТПП // Сборник тезисов докладов по внутривузовскому смотрю-конкурсу научных конструкторских и технологических работ студентов / ВолгГТУ, Совет СНТО. - Волгоград, 2015. - С. 23.
4. Сердобинцев, Ю.П. Повышение качества функционирования технологического оборудования: монография / Ю.П. Сердобинцев, О.В. Бурлаченко, А.Г. Схиртладзе; ВолгГТУ. – Старый Оскол: ТНТ, 2013. – 410 с.
5. Иванюк, А.К. Синтез структурной схемы проектирования АСТПП на примере корпусных деталей/Иванюк А.К., Сердобинцев Ю.П. // Всероссийская научная конференция по проблемам управления в технических системах (ПУТС - 2015). Материалы конференции. Санкт-Петербург. 28-30 октября 2015г. Спб.: Изд-во СПбГЭТУ "ЛЭТИ", 2015. - С. 433-437.
6. Капустин, Н.М., Кузнецов П.М. Формирование виртуальной производственной системы для выпуска изделий в распределенных системах /Н. М. Капустин, П.М. Кузнецов //Машиностроитель. 2002. № 6. С. 42-46.
7. Колесов, И.М. Основы технологии машиностроения: Учебник для машиностроительных специальностей вузов/ И. М. Колесов. - М.: Высшая школа, 1999. -591 с.
8. Иванюк, А.К. К вопросу об интеграции САМ систем в АСТПП корпусных деталей прибора связи / Иванюк А.К., Барабанов В.Г. // Евразийский союз учёных. - 2014. - № 8 (часть 8). - С. 53-56.
9. Зильбербург Л.И., Молочник В.И., Яблочников Е.И. Реинжиниринг и автоматизация технологической подготовки производства в машиностроении. СПб: "Политехника", 2004. – 152 с.
10. Яблочников Е.И. Методологические основы построения АСТПП. СПб: СПбГУ ИТМО, 2005. – 84 с.