



КОНСТРУКТИВНЫЙ РАСЧЕТ КОРПУСА ВАКУУМНЫХ КАМЕР ДЛЯ ОБРАБОТКИ ДЕРЕВЯННЫХ МАТЕРИАЛОВ

Славчо Соколовски – Ненчо Делийски – Ладислав Дзуренда

Abstract

Method for constructive dimensioning of the body of chambers for wood treatment under vacuum have been suggested.

Under scientific leadership and with determined participation of the authors during the last decades few types of constructive documentation of new effective equipment for treatment wood materials under vacuum with a different purpose are created. Some such machines are developed and are in continuous use in various factories.

Key words: *vacuum chamber, constructive dimensioning, stability, wood treatment*

1. ВВЕДЕНИЕ

Вакуумные камеры предназначены для создания определенных условий для проведения различных технологических процессов при давлении ниже атмосферного. Они используются также для осуществления технологических операций, требующих отсутствие контакта с окружающей средой.

К вакуумным камерам предъявляются следующие основные требования:

- обеспечение необходимого для технологического процесса вакуума обрабатываемой среды в камере;
- удержание достигнутого вакуума в течение заданного времени.

В деревообрабатывающей промышленности вакуумные камеры используются в основном для сушки или пропитки (в т.ч. импрегнирования, модифицирования и стерилизации) деревянных материалов. Эти процессы протекают в обрабатываемой флюидной среде с низким или средним вакуумом ($p = 10 \div 20$ кПа).

Основными конструктивными элементами вакуумных камер являются корпус, дно, крышка, флянцы и др.

В преобладающих случаях их применения на вакуумные камеры снаружи действует только атмосферное давление $p_{\text{АТМ}}$. Оно рассматривается как равномерно распределенное и равное $p_{\text{АТМ}} = 10^5$ Па. Это давление сравнительно невелико и поэтому расчетные толщины стен вакуумных камер получаются относительно малы. На практике эти толщины принимаются больше расчетных, так как расчетное условие не допустит их разрушения является недостаточным. В действительности, определяющим является условие, чтобы деформации камеры не превышали допустимые значения. Это требование особенно важно для вакуумных камер с металлическими

уплотнителями между флянцами, при которых недопустимы деформации с тем, чтобы не возникали утечки флюида из камеры в окружающее пространство.

В зависимости от их конструкции вакуумные камеры бывают цилиндрическими или прямоугольными. Чаще используются цилиндрические горизонтальные камеры. Их форма наиболее технологична для производства и рациональна по отношению к опользотворению материалов. Их недостаток заключается в том, что возникают дополнительные огибающие напряжения от веса самой камеры и от ее содержимого.

Прямоугольные камеры используются, как правило, для обработки деревянных материалов меньшей длины. Их преимущество заключается в более полном использовании рабочего объема вследствие его лучшего заполнения материалами.

Целью настоящей работы является составление методики для конструктивного расчета корпуса вакуумных камер.

2. РАСЧЕТ КОРПУСА ЦИЛИНДРИЧЕСКОЙ ФОРМЫ НА ПРОЧНОСТЬ И УСТОЙЧИВОСТЬ

Корпуса вакуумных камер должны выдерживать атмосферное давление без разрушения или потери устойчивости. Для большей надежности стены камер укрепляются изнутри или снаружи ребрами из П-образного металлического профиля. Цилиндрический корпус камеры изготавливается из отдельных листов жести, которые после их предварительного огибания свариваются поперечно и продольно до получения желаемой длины (рис.1). Рекомендуется продольные сварочные швы двух соседних листов отодвигать друг от друга на расстояние, равное минимум 300 мм.

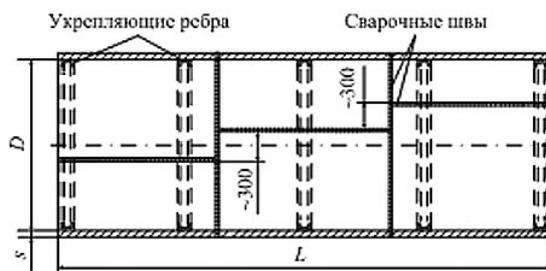


Рис. 1 Конструкция цилиндрического корпуса вакуумной камеры

Толщина стены s камеры, рассматриваемой как тонкостенный цилиндр, удовлетворяющий условию $s/D < 0,05$ (D – диаметр камеры) определяется по уравнению [1, 6]

$$s = \frac{p_{\text{АТМ}} D}{2[\sigma]} + c, \quad (1)$$

где $p_{\text{АТМ}}$ – атмосферное давление, Па. Обычно принимается $p_{\text{АТМ}} = 10^5$ Па ;

D – внутренний диаметр камеры, м;

$[\sigma]$ – допустимое напряжение для материала корпуса при соответствующей рабочей температуре, Па. Оно определяется из табл.1;

c – прибавка на коррозию и на агрессивность обрабатываемой среды в камере, м ($c = 0,001 \div 0,003$ м).

При больших диаметрах ($D > 1,5$ m) вакуумных камер толщину стены s необходимо определить из условия устойчивости [1, 6]

$$s = 1,25 \cdot D \left(\frac{p_{\text{АТМ}}}{E} \cdot \frac{L}{D} \right)^{0,4} + c, \quad (2)$$

где L – длина цилиндрического корпуса камеры, m;

E – модуль линейной деформации материала корпуса при соответствующей температуре согласно рис.2, Pa [1].

Таблица 1 Зависимость допустимого напряжения $[\sigma]$ в уравнении (1) от температуры при расчете цилиндрического корпуса вакуумных камер [4]

Температура, °C	Допустимое напряжение $[\sigma]$, МПа							
	Углеродистые и низколегированные стали				Теплоустойчивые и кислотнoустойчивые стали			
	Ст 3	10	20	09Г2С 16ГС	12ХМ 12МХ	15ХМ	Х5М	Х18Н9Т Х18Н12Т Х17Н13М3Т Х17Н13М2Т
20	140	130	147	170	147	155	146	146
100	134	125	142	160	146	153	141	139
200	126	118	136	148	145	152	134	129
300	108	100	119	134	141	147	120	120
400	88	77	92	110	132	137	105	111
425	76							
475		39	46	56				
500					96	103	79	104

На практике толщина стен вакуумных камер выбирается не только из расчета на прочность, но и из технологических соображений, конструктивных решений и т.д. В табл.2 даны рекомендуемые толщины стен корпусов вакуумных камер [1].

В целях ускоренного определения толщины стены s , с использованием уравнения (1) нами разработаны диаграммы, которые показаны на рис.3.

Следует иметь в виду, что в вакуумных камерах, которые нагружены внешним давлением, иногда без видимых причин возникают большие деформации, которые могут вызвать разрушение. Эти деформации аналогичны деформациям, которые

возникают при продольном изгибе прутьев. В таких случаях цилиндрический корпус камеры может потерять устойчивость.

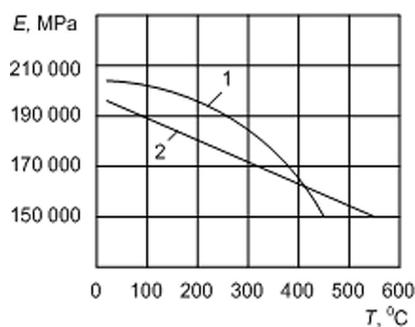


Рис. 2 Зависимость модуля E от температуры T :
1 – углеродистые стали
2 – легированные стали

Таблица 2 Рекомендуемые толщины стен цилиндрических корпусов камер

	Диаметр цилиндрического корпуса D , m				
	0,8	1,2	1,6	2,0	2,4
Толщина стен s , m	0,0045	0,006	0,008	0,010	0,012

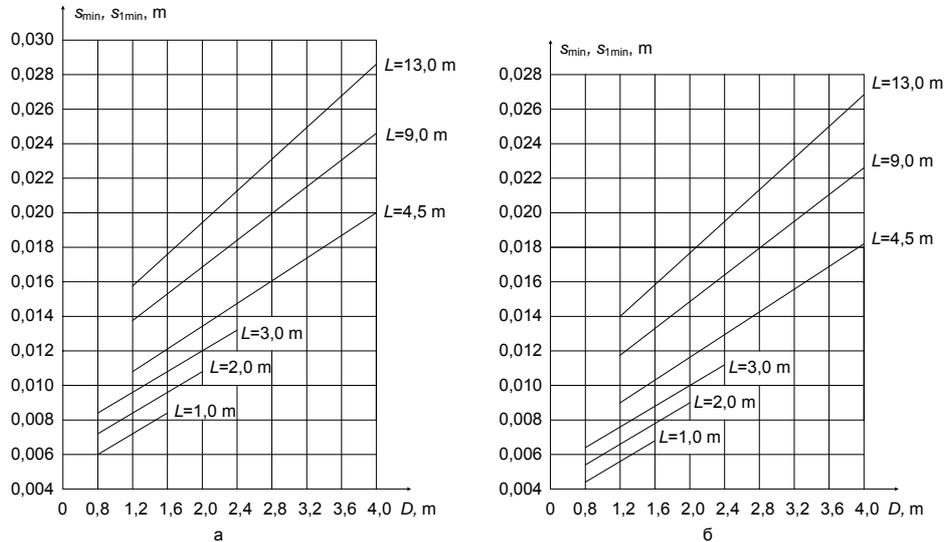


Рис. 3 Изменение толщины стены s цилиндрического корпуса вакуумной камеры в зависимости от его диаметра D и длины L при температурах до $200\text{ }^{\circ}\text{C}$
 а) углеродистая сталь; б) легированная сталь

При расчете камер необходимо учитывать геометрическую форму и размеры цилиндрического корпуса, а также физико-механические свойства его материала. При проверочном расчете корпуса должно удовлетворяться следующее условие:

$$[p] \geq p_{\text{АТМ}}, \quad (3)$$

где $[p]$ – допустимое внешнее давление, которое корпус может выдержать, Ра.

Допустимое внешнее давление $[p]$ в Ра определяется по уравнению [3, 5]

$$[p] = \frac{[p]_{\text{ПР}}}{\sqrt{1 + ([p]_{\text{ПР}} / [p]_{\text{УСТ}})^2}}, \quad (4)$$

где $[p]_{\text{ПР}}$ – допустимое давление из условия прочности, Ра;

$[p]_{\text{УСТ}}$ – допустимое давление из условия устойчивости на границе упругости, Ра.

Допустимое давление $[p]_{\text{ПР}}$ определяется по уравнению [3, 5]

$$[p]_{\text{ПР}} = \frac{2[\sigma](s-c)}{D + (s-c)}, \quad (5)$$

где $[\sigma]$ – допустимое напряжение для материала при соответствующей рабочей температуре, Ра (табл. 1).

Допустимое давление $[p]_{уст}$ определяется по уравнению [3, 5]

$$[p]_{уст} = \frac{18E}{n_{уст}K} \frac{D}{L} \left[\frac{100(s-c)}{D} \right]^2 \sqrt{\frac{100(s-c)}{D}}, \quad (6)$$

где E – модуль линейной деформации, полученный из рис.2;

$n_{уст}$ – коэффициент запаса устойчивости на границе упругости. При испытаниях

принимается $n_{уст} = 1,8$, а в рабочих условиях $n_{уст} = 2,4$;

K – коэффициент геометрических размеров камеры, который определяется по уравнению [3, 5]

$$K = 8,15 \frac{D}{L} \sqrt{\frac{D}{100(s-c)}}. \quad (7)$$

Если по уравнению (7) получается, что $K > 1$, тогда принимается $K = 1$.

3. РАСЧЕТ КОРПУСА ПРЯМОУГОЛЬНОЙ ФОРМЫ НА ПРОЧНОСТЬ И УСТОЙЧИВОСТЬ

Камеры с прямоугольной формой корпуса (рис.4) более металлоемкие и более сложные для производства по сравнению с цилиндрическими камерами. Они используются в случаях, когда необходимо в них более рационально расположить вакуумные технологические устройства и/или обрабатываемые материалы.

Корпуса этих камер вырабатываются при помощи лобовых сварок листов жести. Не допускается сваривание листов жести в углах камеры. Там располагаются металлические профили, согнутые под углом в 90° . Для уменьшения толщины стен камеры чаще всего корпус укрепляется снаружи ребрами.

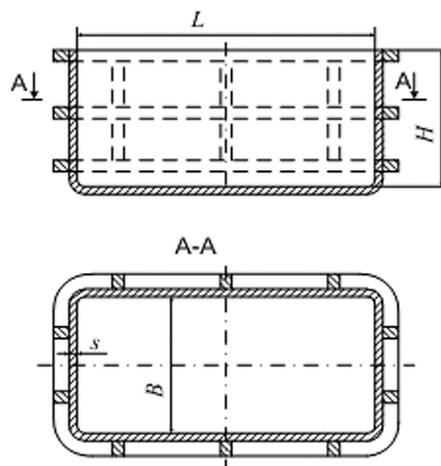


Рис. 4 Конструкция прямоугольной вакуумной камеры

Расчет камер прямоугольной формы сводится к расчету отдельно для большой и для маленькой стены камеры после их укрепления с четырех сторон. Стены считаются укрепленными, когда их края закреплены с верхней стороны флянцем, с нижней – дном, а сбоку – соседними стенами и укрепляющими ребрами. Тогда допустимое наружное давление, которое камера может выдержать, определяется по уравнению [3]

$$[p] = \frac{[\sigma](s-c)^2}{0,25b^2}, \quad (8)$$

где b – ширина стены камеры, м.

Для уменьшения толщины плоских прямоугольных стен, они укрепляются ребрами. Горизонтальные ребра располагаются параллельно дну и крышки камеры, а вертикальные – параллельно маленькой и большой стенам.

4. ЗАКЛЮЧЕНИЕ

Практическое применение изложенной методики конструктивного расчета привело к созданию с участием авторов высоко надежных вакуумных камер, которые находятся в непрерывной эксплуатации в течение многих лет.

Изложенная методика может быть использована для конструктивного расчета вакуумных камер для сушки и пропитки древесины с целью импрегнирования, модифицирования и т.д., а также для обработки различных других материалов под вакуумом.

ЛИТЕРАТУРА

- [1] Розанов Л. Вакуумные машины и установки. Санкт Петербург, Машиностроение, 1975.
- [2] Соколовски, С. Оразмеряване на автоклави за обработване на дървесина. Част 1: Изчисляване на цилиндричната част, дъното и капака на автоклави с байонетно затваряне. Дървообработване и производство на мебели, № 1/2008, с. 8-12.
- [3] Фролов Е., В. Минайчев, А. Александрова и др. Вакуумная техника. М. “Машиностроение”, 1985.
- [4] Чернин, И., А. Кузьмин, Г. Ицкович. Расчеты деталей машин (справочное пособие). Высшая школа, Минск, 1978.
- [5] Roth Alexander. Vacuum sealing techniques. Springer.1994.
- [6] Rozanov L. Vacuum Technique. CRC Press, 2002.