

## КОНСТРУКТИВНЫЙ РАСЧЕТ БАЙОНЕТНОГО ЗАТВОРА АВТОКЛАВОВ ДЛЯ ОБРАБОТКИ ДРЕВЕСИНЫ ПОД ДАВЛЕНИЕМ

### Часть 1. Конструктивный расчет фланцев байонетного затвора

Славчо Соколовски - Ненчо Делийски - Ладислав Дзуренда

#### Abstract

*Method for constructive dimensioning of the bayonet closing device of autoclaves for wood treatment under pressure has been proposed.*

*An application of the suggested method is presented for the case of dimensioning of 3 types of autoclaves for steaming wood materials.*

**Key words:** autoclave, bayonet closing device, constructive dimensioning, wood treatment

#### 1. ВВЕДЕНИЕ

Для интенсификации и снижения удельных энергетических затрат ряда технологических процессов (пропарки, пропитки, в т.ч. импрегнирование, модифицирование и т.д.) обработки древесины целесообразно использовать автоклавы. Они представляют собой хорошо теплоизолированные, герметизируемые цилиндрические сооружения, в которых обработка древесины проводится под давлением, выше атмосферного.

Основным элементом автоклавов является их цилиндрический сосуд. Он закрывается с обеих сторон двумя крышками или крышкой с одной стороны и дном – с другой (рис.1).

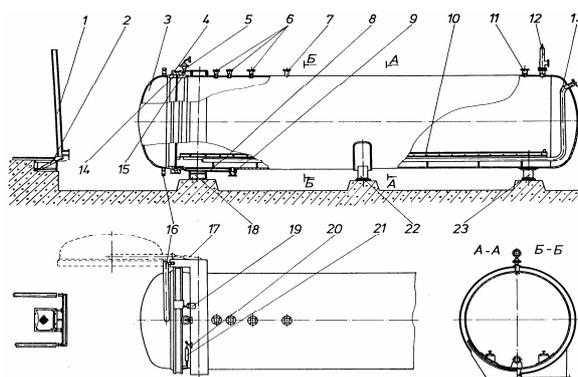


Рис.1.Схема автоклава непроходного типа [1],используемого для пропарки древесины

Днища привариваются к цилиндрической части автоклава, а крышки закрепляются фланцевыми соединениями при помощи болтов или байонетных устройств. Герметичность фланцевых соединений, чаще всего, достигается при помощи резиновых уплотнителей.

При помощи байонетного механизма крышка фиксируется к корпусу. Этот механизм состоит из байонетного затвора, гидравлических цилиндров и предохранителя против открытия затвора при наличии повышенного давления в автоклаве. Гидравлические цилиндры являются частью системы автоматизированного закрытия и открытия крышек автоклава и подъема и спуска рельсового мостика, по которому автоклав заполняется расположенными на тележках материалами для обработки под давлением.

Автоклав снабжается предохранительным клапаном и необходимыми штуцерами. Он располагается на бетонном фундаменте при помощи опор. Одна из них делается неподвижной, а остальные – подвижные, для обеспечения возможности беспрепятственного температурного расширения во время работы.

Описание устройства и действия различных автоклавов, используемых для пропарки древесины под давлением, приведено нами в [1, 2]. Конструктивный расчет цилиндрического сосуда автоклавов описан в [3].

До недавнего времени в ряде стран средней и восточной Европы конструирование сосудов, работающих под давлением, осуществлялось только специализированными проектными организациями. Сейчас это ограничение снято законодательным порядком. Осталось только требование, чтобы конструктивная документация была утверждена государственным комитетом по техническому надзору данной страны. Это повышает интерес достаточно широкого круга специалистов к методике расчета и конструирования таких сосудов, в т.ч. автоклавов.

Предметом настоящей работы является предложение и практическое применение методики для конструктивного расчета фланцев байонетного затвора автоклавов, подходящих для использования в деревообрабатывающей индустрии.

## 2. СХЕМА БАЙОНЕТНОГО ЗАТВОРА АВТОКЛАВОВ

Байонетный затвор автоклава состоит из байонетного кольца 4 и двух фланцев 2 и 10 с контактирующими между собой их рабочими поверхностями (рис.2)

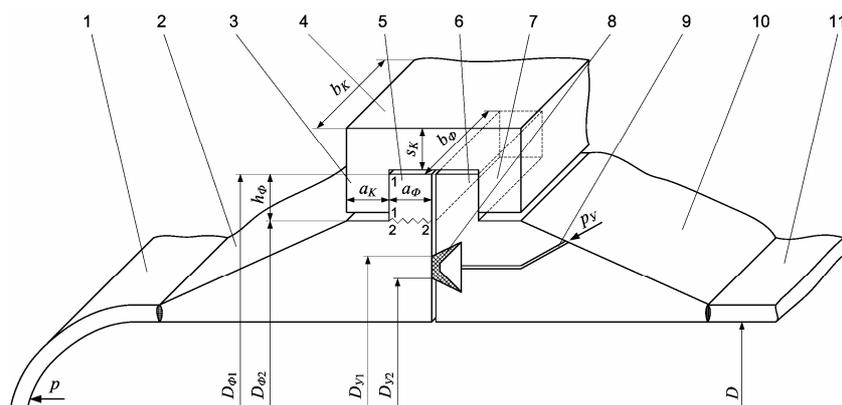


Рис. 2. Схема байонетного затвора автоклава

После оформления зубьев 5 на фланце 2 он приваривается к крышке 1 автоклава, а после оформления зубьев 6 на фланце 10 он приваривается к цилиндрическому корпусу (обечайке) 11 автоклава, имеющему внутренний диаметр  $D$ . При помощи гидравлического цилиндра, показанного под номером 17 на рис.1, фланец крышки 2 прижимается к фланцу корпуса 10, в котором расположен кольцеобразный резиновый уплотнитель 8 с поперечным сечением типа „ласточкин хвост”.

По всему периметру байонетного кольца 4 с обеих его сторон оформляются зубья 3 и 7, ширина которых  $b_k$  практически равна ширине фланцевых зубьев  $b_\phi$  (т.е.  $b_k = b_\phi$ ), чем обеспечивается беспрепятственный монтаж кольца на автоклаве.

При помощи двух диаметрально расположенных гидравлических цилиндров (один из них под номером 21 виден на рис.1) байонетное кольцо 4 можно поворачивать на определенный угол около его собственной оси до занятия соответствующих двух конечных положений. В одном из этих положений зубья кольца покрывают зубья фланца крышки с одной стороны и зубья фланца корпуса – с другой. Тогда, лобовая рабочая поверхность фланца крышки прижимается к резиновому уплотнителю 8 и автоклав может быть герметизирован. Герметизация осуществляется путем подачи в камеру уплотнителя через канал 9 сжатого воздуха или пара с давлением  $p_y$ , превышающим рабочее давление  $p$  в автоклаве. В другом конечном положении зубья байонетного кольца оказываются расположенными между зубьями фланца крышки и крышку можно открыть при помощи гидравлического цилиндра, показанного под номером 17 на рис.1.

Проектирование байонетного затвора автоклавов начинается с расчета наиболее нагруженных его деталей с целью получения их предварительных (ориентировочных) размеров, с которыми осуществляется конструирование и вычерчивание затвора. После конструирования и начертания можно по приведенным ниже уравнениям произвести проверочные вычисления в наиболее опасных сечениях отдельных деталей.

Наиболее нагруженными деталями фланцев байонетного затвора автоклавов являются их зубья. Поэтому конструктивный расчет этих фланцев заключается в определении размеров указанных зубьев.

### 3. РАСЧЕТ ЗУБЬЕВ ФЛАНЦЕВ АВТОКЛАВОВ

Зубья фланцев автоклавов имеют, как правило, прямоугольную форму (рис. 3). Из практического опыта установлено, что количество зубьев  $z$ , расположенных по периметру фланца, должно находиться в пределах  $z = 16 \div 24$ .

Сила  $F_1$ , нагружающая каждый из зубьев фланца крышки, определяется по уравнению [5]

$$F_1 = \frac{K \cdot F}{z}, \quad (1)$$

где  $K = 1,3$  - коэффициент, учитывающий неравномерность распределения нагрузки отдельных зубьев по периметру фланца;

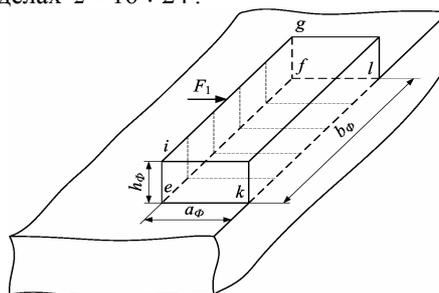


Рис. 3. Схема нагружения одного зуба фланцев автоклава

$F$  - сила, действующая на крышку автоклава с его внутренней стороны, N:

$$F = F_p + F_y, \quad (2)$$

$$F_p = 0,785 D_y^2 p, \quad (3)$$

$$F_y = 0,785 (D_{y1}^2 - D_{y2}^2) p_y, \quad (4)$$

$F_p$  - сила, создаваемая внутренним (рабочим) давлением  $p$  автоклава, N;

$F_y$  - сила, с которой уплотнитель 8 прижимается к фланцу крышки автоклава, N;

$p$  - рабочее давление в автоклаве, Pa;

$p_y$  - давление в камере резинового уплотнителя 8, создаваемого поступающим по каналу 9 флюидом, Pa;

$D_y = \frac{D_{y1} + D_{y2}}{2}$  - средний диаметр уплотнителя, m;

$D_{y1}$  и  $D_{y2}$  - соответственно внешний и внутренний диаметр уплотнителя, m.

Боковые поверхности 1-1 (рис.2) зубьев фланцев подвержены смятию, вызванному прижатыми к ним зубьями байонетного кольца. При этом, в сечении 2-2 зубьев возникают напряжения срезания и изгиба.

Напряжение на смятие  $\sigma_{CM}$  (в Pa) между внутренними боковыми поверхностями зубьев байонетного кольца и наружными сторонами зубьев фланца крышки (поверхность 1-1 на рис. 2 и поверхность  $efgi$  на рис. 3) определяется по уравнению

$$\sigma_{CM} = \frac{F_1}{h_\Phi b_\Phi} \leq [\sigma_{CM}], \quad (5)$$

где  $h_\Phi$  - высота зуба фланца крышки (в m), равная

$$h_\Phi = 0,5(D_{\Phi1} - D_{\Phi2}), \quad (6)$$

$D_{\Phi1}$  и  $D_{\Phi2}$  - соответственно внешний и внутренний диаметр зубьев фланца, m;

$b_\Phi$  - ширина зуба фланца крышки (в m), определяемая по уравнению

$$b_\Phi = \frac{\pi D_{\Phi2}}{2z} - (0,004 \div 0,006), \quad (7)$$

где для внутреннего диаметра зубьев фланца принимается  $D_{\Phi2} = D + (0,060 \div 0,120)$ ;

$[\sigma_{CM}]$  - допустимое напряжение на смятие (в Pa) материала, из которого вырабатывается фланец. Если фланцы и байонетное кольцо вырабатываются из различных материалов, в уравнении (5) необходимо использовать значение  $[\sigma_{CM}]$  для менее прочного материала.

По преобразованному уравнению (5), при известных значениях  $F_1$ ,  $b_\Phi$  и  $[\sigma_{CM}]$  можно определить  $h_\Phi$ , а именно:

$$h_\Phi \geq \frac{F_1}{b_\Phi [\sigma_{CM}]}. \quad (8)$$

Зубья фланцев в их основании (сечение 2-2 на фиг. 2 и сечение *eklf* на рис. 3) подвержены напряжению срезания, величина которого равна

$$\tau_{\text{ср}}^{\Phi} = \frac{F_1}{a_{\Phi} b_{\Phi}} \leq [\tau_{\text{ср}}^{\Phi}], \quad (9)$$

где  $a_{\Phi}$  - толщина зубьев фланцев (рис.2), m;

$[\tau_{\text{ср}}^{\Phi}]$  - допустимое напряжение срезания материала, из которого вырабатываются фланцы, Pa.

В качестве проектного расчета по преобразованному уравнению (9) при известных значениях  $F_1$ ,  $b_{\Phi}$  и  $[\tau_{\text{ср}}^{\Phi}]$  можно определить  $a_{\Phi}$ , а именно:

$$a_{\Phi} \geq \frac{F_1}{b_{\Phi} [\tau_{\text{ср}}^{\Phi}]}. \quad (10)$$

Во время работы автоклава могут возникать случаи, при которых вершины зубьев фланца крышки опираются в основание зубьев байонетного кольца. Тогда зубья фланца подвергаются в сечении 2-2 как срезанию, так и изгибу. В таком случае, в основании зубьев (сечение 2-2 на рис. 2 и сечение *eklf* на рис. 3) возникают изгибающие напряжения  $\sigma_{\text{изг}}^{\Phi}$ , величину которых можно определить по уравнению

$$\sigma_{\text{изг}}^{\Phi} = \frac{F_1 h_{\Phi}}{b_{\Phi} a_{\Phi}^2} \leq [\sigma_{\text{изг}}^{\Phi}], \quad (11)$$

где  $[\sigma_{\text{изг}}^{\Phi}]$  - допустимое напряжение на изгиб материала, из которого изготавливаются фланцы, Pa.

После преобразования уравнения (11) получается следующее уравнение, из которого можно при принятом значении  $a_{\Phi}$  определить максимальную высоту зубьев фланцев  $h_{\Phi}$ :

$$h_{\Phi} \leq \frac{b_{\Phi} a_{\Phi}^2 [\sigma_{\text{изг}}^{\Phi}]}{6F_1}. \quad (12)$$

Первоначально принятое значение  $a_{\Phi}$  следует уточнить при помощи следующего уравнения, выведенного из выражения (11):

$$a_{\Phi} \geq \sqrt{\frac{6F_1 h_{\Phi}}{b_{\Phi} [\sigma_{\text{изг}}^{\Phi}]}} \quad (13)$$

путем использования принятого значения  $h_{\Phi}$  с соблюдением ограничительного диапазона, указанного в уравнении (11).

После окончательного уточнения значений  $a_{\Phi}$  и  $h_{\Phi}$  вычисляются напряжения срезания по уравнению (9) и напряжения изгиба по уравнению (11), а затем по

следующему уравнению определяются эквивалентные напряжения, возникающие в зубьях фланцев, нагруженных одновременно на срезание и на изгиб [4, 5]:

$$\sigma_{\text{ЭКВ}}^{\Phi} = \sqrt{\sigma_{\text{ИЗ}}^{\Phi 2} + 3\tau_{\text{СР}}^{\Phi 2}} \leq [\sigma_{\text{ЭКВ}}^{\Phi}], \quad (14)$$

где  $[\sigma_{\text{ЭКВ}}^{\Phi}]$  - допустимое эквивалентное напряжение материала фланцев, Ра.

Проверочные вычисления по уравнениям (11) и (12) производится после конструирования зубьев фланцев байонетного затвора.

#### 4. КОНСТРУКТИВНЫЙ РАСЧЕТ ФЛАНЦЕВ БАЙОНЕТНОГО ЗАТВОРА АВТОКЛАВОВ ДЛЯ ПРОПАРКИ ДРЕВЕСИНЫ

С использованием изложенной методики с нашим ведущим участием разработана конструктивная документация нескольких типоразмеров автоклавов для пропарки деревянных материалов различного предназначения.

Автоклавы для пропарки древесины при производстве гнутых деталей имеют  $D = 0,8$  m, а для пропарки пиломатериалов, кражей и ванчесов в производстве шпона  $D = 2,0$  m и  $D = 2,4$  m.

Из этих типоразмеров произведено и установлено на фабриках Болгарии более 15 автоклавов и 1 – в Словакии. В таблице 1 приведены основные расчетные и реализованные на практике размеры фланцев байонетных затворов автоклавов.

На рис.4 показан общий вид двух автоклавов с  $D = 2,4$  m. Хорошо видны фланцы крышек и корпусов, а также байонетные кольца обоих автоклавов



Рис. 4. Общий вид автоклавов, используемых для пропарки деревянных материалов

Таблица 1. Расчетные и реализованные с использованием углеродистой стали 25Л ( $[\sigma] = 128$  МПа при температуре пара  $t = 150^{\circ}\text{C}$  и  $p = 0,5$  МПа) размеры фланцев байонетных затворов выпускаемых в Болгарии автоклавов для пропарки древесины

№	$D$ , m	$D_{y1}$ , m	$D_{y2}$ , m	$D_{\Phi 1}$ , m	$D_{\Phi 2}$ , m	$z$ , шт.	$F_1$ , kN	$b_{\Phi}$ , m	$h_{\Phi}$ , m	$a_{\Phi}$ , m	$\sigma_{\text{ЭКВ}}^{\Phi}$ , МПа
1.	0,8	0,84	0,82	0,88	0,86	16	22	0,080	0,010	0,025	32
2.	2,0	2,04	2,0	2,11	2,07	22	123	0,142	0,020	0,035	97
3.	2,4	2,44	2,4	2,88	2,48	22	141	0,172	0,020	0,040	62

## 5. ЗАКЛЮЧЕНИЕ

Практическое применение изложенной методики конструктивного расчета привело к созданию высоко надежных автоклавов для пропарки древесины, первые из которых находятся в непрерывной эксплуатации уже более двух десятилетий.

Изложенная методика может быть использована для конструктивного расчета фланцев автоклавов для пропитки древесины с целью импрегнирования, модифицирования и т.д., а также для обработки различных материалов под давлением.

## ЛИТЕРАТУРА

- [1] DELIISKI, N., 1990: Autoklávy pre intenzívne, energeticky úsporné parenie dreva. - Drevo, № 7, s.210-212.
- [2] DZURENDA, L., N. DELIISKI, 1994: Technicko-ekonomické posúdenie technológie tlakového parenia bukového reziva. - Drevo, № 5, s.102-103.
- [3] СОКОЛОВСКИ, С., Н.ДЕЛИЙСКИ, Л.ДЗУРЕНДА, 2005: Конструктивный расчет автоклавов для обработки древесины под давлением. Annals of Warsaw Agricultural University – SGGW, Forestry and Wood Technology No 57, с.199-204.
- [4] СТЕФАНОВ, С., 1989: Съпротивление на материалите. МНП, София
- [5] ЧЕРНИН, И.М., А.В.КУЗЬМИН, Г.М.ИЦКОВИЧ., 1978: Расчеты деталей машин (справочное пособие). Высшая школа, Минск.