

УДК 621.165

**КОНСТРУКТИВНЫЕ ОСОБЕННОСТИ ДИАФРАГМ  
DESIGN FEATURES OF DIAPHRAGMS**

В.И. Хамицкая, К.О. Филатов

Научный руководитель – Н.В. Пантелей, старший преподаватель

Белорусский национальный технический университет,

г. Минск, Республика Беларусь

nvpanteley@tut.by

V. Khamitskaya, K. Filatov

Supervisor – N. Panteley, Senior Lecturer

Belarusian national technical university, Minsk, Belarus

**Аннотация:** в данной статье рассматриваются виды диафрагм и их конструкция.

**Abstract:** the article discusses the types of diaphragms and their design.

**Ключевые слова:** паровая турбина, диафрагма, чугун, лопатки, сталь.

**Keywords:** steam turbine, diaphragm, cast iron, blades, steel.

**Введение**

Паровая турбина преобразует потенциальную энергию пара в механическую работу вращающегося ротора. Каждая турбина состоит из двух основных частей: подвижной, включающей ротор с лопатками, и неподвижной, включающей статор с соплами, а так же диафрагмы. Для установки диафрагм предусмотрены выточки в неподвижной части, где также находятся сопловые каналы, образованные лопатками внутри тела диафрагмы.

Диафрагмы являются важной частью паровых турбин, и их главной функцией является разделение внутренней полости турбины на несколько частей, которые образуют отдельные ступени. В зависимости от температуры пара, могут применяться различные типы диафрагм, в том числе чугунные литые диафрагмы с заливаемыми лопатками и стальные диафрагмы.

**Основная часть**

Рассмотрим чугунные литые диафрагмы с заливаемыми лопатками. Их конструкция представлена на рисунке 1. Чугунные литые диафрагмы применяются в области температур 260–320°C. Поэтому выбор конструкции должен осуществляться с учетом конкретных условий эксплуатации и требований к долговечности и надежности.

Преимущества использования чугуна:

- является относительно дешевым материалом, что делает его более доступным;

- хорошая устойчивость к износу и абразивному изнашиванию.

Недостатки:

- чугун относится к тяжелым материалам, следовательно, затрудняет монтаж и демонтаж диафрагм;

- при обработке требует использования специального оборудования.

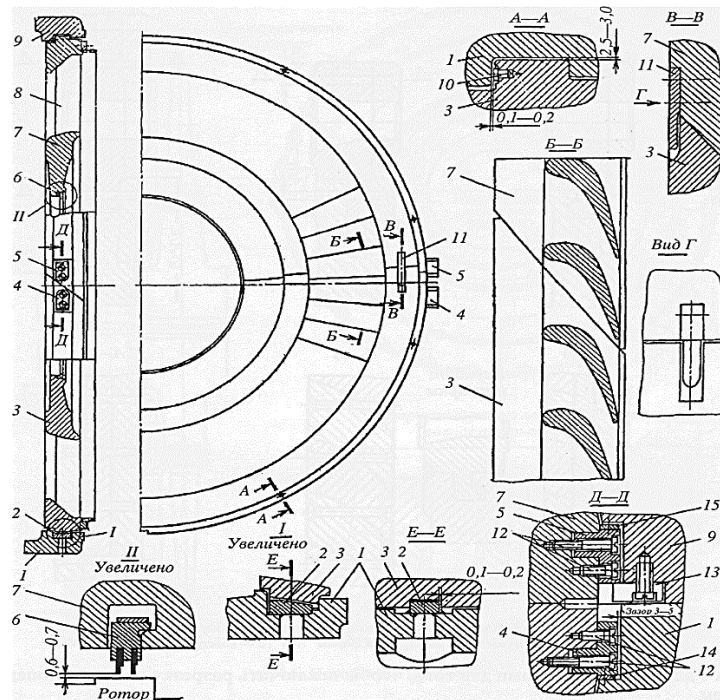


Рисунок 1 – Литая чугунная диафрагма[2]:

1, 9 – обойма диафрагмы; 2 – вертикальная шпонка; 3, 7 – тело диафрагмы; 4 – лапка подвески нижней половины диафрагмы; 5 – лапка подвески верхней половины диафрагмы; 6 – сегмент уплотнения; 8 – направляющая лопатка; 10 – регулировочный пин; 11 – вертикальная шпонка разъема диафрагмы; 12 – крепежные винты лапок подвесок диафрагмы; 13 – сухарь подвески верхней половины диафрагмы; 14, 15 – регулировочные пластины лапок подвески

В чугунных диафрагмах закрепляются сопловые лопатки из стали 1Х13, которые могут быть выполнены путем штамповки из листа (рисунок 2,а) или фрезерования из заготовки (рисунок 2,б).

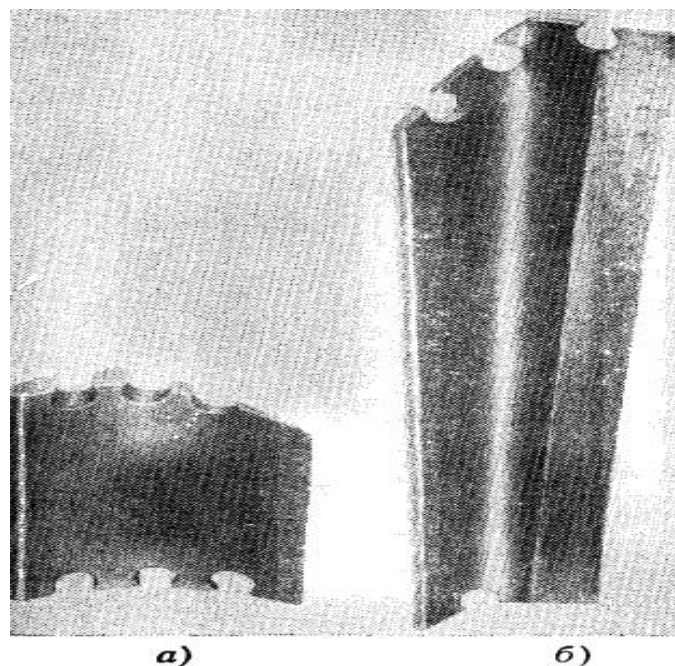


Рисунок 2 – Направляющие лопатки для литых чугунных диафрагм [1]:  
а – штамповка из листа, б – фрезерование из заготовки

Лопатки для последних ступеней турбин производят методом штамповки из листа. Этот процесс происходит с помощью нагрева в электропечи до  $800^{\circ}\text{C}$ , затем производят механическую обработку кромок и концов лопаток [1]. При этом соединения лопаток с телом и ободом диафрагмы должно было прочным. Для этого в концах лопаток сверлятся отверстия, которые заполняются в виде штифтов при отливке диафрагмы.

Процесс оцинковки краев важен от начала изготовления лопаток до заливки их в диафрагмы. Это помогает не только избежать коррозии краев, которые в последующем заливаются в чугун, но и гарантировать надежное соединение лопаток с чугуном. Проверка на крепость соединения очень проста. Если при легком ударе отсутствует треск и звонкость, можно сделать вывод, что соединение крепкое.

При отливке диафрагм важна точность размеров (рисунок 3). Даже незначительные отклонения влияют на тепловой процесс и экономичность. Поэтому после изготовления диафрагм необходим контроль выполнения:

1. горла;
2. высоты сопловых каналов;
3. среднего диаметра;
4. размера по ободу;
5. размера под уплотнительные сегменты.

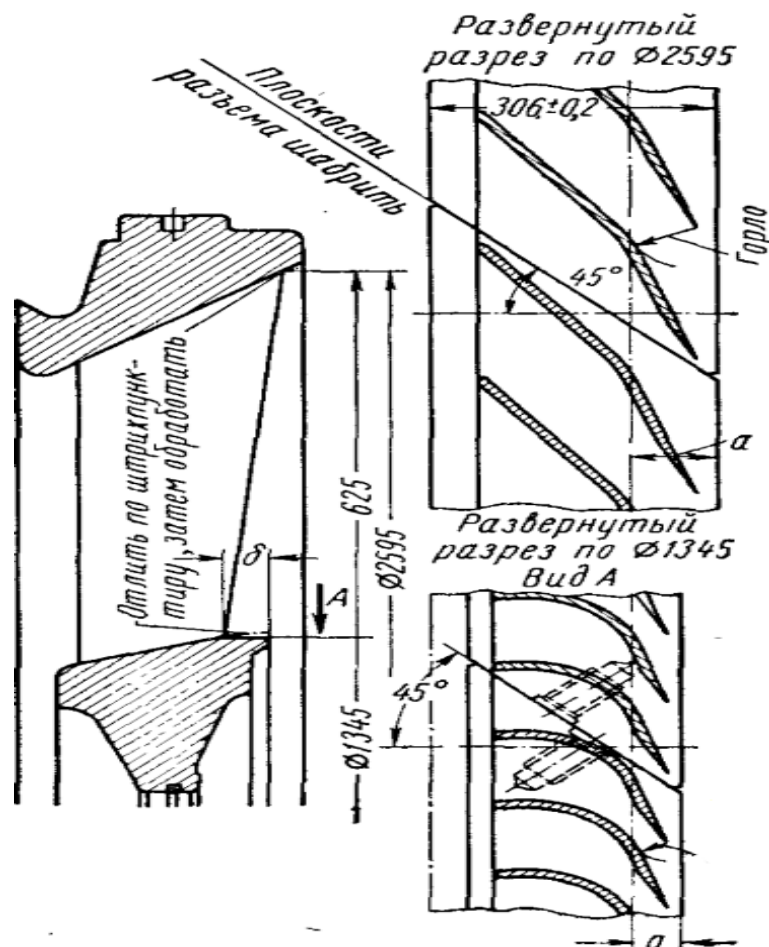


Рисунок 3 – Чугунная литая диафрагма с заливаемыми лопатками [1]

Смещение среднего диаметра лопаток допускается не более чем на 0,5 мм. При длине лопаток менее 100 мм проверяют горловые сечения по среднему диаметру, в ином случае проверяют три горловых сечения: периферическое, среднее и корневое [1].

Рассмотрим стальные диафрагмы. Они используются при температурах выше 260–320°C. Стальные диафрагмы могут быть как литыми, так и с заливаемыми лопатками.

К преимуществам стальных диафрагм можно отнести:

- они выдерживают более высокие температуры и давления;
- просты в установке и замене.

Недостатки:

- дороговизна;
- при высокой скорости потока пара имеет повышенный износ.

При начальном этапе развития турбостроения применяли стальные литые диафрагмы с заливаемыми лопатками, но при отливке таких диафрагм выходные кромки часто становились хрупкими и их использование прекратилось.

Диафрагмы с наборными лопатками получили большое распространение в турбинах примерно до 1950–1953 гг. (рисунок 4). Высокая точность и чистота сопловых каналов в них достигается благодаря фрезерованию лопаток и шлифовке или полировке их профильной части. Для крепления лопаток к телу диафрагмы используются вильчатый хвост и заклепки.

При изготовлении диафрагм с наборными лопатками значительно снизилась трудоемкость и расход стали.

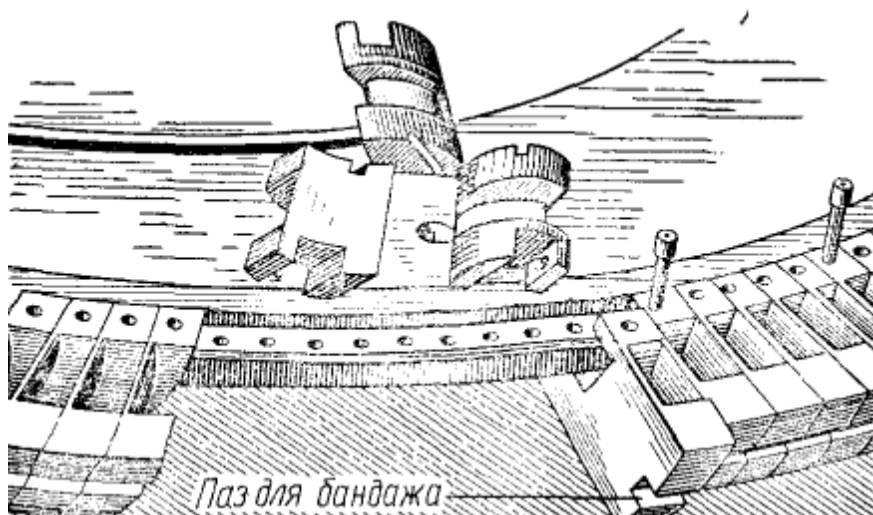


Рисунок 4 – Лопатки, присоединяемые к диафрагме [1]

Рассмотрим сварные диафрагмы.

Наиболее широкое распространение получили диафрагмы с наборными лопатками в турбинах используют сварные диафрагмы с сопловыми лопатками разных профилей (рисунок 5).

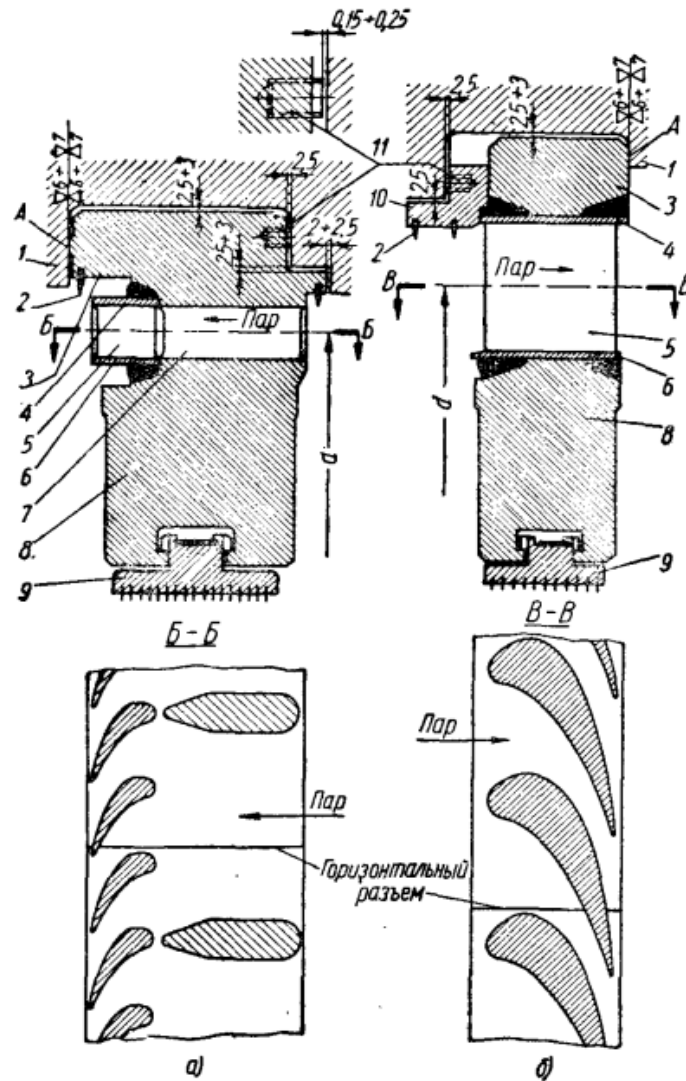


Рисунок 5 – Сварные диафрагмы[1]:

а – с узким и б – с широким профилем направляющих лопаток; 1 – цилиндр или обойма турбины; 2 – бандажное уплотнение; 3 – обод диафрагмы; 4, 6 – бандажные ленты; 5 – направляющие лопатки; 7 – стойки; 8 – тело диафрагмы; 9 – диафрагменное уплотнение; 10 – полукольца; 11 – винты или штифты

Главный плюс сварных диафрагм перед наборными заключается в избавлении от протечек пара между лопатками, а также герметичность всех сопловых каналов.

Вследствие испытаний на ЛМЗ выявлено, что сварные диафрагмы имеют на треть меньше прогиб, а также вдвое меньшее напряжение в теле, что позволяет уменьшить толщину и осевые размеры.

Последние две-три лопатки в турбине считаются самыми напряженными, включая разрезную лопатку. Особенно напряженными из крайних являются лопатки, которые обращены выходными кромками к разъему.

Перейдем к конструкции сварных диафрагм.

Сварная диафрагма состоит из тела, обода, сопловых лопаток, и бандажных лент толщиной 4–6 мм (рисунок 6).

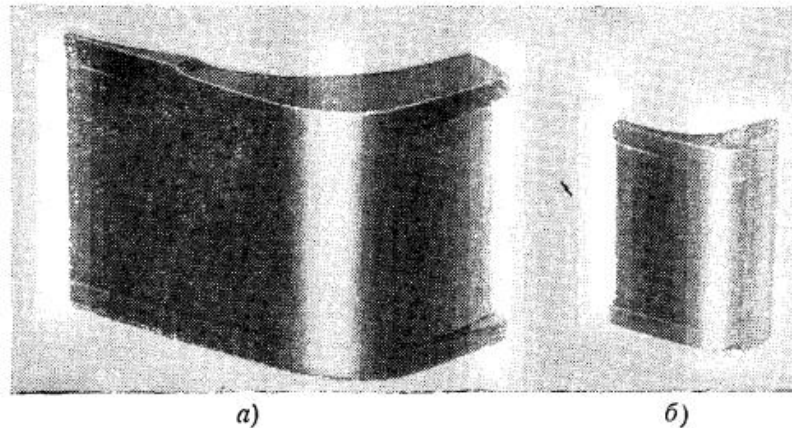


Рисунок 6 – Направляющие лопатки сварных диафрагм [1]:  
а – с широким; б – с узким профилем

С диафрагмами используются прямые и косые бандажи. Тип бандажа выбирается исходя из местоположения в турбине и плавности поточной части [1]. Более легкими в производстве считаются диафрагмы с прямыми бандажами.

К соединениям диафрагмы применяют высокие требования, так как они работают в среде высоких параметров, температуры и давления. Точность изготовления диафрагм оказывает большое влияние. Если отклонение выходных сечений лопаток велико, это может привести к изменению теплового процесса, снизить экономичность ступени, возрасти осевое усилие на ротор.

Размеры проходных сечений сохраняются благодаря специальному инструменту, который объединяет сопловую решетку с телом и ободом.

### **Заключение**

Из вышесказанного следует, что сварные диафрагмы более универсальны, чем литые, так как они могут использоваться в цилиндрах с разным давлением. Однако, важно правильно выбрать материал для изготовления диафрагмы, чтобы она была максимально надежной. Конструктивные особенности диафрагм позволяют повысить эффективность работы турбины.

### **Литература**

1. Конструкция и расчет деталей паровых турбин: [учебное пособие для машиностроительных техникумов] / А.Н. Смоленский. – Москва: Машиностроение, 1964. – 467 с.
2. Ремонт паровых турбин: учебное пособие / В.Н. Родин [и др.]; под общей редакцией Ю.М. Бродова, В.Н. Родина. – Екатеринбург: ГОУ УГТУ-УПИ, 2002. – 203 с.