

УДК 621.165

**ИСПОЛЬЗОВАНИЕ КОНЦЕВЫХ И НАДБАНДАЖНЫХ СОТОВЫХ
УПЛОТНЕНИЙ В ПАРОВЫХ ТУРБИНАХ**
USE OF END AND OVER-BANDAGE HONEYCOMB SEALS
IN STEAM TURBINES

А.И. Снапкова, В.А. Новикова

Научный руководитель – Н.В. Пантелей, старший преподаватель

Белорусский национальный технический университет

г. Минск, Республика Беларусь

nvpanteley@bntu.by

A. Snapkova, V. Novikova

Supervisor – N. Panteley, Senior lecturer

Belarusian national technical university, Minsk, Belarus

Аннотация: в данной статье будет рассмотрен вид уплотнений, который может быть использован, как в виде усовершенствованных концевых уплотнений проточной части паровых турбин, так и в качестве надбандажных и диафрагменных уплотнений турбоагрегатов, что в значительной степени помогает в процессе минимизации потерь от утечек пара.

Abstract: this article will discuss a type of seal that can be used both as improved end seals for the flow path of steam turbines and as over-bandage and diaphragm seals for turbo units, which greatly helps in the process of minimizing losses from steam leaks.

Ключевые слова: уплотнения, паровая турбина, эффективность, сотовые вставки, утечки рабочего тела, надежность, радиальный зазор.

Key words: seals, steam turbine, efficiency, honeycomb inserts, working fluid leaks, reliability, radial clearance.

Введение

Одной из самых значимых проблем, возникающих при эксплуатации многоступенчатых паровых турбин, является не что иное, как утечки рабочей среды между ступенями турбины и корпусом. Это естественным образом приводит к ухудшению коэффициента полезного действия агрегата и, следовательно, к снижению надежности установки. Для решения такой проблемы традиционно используются надбандажные, промежуточные (диафрагменные) и концевые уплотнения. В некоторых турбоустановках такие уплотнения лабиринтовые заменяют более современными сотовыми уплотнительными сегментами, которые имеют отличную от традиционных уплотнений форму.

Основная часть

Конструкция и принцип работы сотовых уплотнений. Сотовые уплотнения представляют собой уплотнения, на одной из поверхностей которых располагается ряд сотовых перегородок. Эти множества перегородок изготавливаются из жаростойкой и коррозионностойкой хромоникелевой фольги и имеют форму правильных шестигранных ячеек. Диаметр вписанной окружности такой ячейки 0,9–4,5 мм, а толщина перегородок 0,05–0,02 мм [1].

Шестигранники припаиваются к сотоблокам и далее подготавливаются для сборки их в кольцо самого уплотнения, которые монтируются в обойму или диафрагму. Конструкция типичного сотоблока представлена на рисунке 1.

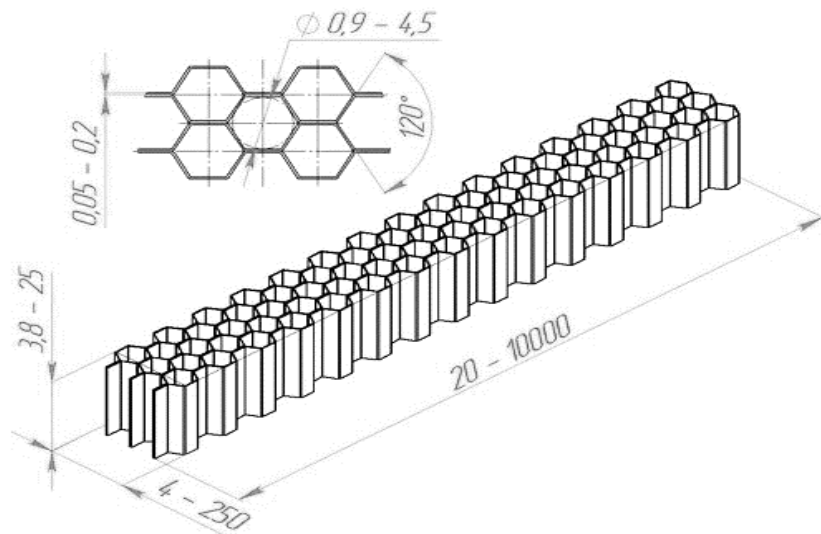


Рисунок 1 – Конструкция сотоблока [2]

Работа сотовых вставок осуществляется по следующему принципу: когда рабочее тело проходит через уплотнительную поверхность, совершается перенос тепла от пара к сотам, вследствие чего исключается местный разогрев ротора турбоагрегата. При этом происходит процесс многократного дросселирования среды. Кроме этого, при протекании пара через соты траектория движения потока ступенчато и многократно изменяется, что вызывает добавочное гидравлическое сопротивление и тем самым возрастает эффективность работы уплотнения.

Основные виды сотовых уплотнений и их способы применения. Сотовые сегменты нашли применение в энергетике в качестве надбандажных, промежуточных и концевых уплотнительных поверхностей. На рисунке 2 можно рассмотреть один из наиболее распространенных примеров установки сотовых сегментов, а именно в качестве концевого уплотнения турбоагрегата. Основными задачами концевых уплотнений является:

- 1) избежание перетечек пара в машинный зал при его прохождении в части высокого давления турбины;
- 2) предотвращение присосов воздуха в конденсатор или цилиндр турбины при поступлении теплоносителя в зону низкого давления.

Это достигается путем сокращения в несколько раз зазоров между подвижной частью и статором турбины, таким образом улучшая аэродинамику и повышая надежность работы уплотнения.

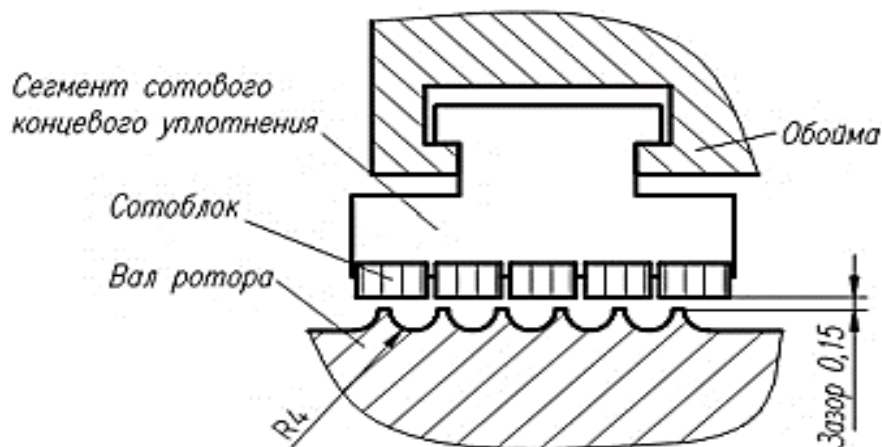


Рисунок 2 – Пример установки сотового концевого уплотнения [3]

Что касается других способов применения сотовых сегментов, то широко известно внедрение данного типа уплотнений в регулирующие ступени паровых турбин (рисунок 3). Такие уплотнения обеспечивают герметичность между подвижными и неподвижными частями для эффективного управления потоком рабочей жидкости через последующие лопатки. Это осуществляется за счет конструкции, которая позволяет уплотнению адаптироваться к изменениям давления и температуры. Когда давление в системе изменяется, уплотнения помогают поддерживать оптимальное состояние, минимизируя потери энергии.

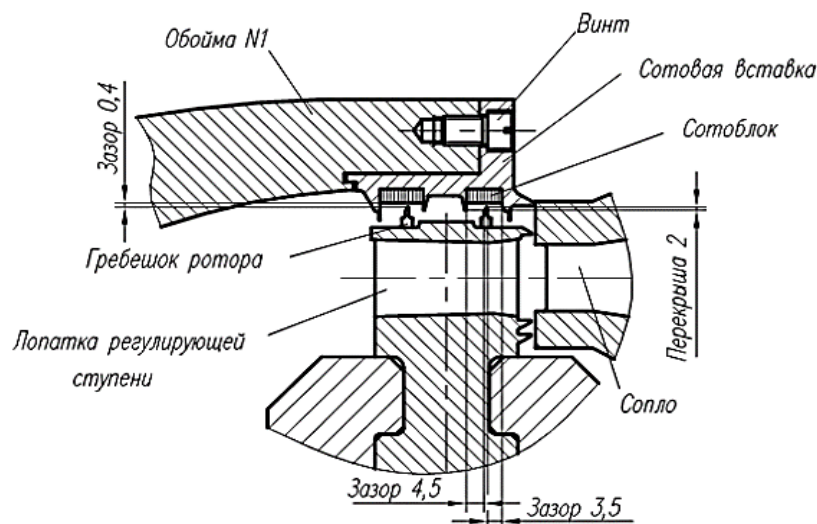


Рисунок 3 – Пример установки сотового уплотнения регулирующей ступени [3]

Также сотовые уплотнения эксплуатируются в качестве надлопаточных (надбандажных), представленных на рисунке 4. Их основной задачей является предотвращение утечек рабочего тела над рабочими лопатками, то есть в периферийной области формируется радиальный зазор, который не просто существенно меньше в сравнении с лабиринтовыми уплотнениями, но и который может допускать врезания в сегментную вставку. Конструктивно надбандажные уплотнения чаще всего имеют более жесткую структуру, чем,

например, уплотнения регулирующей ступени, а также могут содержать дополнительные элементы, такие как пружины или специальные материалы, обеспечивающие лучшее прилегание и адаптацию к изменениям температуры и давления.

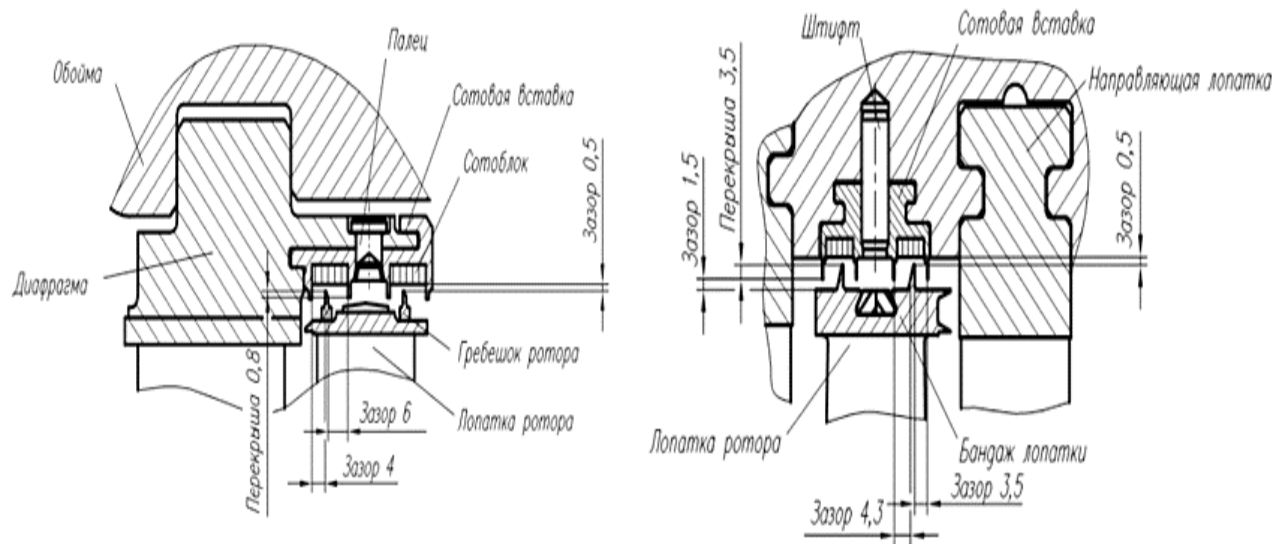


Рисунок 4 – Примеры установки надбандажных сотовых уплотнений в ЦВД турбины [3]

Кроме всего прочего, сотовые уплотнения хорошо себя проявляют в случае возникновения аварийных ситуаций: при изменениях режимов работы или пусках многоступенчатой паровой турбины из холодного состояния, а также увеличении температуры перегретого пара могут возникать взаимные задевания компонентов уплотнений и ротора и, прежде всего, происходит прорезание канавки в самих сотах, а «усы» (гребни) при этом претерпевают лишь только несущественные истирания. Даже учитывая факт появления канавок при трении, утечки пара через уплотнение почти не возрастают. Из этого следует, что при условии минимально допускаемого зазора, эффективность работы концевых, промежуточных и надбандажных сотовых уплотнений также практически остается постоянной [4].

В целях достижения наиболее эффективной работы уплотнений минимально допустимый зазор выбирают в зависимости от различных факторов, в частности таких, как изменение в лопатках ротора пластических и внутренних деформаций и неоднородность температурных расширений корпуса ротора и статора.

Значение минимальной ширины сотовых вставок подбирается, принимая во внимание осевое смещение ротора, а высоту определяют, исходя из того, чтобы гребень ротора не прорезал полностью вставку до внутренней поверхности обоймы. Таким образом, сотовые сегменты располагают в обойме на глубине 3–6 мм.

Помимо того, что сотовые уплотнения помогают сократить потери от протечек, они еще дают возможность уменьшить процент влаги из периферийной зоны последних ступеней цилиндра низкого давления, таким

образом уменьшая эрозионный износ лопаток в последних ступенях турбоустановки, и обеспечивают снижение обводнения масла. Эффективная система влагоудаления с помощью использования сотовых уплотнений осуществляется через несколько ключевых механизмов, направленных на создание герметичности и управление потоком жидкости [3]. Герметизация обеспечивается между статором и ротором турбины, благодаря наличию сквозных ячеек. Уплотнения создают барьер, который изолирует рабочую среду от внешней, что минимизирует риск конденсации. Конструктивное исполнение и размещение уплотнений дает возможность направлять избыточную влагу в определенные дренажные каналы, что сокращает накопление влажности в последних ступенях. Кроме того, сотовые сегменты могут быть изготовлены из специальных влагостойких материалов, которые помогают не только уменьшить проникновение влаги, но и абсорбируют небольшие количества жидкости.

Заключение

Современные уплотнения в паровых турбинах значительно улучшают характеристики и надежность турбоагрегатов и имеют огромный ряд преимуществ, включающих повышение эффективности и экономичности турбины, снижение утечек пара и присосов воздуха, уменьшение расхода пара и влажности в ЧНД, повышение КПД турбоагрегата, увеличение срока службы и устойчивость к износу, а также предотвращение низкочастотной вибрации. В целом, модернизация уплотнений в турбинах – это важный шаг к повышению эффективности и экономичности энергооборудования.

Литература

1. Салихов, А. А. Юшка, М. П. Применение сотовых уплотнений на турбинах // Ежемесячный производственно-технический журнал: электрические станции. – 2005. – № 6. – С.21–26.
2. Официальный сайт компании АО РОТЕК: [сайт]. – Москва, 2010–2024. – URL: <https://zaorotec.ru> (дата обращения: 21.03.2025).
3. Повышение надежности и эффективности эксплуатации электрических станций и энергетических систем: труды Второй Всероссийской науч.-практ. конф., Москва, 4–6 июня 2012 г. / НИУ МЭИ ; редкол. : А. Г. Костюк [и др.]. – Москва : НИУ МЭИ, 2012. – 115 с.
4. Рыжов, А. А. Сотовое уплотнение, преимущественно для паровой турбины / А. А. Рыжов, А. Ф. Ивах, В. В. Середа. – Москва : Московский энергетический ин-т (ТУ), 2008. – URL: <https://patents.google.com/patent/RU2150627C1/ru#> (дата обращения: 22.03.2025).