

12. Анализ устойчивости спроектированной пары трения.
13. Выбор методов и средств регулирования для переходных режимов.
14. Окончательный расчет с использованием объемной модели.
15. Проведение подтверждающих экспериментов.

Все вышеперечисленные этапы находятся между собой в сложных отношениях, и могут многократно повторяться. Так, например, если на этапе анализа устойчивости выяснится, что уплотнение имеет неустойчивый элемент, то весь процесс проектирования должен быть осуществлен сначала, начиная с эскизного проектирования.

Разработанный алгоритм содержит не только отдельные элементы, существенно уточняющие уже разработанные подходы к проектированию торцовых бесконтактных уплотнений в России и за рубежом в способе определения величин деформаций лил утечек. Его отличительной особенностью является использование интегрированной системы, что позволяет рассматривать результат проектировочных работ в совершенно новом качестве. Разработанная модель уплотнительного узла является доступной для информационного обмена, различных изменений и уточнений. С ее помощью значительно упростится процесс передачи документации от конструктора к технологу. Главной же целью представленного подхода к проектированию уплотнения являлось сведение к минимуму возможных ошибок и сокращение стоимости доводочных экспериментальных работ.

ПРОЕКТИРОВАНИЕ ЩЕЛЕВЫХ УПЛОТНЕНИЙ С ИСПОЛЬЗОВАНИЕМ ПРОГРАММНОГО КОМПЛЕКСА ANSYS

Фалалеев С.В., Виноградов А.С.

Самарский государственный аэрокосмический университет, г. Самара

Б. Штиглер

Университет, г. Штутгарт, Германия

Щелевые уплотнения относятся к весьма распространенному типу уплотнений, используемых в современных ДЛА и других энергетических установках. Они предназначены для уменьшения перетекания уплотняемой среды из области высокого давления в область низкого давления. Щелевые уплотнения используются в гидравлических и газовых затворах, в разгрузочных и уравнивающих гидравлических устройствах, опорах скольжения, гидростатических уплотнениях и подшипниках. Иногда такие уплотнения используют в качестве дополнительного, чтобы обеспечить расчетный перепад давления на основном уплотнении контактного типа.

Широкий диапазон возможных применений щелевых уплотнений обуславливает существование многочисленных разновидностей подобных

уплотнительных устройств. По направлению потока различают торцовые и радиальные щелевые уплотнения. Чтобы повысить гидравлическое сопротивление уплотнительного узла, часто используют многощелевые уплотнения. Пример такого многощелевого уплотнения, исследованного в данной работе, показан на рис. 1. Данное уплотнение состоит из совокупности отдельных щелей, расположенных последовательно друг за другом. Для оценки эффективности такого уплотнения было проведено исследование всех составляющих его отдельных щелей.

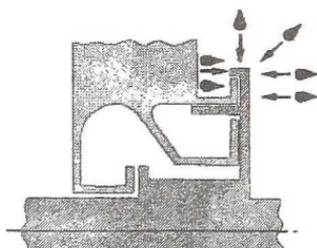


Рисунок 1 - Схема исследуемого многощелевого уплотнения

Известно, что характеристики щелевых уплотнений существенно зависят от режима течения в щели. Возможно существование либо ламинарного, либо турбулентного режима течения потока. Каждый из них характеризуется своим характером течения среды и имеет различные законы сопротивления движению потока. Для того чтобы в щели существовал ламинарный режим течения должно выполняться условие:

$$Re < Re_{кр},$$

где Re – число Рейнольдса в зазоре, а $Re_{кр}$ – критическое значение этого числа, соответствующее нарушению устойчивости ламинарного режима течения. Значение $Re_{кр}$ в значительной степени зависит от наличия возмущений, действующих на поток. К числу таких возмущений следует отнести вибрацию, шероховатость стенок, пульсации перепада давления, условия входа жидкости в щель. Для гладких щелей значение $Re_{кр}$ находится в пределах от 1000 до 2000. В исследуемом уплотнении число Re не превышало нижней границы указанного диапазона и, следовательно, течения в щели являлся ламинарным.

Однако, при вращении одной из поверхностей, образующих щель, картина течения в щели значительно усложняется из-за появления окружного потока. При наличии такого потока и под действием перепада давления создается сложное спиральное течение. Анализ такого течения затруднен. Для оценки его устойчивости вводится специальное условие:

$$Ta < Ta_{кр},$$

где Ta – число Тейлора, а $Ta_{кр}$ – его критическое значение. В свою очередь, число Тейлора определяется как:

$$Ta = Re \cdot \left(\frac{h}{r} \right)^{\frac{1}{2}},$$

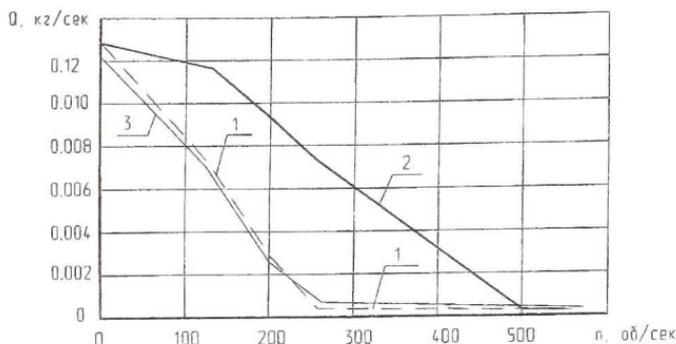


Рисунок 2 - Сравнение результатов эксперимента (1) с результатами расчета по формуле (2) и методом конечных элементов (3)

При достижении потоком критического значения числа Та ($Ta_{кр} = 41,3$) в щели возникают произвольно чередующиеся вихри, вращающиеся в противоположных направлениях. Для исследуемого уплотнения данное условие устойчивости также выполнялось.

Исходя из действующего режима течения, утечки через радиальную уплотнительную щель можно оценить по известной формуле:

$$Q = \frac{\pi \cdot r_m}{6 \cdot \nu \cdot (r_o - r_i)} \cdot \left[\Delta p - \frac{3}{20} \cdot \rho \cdot \omega^2 \cdot (r_o^2 - r_i^2) \right] \cdot h_{\min}^3 \cdot \rho \quad (1)$$

В результате проведенных расчетов было выяснено, что предложенная формула не обеспечивает удовлетворительного совпадения расчетных результатов с результатами эксперимента. Кривые, соответствующие экспериментальным и расчетным данным показаны на рис. 2. Здесь нужно отметить, что существуют также способы определения утечек по эмпирическим формулам. Однако, вычисление по ним сопряжено с большими трудностями, т.к. необходимо знать значения коэффициента местных потерь, коэффициент сопротивления трению и среднюю скорость течения в щели.

Чтобы создать расчетную модель, адекватно отображающую происходящие в уплотнении процессы, были использован программный комплекс ANSYS. При создании модели были известны геометрические параметры, частоты вращения, плотность и вязкость среды. Перепад давления определялся по формуле (1) для условия $\omega=0$ (при отсутствии вращения). Давление на входе в уплотнительную щель вычислялось как сумма атмосферного давления и давления, возникающего от действия скоростного напора.

В результате проведенной серии расчетов были получены распределения скоростей на выходе из уплотнительной щели по всей длине зазо-

ра при разных частотах вращения. По этим значениям легко определялись утечки для каждого случая. Результаты расчетов приведены на рис. 2.

Из сравнения кривых, показанных на рис. 2, видно, что модель, созданная с помощью программного комплекса ANSYS, дает очень точные результаты, почти идеально совпадающие с экспериментальными данными. Разработки подобной модели может значительно облегчить труд по выбору оптимальных параметров уплотнительной щели. С ее помощью можно исследовать, например, влияние на величину утечек вязкости, плотности, геометрических параметров и частоты вращения, не проводя дорогостоящих экспериментов.

Учитывая, что шелевые уплотнения широко используются в ДЛА, разработка и внедрение расчетных моделей, основанных на методе конечных элементов, имеет большие перспективы.

УНИФИЦИРОВАННАЯ МЕТОДИКА РАСЧЕТА УПЛОТНИТЕЛЬНЫХ УЗЛОВ

Лежин Д.С.

Самарский государственный аэрокосмический университет, г. Самара

Уплотнительные узлы являются обязательным атрибутом любой силовой установки. Известны различные типы уплотнительных узлов подвижных соединений: торцевые контактные уплотнения (ТКУ), радиально – торцевые контактные уплотнения (РТКУ), торцевые бесконтактные уплотнения (ТБКУ), которые в свою очередь делятся на гидростатические (ТГСУ) и гидродинамические (ТГДУ), и т. д.. Многообразие типов уплотнительных узлов обусловлено спецификой технических характеристик каждого из них, т. е. выбор конкретного типа уплотнения осуществляется конструктором на основании анализа требований, предъявляемых к проектируемому узлу. Каждому типу уплотнительного узла присущи свои физические принципы обеспечения герметичности, свои конструктивные особенности. В то же время основные конструктивные элементы различных типов уплотнений имеют одинаковое функциональное назначение. Кроме того, процессы, происходящие в отдельных конструктивных элементах, имеют схожее аналитическое описание. Этим, в частности, обусловлена нечеткость границ между различными типами уплотнений. Так, работа ТГДУ и ТГСУ на некоторых переходных режимах характеризуется наличием контакта, а ТКУ может работать в бесконтактном режиме. При проектировании необходимо проводить расчет основных характеристик уплотнения на всех режимах работы.

Все эти соображения наводят на мысли о возможности и целесообразности создания единой, интегральной методики, вбирающей в себя физические механизмы, присутствующие во всех вышеперечисленных типах уплотнений. Состав отдельных блоков, входящих в эту методику