

ЭКСПЕРИМЕНТАЛЬНЫЙ СТЕНД ДЛЯ СРАВНЕНИЯ ПРЕДВКЛЮЧЕННЫХ ЭЖЕКТОРНЫХ СТУПЕНЕЙ РАЗЛИЧНЫХ ТИПОВ НА БАЗЕ ЖИДКОСТНО-КОЛЬЦЕВОГО ВАКУУМ-НАСОСА

Д.А. Левченко, аспирант

Сумский государственный университет, г. Сумы

В данной статье описывается экспериментальный стенд для сравнения предвключенных эжекторных ступеней различных типов на базе жидкостно-кольцевого вакуум-насоса. Описываются основные отрасли и условия применения вакуумных агрегатов на базе жидкостно-кольцевых машин, а также указывается на целесообразность проведения экспериментальных исследований эжекторных ступеней различных типов. В статье представлены эскизы испытываемых предвключенных эжекторных ступеней, различные вариации их компоновки, указаны измеряемые параметры. Кроме того, обращается внимание на необходимость уточнения ранее проведенного теоретического эксперимента, в частности, измерения поля скоростей по характерным сечениям в проточной части вихревой эжекторной ступени.

Ця стаття описує експериментальний стенд для порівняння передувімкнених ежекторних ступенів різних типів на базі рідинно-кільцевого вакуум-насоса. Описуються основні галузі та умови використання вакуумних агрегатів на базі рідинно-кільцевих машин, а також вказується на доцільність проведення експериментальних досліджень ежекторних ступенів різних типів. У статті подані ескізи випробуваних передувімкнених ежекторних ступенів, різні варіації їх компоновання, зазначені параметри, що вимірюються. Крім того, звертається увага на необхідність уточнення раніше проведеного експерименту, а саме вимірювання поля швидкості у характерних перерізах проточної частини вихрового ежекторного ступеня.

ВВЕДЕНИЕ

Жидкостно-кольцевые машины (ЖКМ) широко применяются в различных технологических процессах химической и пищевой промышленности. Они применяются как вакуумные насосы для создания разрежения с абсолютным давлением до 3-5 кПа и как химические реакторы для массообменных процессов между сжимаемым газом и рабочей жидкостью.

В различных технологиях переработки пищевых продуктов на основе процессов консервирования и сушки используются системы тепло- и парогенерации. Замена технологий удаления жидкой фазы путем ее нагрева и выпаривания на более низкотемпературные процессы в условиях вакуума повышает качество продукции и снижает энергозатраты.

Для откачки парогазовой смеси в рассматриваемых установках применяются золотниковые вакуумные насосы, выбор которых не является оптимальным с позиций энергосбережения и загрязнения окружающей среды, что актуально в настоящее время. Кроме того, при использовании золотниковых вакуум-насосов практически невозможно обеспечить регламентируемый уровень парциального давления водяного пара в откачиваемой парогазовой смеси. Так, например, вакуумные агрегаты золотникового типа АВПЛ-90Т и АВПЛ-180Т с повышенной способностью по откачке паров воды имеют уровень максимально допустимого давления паров воды 4,7 кПа. Таким образом, работа подобного агрегата в составе установки вакуумного охлаждения при температурах раствора выше 35°C будет сопровождаться конденсацией пара внутри рабочей полости, образованием водомасляной эмульсии и

существенным ухудшением режимных характеристик и показателей надежности как самого насоса, так и установки в целом.

В отличие от золотниковых вакуумных насосов применение жидкостно-кольцевых имеет ряд преимуществ: ЖКМ не требуют смазки рабочей полости, просты в эксплуатации, надежны и сравнительно дешевы.

Одноступенчатые жидкостно-кольцевые вакуумные насосы (ЖКВН) проектируют и изготавливают на давления всасывания 20-30 кПа при оптимальной объемной производительности. Но такие ЖКВН создают относительно низкий вакуум, что ограничивает их применение. Достижимый в них вакуум определяется давлением насыщенных паров рабочей жидкости, а также конструктивными особенностями – наличием торцевых зазоров между лопастным колесом и корпусом жидкостно-кольцевой машины, что приводит к перетечкам газа. Если температура воды в жидкостном кольце равна 15°C, то при давлении 1,7 кПа она закипает, и производительность ЖКВН падает до нуля [1,2].

Для решения таких задач предприятиями-изготовителями практикуется выпуск двухступенчатых одновалных или последовательно работающих ЖКВН, а также агрегатирование одноступенчатых ЖКВН вихревыми или прямоструйными эжекторными ступенями [3-6].

Особенностью подобных агрегатов является то, что активный поток атмосферного воздуха расширяется в каналах подвода активного потока не за счет ранее приобретенного им потенциала статического давления, а посредством перераспределения энергии, подводимой на привод вакуумного насоса. Благодаря этому осуществляется более эффективное взаимодействие активного и откачиваемого пассивного потоков, а также исключается появление застойных зон [7].

Исследование вакуумных агрегатов на базе ЖКВН с предвключенной воздушной эжекторной ступенью представляет научный и практический интерес, т.к. эффективность работы воздушного эжектора в качестве ступени ЖКВН в значительной степени зависит от правильного выбора геометрических параметров аппарата. Применение ВЭС для вакуумных агрегатов на базе ЖКВН позволяет повысить производительность и снизить удельную мощность агрегата в области низких давлений всасывания (по сравнению с одноступенчатыми и двухступенчатыми ЖКВН). Это позволяет расширить область эффективного применения ЖКВН по производительности и по давлению всасывания. Расчет геометрических параметров вихревого эжектора базируется на результатах экспериментальных исследований, однако на настоящее время их недостаточно.

ОПИСАНИЕ ЭКСПЕРИМЕНТАЛЬНОГО СТЕНДА

В лаборатории кафедры ТТФ СумГУ создан экспериментальный стенд для исследования характеристик вакуумных агрегатов на базе ЖКВН с предвключенной эжекторной ступенью различной конструкции, общий вид которого представлен на рисунке 1.

Стенд включает в себя ЖКВН марки ВВН 1,5/0,5 с замкнутой системой водоснабжения и эжектором объемной производительностью 1,5 м³/мин, бак-водоотделитель, служащий для отделения жидкости и газа на выходе из ЖКВН и емкостью для забора воды, соединительные трубопроводы, арматуру и систему измерительных приборов.

Привод насоса осуществляется от асинхронного электродвигателя типа АИР 100S4, частота вращения вала 25 с⁻¹, мощность 3 кВт, напряжение 380 В.

Стенд обеспечивает контроль параметров откачиваемой среды и рабочей жидкости, а также регулирование их расходных характеристик и определение объемных и энергетических характеристик вакуумного агрегата и его ступеней.



Рисунок 1 – Общий вид экспериментального стенда

Подача рабочей жидкости осуществляется за счет её подсоса из бака во всасывающий трубопровод. Предусмотрено регулирование объемной производительности откачиваемой среды при помощи вентилей. Осуществляется контроль параметров потока перед жидкостно-кольцевой машиной и за ней.

Как показал анализ литературных источников, в составе вакуумного агрегата применяется в основном прямотруйный воздушный эжектор (рисунок 2).

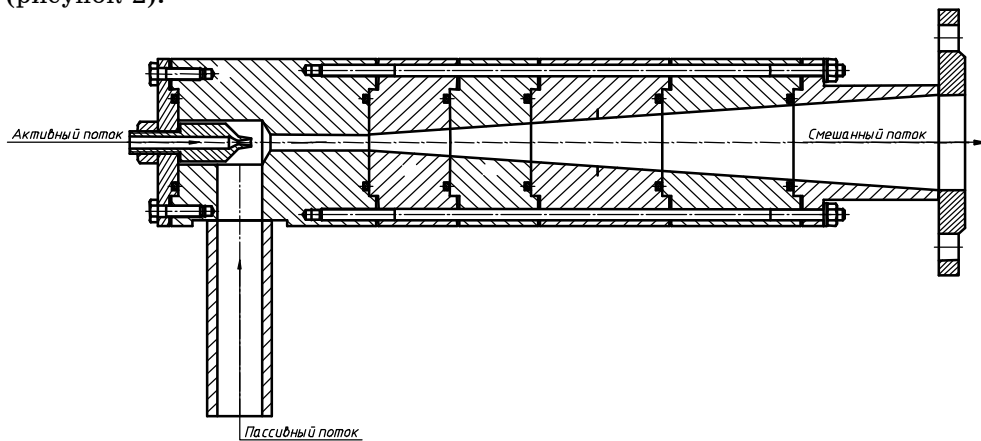


Рисунок 2 – Эскиз прямотруйного воздушного эжектора

Однако данный тип эжектора обладает рядом недостатков: работа эжектора при сверхзвуковых скоростях вызывает необходимость использования для ввода активного потока специально сprofilированного сопла Лавалья, которое при своей работе чувствительно к пульсации давлений и к изменению режима работы; отсутствие возможности полного и эффективного перемешивания активного и пассивного потоков в камере смешения эжектора; имеют

место потери на трение по длине в осевом диффузоре, а также сложность в обеспечении безотрывности потока.

Вихревой эжектор, конструктивная схема которого представлена на рисунке 3, основан на вихревом принципе эжекции.

Воздушный эжектор состоит из сопла пассивного потока, каналов подводов активного потока, камеры смешения и диффузора.

Активный поток через каналы поступает в камеру смешения, где образуется вращающийся поток с приосевой областью пониженного давления. В эту область через сопло эжектируется пассивный поток. Оба потока перемешиваются в камере смешения, где происходит выравнивание их скоростей, при этом скорость пассивного потока уменьшается, а активного - увеличивается. Длина камеры смешения выбирается из условия получения на выходе из неё равномерного потока. В диффузоре за счет торможения давление смешанного потока возрастает.

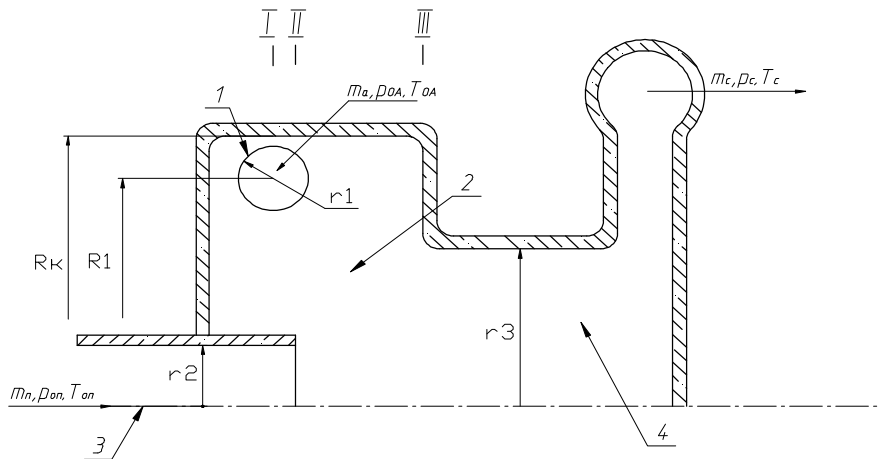


Рисунок 3 – Схема вихревого эжектора:

1 - тангенциальное сопло; 2 - камера смешения; 3 - сопло подачи эжектируемого воздуха; 4 - радиально-целевой диффузор.

Расчетные сечения: I – выход активного потока; II – выход активного и пассивного потоков в зону смешения; III – вход смешанного потока в подводящий патрубок осерадиального диффузора;

m_n, p_{on}, T_{on} ; m_a, p_{OA}, T_{OA} и m_c, p_c, T_c - параметры пассивного, активного и смешанного потоков (массовый расход, абсолютное давление и абсолютная температура) соответственно; R_1 - расстояние от оси активного сопла до оси эжектора; R_k - радиус вихревой камеры; r_1 - выходной радиус активного сопла; r_2 - радиус пассивного сопла; r_3 - радиус входного патрубка радиально-целевого диффузора

На базе созданного стенда предполагается провести серию экспериментальных исследований с целью определения конструктивных и газодинамических факторов, влияющих на эффективность вихревой эжекторной ступени (ВЭС) вакуумного агрегата, а также сравнительной оценки и указания областей эффективного применения предвключенных эжекторных ступеней различных типов.

Значительное влияние на эффективность работы воздушного эжектора оказывают такие геометрические параметры, как основные размеры его проточной части. Для этого предусмотрены различные конструктивные исполнения вихревого эжектора, при этом был учтен положительный (по

режимным характеристикам: $V_{BC.AGP} = f(p_{on})$ и $\dot{m}_n = \frac{U}{U+1} \cdot \dot{m}_c$) опыт

предыдущих исследований вихревого эжектора [8], а именно: тип канала подвода активного потока выполнен тангенциально-лотковый, сам тип эжектора по принципу действия выбран прямоструйный.

На рисунке 4 представлено одно из предлагаемых конструктивных исполнений вихревого эжектора. Приемная камера 4 изготавливается из материала (пластмассы), который позволяет формировать проточную часть приемной камеры эжектора практически любой сложности (цилиндрическую, коническую, криволинейную). В данной работе представлена криволинейная форма проточной части приемной камеры. Предусмотрено изготовление сопел пассивного потока с такой геометрией, у которых наружная сторона как повторяет геометрию приемной камеры, так и коническую. Кроме того, длина и высота сопла пассивного потока относительно приемной камеры также имеет несколько вариантов исполнения. Все это позволяет провести экспериментальные исследования и оценить влияние геометрических параметров предвключенной вихревой эжекторной ступени на режимные характеристики вакуумного агрегата.

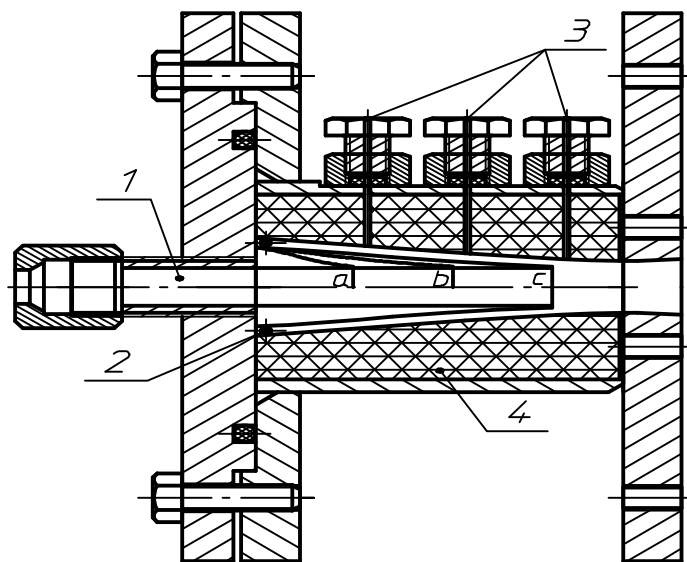


Рисунок 4 – Конструктивное исполнение вихревого эжектора с переменной длиной сопла пассивного потока:

1 - сопло подвода пассивного потока; 2 - тангенциальное сопло подвода активного потока; 3 - каналы подвода зонда для измерения поля скоростей в расчетных сечениях a,b,c соответственно; 4 - спрофилированная камера смешения активного и пассивного потоков

В результате проведенных на стенде предварительных исследований была предложена концептуальная модель методики расчета вихревой эжекторной ступени и получено теоретическое распределение скоростей тангенциального потока по радиусу цилиндрической камеры в характерных сечениях I, II и III (рисунок 5).

Характерные сечения выбраны таким образом, чтобы иметь возможность получать информацию о характере процессов течения по длине проточной части вихревого эжектора. Сечение I расположено перед срезом сопла пассивного потока и позволяет определить интенсивность процесса закрутки активного потока до его взаимодействия с пассивным потоком; сечение II расположено непосредственно на срезе сопла пассивного потока и позволяет оценить характер взаимодействия активного и пассивного потоков; сечение III расположено перед входом с

камеру смешения и позволяет получить данные о процессе смешения, о чем будет свидетельствовать степень выравнивания полей скоростей активного и пассивного потоков. Дальнейшим направлением исследований является получение экспериментального подтверждения распределения поля скоростей в элементах проточной части эжектора.

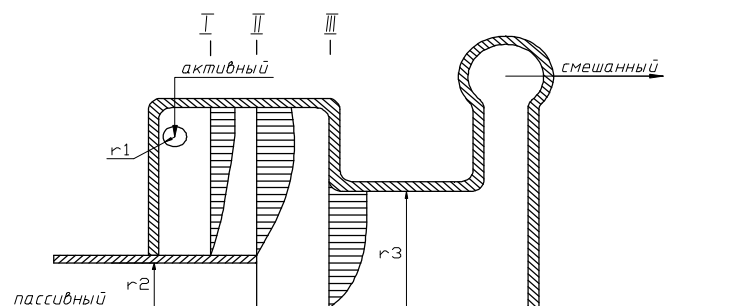


Рисунок 5 – Обобщающий вид распределения скоростей в элементах проточной части ВЭС

ЗАКЛЮЧЕНИЕ

В данной статье сформулированы задачи и направления исследования ВЭС различного типа на базе серийного водокольцевого вакуумного насоса ВВН 1,5/0,5 с замкнутой системой водоснабжения, серийно выпускаемого ОЭЗ ВНИИ Компрессормаша (г. Сумы). Приведено описание экспериментального стенда для исследования потока в элементах проточной части ВЭС.

SUMMARY

THE EXPERIMENTAL SIMULATOR FOR COMPARISON OF PRESTARTED EJECTOR STAGES OF VARIOUS TYPES ON THE BASIS OF THE RING-LIQUID VACUUM PUMP

D.A. Levchenko

Sumy State University

In given article the experimental bench for comparison of topping ejector stages of various types on the basis of the water-ring vacuum pump is described. The basic branches and conditions of application of vacuum units on the basis of water-ring machines are described. Also, in the article the expediency of carrying out of experimental researches of ejector stages of various types is underlined. In the article the outlines of topping ejector stages under probation, various types of their configuration are presented, measured characteristics are specified. Besides, the attention is paid to necessity of specification of the previously conducted theoretical experiment, in particular, measurements of a field of speeds according to specific sections in the flowing part of the vortical ejector stage.

СПИСОК ЛИТЕРАТУРЫ

1. Мелейчук С.С. Техническое содержание и задачи экспериментальных исследований вакуумных агрегатов на базе жидкостно-кольцевых машин // Вестник Сумского государственного университета. -2004. -№13. -С.80-85.
2. Механические вакуумные насосы / Е.С. Фролов, И.В. Автономова, В.И. Васильев и др. – М.: Машиностроение, 1989. – 288 с.
3. Райзман И.А. Жидкостно-кольцевые вакуумные насосы и компрессоры. - Казань, 1995.- 258 с.
4. Триполко С.С. Повышение предельного вакуума водокольцевых и ротационно-пластинчатых вакуум – насосов с помощью газового эжектора // Химическое машиностроение. – 1962. - №5. - С.23-24.
5. Жидкостно-кольцевой вакуумный насос: А. с. 423940 СССР, МКИ F04c7/00;F04c19/00 / И.А. Райзман, А.И. Рудаков и Э.М.Мац (СССР).-1844497/24-6; Заявл. 09.11.72; Опубл. 15.04.74, Бюл. №14.-2с.
6. Жидкостно-кольцевая машина: А.с. 1566085 СССР, МКИ F04c7;F04c19/00 /В.А. Максимов, В.А. Пирогов и Л.Г. Редман (СССР).-4402405/40-29; Заявл. 04.04.88; Опубл. 23.05.90, Бюл. №19. - 2с.
7. Мелейчук С.С. Арсеньев В.М. Экспериментальные исследования воздушной эжекторной ступени жидкостно-кольцевой машины // Холодильная техника и технология. - 2005. - №6. - С.45-49.
8. Мелейчук С.С. Рабочий процесс и характеристики вихревой эжекторной ступени вакуумного агрегата: Автореф. дис. ... канд. техн. наук. - Сумы, 2007. - 20 с.

Поступила в редакцию 12 февраля 2009 г.