

Среди механических средств откачки, обеспечивающих получение безмасляного низкого вакуума, наиболее востребованными являются спиральный, кулачково-зубчатый, двухроторный и винтовой насосы. Кулачково-зубчатый вакуумный насос (КЗВН) за рубежом находит все более широкое применение. И это не смотря на то, что удельная стоимость быстроты действия КЗВН существенно выше, чем спиральных или винтовых [1]. Благодаря полному внутреннему сжатию он обладает более высоким адиабатным КПД, по сравнению с насосами с внешним сжатием. Сочетание двухроторной ступени типа Рутс на входе и одной или нескольких ступеней КЗВН на выходе позволяет значительно понизить остаточное давление, и повысить быстроту действия насоса. Примером таких машин являются трехступенчатые насосы серии «DRYSTAR» фирмы «Edwards» [2, 3], позволяющие получить давление от 4 до 40 Па, и четырехступенчатые машины серии «DRYVAC» фирмы «Leybold» [4] – от $3 \cdot 10^{-1}$ до 3 Па. В России и странах СНГ подобные машины не выпускаются. Исследование одноступенчатого КЗВН и многоступенчатого агрегата на его основе проводилось в работах [5, 6]. Экспериментальный агрегат (рис. 1) был спроектирован и изготовлен на базе насоса НВД-200 (ДВН-50), серийно выпускаемого ОАО «Вакууммаш» (г. Казань). Вторая ступень содержит кулачково-зубчатые ротора, идентичные использованным в одноступенчатом насосе [5]. Синхронное вращение роторов осуществляется за счет пары косозубых шестерен, расположенных на концах валов, и размещенных в масляном картере, отделенном от рабочей полости агрегата. Зазоры между роторами и роторами и корпусом составляют десятые и даже сотые доли миллиметра. Всасывание газа в агрегате происходит через патрубок Ду 40, расположенный вертикально в ступени типа Рутс. Окна всасывания и нагнетания второй ступени размещены в торцевых крышках. Длина роторов ступеней одинакова и составляет 50 мм. Ступени отделены друг от друга перегородкой, в которой выполнен канал, соединяющий их. Для измерения давления и температуры газа между ступенями в перегородку вмонтирован патрубок с закрепленным в нем датчиком давления и термопарой. Рис. 1 – Экспериментальный агрегат на базе ступеней типа Рутс и КЗВН: 1– ротора типа Рутс; 2– кулачково-зубчатые ротора; 3– канал, соединяющий ступени; 4– выходное отверстие; 5 – патрубок для присоединения датчиков измерения давления и температуры между ступенями; 6– входное отверстие; 7 – синхронизирующие шестерни; 8 – межступенчатая перегородка. Для измерения давлений использовались образцовые деформационно-термопарные вакуумметры ВДТО-2 с максимальной погрешностью $\pm 10\%$. Расход газа измерялся газовыми счетчиками РГ-40 (кл. т.2) и ГСБ-400 (кл. т.1), ротаметрами РМ-0,04 (кл. т.2,5) и РМ-4 (кл. т.2,5) и бюретками. Температура фиксировалась при помощи хромель-копелевых термопар и устройства контроля температуры УКТ38-Щ4.Т.П (погрешность $\pm 0,5\%$). Вакуумная схема стенда представлена на

рис. 2. Частота вращения роторов измерялась фототахометром АКТАКОМ АТТ-6002 с погрешностью $\pm 0,1\%$. С использованием разработанного экспериментального стенда были получены: - быстрота действия агрегата в зависимости от давления на входе в ступень типа Рутс $S1=f(P1)$; - быстрота действия кулачково-зубчатой ступени агрегата в зависимости от давления на входе в нее $S2=f(P2)$; - температуры газа между ступенями и на выходе из агрегата, а также температура корпуса в зависимости от продолжительности работы агрегата и давления на входе; - предельное остаточное давление на входе первой и второй ступеней от частоты вращения роторов. Некоторые результаты измерений приведены на рис. 3, 4. Рис. 2 – Вакуумная схема экспериментального стенда

Путем плавной регулировки частоты вращения двигателя с помощью частотного преобразователя EI-8001-005H была получена зависимость остаточного давления по ступеням от частоты вращения ротора, которая представлена на рис. 3. Можно видеть, что двухступенчатая конструкция позволяет получить предельное остаточное давление ниже 2000 Па при 3000 об/мин. Рис. 3 – Зависимость остаточного давления от частоты вращения ротора

Полученные в работе [6] зависимости быстроты действия от давления на входе при различных частотах вращения роторов (в интервале от 500 до 3000 об/мин), показали, что при частоте вращения 3000 об/мин быстрота действия двухступенчатого агрегата составила 16 л/с. На рис. 4 приведены зависимости температур газа, измеренных между ступенями $t1$ и на выходе из агрегата $t_{ВЫХ}$ от давления на входе при различных частотах вращения ротора. Рис. 4 – Температура между ступенями и на выходе из агрегата в зависимости от давления на входе при частотах вращения 3000 и 1800 об/мин

Наблюдается достаточно серьезный нагрев газа при давлениях выше 10000 Па и частотах вращения, близких к 3000 об/мин. Максимальная температура на выходе из агрегата составила 1400С. Проведенные экспериментальные исследования показали перспективность использования двухступенчатого агрегата на базе ДВН и КЗВН в установках низкого вакуума, в частности, в системах получения безмасляного вакуума в химии и нефтехимии.