

УДК 621.514

Б. Г. НЕХОРОШЕВ*Национальный аэрокосмический университет им. Н. Е. Жуковского «ХАИ»***РОТОРНО-ПОРШНЕВОЙ ЭЛЕКТРОКОМПРЕССОР ЭВК 0,4/0,8**

Приведено описание одноступенчатого роторно-поршневого электрокомпрессора ЭВК0,4/0,8 и компрессора ВК0,4/0,8. Компрессор принудительного воздушного охлаждения. Электрокомпрессор испытан в режиме компрессора и вакуум-насоса при работе на воздухе. При избыточном давлении 0,8 МПа и частоте вращения вала 1410 об/мин производительность 0,45 м³/мин, потребляемая электрическая мощность 5,2 кВт. Масса электрокомпрессора в алюминиевом исполнении 70 кг, компрессора 34 кг. Представлены зависимости производительности, потребляемой электрической мощности и температуры нагнетания от давления нагнетания для режима компрессора и тех же параметров от величины вакуума для режима вакуум-насоса.

Ключевые слова: роторно-поршневой компрессор, вакуум-насос, вентилятор, герметизация камер, испытания.

Введение

При многих положительных свойствах поршневые машины, в том числе компрессоры, обладают одним неустраняемым недостатком - наличием кривошипно-шатунного механизма (КШМ) и, как следствие, неравномерным возвратно-поступательным движением с циклически изменяющимися скоростью и ускорением элементов КШМ. Это приводит к переменным по величине и направлению инерционным нагрузкам, часть из которых реально не может быть устранена и это является причиной повышенных вибраций и шума. Отсюда стремление заменить неравномерное возвратно-поступательное движение равномерным вращательным, чему и посвящена данная разработка.

В настоящее время в диапазоне наиболее массового применения компрессоров производительностью до 1 м³/мин и давления нагнетания (здесь и далее избыточных) до 0,8 (1) МПа в пневматических системах электротранспортных средств (вагонов метро, троллейбусов, трамваев, поездов), автомобилей, автобусов, тракторов, бронетранспортеров, а также в небольших цехах различных предприятий, автомастерских, при производстве строительных и ремонтных работ используются одноступенчатые двухцилиндровые поршневые компрессоры (ПК), за долгие годы своего развития во многих фирмах и странах достигшие высокого технического уровня, однако, практически исчерпавшие возможности дальнейшего усовершенствования.

В указанном диапазоне параметров могут быть использованы с большей эффективностью роторно-поршневые компрессоры (РПК), испытания многочисленных образцов которых показали, что по сравнению с ПК они, изготовленные из тех же материа-

лов и при тех же частотах вращения, на 30...50% меньше по массе, стоимости изготовления и обслуживанию, а ресурс и энергопотребление находятся на уровне лучших мировых образцов. В РПК имеет место только равномерное вращательное движение, поэтому обеспечивается полное уравнивание центробежных сил, в связи с чем практически отсутствуют вибрации, ниже уровень шума. Компрессор может быть использован и в качестве вакуум-насоса.

В Советском Союзе разработкой, исследованием, промышленными испытаниями и доводкой РПК на объектах эксплуатации успешно занимались в Харьковском авиационном институте (ХАИ) совместно с Первомайским тормозным заводом Нижегородской области (ПТЗ), Мелитопольскими заводами - компрессорным (МКЗ) и холодильных машин (МЗХМ), Московским автоагрегатным заводом (МАЗ). (Здесь указаны старые наименования предприятий.)

В ХАИ накоплен значительный опыт по расчетам, проектированию, изготовлению, испытаниям и доводке РПК. Так, спроектированная в ХАИ, изготовленная и испытанная на МКЗ автоматизированная компрессорная установка с двухступенчатым компрессором ВК5/1,2 производительностью 5 м³/мин и давлением нагнетания 1,2 МПа успешно прошла внутривзаводские и межведомственные испытания, выставлялась на ВДНХ СССР [1]. Холодильные компрессоры ХКБ10 холодопроизводительностью 11 кВт также успешно прошли длительные испытания на МЗХМ, во ВНИИХОЛОДМАШе, Киевском универсаме «Десна». Компрессор выставлялся на международной специализированной выставке ИНПРОДТОРГМАШ-91 [2].

Результаты работ докладывались автором на многих всесоюзных научно-технических конферен-

циях, Госкомитете по науке и технике СССР и были одобрены, 16 статей и множество тезисов напечатаны во всеююзных журналах, технических отчетах, получено 28 авторских свидетельств. В Харьковском метрополитене прошли предварительные испытания воздушного РПК, предназначенного для пневматических систем вагонов метро и троллейбусов.

Компрессоры ПТЗ РК-4, РК-4Б, РК-8 испытывали на электропоездах, экскаваторах, которые также продемонстрировали хорошие на то время показатели. И компрессоры МААЗ ЭРПК-304 успешно прошли испытания на автомобилях ЗИЛ в тяжелых условиях эксплуатации в Москве.

Все выше названные компрессоры планировались к серийному освоению. Однако после развала Советского Союза работы по РПК были прекращены.

Используя накопленный опыт и современные технологии, в настоящее время имеется реальная возможность отказаться от закупки импортных винтовых и поршневых компрессоров и вместо них на отечественных предприятиях производить РПК, по основным техническим показателям, не уступающим их лучшим мировым образцам.

По информации в интернете сейчас возобновились и продолжают работы по усовершенствованному варианту ЭРПК-304.

Описание конструкции электрокомпрессора и компрессора

Электрокомпрессор ЭВК0,4/0,8 производительностью 0,45 м³/мин при давлении нагнетания 0,8 МПа. Номинальная частота вращения вала 1410 об/мин, масса в алюминиевом исполнении электрокомпрессора 70 кг, компрессора 34 кг, габаритные размеры электрокомпрессора LxVxH=835x300x286 мм, компрессора 426x300x286 мм.

Электрокомпрессор (рис.1) состоит из компрессора 1, электродвигателя АИР100L4 2, промежуточного (соединительного) корпуса 3 и упругой втулочно-пальцевой муфты 4. За счет изменения только промежуточного корпуса компрессор можно подключать к различным электродвигателям переменного или постоянного тока, например, с различной частотой вращения вала, изменяя, таким образом, производительность.

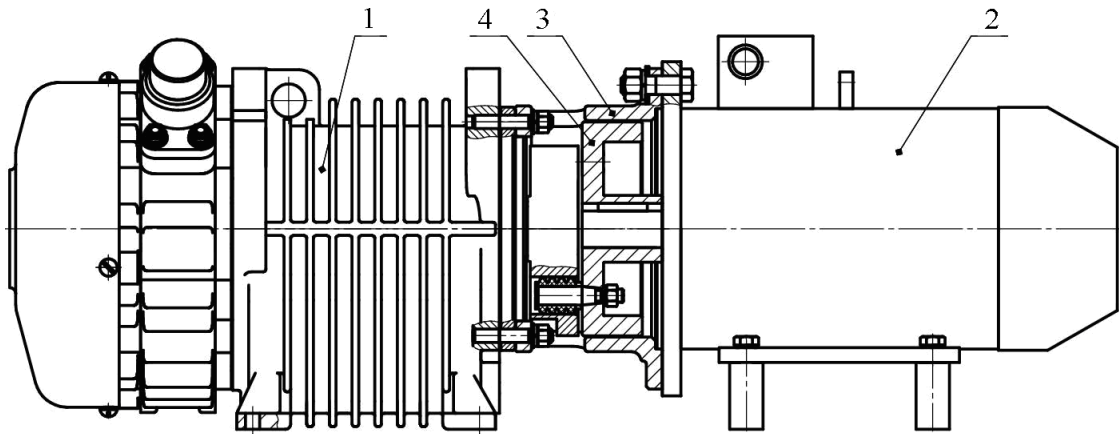


Рис. 1. Электрокомпрессор ЭВК0,4/0,8

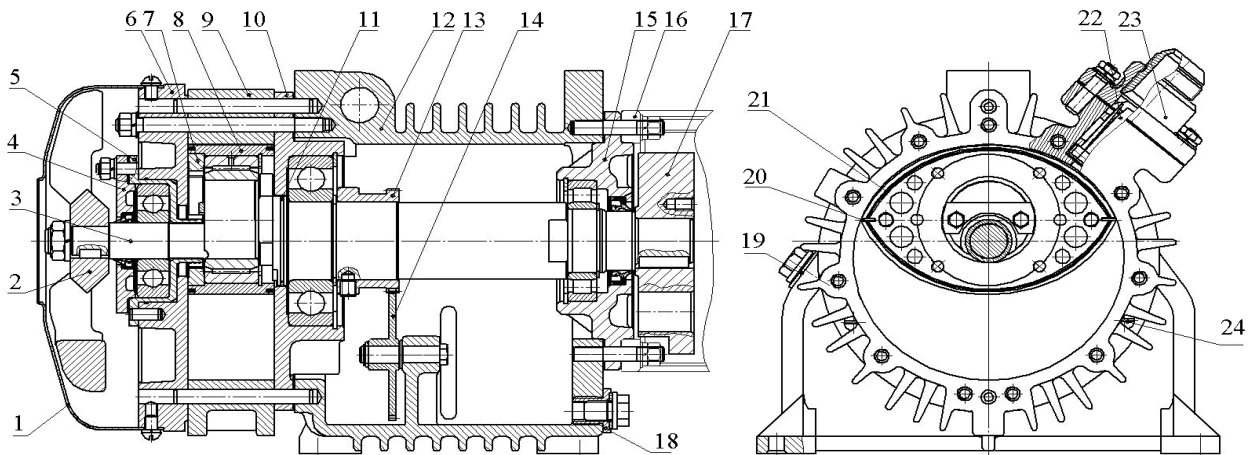


Рис. 2. Компрессор ВК 0,4/0,8

Компрессор ВК0,4/0,8 (рис.2) - одноступенчатый, односекционный. Его основными деталями являются эпитрохоидный корпус 9, закрытый с торцов передней 6 и задней 10 боковыми крышками, которые к картеру 12 крепятся шпильками, а совместная их выстановка и сборка обеспечиваются двумя штифтами. Внутри корпуса и крышек на эксцентриковом валу 3 совершает планетарное движение двухвершинный ротор 8, вращаясь вместе с валом и проворачиваясь относительно него, образуя две рабочие камеры переменного объема. Их герметизация осуществляется двумя радиальными уплотнительными планками 20, размещенными в вершинах ротора и четырьмя торцевыми 21. Радиальные и торцевые планки прижимаются к уплотняемым поверхностям экспандерами (волновыми пружинами) и газовыми силами, причем радиальные планки в отличие от ротационно-пластинчатых машин в пазах ротора не перемещаются. По мере износа радиальных и торцевых планок они выдвигаются экспандерами, в связи с чем герметичность уплотнений не нарушается. Чтобы исключить подклинивание радиальных планок торцевыми, возникающими от сил трения торцевых планок о боковые крышки при вращении ротора, последние фиксируются от перемещения в торцевых канавках ротора шипами (выступами), выполненными на нерабочих поверхностях планок, которые входят в отверстия, выполненные в торцевых канавках, по одному шипу на торцевую планку.

Для согласования вращения вала относительно ротора и корпуса применяется синхронизирующая зубчатая передача внутреннего зацепления, состоящая из шестерни 5, неподвижно закрепленной в передней боковой крышке 6 и зубчатого колеса 7, жестко закрепленного в роторе 8. Передаточное отношение между ними равно $\frac{1}{2}$: за один оборот ротора вал проворачивается на два оборота, т.е. ротор вращается в два раза медленнее вала, но поскольку у него две грани, на каждый оборот вала осуществляется одна подача. Крышка 6 и шестерня 5, ротор 8 и колесо 7 являются (как правило) неразъемными соединениями.

Вал опирается на три коренных подшипника качения, размещенные в расточках передней крышки 6 (через шестерню 5), задней крышки 10 и крышки картера 15, его осевая фиксация обеспечивается средним коренным подшипником, размещенным в задней крышке 10 и закрепленным в ней пружинным упорным плоским внутренним кольцом. На хвостовиках вала закреплены два противовеса-маховика: передний 2 и задний 17. Противовесы-маховики служат для уравнивания центробежных сил и моментов, возникающих при вращении эксцентриковой части вала, роторного подшипника,

комплекта ротора с уплотнениями и экспандерами, а также для уменьшения неравномерности вращения вала, вызываемой неравномерностью крутящегося момента. Передний противовес-маховик 2 объединен в одно целое с вентилятором и закрыт кожухом (дефлектором) 1, которые предназначены для принудительного обдува компрессора охлаждающим потоком воздуха. Кожух 1 на входе имеет защитную сетку, предотвращающую от травматизма. Задний противовес-маховик 17 выполняет роль ведомой полумуфты.

Нагнетательный клапан 22 прямооточного типа установлен в колодце эпитрохоидного корпуса 9 и с помощью двух экспандеров и прижимов закреплен нагнетательным патрубком 23.

В электротранспорте (как и во многих других случаях) нет собственной системы смазки и ёмкости для её хранения. Поэтому в компрессоре ВК0,4/0,8 применяется картер 12, который и служит ёмкостью для масла. Его распыл внутри картера осуществляется парой находящихся в зацеплении шестерен, из которых ведущая 13 жестко закреплена на эксцентриковом валу, ведомая 14 вращается на оси, закрепленной в нижнем приливе картера. При вращении вала шестерня 14 разбрызгивает и распыливает масло. Для смазки подшипников, синхронизирующих шестерни 5 и 7, трущихся поверхностей рабочих камер, распыленная масловоздушная смесь просасывается через радиальные каналы, выполненные на рабочих поверхностях боковых крышек 6 и 10, которые соединяют внутреннюю полость картера с рабочими камерами в период процесса всасывания через зазор в разрезном кольце 11, установленном в радиальной канавке вала 3 в зоне его прохода внутри расточки задней боковой крышки 10, к которой кольцо 11 прижимается силой собственной упругости. Разрез на кольце выполняет роль дозатора (жиклера) расхода масла, поступающего на смазку, и обеспечивает ее минимальное, но достаточное количество [4]. Для залива масла в картер и слива служат резьбовые отверстия, выполненные в футерках 19 и 18, закрываемые ввертываемыми в них пробками. В пробку, ввертываемую в заливную футорку 19, устанавливается щуп для замера уровня масла в картере. Дополнительно, для визуального наблюдения за уровнем масла в боковой стенке картера установлен глазок. Суффлера в картере нет. Избыточное давление в полости картера от прорывающихся из рабочих камер газа в период процесса нагнетания не превышает 0,025 МПа и служит (в период процесса всасывания) дополнительным фактором подачи масловоздушной смеси к трущимся поверхностям. Для предотвращения вытекания масла из картера во время выполнения регламентных работ, связанных с разборкой и сборкой рабочих

камер, крышка 11 крепится к картеру 12 двумя потайными винтами 24. Сзади картер закрыт крышкой картера 15 с уплотнительной резиновой армированной манжетой. По крышке 15 центрируется и шпильками крепится к картеру промежуточный корпус 16, позволяющий через муфту напрямую соединять соосно валы компрессора и электродвигателя. В задней стенке картера предусмотрено место для установки электрического подогревателя масла при работе при низких температурах. Передний коренной подшипник закрыт и зафиксирован крышкой 4 с манжетой.

В случае применения компрессора ВК0,4/0,8 там, где имеется собственная система смазки, как например, в автомобилях, автобусах, тракторах и т.п. надобность в картере, шестернях 13 и 14 отпадает, линейные размеры компрессора сокращаются на 150 мм и, соответственно, уменьшается его масса.

Все корпусные детали: крышки 4, 6, 10 и 15, корпус 9, картер 12, нагнетательный 23 и впускной патрубки и переходной корпус 16 отлиты из алюминиевых сплавов, внутренние рабочие (трущиеся) поверхности деталей 6, 9 и 10 упрочнены корундированием, наружные поверхности деталей 6, 9, 10, 11, 12 и 15 для обеспечения жесткости, прочности и улучшения отвода тепла оребрены.

Синхронизирующие шестерни 5 и 7 выполнены из стали 38Х2МЮА, их зубья азотированы.

Испытания электрокомпрессора

Электрокомпрессор изготовлен, проведены его испытания в режиме компрессора и без всяких изменений – в режиме вакуум-насоса. Испытания компрессора производились в составе компрессорной установки с обратным клапаном и ресивером, представляющими дополнительное сопротивление воздушному потоку (что вызывало уменьшение производительности, увеличение потребляемой мощности и температуры нагнетания). В режиме вакуум-насоса нагнетание осуществлялось непосредственно в атмосферу (сразу после нагнетательного клапана). Результаты испытаний компрессора представлены на рис.3, вакуум – насоса на рис. 4.

Снятие показателей производилось на установившихся тепловых режимах. Показатели оставались стабильными. Отказов в работе не было. Замерялась электрическая мощность, потребляемая электродвигателем $N_{эд}$. Мощность компрессора $N_k = N_{эд} \cdot \eta$, где η – КПД электродвигателя. Он переменный. На номинальной нагрузке $\eta = 0,85$, а в диапазоне проведенных испытаний сильно зависит от величины нагрузок, особенно в области её малых величин.

Имеется возможность полученные результаты несколько улучшить, особенно в режиме вакуум – насоса. Кроме того, за счет изменения ширины рабочей камеры (ширины корпуса 9 см. рис.1) производительность вакуум-насоса можно увеличить в несколько раз.

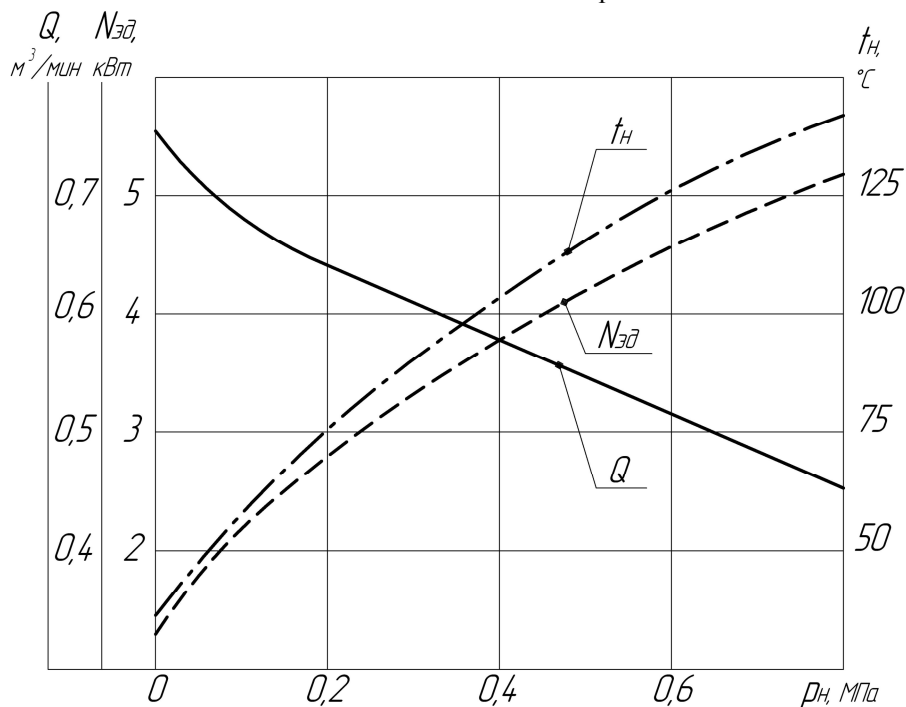


Рис. 3. Зависимость производительности Q , потребляемой мощности $N_{эд}$ и температуры нагнетания t_n от давления нагнетания p_n

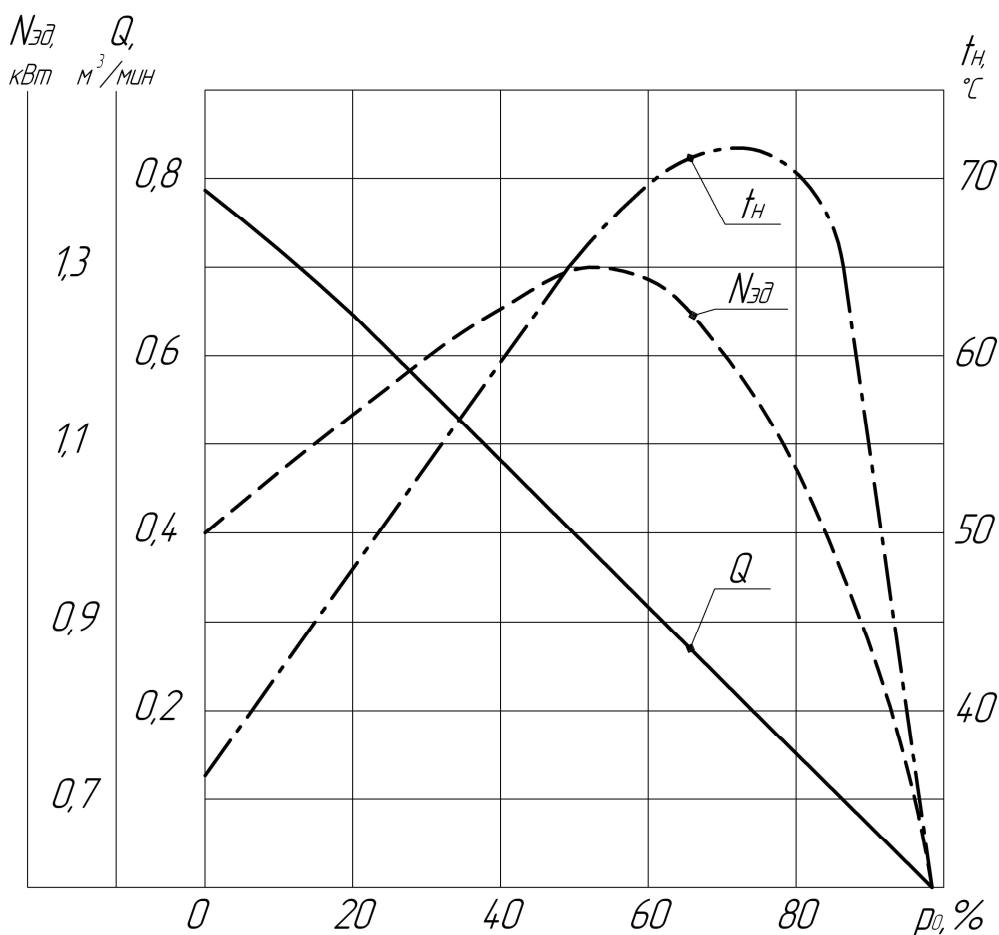


Рис. 4. Зависимость производительности Q , потребляемой мощности $N_{эд}$ и температуры нагнетания t_n от величины разрежения (вакуума) p_0

Разработаны чертежи продольного и поперечного разрезов компрессора производительностью $0,8 \text{ м}^3/\text{мин}$, давлением нагнетания $0,8 \text{ МПа}$.

Действующая установка с электрокомпрессором ЭВК $0,4/0,8$ демонстрировалась на 12 международной выставке «Насосы. Компрессоры. Арматура. Приводы и двигатели». PCVEXPO, проходившей 29.10-01.11.2013 г. в Москве.

Выводы и предложения

Испытания подтвердили высокие технические показатели компрессора. Однако центробежный вентилятор 2, изображенный на рис.2, не обеспечивал достаточного охлаждения компрессора и был заменен осевым вентилятором, показатели с которым приведены на рис. 3 и 4.

Для увеличения теплоотода от рабочих камер следует увеличить высоту охлаждающих ребер и частоту их расположения.

Литература

1. Нехорошев, Б. Г. Двухступенчатый роторно-поршневой компрессор [Текст] / Б. Г. Нехорошев. – Изв. вузов, Машиностроение. – 1979. – № 8. – С. 80-85.
2. Нехорошев, Б. Г. Роторно-поршневые компрессоры [Текст] / Б. Г. Нехорошев, В. И. Тараканов // Холодильная техника. – 1992. – № 2. – С. 17-19.
3. Нехорошев, Б. Г. Роторно-поршневой компрессор с торцевым расположением впускного окна [Текст] / Б. Г. Нехорошев, А. Т. Мартынюк. – Сб. науч. тр. Гос. аерокосм. ун-та «ХАИ». – Вып. 9. – X., 1999. – С. 464-468.
4. Патент на корисну модель №57671 Україна, МПК (2011.01) F04C 29/02 (2011.01) F04C 2/00. Роторно-поршневой компрессор [Текст] / Оленич М. В., Нехорошев Б. Г.; Заявитель и патентообладатель Нехорошев Б. Г. – № 201009471; Заявл. 28.07.2010; опубл. 10.03.2011, Бюл. № 5. – 5 с.

Рецензент: д-р техн. наук, проф. каф. 201 Л. Г. Бойко, Национальный аэрокосмический университет им. Н. Е. Жуковского «ХАИ», Харьков, Украина.

РОТОРНО-ПОРШНЕВИЙ ЭЛЕКТРОКОМПРЕССОР ЕВК 0,4/0,8

Б. Г. Нехорошев

Наведено опис одноступінчатого роторно-поршневого електрокомпресору ЕВК 0,4/0,8 і компресору ВК 0,4/0,8. Компресор примусового повітряного охолодження. Електрокомпресор випробувано у режимі компресора і вакуум-насоса при роботі на повітрі. При надмірному тиску 0,8 МПа і частоті обертання вала 1410 об/ хвилину продуктивність 0,45 м³/ хвилину, спожита електрична потужність 5,2 кВт. Маса електрокомпресора в алюмінієвому виканні 70 кг, компресора 34 кг. Наведено залежності продуктивності, спожитої електричної потужності та температури нагнітання від тиску нагнітання для режиму компресора та тих самих параметрів від величини вакууму для режиму вакуум-насоса.

Ключові слова: роторно-поршневий компресор, вакуум-насос, вентилятор, герметизація камер, іспити.

ROTARY-PISTON ELECTRICAL COMPRESSOR ЭВК 0,4/0,8

B. G. Nekhoroshev

The paper addresses the single-stage forced air cooled rotary-piston electrical compressor ЭВК 0,4/0,8 and compressor ВК 0,4/0,8 with intake port in the front side cover. The compressor was tested at compressor and vacuum pump modes, with air played a role of the working substance. A volumetric capacity of the compressor is 0,45 m³/min at excessive pressure 0,8 MPa and at rotational speed of shaft 1410 rpm. The consumed electrical power of the compressor is equal to 5,2 kW. The mass of aluminum electrical compressor is 70 kg and the mass of compressor is 34 kg. The relations between capacities, consumed electrical power, temperature of the supercharged medium and delivery pressure for the compressor mode, and the relations between the mentioned parameters and degree of vacuum for the vacuum pump mode are embodied.

Keywords: rotary-piston compressor, vacuum pump, fan, face injection, testings.

Нехорошев Борис Георгиевич – консультант кафедры конструкции авиационных двигателей, Национальный аэрокосмический университет им. Н.Е. Жуковского «ХАИ», Харьков, Украина, e-mail: aedlab@gmail.com.