

УДК 621.512

doi: 10.18698/0536-1044-2019-9-88-95

Сравнительный анализ массогабаритных показателей бескрейцкопфной и крейцкопфной поршневых гибридных энергетических машин объемного действия

В.Е. Щерба, А.С. Тегжанов, Е.Ю. Носов, А.М. Парамонов,
В.Н. Блинов, С.Ф. Храпский

Омский государственный технический университет

Comparative Analysis of Mass-Dimensional Indicators of Crossheadless and Crosshead Piston Hybrid Energy Positive Displacement Machines

V.E. Shcherba, A.S. Tegzhanov, E.Y. Nosov, A.M. Paramonov,
V.N. Blinov, S.F. Khrapskii

Omsk State Technical University

Одним из основных путей повышения эффективности работы поршневых компрессоров и насосов объемного действия является их объединение в единый агрегат, получивший название «поршневая гибридная энергетическая машина». В настоящее время появился новый класс бескрейцкопфных поршневых гибридных энергетических машин объемного действия. Проведено сравнение массогабаритных показателей двух экспериментальных образцов поршневых гибридных энергетических машин: крейцкопфной и бескрейцкопфной. Анализ результатов исследования показал, что у бескрейцкопфной поршневой гибридной энергетической машины массы подвижных частей, совершающих возвратно-поступательное движение, меньше почти в 3 раза, а максимальный габаритный размер примерно в 1,5 раза, чем у крейцкопфной модели. Удельные массогабаритные показатели обеих машин соизмеримы.

Ключевые слова: гибридная энергетическая машина, массогабаритные показатели, компрессорная секция, насосная секция, крейцкопф, поршень

Currently, one of the main ways to improve the efficiency of piston compressors and volumetric pumps is to combine them into a single unit, called a piston hybrid energy machine. Recently, a new class of crossheadless piston hybrid energy positive displacement machines has appeared. In this work, a comparison of mass-dimensional indicators of experimental crosshead and crossheadless hybrid energy machines is performed. The analysis of the results shows that the crossheadless machine has significantly smaller masses of moving parts performing reciprocating motion (almost 3 times) and a smaller maximal overall size (almost 1.5 times) in comparison to the crosshead machine. The specific mass-dimensional indicators of the two machines are comparable.

Keywords: hybrid energy machine, mass-dimensional indicators, compressor section, pump section, crosshead, piston

Гибридные энергетические машины являются одним из классических примеров, в которых объединение двух и более устройств в один агрегат приводит к синергетическому эффекту: улучшению работы этих устройств и их массогабаритных показателей.

Это объединение обеспечивает каждому из устройств преимущества над традиционной конструкцией [1]:

- компрессору
 - улучшение охлаждения компримируемого газа и деталей цилиндропоршневой группы;
 - уменьшение утечек и перетечек компримируемого газа;
 - возможность ликвидации мертвого пространства;
 - увеличение допустимого отношения давления нагнетания к давлению всасывания в ступени;
 - снижение работы сил трения в цилиндропоршневой группе;
 - повышение индикаторного и полного коэффициентов полезного действия и коэффициента подачи;
 - увеличение срока службы клапанов и всего компрессора [2];
- насосу
 - повышение кавитационного запаса при всасывании;
 - уменьшение подводимой работы в процессах сжатия и нагнетания благодаря использованию утилизации теплоты сжатия, выделяемой в компрессорной секции [3, 4].

Следует отметить, что улучшение массогабаритных показателей является решающим фактором, так как его численное значение больше, чем у других.

В настоящее время известны крейцкопфная [5, 6] и бескрейцкопфная схемы поршневой гибридной энергетической машины объемного действия (ПГЭМОД) [7, 8], которые конкурируют между собой, имея свои достоинства и недостатки.

Цель работы — сравнение массогабаритных показателей крейцкопфной и бескрейцкопфной ПГЭМОД.

Описание объектов сравнения. В общем случае сравнение можно проводить теоретическим и экспериментальным путем. Первый заключается в проектировании двух машин с одинаковыми рабочими характеристиками: производительностью в компрессорной (КС) и насосной

(НС) секциях, давлениями всасывания и нагнетания. Экспериментальный путь можно осуществить двумя способами:

1) продолжением теоретического пути и изготовлением этих машин для последующего сравнения не только расчетных, но и реальных массогабаритных показателей;

2) сравнением двух существующих экспериментальных машин с примерно одинаковыми параметрами — производительностью по жидкости и газу и начальными и конечными давлениями.

Используем второй экспериментальный путь. В качестве объектов сравнения рассмотрим крейцкопфную и бескрейцкопфную ПГЭМОД, принципиальные схемы которых приведены на рис. 1, а и б. Здесь $M_{кп}$ — масса клапанной плиты (КП); $M_{п}$ — масса поршня; $M_{ц}$ — масса цилиндра; $M_{к.кц}$ — масса корпуса крейцкопфа со штоком; $M_{кц}$ — масса крейцкопфа; $M_{ш}$ — масса шатуна; $M_{кр}$ — масса крышки; $M_{в.ц}$ и $M_{н.ц}$ — массы нижнего и верхнего цилиндров. Результаты исследования спроектированной и изготовленной крейцкопфной ПГЭМОД с гладким и ступенчатым щелевыми уплотнениями изложены в работах [9, 10]. Принципиальная схема бескрейцкопфной ПГЭМОД защищена патентом на изобретение [11]. Вопросы, связанные с проектированием этой машины, рассмотрены в работе [12].

Сравниваемые гибридные энергетические машины имели следующие эксплуатационные параметры: давление всасывания в КС и НС — 0,1 МПа; давление нагнетания в НС — до 2,0 МПа; давление нагнетания в КС — до 0,1 МПа; угловая скорость вращения коленчатого вала — (250...450) мин⁻¹.

Основные геометрические размеры крейцкопфной ПГЭМОД: диаметр цилиндра — 0,050 м; ход поршня — 0,050 м; рабочий объем КС — 98,17 см³; диаметр штока — 0,018 м; рабочий объем НС — 85,45 см³.

Основные геометрические размеры бескрейцкопфной ПГЭМОД: ход поршня — 0,047 м; внешний диаметр — 0,065 м; внутренний диаметр — 0,055 м; рабочий объем КС — 111,6 см³; рабочий объем НС — 44,28 см³.

Сравнение ПГЭМОД по массовым показателям.

Для крейцкопфной ПГЭМОД выделим следующие массы основных деталей и узлов (см. рис. 1, а): КП $M_{кп}$, поршня $M_{п}$, цилиндра $M_{ц}$, корпуса крейцкопфа со штоком $M_{к.кц}$ и шатуна $M_{ш}$.

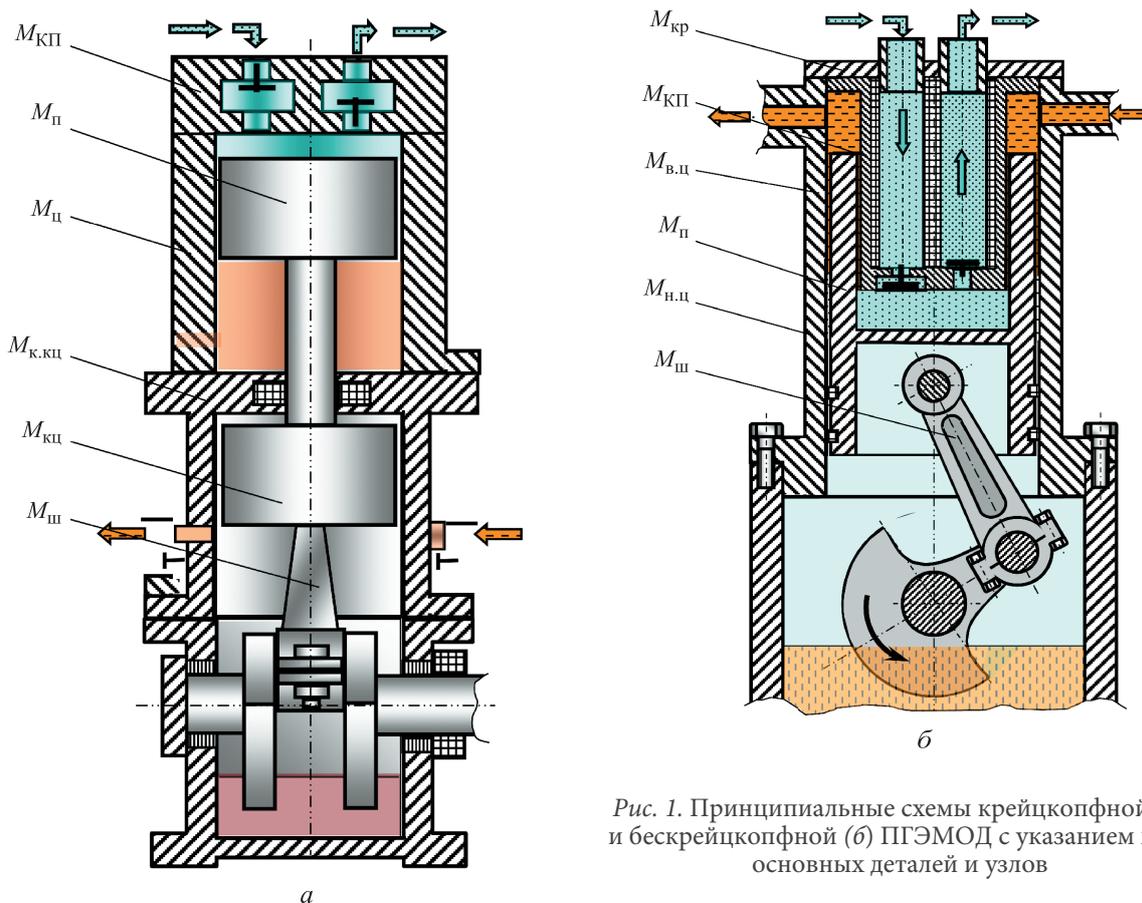


Рис. 1. Принципиальные схемы кресткопфной (а) и бескресткопфной (б) ПГЭМОД с указанием масс основных деталей и узлов

В бескресткопфной ПГЭМОД (см. рис. 1, б) можно выделить те же массы, что и в кресткопфной ПГЭМОД (M_P и M_{Sh}), а также присущие только ей массы: крышки $M_{кр}$, нижнего $M_{н.ц}$ и верхнего $M_{в.ц}$ цилиндров и КП $M_{КП}$, состоящей из масс верхней $M_{КПв}$ и нижней $M_{КПн}$ частей КП.

Поскольку в обеих ПГЭМОД использованы картеры и коленчатые валы серийно выпускае-

мых компрессоров, при расчете масс сравниваемых объектов массы этих деталей были практически идентичными. Также не учитывались и не показаны на рис. 1 и 2 клапаны для НС, так как они одинаковые.

Определение масс деталей и узлов проведено с помощью электронных весов Energy EN-422 с точностью измерения ± 1 г. Результаты измерений приведены в табл. 1.

Таблица 1

Значения масс деталей и узлов кресткопфной и бескресткопфной ПГЭМОД

Название детали или узла	Масса, г, ПГЭМОД	
	кресткопфной	бескресткопфной
КП	527	–
Поршень	231	438
Цилиндр	1584	–
Корпус кресткопфа	2982	–
Кресткопф	903	–
Шатун	284	72
Крышка	–	555
Нижняя часть КП	–	916
Верхняя часть КП	–	978
Нижний цилиндр	–	1627
Верхний цилиндр	–	1362
Общая масса	6511	5948
Подвижные части, совершающие возвратно-поступательное движение	1228,7	462

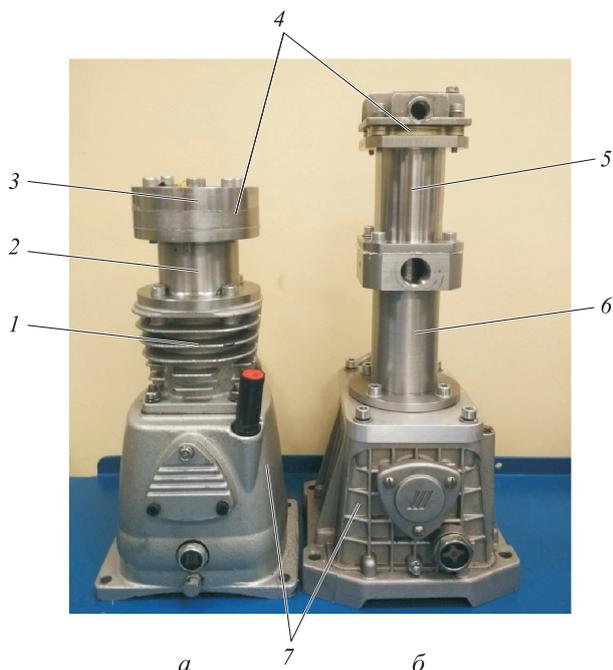


Рис. 2. Внешний вид бескрейцкопфной (а) и крейцкопфной (б) ПГЭМОД;

1 и 2 — нижний и верхний цилиндры; 3 — крышка; 4 — КП; 5 — цилиндр; 6 — корпус крейцкопфа; 7 — картер

Согласно теории поршневых компрессоров, только 1/3 массы шатуна совершает возвратно-поступательное движение.

Анализ полученных данных (см. табл. 1) позволяет сделать следующие выводы:

- общая масса бескрейцкопфной ПГЭМОД меньше на 563 г, чем у крейцкопфной ПГЭМОД, т. е. почти на 10 %, что весьма значительно;

- массы подвижных частей, совершающих возвратно-поступательное движение, у бескрейцкопфной ПГЭМОД практически в 3 раза меньше, чем у крейцкопфной ПГЭМОД. Эти массы прямо пропорциональны силам инерции первого и второго порядков, что очень важно при уравнивании и гашении колебаний и вибраций машины [13–15].

Таблица 2

Сравнение масс и удельных показателей крейцкопфной и бескрейцкопфной ПГЭМОД

Тип ПГЭМОД	Масса, кг		Расход, л/мин	Удельный вес, кг/(м³·ч)	Удельный расход, (м³·ч)/кг
	секции	общая			
Крейцкопфная	3,519	6,511	29,4	2,47	0,41
	2,992		23,7	1,69	0,59
Бескрейцкопфная	2,751	5,948	33,5	1,59	0,63
	3,197		13,3	4,01	0,25

Примечание. В числителе дроби указаны значения для КС, в знаменателе — для НС.

При определении удельных показателей КС и НС крейцкопфной и бескрейцкопфной ПГЭМОД примем следующую стратегию. Массы деталей и узлов, обеспечивающих работу только КС или НС, относятся полностью к КС или НС соответственно. Массы деталей, связанных одновременно с КС и НС, делятся пополам, т. е. одна половина массы детали и узла относится к КС, а другая — к НС.

Крейцкопфная ПГЭМОД. КС включает в себя КП, поршень, цилиндр, корпус крейцкопфа, крейцкопф и шатун, а НС — поршень, цилиндр, корпус крейцкопфа, крейцкопф и шатун.

Массы деталей и узлов определяются следующими выражениями:

- для КС

$$M_k = M_{КП} + \frac{M_{п}}{2} + \frac{M_{ц}}{2} + \frac{M_{к.кц}}{2} + \frac{M_{кц} + M_{ш}}{2};$$

- для НС

$$M_n = \frac{M_{п}}{2} + \frac{M_{ц}}{2} + \frac{M_{к.кц}}{2} + \frac{M_{кц} + M_{ш}}{2}.$$

Бескрейцкопфная ПГЭМОД. КС включает в свой состав крышку, нижнюю и верхнюю части КП, поршень, нижний цилиндр и шатун, а НС — крышку, поршень, верхнюю часть КП, шатун, верхний и нижний цилиндры. Массы деталей и узлов определяются следующими выражениями:

- для КС

$$M_k = M_{КПн} + \frac{M_{КПв}}{2} + \frac{M_{н.ц}}{2} + \frac{M_{кр}}{2} + \frac{M_{ш}}{2} + \frac{M_{п}}{2};$$

$$M_n = M_{в.ц} + \frac{M_{КПв}}{2} + \frac{M_{н.ц}}{2} + \frac{M_{кр}}{2} + \frac{M_{ш}}{2} + \frac{M_{п}}{2}.$$

Результаты расчетов по определению полных масс и удельных показателей для КС и НС крейцкопфной и бескрейцкопфной ПГЭМОД приведены в табл. 2.

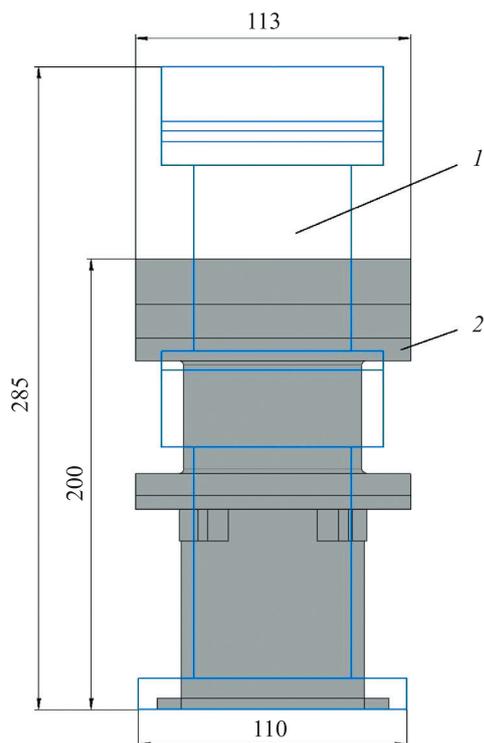


Рис. 3. Габаритные размеры крейцкопфной (1) и бескрейцкопфной (2) ПГЭМОД

Анализируя полученные результаты, можно сделать следующие выводы.

1. По сравнению с КС бескрейцкопфной ПГЭМОД у КС крейцкопфной ПГЭМОД масса больше на 0,768 кг (на 21,8 %), производительность на 4,1 л/мин (на 12,2 %), а удельные показатели меньше на 35,6 %.

2. Масса НС у бескрейцкопфной ПГЭМОД больше, чем у крейцкопфной ПГЭМОД на 6,4 %, а производительность и удельные показатели

ниже на 43,8 и 57,8 % соответственно.

Следует отметить, что производительность НС бескрейцкопфной ПГЭМОД существенно повышается при увеличении внешнего диаметра практически без изменения общей массы НС, что влечет за собой рост удельных показателей.

Габаритные размеры и объем ПГЭМОД. Для сравнения габаритных размеров и объемов крейцкопфной и бескрейцкопфной ПГЭМОД целесообразно их совместить (рис. 3). Высота крейцкопфной машины составляет 0,285 м, а бескрейцкопфной — 0,200 м, т. е. больше практически в 1,5 раза. Это обусловлено наличием штока и крейцкопфа. Диаметры цилиндров и КП соизмеримы.

Объем, занимаемый крейцкопфной ПГЭМОД, составляет 1403 см³, а бескрейцкопфной — 1278 см³.

Выводы

1. По сравнению с крейцкопфной ПГЭМОД у бескрейцкопфной машины массы подвижных частей, совершающих возвратно-поступательное движение, меньше почти в 3 раза, а максимальный габаритный размер примерно в 1,5 раза.

2. Общая масса и объем бескрейцкопфной ПГЭМОД незначительно меньше, чем у крейцкопфной машины, а удельные массогабаритные показатели соизмеримы.

Литература

- [1] Щерба В.Е., Болштянский А.П., Кайгородов С.Ю., Кузеева Д.А. Анализ основных преимуществ объединения компрессоров и насосов объемного действия в единый агрегат. *Вестник машиностроения*, 2015, № 12, с. 15–19.
- [2] Щерба В.Е. *Рабочие процессы компрессоров объемного действия*. Москва, Наука, 2008. 319 с.
- [3] Щерба В.Е., Шалай В.В., Кондюрин А.Ю., Овсянников А.Ю., Дорофеев Е.А., Крюков К.С. Анализ деформационного, массообменного и теплового взаимодействий в процессе сжатия в насосах объемного действия. *Вестник машиностроения*, 2018, № 10, с. 16–20.
- [4] Щерба В.Е., Шалай В.В., Крюков К.С., Кужбанов А.К., Тегжанов А.С. Утилизация теплоты компримируемого газа для сжатия и перемещения жидкости в насосе объемного действия. *Химическое и нефтегазовое машиностроение*, 2019, № 3, с. 24–27.
- [5] Щерба В.Е., Шалай В.В., Григорьев А.В., Баженов А.М., Кондюрин А.Ю. Анализ теоретических и экспериментальных результатов по влиянию давления нагнетания в насосной секции на рабочие процессы и характеристики поршневой гибридной

- энергетической машины с щелевым уплотнением ступенчатого вида. *Журнал Сибирского федерального университета. Техника и технологии*, 2018, т. 11, № 5, с. 591–603, doi: 10.17516/1999-494X-0058
- [6] Щерба В.Е., Болштынский А.П., Рыбак А.Т., Носов Е.Ю., Тегжанов А.С. Конструктивные компоновки гибридных машин объемного действия. *Омский научный вестник*, 2018, № 1(157), с. 10–18, doi: 10.17516/1999-494X-0058
- [7] Щерба В.Е., Аверьянов Г.С., Калекин В.С., Корнеев С.В., Тегжанов А.С. Расчет рациональных значений давлений нагнетания в компрессорной и насосной секциях бескрейцкопфной поршневой гибридной энергетической машины. *Химическое и нефтегазовое машиностроение*, 2018, № 6, с. 30–32.
- [8] Щерба В.Е., Болштынский А.П., Кондюрин А.Ю., Баженов А.М., Залознов И.П., Григорьев А.В. *Гибридная машина с тронковым поршнем*. Патент № 2644424 РФ, 2018, бюл. № 5.
- [9] Баженов А.М., Щерба В.Е., Шалай В.В., Григорьев А.В., Кондюрин А.Ю. Математическое моделирование рабочих процессов поршневой гибридной энергетической машины объемного действия с щелевым уплотнением ступенчатого вида. *Вестник машиностроения*, 2019, № 2, с. 55–60.
- [10] Щерба В.Е., Шалай В.В., Носов Е.Ю., Кондюрин А.Ю., Нестеренко Г.А., Тегжанов А.С., Баженов А.М. Сравнительный анализ результатов экспериментальных исследований поршневой гибридной энергетической машины с гладким и ступенчатым щелевыми уплотнениями. *Химическое и нефтегазовое машиностроение*, 2018, № 7, с. 25–29.
- [11] Щерба В.Е., Тегжанов А.С., Болштынский А.П., Носов Е.Ю. *Гибридная машина объемного действия с тронковым поршнем*. Патент № 2686536 РФ, МПК F 04 B 19/06. 2019, бюл. № 13.
- [12] Тегжанов А.С., Щерба В.Е., Носов Е.Ю. Разработка опытного образца бескрейцкопфной поршневой гибридной энергетической машины. *Вестник Иркутского государственного технического университета*, 2018, т. 22, № 11, с. 63–70.
- [13] Пластинин П.И. *Поршневые компрессоры*. Т. 1. Москва, Колос, 2006. 397 с.
- [14] Френкель М.И. *Поршневые компрессоры*. Ленинград, Машиностроение, 1969. 744 с.
- [15] Фотин Б.С., Пирумов И.Б., Прилуцкий И.К., Пластинин П.И. *Поршневые компрессоры*. Ленинград, Машиностроение, Ленингр. отд-ние, 1987. 372 с.

References

- [1] Shcherba V.E., Bolshtyanskiy A.P., Kaygorodov S.Yu., Kuzeyeva D.A. Analysis of advantages of integration of displacement compressors and pumps into single unit. *Vestnik mashinostroyeniya*, 2015, no. 12, pp. 15–19 (in Russ.).
- [2] Shcherba V.E. *Rabochiye protsessy kompressorov ob'yemnogo deystviya* [Workflows compressors volumetric actions]. Moscow, Nauka publ., 2008. 319 p.
- [3] Shcherba V.E., Shalay V.V., Kondyurin A.Yu., Ovsyannikov A.Yu., Dorofeyev E.A., Kryukov K.S. Analysis of deformation, mass-16 exchange and thermal interactions in the process of compression in volume-effect pumps. *Vestnik mashinostroyeniya*, 2018, no. 10, pp. 16–20 (in Russ.).
- [4] Shcherba V.E., Shalay V.V., Kryukov K.S., Kuzhbanov A.K., Tegzhanov A.S. Utilization of compressed gas heat for fluid compression and movement in a displacement pump. *Khimicheskoye i neftegazovoye mashinostroyeniye*, 2019, no. 3, pp. 24–27 (in Russ.).
- [5] Shcherba V.E., Shalay V.V., Grigor'yev A.V., Bazhenov A.M., Kondyurin A.Yu. Analysis of Theoretical and Experimental Results on the Effect of Injection Pressure in the Pump Section on the Working Processes and Characteristics of a Piston Hybrid Power Machine with

- a Slotted Seal of a Stepped Type. *Journal of Siberian Federal University. Engineering & Technologies*, 2018, vol. 11, no. 5, pp. 591–603 (in Russ.), doi: 10.17516/1999-494X-0058
- [6] Shcherba V.E., Bolshtyanskiy A.P., Rybak A.T., Nosov E.Yu., Tegzhanov A.S. Constructive schemes of hybrid machines of volumetric action. *Omskiy nauchnyy vestnik*, 2018, no. 1(157), pp. 10–18 (in Russ.), doi: 10.25206/1813-8225-2018-157-10-18
- [7] Shcherba V.E., Aver'yanov G.S., Kalekin V.S., Korneyev S.V., Tegzhanov A.S. Calculation of rational values of injection pressures in the compressor and pumping sections of a cross-headless reciprocating hybrid power machine. *Khimicheskoye i neftegazovoye mashinostroyeniye*, 2018, no. 6, pp. 30–32 (in Russ.).
- [8] Shcherba V.E., Bolshtyanskiy A.P., Kondyurin A.Yu., Bazhenov A.M., Zaloznov I.P., Grigor'yev A.V. *Gibridnaya mashina s tronkovym porshnem* [Hybrid machine with throne piston]. Patent RF no. 2644424, 2018.
- [9] Bazhenov A.M., Shcherba V.E., Shalay V.V., Grigor'yev A.V., Kondyurin A.Yu. Mathematical modeling of the working processes of a piston hybrid energy machine of volumetric action with a slotted step seal. *Vestnik mashinostroyeniya*, 2019, no. 2, pp. 55–60 (in Russ.).
- [10] Shcherba V.E., Shalay V.V., Nosov E.Yu., Kondyurin A.Yu., Nesterenko G.A., Tegzhanov A.S., Bazhenov A.M. Comparative analysis of the results of experimental studies of a reciprocating hybrid power machine with smooth and stepped gap seals. *Khimicheskoye i neftegazovoye mashinostroyeniye*, 2018, no. 7, pp. 25–29 (in Russ.).
- [11] Shcherba V.E., Tegzhanov A.S., Bolshtyanskiy A.P., Nosov E.Yu. *Gibridnaya mashina ob'yemnogo deystviya s tronkovym porshnem* [Hybrid machine volumetric with piston tankovy]. Patent RF no. 2686536, 2019.
- [12] Tegzhanov A.S., Shcherba V.E., Nosov E.Yu. Razrabotka opytnogo obraztsa beskreyskopsfnoy porshnevoy gibridnoy energeticheskoy mashiny. *Vestnik Irkutskogo gosudarstvennogo tekhnicheskogo universiteta*, 2018, vol. 22, no. 11, pp. 63–70.
- [13] Plastinin P.I. *Porshnevyye kompressory* [Piston compressor]. T. 1. Moscow, Kolos publ., 2006. 397 p.
- [14] Frenkel' M.I. *Porshnevyye kompressory* [Piston compressor]. Leningrad, Mashinostroyeniye publ., 1969. 744 p.
- [15] Fotin B.S., Pirumov I.B., Prilutskiy I.K., Plastinin P.I. *Porshnevyye kompressory* [Piston compressor]. Leningrad, Mashinostroyeniye publ., Leningr. otd-niye, 1987. 372 p.

Статья поступила в редакцию 22.07.2019

Информация об авторах

ЩЕРБА Виктор Евгеньевич — доктор технических наук, профессор, заслуженный работник Высшей школы РФ, заведующий кафедрой «Гидромеханика и транспортные машины». Омский государственный технический университет (644050, Омск, Российская Федерация, проспект Мира, д. 11, e-mail: scherba_v_e@list.ru).

ТЕГЖАНОВ Аблай-Хан Савитович — старший преподаватель кафедры «Гидромеханика и транспортные машины». Омский государственный технический университет (644050, Омск, Российская федерация, Проспект Мира, д. 11, e-mail: ablai1991@mail.ru).

НОСОВ Евгений Юрьевич — кандидат технических наук, доцент кафедры «Гидромеханика и транспортные машины». Омский государственный технический университет (644050, Омск, Российская Федерация, Проспект Мира, д. 11, e-mail: nosovjon@mail.ru).

ПАРАМОНОВ Александр Михайлович — доктор технических наук, профессор кафедры «Теплоэнергетика». Омский государственный технический университет (644050, Омск, Российская Федерация, проспект Мира, д. 11, e-mail: scherba_v_e@list.ru).

БЛИНОВ Виктор Николаевич — доктор технических наук, профессор кафедры «Авиа- и ракетостроение». Омский государственный технический университет (644050, Омск, Российская Федерация, проспект Мира, д. 11, e-mail: scherba_v_e@list.ru).

ХРАПСКИЙ Сергей Филиппович — кандидат технических наук, доцент кафедры «Безопасность жизнедеятельности». Омский государственный технический университет (644050, Омск, Российская Федерация, проспект Мира, д. 11, e-mail: scherba_v_e@list.ru).

Просьба ссылаться на эту статью следующим образом:

Щерба В.Е., Тегжанов А.С., Носов Е.Ю., Парамонов А.М., Блинов В.Н., Храпский С.Ф. Сравнительный анализ массогабаритных показателей бескрейцкопфной и крейцкопфной поршневых гибридных энергетических машин объемного действия. *Известия высших учебных заведений. Машиностроение*, 2019, № 9, с. 88–95, doi: 10.18698/0536-1044-2019-9-88-95

Please cite this article in English as:

Shcherba V.E., Tegzhanov A.S., Nosov E.Y., Paramonov A.M., Blinov V.N., Khrapskii S.F. A Comparative Analysis of Mass-Dimensional Indicators of Crossheadless and Crosshead Piston Hybrid Energy Positive Displacement Machines. *Proceedings of Higher Educational Institutions. Machine Building*, 2019, no. 9, pp. 88–95, doi: 10.18698/0536-1044-2019-9-88-95

Information about the authors

SHCHERBA Viktor Evgenievich — Doctor of Science (Eng.), Professor, Honored Worker of the Higher School of Russia, Head of Department, Hydromechanics and Transport Vehicles. Omsk State Technical University (644050, Omsk, Russian Federation, Mir Ave., Bldg. 11, e-mail: scherba_v_e@list.ru).

TEGZHANOV Ablay-Khan Savitovich — Senior Lecturer, Hydromechanics and Transport Vehicles Department. Omsk State Technical University (644050, Omsk, Russian Federation, Mir Ave., Bldg. 11, e-mail: ablai1991@mail.ru).

NOSOV Evgenii Yurievich — Candidate of Science (Eng.), Associate Professor, Hydromechanics and Transport Vehicles Department. Omsk State Technical University (644050, Omsk, Russian Federation, Mir Ave., Bldg. 11, e-mail: nosovjon@mail.ru).

PARAMONOV Aleksandr Mikhailovich — Doctor of Science (Eng.), Professor, Heat and Power Engineering Department. Omsk State Technical University (644050, Omsk, Russian Federation, Mir Ave., Bldg. 11, e-mail: scherba_v_e@list.ru).

BLINOV Viktor Nikolaevich — Doctor of Science (Eng.), Professor, Aircraft and Rocket Building Department. Omsk State Technical University (644050, Omsk, Russian Federation, Mir Ave., Bldg. 11, e-mail: scherba_v_e@list.ru).

KHRAPSKII Sergei Filippovich — Candidate of Science (Eng.), Associate Professor, Life Safety Department. Omsk State Technical University (644050, Omsk, Russian Federation, Mir Ave., Bldg. 11, e-mail: scherba_v_e@list.ru).