

УДК 628.1

КОМПРЕССОРНЫЕ МАШИНЫ, ПРИМЕНЯЕМЫЕ В ВАКУУМНЫХ РЫБОНАСОСАХ

В.А. Наумов, А.А. Землянов

COMPRESSOR MACHINES USED IN VACUUM FISH PUMPS

V.A. Naumov, A.A. Zemlyanov

Аннотация. Вакуумные рыбонасосные установки (ВРУ) обеспечивают наименьшую повреждаемость объектов лова при перемещении рыбы. Водокольцевые компрессорные машины (ВКМ) поочередно создают вакуум и избыточное давление в рабочей емкости. ВРУ формируются на базе ВКМ следующих производителей: «Беском», «ГМС Ливгидромаш», «Пензаггореммаш», Samson Pumps, EmmeCom, Finder Pompe, Pompetravaini, Bush, Environmental Technologies Inc, Speck Pumpen Vakuumtechnik, Hydro-Vacuum. Названные компании приводят в открытом доступе нагрузочные характеристики. Их анализ показал существенную зависимость производительности и затраченной мощности от давления в рабочей камере. Эту зависимость необходимо учитывать при подборе ВКМ для повышения энергетической эффективности ВРУ.

Ключевые слова: вакуумные рыбонасосные установки; водокольцевые компрессорные машины; технические параметры; нагрузочные характеристики.

Abstract. Vacuum fish pumps (VFP) provide the least damaging of the target species when moving fish. Water-ring compressor machines (WCM) to alternately create a vacuum and the pressure in the working container. VFP are formed on the basis of WCM of the following manufacturers: "Beskom", "HMS Livgidromash", "Penzagorremmash", Samson Pumps, EmmeCom, Finder Pompe, Pompetravaini, Bush, Environmental Technologies Inc, Speck Pumpen Vakuumtechnik, Hydro-Vacuum. These companies are provided publicly available load characteristics. Their analysis showed a significant dependence of performance and power consumption on the pressure in the working chamber. This dependence should be taken into account when selecting the WCM to improve the energy efficiency of the VFP.

Keywords: vacuum fish pumps; water-ring compressor machines; technical parameters; load characteristics.

Введение

Вакуумные рыбонасосные установки (ВРУ) обеспечивают наименьшую повреждаемость объектов лова из всех типов устройств по перемещению рыбы. Принцип работы таких установок основан на использовании с помощью компрессорных машин поочередно, то вакуума, то избыточного давления в рабочей емкости для водорыбной смеси. В качестве компрессорных машин в ВРУ, чаще всего, используются водокольцевые компрессорные машины (ВКМ). Такой выбор связан с особенностью конструкции ВКМ.

Водокольцевые агрегаты обладают рядом значительных преимуществ [1]: высокая надежность конструкции; небольшое количество конструктивных элементов, обусловленное моноблочной конструкцией; отсутствие быстроизнашивающихся деталей; отдельно стоящий агрегат; удобное сервисное обслуживание; нечувствительность к гидравлическим ударам; незначительный нагрев газа на выходе; нечувствительность к засорению газа пылью.

Широкое применение ВКМ в различных отраслях стало причиной экспериментальных [2, 3] и теоретических исследований [4-7]. Главный недостаток ВКМ – низкий общий КПД, что приводит к сравнительно невысокой энергетической эффективности ВРУ. Повышение энергетической эффективности ВРУ во многом зависит от выбора рационального режима работы ВКМ.

В [8] приведены материалы зарубежных и российских компаний из Интернета [9-13], которые предлагают ВРУ для передачи рыбы на береговые перерабатывающие заводы с рыбодобывающих судов. Рассмотрены некоторые аспекты их применения дальневосточными рыбодобывающими компаниями. Но не проведено никакого анализа характеристик ВКМ, которые в составе ВРУ определяют энергетическую эффективность. Цель данной статьи – определить перечень ВКМ, используемых в современных ВРУ, сравнить их технические параметры, найти нагрузочные характеристики.

ВРУ на современном российском рынке

Из российских предприятий, работающих на отечественном рынке, ООО «АгроБалтПроект» предлагает вакуумные системы собственного производства, специально созданные для бережного перекачивания рыбы без травм [9]. Компания АгроБалтПроект разработала типовой ряд рыбонасосных установок. Во всех моделях максимальная высота всасывания – 5 м; общая высота подъема – до 9 м; электропитание – трехфазное (380 В, 50 Гц). Остальные технические параметры представлены в табл. 1.

Таблица 1 - Технические параметры ВРУ компании АгроБалтПроект [9]

Параметры ВРУ	Модель рыбонасосной установки			
	AB510R-500	AB510R-1000	AB510R-1500	AB510R-2000
Объем бака, л	500	1000	1500	2000
Диаметр входа/выхода, мм	150 (200)	200 (250)	250	300
Средний вес рыбы, кг	до 4	до 6	6	8
Мощность вакуумного насоса, кВт	11	15	22	37

Кроме типовых моделей, по потребностям заказчика, предлагаются установки различного исполнения. По индивидуальным заказам компания АгроБалтПроект конструирует ВРУ по следующим параметрам (см. рис. 1): тип рыбонасоса (для живой рыбы; для выловленной рыбы); порода и размерный ряд рыбы (кг); планируемая производительность установки (кг/ч); исполнение: (морское; береговое; стационарное; мобильное); основные размеры (м): А – высота выкачки; В – длина шланга; С – высота подъема; D – дальность перекачки.

Компанию АгроБалтПроект комплектует ВРУ на базе ВКМ разных производителей, подходящие по техническим параметрам к требуемым условиям. В том числе используются модели как отечественных (например, ЗАО «Беском» [14]), так и зарубежных производителей (Pompretavaini [15], Samson [16] и др.).

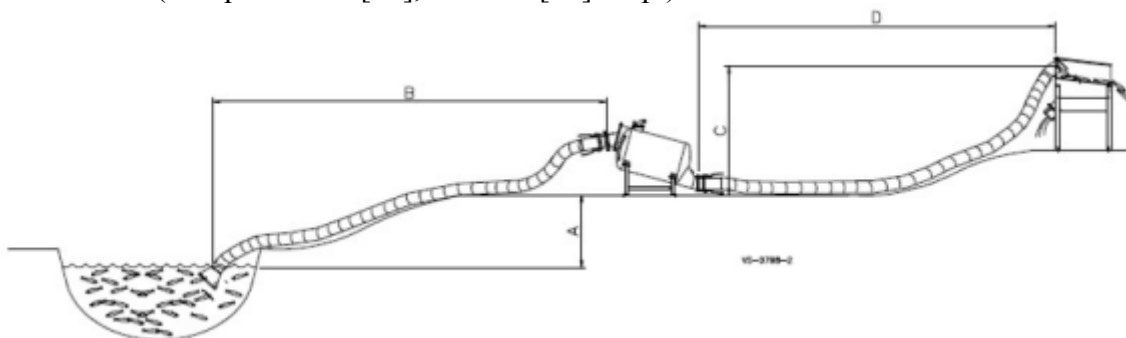


Рисунок 1 – Типовая схема вакуумной системы компании АгроБалт Проект [9]

Компания Euskan Fish Handling Systems (EFHS) [11] производит ВРУ с одним и двумя резервуарами. Вакуумные установки Euskan являются высокоэффективными системами для транспортировки живой или мертвой рыбы, и могут быть использованы как на судах, так и береговых сооружениях. Они не повреждают рыбу и имеют самые высокие показатели по таким параметрам как максимальный вес рыбы и высота подъема водно-рыбной смеси.

Euskan имеет широкий ассортимент стандартных насосов, с резервуарами объемом от 250 до 4500 л и производительностью до 300 тонн рыбы в час. Каждая из моделей включает несколько модификаций в зависимости от мощности, количества и объема резервуаров.

Простейшие вакуумные системы [11] по перекачке рыбы с одним резервуаром имеют один блок питания (номер модели рыбонасоса в первом столбце табл. 2 соответствует объему резервуара в литрах). По этой причине поток воды при выходе будет прерывистым.

Таблица 2 - Технические параметры ВРУ VS [11]

Модель рыбонасоса	Компрессорные машины	Средний вес рыбы, кг	Q_B , м ³ /час	Мощность, кВт	Диаметр входа/вых.	Потребление воды, л/мин
VS250	Samson KE180	2	40	7,5	6"	10
VS500	Samson KE225	4	50	11	8"	15
VS1000	Samson KL350	6	95	15	10"	15
VS1500	Samson KS510	6	160	22	10"	20
VS2000	Samson KS625	6	180	37	10"	20

Как видно из табл. 2, компания Euskan в вакуумных рыбонасосных установках использует компрессорные машины Samson моделей KE, KL, KS. Это одноступенчатые водокольцевые компрессорные машины объемного действия с одним вращающимся лопастным импеллером. Они могут работать и в режиме вакуумного насоса, и в режиме компрессора. Вакуумный танк изготовлен из нержавеющей стали. Впуск и выпуск оснащены быстросъемными откидными клапанами для легкой замены или проверки. Встроенные датчики уровня воды автоматически регулируют циклы наполнения/разгрузки вакуумного танка. Имеется также контроллер автоматического отключения подачи воды в случае неисправности. Автоматическая система управления PLC с большим экраном и удобным меню позволяет выбрать язык и настроить работу ВРУ. Управление впускными и выпускными клапанами осуществляется с помощью замкнутой гидравлической системы.

Установка **DVS** оснащена двумя вакуумными резервуарами, расположенными друг напротив друга. Каждый энергоблок заполняет и освобождает соответствующий резервуар с помощью вакуума и сжатого воздуха. Получается, практически, непрерывный поток водорыбной смеси. Два энергоблока взаимосвязаны с помощью электронного управления для обеспечения синхронизации. В случае поломки одной из систем, насос другой системы может продолжать работать, но с меньшей производительностью.

Вакуумные установки компании Environmental Technologies Inc (ETI) [10] известны в России как TransVac. Максимальная высота на всасывании: 6,3 м. Выпускаются модели с один, двумя и тремя рабочими резервуарами. Переключение клапанов автоматическое. Производительность в зависимости от модели и высоты подъема от 10 до 150 тонн в час.

ETI изготавливает их на базе ВКМ собственного производства TRANSVAC® Liquid Ring Pump и ВКМ компании Pompetravaini [15]. При работе модели HVCS 5825 (с тремя резервуарами) в режиме компрессора обеспечивается расход воздуха до 1400 куб. футов в минуту (2380 м³/час) при давлении до 448 кПа [10]. Производительность может достигать 250 тонн в час (сельдь). Номинальный диаметр трубопровода 14.0 дюймов (35-36 см).

Французская компания Faivge [17] известна на международном рынке как производитель оборудования для аквакультуры. Специально для перекачивания живой рыбы компанией разработана ВРУ Pescavac-8. Технические параметры представлены в табл. 3. Максимальный размер в таблице указан для живой рыбы, предназначенной для дальнейшего выращивания. При отгрузке рыбы, направляемой на реализацию, размер может быть увеличен.

Таблица 3 – Технические параметры ВРУ [17]

Мощность двигателя, N	5,3 кВт (400 В)
Диаметр входа/выхода, D	200 мм
Максимальная высота всасывания	5 м
Максимальная высота нагнетания	4 м
Общая максимальная высота подъема, H	9 м
Допустимая масса живой рыбы: - лососевые	до 2,5 кг
- карповые	до 1,5 кг
Габариты установки	2,5 на 1,15 на 1,5 м
Масса установки	440 кг

Компания Inventive Marine Products Limited (IMPL) [12] имеет более чем 20-летний опыт разработки вакуумных установок для перекачки живой рыбы. Выпускаются модели с одним и двумя резервуарами, а так же мобильный вариант. Установки имеют вход/выход диаметром 10 или 12 дюймов, рассчитаны на живую рыбу от 50 грамм до 20 кг. Производительность модели SanaVac Aqua составляет 5-100 тонн в час. Производительность модели SanaVac Aqua Twin может достигать 20-400 тонн в час при высоте всасывания до 8.6 м и общей высоте подъема до 15 м.

Модель SanaVac Micro установлена на мобильной тележке, которую может передвигать один человек. Была изначально разработана для мелкой рыбы и небольших объемов, таких как на рыбоводных заводах. Рассчитана на 10-12 тонн в час живой рыбы, при отпуске готовой продукции производительность может достигать 20 тонн в час. Все установки собираются на базе ВКМ компании Samson [15].

Российская компания СТАРКО (Южно-Сахалинск) занимается подбором и наладкой вакуумных рыбонасосных установок RYCO (производства США). На Камчатке широко применяется использование рыбонасоса, установленного на плашкоуте, который выходит в море прямо на рейд, куда подходит рыболовецкое судно. Таким образом, прямо из трюма по трубопроводу рыба подается непосредственно на перерабатывающий завод на берегу. Мощность насоса позволяет перекачивать рыбу на расстояние до 2-х км.

Компания Ruso Equipment Inc (REI) [13] выпускает 3 базовых модели ВРУ. Базовая модель Wetpump #971 имеет объем рабочей емкости 1,5 куб. метров. Эта модель обеспечивает производительность до 40 тонн рыбы в час. Для непрерывной работы комплектуется сдвоенными бочками.

Модель Wetpump #912 предназначена для перекачивания мелких рыб, таких как сельдь, сардина, скумбрия и минтай. Компания REI указывает высоту всасывания – до 30 футов (9,14 м). Допустимую горизонтальную дальность – до 2 миль (3,2 км). Общая высота подъема – до 50 футов (15,2 м) Производительность компрессора – от 3 до 57 куб. метров (воздуха) в минуту.

Технические параметры водокольцевых компрессорных машин

Жидкостно-кольцевые (водокольцевые) компрессорные машины являются разновидностью ротационно-пластинчатых компрессорных машин. Их принцип работы описан, например, в [1].

Бессоновский компрессорный завод (Пензенская область) более 70 лет является ведущим предприятием России по производству ВКМ производительностью до 25 м³/мин [14]. Водокольцевые машины производства этого завода предназначены для создания вакуума (вакуум-насосы) или небольшого избыточного давления (компрессоры) в закрытых аппаратах. Вакуумные насосы выпускаются следующих марок: ВВН2-0,75; ВВН1-1,5; ВВН1-3; ВВН1-6; ВВН1-12; ВВН1-25. Компрессоры выпускаются следующих марок: ВК-0,75; ВК-1,5М1; ВК-3М1; ВК-6М1; ВК-12М1; ВК-15; ВК-25. Эти машины изготавливают из серых

чугунов и сталей обычных марок и могут работать на воздухе и воде или на газах, парах и жидкостях, не агрессивных к указанным материалам. Тип вакуум-насосов и компрессоров [14] – водокольцевые простого действия, горизонтальные, с осевым направлением газа через всасывающие и нагнетательные окна. Номинальная производительность при абсолютном давлении всасывания 40 кПа и потребляемая ими мощность, а также масса насосов представлены в табл. 4. Указанные в таблице данные достигаются при подаче воды с температурой, не превышающей 15° С.

ВРУ российского производства используют водокольцевые вакуумные насосы моделей ВВН1-3, ВВН1-6, ВВН1-12. Единица в обозначении модели говорит, что номинальное давление всасывания равно 40 кПа (60% вакуума от барометрического давления). Последнее число представляет собой номинальную производительность Q (скорость откачки, кубические метры в минуту), приведенную к давлению всасывания. Насосы вакуумные водокольцевые типа ВВН выпускают ЗАО «Беском» [14], АО «ГМС Ливгидромаш» [18], ЗАО «Пензаггореммаш» [19] и другие российские производители.

Кроме производительности, к основным параметрам насосной установки относятся: N – потребляемая (затраченная) мощность на валу насоса, n – частота вращения вала электродвигателя, q – количество воды подаваемой в насос, m – масса насоса. Указанные параметры внесены в табл. 4, у разных производителей они отличаются не более чем на 10%.

Таблица 4 – Технические параметры водокольцевых насосов ВВН [14, 18, 19]

№ пп	Параметры	Модель насоса			
		ВВН1-1,5	ВВН1-3	ВВН1-6	ВВН1-12
1	Q , м ³ /мин	1,57	3,33	6,20	12,1
2	N , кВт	2,80	5,15	9,60	18,6
3	q , л/мин	5	7	11	23
4	n , об/мин	1500	1500	1500	1000
5	m , кг	32	105	200	410

Названные российские производители выпускают и компрессоры (воздуходувки), используемые в ВРУ. В табл. 5 приведены технические параметры водокольцевых компрессоров производства ЗАО «Беском» [14]. Номинальная производительность компрессоров указана при давлении нагнетания 150 кПа, атмосферном давлении на входе компрессора, при подаче воды с температурой не превышающей 15° С.

Таблица 5 – Технические параметры водокольцевых компрессоров ЗАО «Беском» [14]

Модель	Q , м ³ /мин	P_{max} , кПа	Мощность ЭД, кВт	Частота, об/мин.
ВК-0,75	0,75	200	3,0	1500
ВК-1,5М1	1,50	150	5,5	1500
ВК-3М1	3,05	150	11,0	1500
ВК-6М1	6,20	150	18,5	1500
ВК-12М1	12,00	150	45,0	1000
ВК-15	16,50	300	90,0	1500
ВК-25	25,00	150	75,0	1000

Датская компания Samson Pumps [16] выпускает классические водокольцевые одноступенчатые машины с усиленным рабочим импеллером (ротором) серий KE, KL, KS, KM. ВКМ именно этих серий чаще всего используются в РНУ (см., например, табл. 1.1.2). Они отличаются от аналогов других производителей повышенной надёжностью в работе,

простым дизайном и оснащены современными механическими (торцевыми) уплотнениями вала. Производитель предлагает все модели 4-х серий в исполнении «насосы с голым валом». Технические параметры ВКМ серий KE, KL, применяемых в ВРУ, приведены в табл. 6.

Таблица 6 – Технические параметры одноступенчатых водокольцевых вакуумных насосов серий KE и KL [16]

Технические параметры	KE 180	KE 200	KE 225	KE 300	KL 350	KL 400	KL 430	KL 500
Производительность, м ³ /час	200	260	230	270	340	430	440	500
Предельный вакуум, мбар абс.	100	33	100	33	100	33	100	100
Мощность двигателя, кВт	5,5	5,5	7,5	7,5	11	11	15	18,5
Потребление жидкости, м ³ /час	1,1	1,1	1,2	1,5	2,0	2,5	2,5	2,5

В 2018 компания Samson Pumps разработала серию ВКМ Ocean Master, предназначенную специально для перекачивания улова и живой рыбы. В настоящее время компания предлагает модели Ocean Master [16]: OM-1000, OM-700, OM-450, OM-250. Число представляет номинальную производительность (м³/час) по перекачиваемому объему воды с рыбой. Компания сообщает, что принято решение оснастить суда для перевозки живой рыбы системами Samson Ocean Master.

ВКМ серии ELRS производятся компанией ERSTVAK в Германии [20]. С 2012 года сборка происходит в Китае с целью уменьшения издержек. Они также используются в ВРУ. В табл. 7 приведены скорость откачки, потребляемая и максимальная мощность в зависимости от частоты вращения для насосов серии ELRS.

Таблица 7 – Технические параметры водокольцевых насосов ELRS [20]

Модель насоса	Частота вращения, б/мин	Потребляемая мощность, кВт	Максимальная мощность, кВт	Скорость откачки, м ³ /час
ELRS-40	466	48	55	2520
	530	58	75	2820
	590	65,5	75	3200
	660	79,8	90	3550
	740	98	110	4000
ELRS-45	472	55	75	3150
	530	61	75	3380
	590	70	90	3750
	660	90	110	4090
	740	108	132	4520
ELRS-57	312	75	90	3750
	420	80,8	110	4260
	530	113	132	5230
	590	136	160	6000
	660	167	185	6510

Насосы серии Dolphin (производство концерна Bush, Германия [21]) – классические водокольцевые одноступенчатые машины объёмного действия с радиальным подводом откачиваемого газа. Они отличаются простым и надёжным дизайном и оснащены современными механическими (торцевыми) уплотнениями вала. Насосный блок в них

устанавливается прямо на фланце электродвигателя, а импеллер вакуумного насоса крепится непосредственно на его валу. Технические данные вакуумных насосов серии LC-A приведены в табл. 8.

Таблица 8 – Технические параметры вакуумных насосов серии LC-A [21]

Технические параметры	Модель водокольцевых вакуумных насосов серии LC-A							
	0030	0060	0080	0110	0150	0220	0280	0400
Производительность, м ³ /час	30	55	75	106	145	220	280	380
Предельный абс. вакуум, мбар	33	33	33	33	33	33	33	33
Мощность двигателя, кВт	0,75	1,5	2,2	3	4	5,5	7,5	11
Потребление жидкости, м ³ /час	0,25	0,5	1,0	1,0	1,0	1,2	1,6	2,0
Масса в сборе, кг	20	27	56	63	71	115	215	211

Итальянская компания EmmeCom, [22] выпускает одноступенчатые водокольцевые вакуумные насосы серии AL-A, у которых всасывание и выхлоп осуществляется через переднюю и заднюю торцевые крышки одновременно. Двухступенчатые водокольцевые вакуумные насосы этой компании серий AL-D и NP, позволяют развивать вакуум до 33 мбар абс. без приспособлений и до 10 мбар абс. с газовым эжектором в диапазоне производительности от 20 до 3200 м³/час. Имеют встроенный антикавитационный клапан между ступенями. Агрегаты надежны, просты в обслуживании, с их помощью можно откачивать практически любую газовую среду или пар. Технические данные вакуумных насосов серии AL-D приведены в табл. 9.

Таблица 9 – Технические данные одноступенчатых водокольцевых вакуумных насосов серии AL-D [22]

Технические параметры	Водокольцевые вакуумные насосы серии AL-D									
	330	360	411	418	423	530	540	548	870	890
Производительность, м ³ /час	21	48	100	153	190	260	352	390	600	760
Предельный абс. вакуум, мбар	33	33	33	33	33	33	33	33	33	33
Мощность двигателя, кВт	1,1	1,5	3,0	4,0	5,5	7,5	11,0	15,0	18,5	30,0
Потребление жидкости, м ³ /час	0,3 5	0,37	0,5	0,72	0,9	2,1	2,4	2,5	2,8	3,8
Вес без электродвигателя, кг	22	25	75	85	95	130	140	155	250	280

Итальянская компания Finder Pompe [23] выпускает одноступенчатые водокольцевые вакуумные насосы серии F, у которых всасывание и выхлоп так же осуществляется через переднюю и заднюю торцевые крышки одновременно. Возможно только одно исполнение агрегатов – из специального чугуна. В отличие от аналогов они развивают несколько большую производительность, но предназначены для работы в более грубом вакууме: предельный абсолютный вакуум равен 150 мбар. Технические данные вакуумных насосов серии F приведены в табл. 10.

Таблица 10 – Технические данные одноступенчатых водокольцевых вакуумных насосов серии F [23]

	Производительность, м ³ /час	Мощность электродвигателя, кВт	Масса насоса без электродвигателя, кг
F 300	2600-3200	от 50 до 65	1500
F 310	3500-4500	от 70 до 100	1600
F 360	4800-6000	от 80 до 120	2400
F 400	5200-7800	от 100 до 160	3500
F 410	7200-10500	от 100 до 200	3800
F 500	7200-11000	от 120 до 210	5100
F 510	9000-13800	от 150 до 210	5500
F 600	10800-15000	от 180 до 270	8000
F 610	13200-17400	от 175 до 330	8500
F 700	16500-22800	от 250 до 450	11500

Польское предприятие АО Hydro-Vacuum [24] выпускает одноступенчатые и двухступенчатые ВКМ серии PW и газодувки PD. ВКМ предназначены для всасывания и перекачки сухого газа с температурой до 150°C и насыщенные парами газы с температурой до 100°C, с возможностью применения рабочих жидкостей с вязкостью до 60 мм²/сек и плотностью 800 - 1200 кг/м³. Температура воды на выходе из ВКВН не должна превышать 80 °С. Насос и двигатель крепятся на общей опоре. Крутящий момент от двигателя передается к импеллеру через вал, установленный в подшипниках опоры и эластичную соединительную муфту. Такая конструкция делает вакуумный насос заметно длиннее и тяжелее, но облегчает его обслуживание, когда требуется разборка насоса или замена двигателя. Кроме того, насос установлен на 2 опорах, что дает более длительный срок службы насосов нежели моноблока. Предельные остаточное давление равно 33 мбар. ВКМ PW1-12 – PW7-14 являются одноступенчатыми насосами с производительностью до 1500 м³/час (табл. 11).

Таблица 11 – Технические параметры одноступенчатых ВКМ серии PW [24]

Модель	Q _{max} , м ³ /час	P _{min} , мбар	Мощность электродвигателя, кВт	Частота вращения, об/мин	Потребление воды, л/мин.
PW1.12	24.0	146	1.1	2900	5
PW1.13	54.0	146	1.5	2900	5.5
PW4.11	75.0	146	3.0	1450	14
PW4.12	120.0	146	4.0	1450	14
PW4.13	190.0	146	5.5	1450	25
PW4.14	240.0	146	7.5	1450	25
PW5.12	315.0	146	11.0	1450	45
PW5.13	395.0	146	15.0	1450	62
PW5.14	460.0	146	15.0	1450	66

Водокольцевые вакуумные насосы производства Speck Pumpen Vakuumtechnik (SPV) GmbH (Германия) [25] предназначены для различных сфер применения. Их производительность от 2 до 1900 м³/час. Одноступенчатые ВКМ серии V (табл. 12) предназначены для производств, где не требуется большая производительность.

Таблица 12 – Технические параметры одноступенчатых ВКМ серии V [25]

Модель	Q_{\max} , м ³ /час	p_{\min} , мбар	Обороты/мин.	Масса, кг	Мощность, кВт
V-6	9,5	40	2850	9,3	0,4
V-30	26	33	2850	20	1,1
V-55	48	33	2850	25	1,5
V-95	70	33	1450	59	2,2
V-130	100	33	1450	67	3,0
V-155	123	33	1450	83	4,0
V-255	199	33	1450	11	5,5

Повышение энергетической эффективности ВРУ во многом зависит от выбора рационального режима работы используемых ВКМ. Ранее был предложен метод выбора ВКМ для снижения энергозатрат по параметрам, приведенным в техническом паспорте. При этом не учитывается, что ВКМ далеко не всегда работают и не в номинальном режиме. Необходим анализ нагрузочных характеристик ВКМ.

Нагрузочные характеристики водокольцевых компрессорных машин

Многие производители приводят в открытом доступе нагрузочные характеристики моделей ВКМ. Наиболее подробные данные включают экспериментальные зависимости производительности (по воздуху), затраченной мощности и расхода жидкости (воды) от давления в рабочей камере. Такие данные приводит компания SPV [25]; пример представлен на рис. 2.

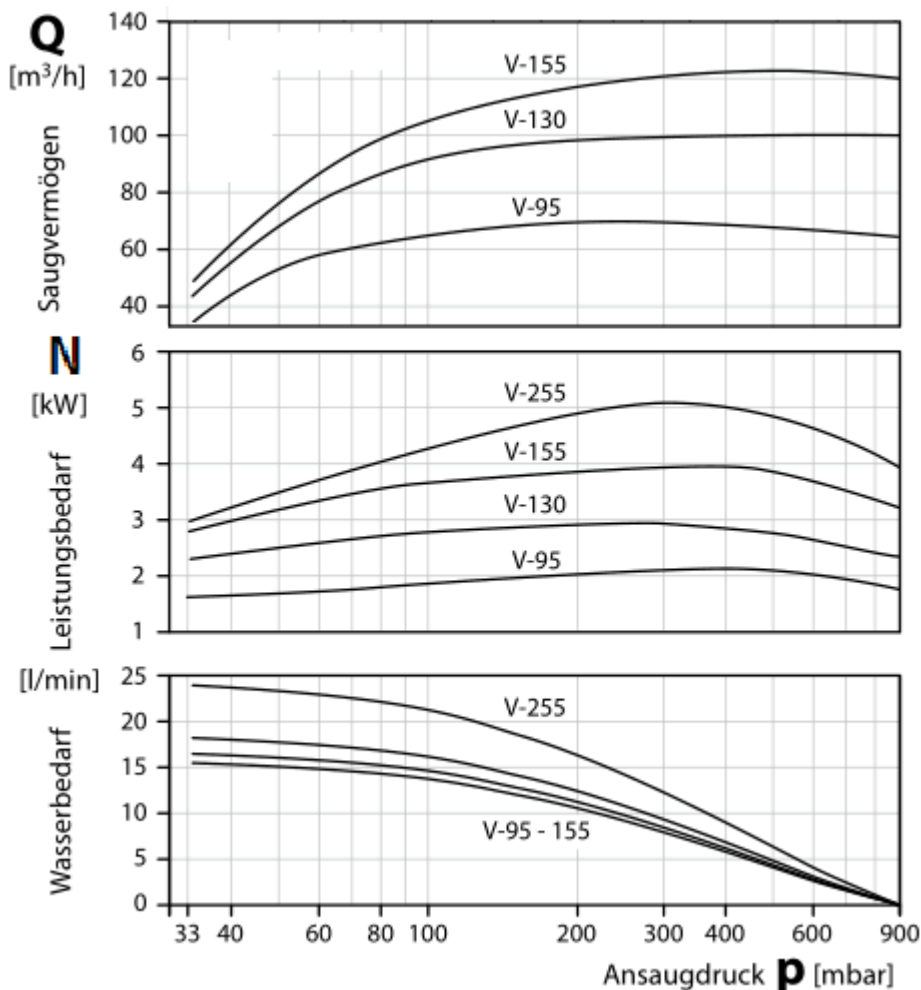


Рисунок 2 – Экспериментальные данные [25] зависимости производительности, затраченной мощности и расхода воды ВКМ серии V от давления всасывания

Ни один из производителей не сообщает коэффициент полезного действия (КПД) ВКМ даже в номинальном режиме. Большинство производителей размещают в открытом доступе две экспериментальные зависимости: производительности (по воздуху) и затраченной мощности от давления в рабочей камере.

На рис. 3-4 представлены нагрузочные характеристики ВКМ серии ELRS: $p-Q$ и $p-N$. Указано [20], что графические характеристики действительны при всасывании воздуха с температурой 15°C, воды 20°C. Погрешность графиков составляет $\pm 10\%$.

Компания Samson Pumps [38] приводит в технической документации табличную форму нагрузочных характеристик ВКМ при работе в режиме вакуумного насоса для трех значений частоты вращения (табл. 13), при работе в режиме компрессора для двух значений частоты вращения (табл. 14). Для дальнейшей компьютерной обработки табличная форма представления данных предпочтительнее.

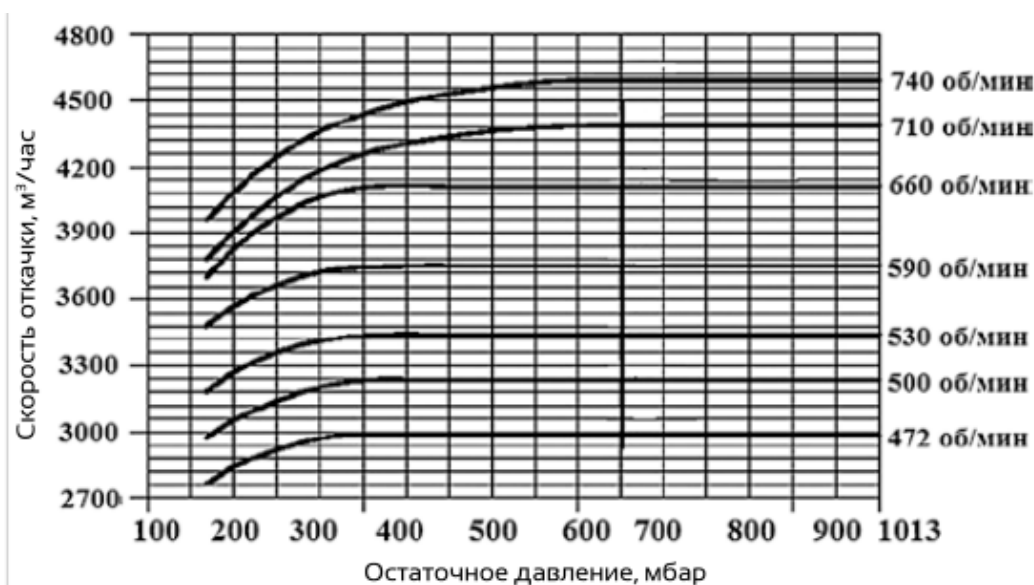


Рисунок 3 – Экспериментальные данные [20] зависимости производительности ВКМ ELRS-45 от давления всасывания при различной частоте вращения

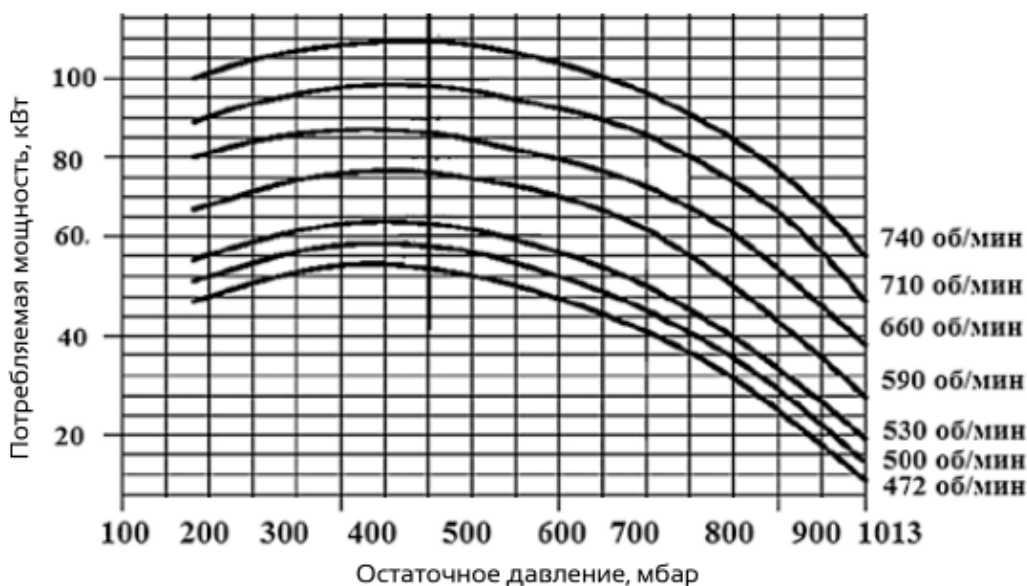


Рисунок 4 – Экспериментальные данные [20] зависимости потребляемой мощности ВКМ ELRS-45 от давления всасывания при различной частоте вращения

Таблица 13 – Нагрузочные характеристики ВКМ Samson при работе в режиме вакуумного насоса [16]

		Pressure [mbara]	33	100	200	300	400	500	600	700	800
KE200											
1200 [rpm]	Flow [m ³ /h]		10	150	190	199	203	202	200	196	193
	Consumption [kW]		1	2	3.3	3.8	3.8	3.7	3.3	2.9	2.4
1450 [rpm]	Flow [m ³ /h]		50	207	244	255	259	257	256	253	248
	Consumption [kW]		2.6	3.6	4.8	5.4	5.4	5.2	4.8	4.3	3.9
1750 [rpm]	Flow [m ³ /h]		65	265	290	297	299	297	294	291	287
	Consumption [kW]		4.6	5.8	6.7	7.5	7.5	7.3	6.7	6.6	6.2
KE300											
1200 [rpm]	Flow [m ³ /h]		67	145	187	198	203	203	200	196	192
	Consumption [kW]		3	4.2	5.4	5.9	5.9	5.8	5.4	5	4.6
1450 [rpm]	Flow [m ³ /h]		126	208	253	265	268	267	265	262	257
	Consumption [kW]		4.5	5.8	6.7	7.5	7.5	7.3	6.7	6.5	6.2
1750 [rpm]	Flow [m ³ /h]		126	276	305	314	315	314	310	306	302
	Consumption [kW]		6.8	7.9	9.2	9.7	9.7	9.4	9.2	8.7	8.3

Таблица 14 – Нагрузочные характеристики ВКМ Samson при работе в режиме компрессора [16]

		Pressure [barg]	0.3	0.4	0.5	0.6	0.7	0.8	0.9	1	1.1	1.2	1.3	1.4	1.5
KE180															
1450 [rpm]	Flow [m ³ /h]		165	152	142	128	115	100	90	78	70	60	50	48	45
	Consumption [kW]		5.2	5.6	6	6.4	6.8	7.2	7.6	8	8.2	8.8	9	9.5	10
1750 [rpm]	Flow [m ³ /h]		219	215	212	208	202	197	190	183	175	170	160	140	135
	Consumption [kW]		6.8	7.6	8.2	8.8	9.4	10	10.7	11.2	12	12.6	13.2	14	14.5
KE225															
1450 [rpm]	Flow [m ³ /h]		225	212	197	180	165	150	135	120	105	98	90	85	80
	Consumption [kW]		5.9	6.2	6.8	7.1	7.5	8	8.4	8.9	9.3	9.7	10	10.5	11
1750 [rpm]	Flow [m ³ /h]		290	288	285	280	277	271	266	260	250	240	235	225	215
	Consumption [kW]		8.7	9.3	10	10.7	11.3	12	12.8	13.3	14	14.7	15.5	16	16.5

Нагрузочные характеристики ВКМ ЗАО «Беском» [14] при работе в режиме вакуумного насоса и компрессора представлены на рис. 5-6.

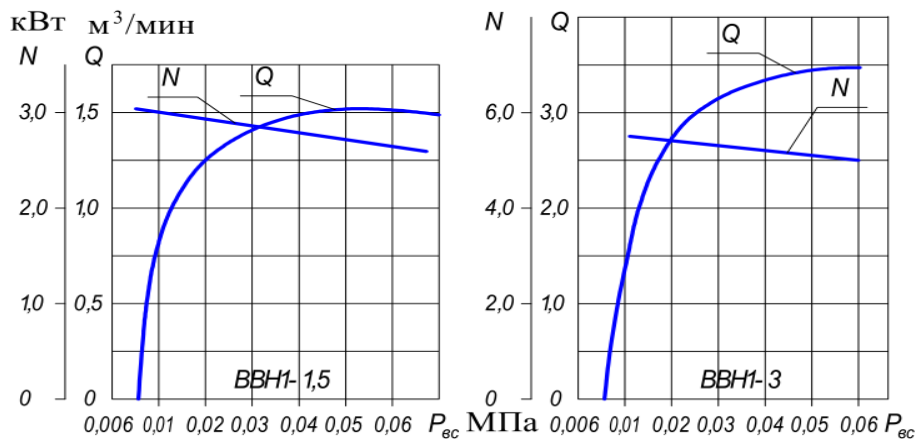


Рисунок 5 – Нагрузочные характеристики ВКМ ЗАО «Беском» при работе в режиме вакуумного насоса [14]

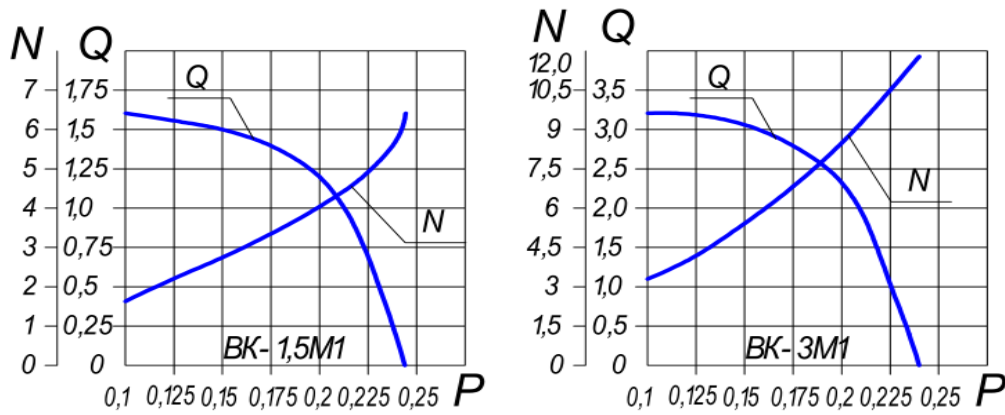


Рисунок 6 – Нагрузочные характеристики ВКМ ЗАО «Беском» при работе в режиме компрессор (воздуходувки) [14]

Заключение

Установлено, что в ВРУ, чаще всего, используются ВКМ следующих производителей: Российские компании ЗАО «Беском», АО «ГМС Ливгидромаш», ЗАО «Пензаггореммаш»; Датская компания Samson Pumps; Итальянские компании EmmeCom, FINDER Pompe, Pompetravaini; Немецкие компании Bush, Environmental Technologies Inc, Speck Pumpen Vakuumtechnik; Польская компания АО Hydro-Vacuum.

Кроме технических параметров ВКМ, названные компании приводят в открытом доступе нагрузочные характеристики, полученные в результате испытаний. Их анализ показал существенную зависимость производительности и затраченной мощности от давления в рабочей камере, $Q(P)$ и $N(P)$. Эту зависимость необходимо учитывать при подборе ВКМ для повышения энергетической эффективности ВРУ.

ЛИТЕРАТУРА

1. Абдурашитов С.А., Тупиченков А.А., Вершинин И.М. Насосы и компрессоры. Москва: Недра, 1974. 296 с.
2. Смирнов О.В., Костеренко В.Н. Исследование производительности водокольцевых вакуумных насосов различных типов // Горный информационно-аналитический бюллетень. 2011. № 7. С. 390-395.
3. Герасимова О.А., Карасева Т.Н., Радкевич Е.В. Экспериментальное исследование энергосберегающего привода водокольцевого вакуумного насоса // Научный журнал Российского НИИ проблем мелиорации. 2016. № 1 (21). С. 168-181.
4. Шилин В.А., Герасимова О.А. Теоретические исследования работы водокольцевого вакуумного насоса // Научный журнал Российского НИИ проблем мелиорации. 2015. № 1 (17). С.142–158.
5. Huang S., He J., Wang X., Qiu G. Theoretical model for the performance of liquid ring pump based on the actual operating cycle // International Journal of Rotating Machinery. 2017. 9 p. [Электронный ресурс]. URL: <https://doi.org/10.1155/2017/3617321>.
6. Великанов Н.Л., Наумов В.А. Компрессорные машины вакуумных рыбонасосов // Рыбное хозяйство. 2018. № 6. С. 78-81.
7. Великанов Н.Л., Наумов В.А. Динамические характеристики вакуумных насосов и компрессоров рыбонасосных установок // Рыбное хозяйство. 2019. № 1. С. 79-83.
8. Кудакеев В.В., Карпелев Т.П., Бойцов А.Н. Автоматизированные гидравлические системы транспортировки рыбы из орудий лова рыбонасосами // Известия ТИНРО. 2016. Т. 186. С. 207-213.

9. ООО «АгроБалтПроект» [Электронный ресурс]. – URL: <http://www.agro-balt.ru/> (дата обращения: 07.04.2019).
10. Environmental Technologies, Inc (ETI) [Электронный ресурс]. URL: <http://www.transvac.com/> (дата обращения: 31.03.2019).
11. Euskan Fish handling systems [Электронный ресурс]. URL: <http://www.euskan.com/> (дата обращения: 31.03.2019).
12. Inventive Marine Products Limited [Электронный ресурс]. URL: <http://inventivemarine.com/> (дата обращения: 31.03.2019).
13. Rycso Equipment Inc [Электронный ресурс]. URL: <http://rycous.com/> (дата обращения: 31.03.2019).
14. ЗАО «Беском». Водокольцевые вакуум-насосы и компрессоры [Электронный ресурс]. URL: http://servocompressor.ru/docs/vvn/vvn_vk.pdf (дата обращения: 01.04.2019).
15. Pompetravaini. Vacuum Pumps and Compressors [Электронный ресурс]. – URL: <http://www.pompetravaini.it/pages/elenco.aspx?id=1> (дата обращения: 07.04.2019).
16. Samson Pumps [Электронный ресурс]. URL: <https://www.samson-pumps.com/> (дата обращения: 20.03.2019).
17. Faivre Company [Электронный ресурс]. URL: <http://faivre.ru/tekhnicheskie-kharakteristiki-rybonasosa-pescavac-8> (дата обращения: 09.04.2019).
18. АО «ГМС Ливгидромаш» Насосы вакуумные водокольцевые типа ВВН [Электронный ресурс]. URL: http://www.hms-livgidromash.ru/upload/iblock/6f7/re-vvn1_3-i-vvn-1_12--vvn1_6.pdf (дата обращения: 01.04.2019).
19. ЗАО «Пензаггореммаш». Насосы вакуумные водокольцевые [Электронный ресурс]. URL: http://penzagrm.nt-rt.ru/images/manuals/nasos_vak.pdf (дата обращения: 01.04.2019).
20. ERSTVAK. Catalogs of the equipment. Water ring vacuum pumps [Электронный ресурс]. URL: <http://www.erstvak.com/katalog/vodokolcevye-vakuumnye-nasosy.pdf> (дата обращения: 25.03.2019).
21. Dolphin – Bush vacuum pumps [Электронный ресурс]. URL: <https://www.buschvacuum.com/us/en/products/dolphin> (дата обращения: 20.03.2019).
22. Italian Vacuum Compressors. Liquid ring vacuum pumps [Электронный ресурс]. URL: <https://www.ivaco.it/en/c/liquid-ring-vacuum-pumps-1432.html> (дата обращения: 20.03.2019).
23. Finder Pompe Products [Электронный ресурс]. URL: <http://www.finderpumps.com/product/-in-category/categories/pumps-liquid-ring> (дата обращения: 20.03.2019).
24. Hydro-Vacuum S.A. Vacuum pumps [Электронный ресурс]. URL: http://www.pumps-hv.com/vacuum_pumps.php (дата обращения: 20.03.2019).
25. Vacuum pumps Speck Pumpen [Электронный ресурс]. URL: <https://www.speck-pumps.com/en/speck/industrial-technology/vacuum-pumps/> (дата обращения: 20.03.2019).

REFERENCES

1. Abdurashitov S.A., Tupichenkov A.A., Vershinin I.M. *Nasosy i kompressory* [Pumps and compressors]. Moscow: Nedra, 1974. 296 p.
2. Smirnov O.V., Kosterenko V.N. *Issledovanie proizvoditel'nosti vodokol'cevykh vakuumnykh nasosov razlichnykh tipov* [Research of performance of water-ring vacuum pumps of various types]. *Gornyj informacionno-analiticheskij byulleten'*. 2011. No 7, pp. 390-395.
3. Gerasimova O.A., Karaseva T.N., Radkevich E.V. *Eksperimental'noe issledovanie energosberegayushchego privoda vodokol'cevogo vakuumnogo nasosa* [Experimental study of energy-saving drive of water-ring vacuum pump]. *Nauchnyj zhurnal Rossijskogo NII problem melioracii*. 2016. No 1 (21), pp. 168-181.

4. Shilin V.A., Gerasimova O.A. *Teoreticheskie issledovaniya raboty vodokol'cevogo vakuumnogo nasosa* [Theoretical studies of the water ring vacuum pump]. *Nauchnyj zhurnal Rossijskogo NII problem melioracii*. 2015. No 1 (17), pp.142–158.
5. Huang S., He J., Wang X., Qiu G. Theoretical model for the performance of liquid ring pump based on the actual operating cycle. *International Journal of Rotating Machinery*. 2017. 9 p. [Electronic resource]. URL: <https://doi.org/10.1155/2017/3617321>.
6. Velikanov N.L., Naumov V.A. *Kompresornye mashiny vakuumnyh rybonasosov* [Compressor machines of vacuum fish pumps]. *Rybnoe hozyajstvo*. 2018. No 6, pp. 78-81.
7. Velikanov N.L., Naumov V.A. *Dinamicheskie karakteristiki vakuumnyh nasosov i kompressorov rybonasosnyh ustanovok* [Dynamic characteristics of vacuum pumps and compressors of fish-pumping units]. *Rybnoe hozyajstvo*. 2019. No 1, pp. 79-83.
8. Kudakaev V.V., Karpelev T.P., Bojcov A.N. *Avtomatizirovannye gidravlicheskie sistemy transportirovki ryby iz orudij lova rybonasosami* [Automated hydraulic system of transporting fish from fishing gear by fish pumps]. *Izvestiya TINRO*. 2016. V. 186, pp. 207-213.
9. ООО «AgroBaltProekt» [Electronic resource]. URL: <http://www.agro-balt.ru/> (date accessed: 07.04.2019).
10. Environmental Technologies, Inc (ETI) [Electronic resource]. URL: <http://www.transvac.com/> (date accessed: 31.03.2019).
11. Euskan Fish handling systems [Electronic resource]. URL: <http://www.euskan.com>(date accessed: 31.03.2019).
12. Inventive Marine Products Limited [Electronic resource]. URL: <http://inventivemarine.com/> (date accessed: 31.03.2019).
13. Ryco Equipment Inc [Electronic resource]. URL: <http://rycous.com/> (date accessed: 31.03.2019).
14. ZAO «Beskom». *Vodokol'cevyje vakuum-nasosy i kompressory* [Water ring vacuum pumps and compressors]. [Electronic resource]. URL: http://servocompressor.ru/docs/vvn/vvn_vk.pdf (date accessed: 01.04.2019).
15. Pompetravaini. Vacuum Pumps and Compressors [Electronic resource]. – URL: <http://www.pompetravaini.it/pages/elenco.aspx?id=1> (date accessed: 07.04.2019).
16. Samson Pumps [Electronic resource]. URL: <https://www.samson-pumps.com/> (date accessed: 20.03.2019).
17. Faivre Company [Electronic resource]. URL: <http://faivre.ru/tekhnicheskie-karakteristiki-rybonasosa-pescavac-8> (date accessed: 09.04.2019).
18. AO «GMS Livgidromash» *Nasosy vakuumnye vodokol'cevyje tipa VVN* [Liquid ring vacuum pumps of VVN type]. [Electronic resource]. URL: http://www.hms-livgidromash.ru/upload/iblock/6f7/re-vvn1_3-i-vvn-1_12-_-vvn1_6_.pdf (date accessed: 01.04.2019).
19. ZAO «Penzagroremmash». *Nasosy vakuumnye vodokol'cevyje* [Liquid ring vacuum pumps]. [Electronic resource]. URL: http://penzagrm.nt-rt.ru/images/manuals/nasos_vak.pdf (date accessed: 01.04.2019).
20. ERSTVAK. Catalogs of the equipment. Water ring vacuum pumps. [Electronic resource]. URL: <http://www.erstvak.com/katalog/vodokolcevyje-vakuumnye-nasosy.pdf> (date accessed: 25.03.2019).
21. Dolphin – Bush vacuum pumps [Electronic resource]. URL: <https://www.buschvacuum.com/us/en/products/dolphin> (date accessed: 20.03.2019).
22. Italian Vacuum Compressors. Liquid ring vacuum pumps [Elektronnyj resurs]. URL: <https://www.ivaco.it/en/c/liquid-ring-vacuum-pumps-1432.html> (date accessed: 20.03.2019).
23. Finder Pompe Products [Electronic resource]. URL: <http://www.finderpumps.com/product/-in-category/categories/pumps-liquid-ring> (date accessed: 20.03.2019).
24. Hydro-Vacuum S.A. Vacuum pumps [Electronic resource]. URL: http://www.pumps-hv.com/vacuum_pumps.php (date accessed: 20.03.2019).



25. Vacuum pumps Speck Pumpen [Electronic resource]. URL: <https://www.speck-pumps.com/en/speck/industrial-technology/vacuum-pumps/> (date accessed: 20.03.2019).

ИНФОРМАЦИЯ ОБ АВТОРАХ

Наумов Владимир Аркадьевич

Калининградский государственный технический университет, г. Калининград, Россия, доктор технических наук, профессор, заведующий кафедрой водных ресурсов и водопользования, действительный член Российской инженерной академии, действительный член Российской академии естественных наук,

E-mail: van-old@rambler.ru

Naumov Vladimir Arkad'evich

Kaliningrad State Technical University, Kaliningrad, Russia, Chairman of The Water Resources Department, Doctor of Technical Science, Professor, Member of Russian Engineering Academy, Member of Russian Academy of Natural Science,

E-mail: van-old@rambler.ru

Землянов Антон Алексеевич

Калининградский государственный технический университет, г. Калининград, Россия, студент второго курса строительного факультета, направление подготовки «Природообустройство и водопользование»,

E-mail: zemlyanov99@gmail.com

Zemlyanov Anton Alekseevich

Kaliningrad State Technical University, Kaliningrad, Russia, second-year student of the Construction Faculty, field of study "Environmental engineering and Water use",

E-mail: zemlyanov99@gmail.com

Корреспондентский почтовый адрес и телефон для контактов с авторами статьи:
236022, Россия, Калининград, Советский пр., 1, КГТУ, ГУК, каб. 372. Наумов В.А.
8(4012)99-53-37