

## СОВРЕМЕННОЕ СОСТОЯНИЕ РЫНКА БЕЗМАСЛЯНЫХ ФОРВАКУУМНЫХ СРЕДСТВ ОТКАЧКИ

Ануфриева И. В., Васильев Ю. К., Кеменов В. Н.,  
Нестеров С.Б., Строгова Т. С.

ФГУП «НИИВТ им. С.А. Векшинского»  
117105, Москва, Нагорный проезд, д. 7  
\* Московский энергетический институт,  
111250, Москва, Красноказарменная, д.14, кафедра низких температур

Проводится обзор различных типов безмасляных форвакуумных механических насосов, которые выпускаются и уже нашли широкое применение, как в нашей стране, так и во всем мире. Рассматриваются основные конструкции и принципы их действия, производится анализ их основных характеристик (быстроты действия, степени сжатия и остаточного давления) и сравнение преимуществ и недостатков. Определяются основные требования, предъявляемые к таким насосам, и их тенденции развития.

### ВВЕДЕНИЕ

Активное развитие различных приложений вакуумной техники, таких как системы упаковки, микроэлектроника, медицина, фармацевтика, термоядерная энергетика, нанотехнология и т.п., формирует новые требования к вакуумному оборудованию. Прежде всего, это касается степени чистоты получаемого вакуума, что диктует необходимость развития безмасляных средств откачки. В связи с этим одной из наиболее актуальных задач является замена механических форвакуумных насосов, активно использующих различные масла, которые ухудшают степень чистоты вакуума.

Существуют три способа защиты откачиваемого объема от паров масла:

1. Установка на впускном патрубке насоса с масляным уплотнением улавливающих устройств. Этот метод прост, но не гарантирует полной защиты от проникновения углеводородов в откачиваемую технологическую камеру при неправильной эксплуатации. Например, в условиях работы системы в агрессивных средах необходимо дополнительное использование маслочистительных фильтров, что увеличивает затраты на эксплуатацию.

2. Подавление обратного потока паров масла из форвакуумных насосов встречным потоком газа, напускаемым через впускной патрубок насоса при давлении 50 – 100 Па. Просто, но ограничено из-за высокого значения впускаемого давления.

3. Использование форвакуумных насосов, не содержащих масел и смазок.

Очевидно, что только третий способ обеспечивает полную защиту откачиваемого объема от проникновения масляных паров. В настоящее время возникает потребность замены форвакуумных масляных насосов (используемых совместно с ловушками и фильтрами, удерживающими масло) на форвакуумные безмасляные насосы, где отсутствует смазка, точнее образуется вакуумная среда, не содержащая тяжелых углеводородов с массовыми числами свыше 44.

Анализ технологической тенденции изменения общего рынка вакуумного оборудования в последнее время показывает наибольший рост сектора безмасляных форвакуумных насосов – 6,6 %, по сравнению со всеми остальными (рис. 1.). Таким образом, одним из наиболее перспективных направлений развития рынка средств форвакуумной откачки, является именно этот сектор.

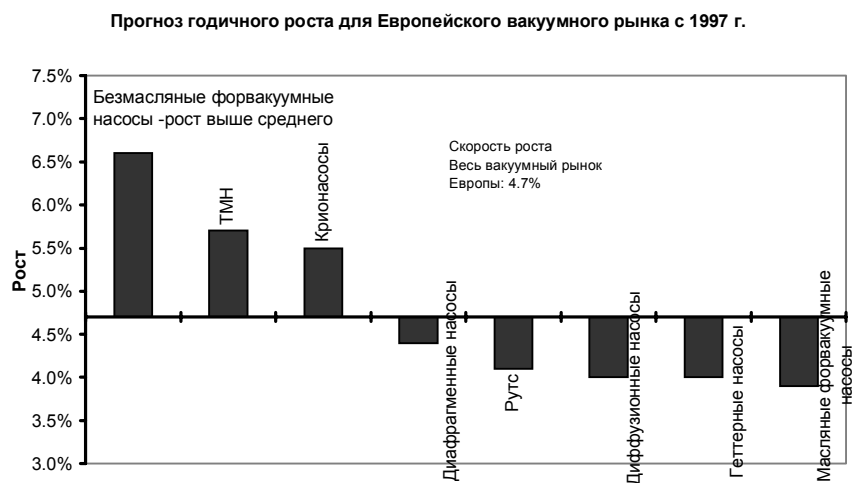


Рис. 1. Направления технологической тенденции рынка вакуумного оборудования

В качестве основных направлений развития безмасляных средств откачки можно назвать следующие:

- совершенствование и модификация известных конструкций, в которых применяется смазка, с целью полного удаления масла из рабочего объема;
- создание новых, изначально безмасляных, конструкций.

#### НАСОСЫ НА ОСНОВЕ ТРАДИЦИОННЫХ КОНСТРУКЦИЙ, ИЗ КОТОРЫХ ИСКЛЮЧЕНО МАСЛО

Исторически первым направлением, сложившимся при разработке систем безмасляной откачки явилось модифицирование уже существующих масляных насосов.

В целом это не привело к принципиальному изменению конструкций насосов. В основном заменились материалы деталей.

Механические безмасляные насосы можно классифицировать как бесконтактные и контактные.

Бесконтактные насосы характеризуются большой частотой вращения, малым износом, максимальной степенью сжатия в зависимости от впускного давления. Зазоры между деталями составляют 1 – 5 мкм и требуют очень точного соблюдения их размеров, обеспечивающих бесконтактную центровку.

Контактные насосы характеризуются большой степенью сжатия, мало зависящей от впускного давления, сравнительно небольшой частотой вращения вала, из-за наличия трущихся поверхностей, ограниченным ресурсом работы.

В насосах контактного типа некоторые детали делают из легированных сталей с соответствующей термообработкой, а в подшипниках используется твердая смазка на основе дисульфида молибдена. Кроме того, все трущиеся поверхности стараются заменить специальными парами, у которых очень низкий коэффициент трения.

Особенность производства безмасляных насосов, как контактного, так и бесконтактного типа – высокая точность изготовления деталей и их сборки.

Рассмотрим уже существующие типы и конструкции масляных механических насосов, из которых было исключено масло. К ним относятся: мембранные, винтовые, поршневые, пластинчато-роторные, пластинчато-статорные, двухроторные с различным профилем роторов, жидкостно-кольцевые, центробежные.

Кратко рассмотрим их достоинства и недостатки.

*Мембранные (диафрагменные) насосы* применяются в химической промышленности для откачки агрессивных паров и газов и в медицинской аппаратуре. Недостатками насосов этого типа являются низкая быстрота действия, высокое остаточное давление. А к их достоинствам следует отнести экологическую чистоту, бесшумность работы, легкость обслуживания, низкую стоимость.

*Винтовые насосы.* Основным недостатком насосов этого типа являются высокая температура нагрева винтов, а значит необходимость в дополнительном охлаждении,

высокая стоимость. Его достоинством является низкое остаточное давление.

*Двухроторные насосы* имеют наиболее широкое применение. Классическая конструкция — насос Рутса. Роторы в этой конструкции должны иметь гладкую поверхность и быть динамически сбалансированы. Недостатки насосов этого типа состоят во-первых в том, что при некоторых режимах температура роторов увеличивается, что может привести к заклиниванию насоса вследствие разных коэффициентов теплового расширения роторов и корпуса, и во-вторых, в том, что у таких насосов небольшая степень сжатия. К достоинствам двухроторных насосов относятся высокая быстрота действия, малое энергопотребление.

В промышленности применяются также насосы с *трехлепестковым и кулачково-зубчатым профилем роторов*. У насосов с кулачково-зубчатым профилем роторов степень сжатия больше чем у насоса типа Рутс.

*Поршневой насос* с масляной смазкой поршней известен давно, однако его безмасляный вариант не могли осуществить долгое время. Американская фирма Varian в 1988 г. впервые разработала безмасляный поршневой насос. В настоящее время он применяется в ускорителях заряженных частиц, тороидах токамаков, имитаторах космического пространства. Его основным недостатком является чувствительность к твердым частицам и высокая стоимость, а достоинствами — низкое остаточное давление и экологическая чистота.

Достоинствами *пластинчато-роторного насоса* являются низкое остаточное давление, высокий ресурс эксплуатации. Недостатками: невысокие показатели степени сжатия и производительности вследствие перетечек со стороны нагнетания на сторону всасывания через зазоры между пластинами и торцевыми крышками. Для уменьшения влияния объема вредного пространства на предельное остаточное давление насос делают 2-х ступенчатыми. Для уменьшения перетечек газа различными способами модернизируются пластины ротора: на их боковых поверхностях выполняют пазы.

*Водокольцевые и жидкостно-кольцевые компрессоры и вакуумные насосы*

конструктивно просты, надежны в эксплуатации, отличаются низким уровнем шума при работе. Наличие жидкостного кольца позволяет откачивать газы, содержащие пары, капельную жидкость, твердые инородные включения (пыль) и даже абразивные частицы. При соответствующем подборе рабочей жидкости исключается загрязнение откачиваемого объема и перекачиваемых газов парами масел. Благодаря наличию жидкостного кольца процесс сжатия газа происходит с интенсивным теплообменом и близок к изотермическому, что позволяет откачивать и перекачивать легко разлагающиеся, полимеризующиеся, взрывоопасные газы и смеси. Таким образом, эти насосы нашли применение для разгрузки и перегрузки сыпучих материалов: в пневморазгрузчиках цемента всасывающего и всасывающе-нагнетательного действия, в пневмосистемах для разгрузки и транспортировки золы, минеральных удобрений, зерна; в сельском хозяйстве и пищевой промышленности, так как не вносят загрязнения парами масел. Они используются, в частности, для комплектации установок машинного доения коров, для вакуумной сушки, в технологических линиях сахарных, дрожжевых производств, хлебозаводов и мукомольных предприятий, для производства безалкогольных напитков. В других отраслях используются для аэрации воды в бассейнах для плавания и в бассейнах для рыборазведения; для централизованной уборки помещений; для вакуумной сушки древесины, целлюлозы, бумаги.

К недостаткам жидкостно-кольцевых и водокольцевых вакуумных насосов относятся: относительно низкий КПД из-за затрат мощности на вращение жидкостного кольца, высокое предельное остаточное давление, увеличенные габаритные размеры по сравнению с насосами других типов (например, двухроторными или пластинчато-роторными).

*Центробежные насосы*, принцип действия которых основан на передаче импульса газу от очень быстро вращающегося вала, имеют низкую степень сжатия, являются самоохлаждающимися, отличаются легкостью обслуживания, характеризуются бесшумностью работы и обладают высокой быстротой действия.

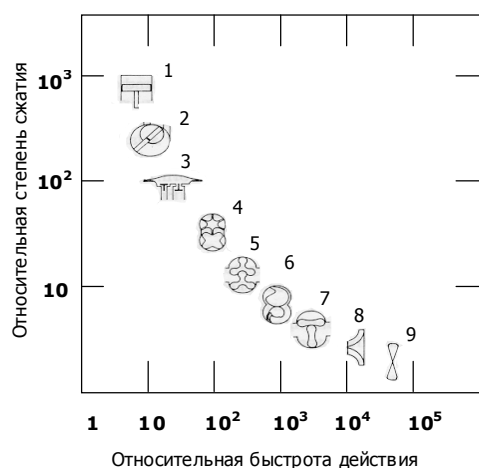


Рис. 2. Относительные характеристики различных типов насосов

На рис. 2 представлены относительные значения степени сжатия (по оси ординат) и быстроты действия (по оси абсцисс) для различных типов насосов:

1. поршневой насос;
2. пластинчато – роторный насос;
3. мембранный насос;
4. винтовой насос;
5. трехлепестковый двухроторный насос;
6. насос с кулачково-зубчатым профилем роторов;
7. двухроторный насос с профилем роторов типа Рутс;
8. центробежный насос;
9. ТМН.

### ИЗНАЧАЛЬНО БЕЗМАСЛЯНЫЕ НАСОСЫ

Теперь подробнее рассмотрим уже изначально безмасляные насосы спиральный, шланговый и насос перистальтического типа с эластичной рабочей камерой.

Важным событием в развитии рынка безмасляных вакуумных насосов стала презентация в 1991 году японской фирмой ANEST IWATA новейших безмасляных спиральных (scroll) технологий.

Конструкция: орбитальный механизм представляет собой интересное промежуточное устройство между поршневыми и турбо-механизмами. Он состоит из закрепленной пластины со спиральной канавкой, в которую помещена подобная колеблющаяся (орбитальная) спираль, также присоединенная к пластине. Относительное движение между двумя спиральными стенками создает ряд серповидных объемов, которые больше на периферии и постепенно уменьшаются к центру. Входное сечение располагается на периферии и выходное в центре спирали.

Двигающийся кривошип находится в атмосфере, устраняя необходимость уплотнения в этой точке. Компенсацией этого довольно удобного свойства является необходимость применения больших сильфонов для уплотнения входного сечения. Сильфоны, присоединенные к орбитальной спирали и к основанию насоса полностью изолируют механизм насоса от окружающей среды. Таким образом, насос сам по себе сочетаемый с некоторыми дорогими или опасными газами, такими как тритий, но сочетаемость форвакуумного вспомогательного насоса остается проблемой. Конструкция насоса показана на рис. 3.



Рис. 3. Внешний вид и принцип действия спирального насоса

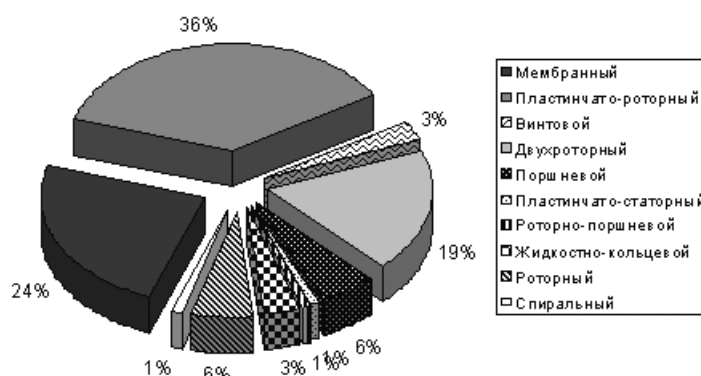


Рис. 4. Общая структура рынка систем безмасляной откачки

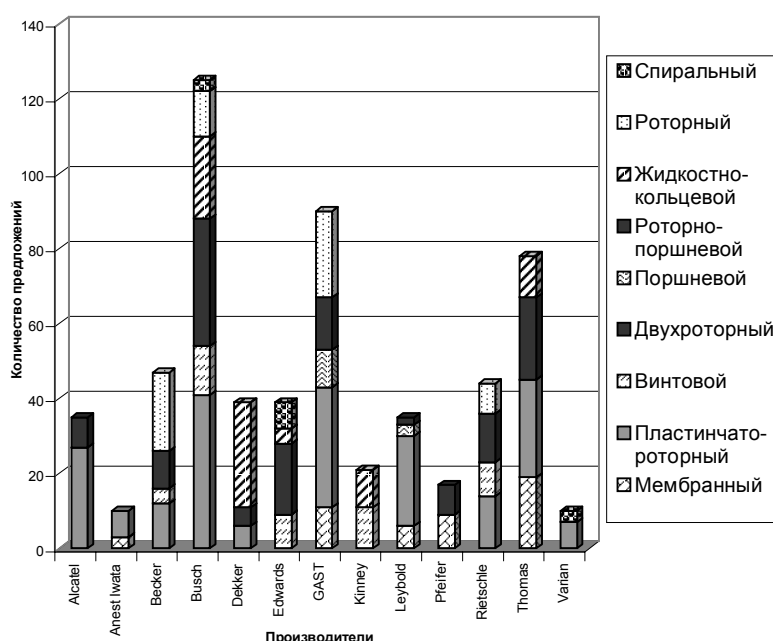


Рис. 5. Типы и количество моделей безмасляных насосов, предлагаемых мировыми производителями

Основной недостаток такого насоса малый ресурс работы подшипников и спирали, а достоинством — низкое остаточное давление, бесшумность и легкость обслуживания.

Принципы действия насоса перистальтического типа с эластичной рабочей камерой и шлангового насоса основаны на периодическом изменении рабочего объема, перемещающимся по кругу растяжением эластичной оболочки. Степень растяжения оболочки определяет производительность насоса и его ресурс. Увеличение быстроты действия насоса в результате увеличения объема рабочей камеры

приводит к снижению ресурса. Увеличение производительности насоса в результате увеличения скорости вращения ротора, или, скорости обкатывания оболочки рабочей камеры ограничивается допустимой скоростью деформации, или временем, необходимым для восстановления первоначальной формы.

Основная проблема, с которой сталкиваются разработчики вакуумных насосов с эластичной рабочей камерой, — отсутствие материалов для оболочки, обладающих достаточно высокой упругостью, эластичностью и прочностью. К недостаткам насосов этого типа относится малая

**Таблица 1.** Области применения безмасляных средств откачки

	Пластинчатые-ротаторные	Винтовые	Двух-ротаторные	Роторные	Мембранные	Жидкостно-кольцевые	Спиральные	Роторно-поршневые
Упаковка	✓			О				
Химия	О	✓	О		✓	✓	✓	
Фармацевтика	О	✓	О	О	✓	✓		
Продукты питания	✓	О	✓	✓		✓		
Очистка и обезгаживание	✓	✓	✓			✓		
Металлургия	✓	✓	✓			✓		✓
Микроэлектроника		✓					✓	

✓ - хорошо, О - возможно

производительность в связи с малым объемом рабочей камеры и необходимость создания «охранного» разрежения с внешней стороны оболочки для обеспечения ее работоспособности.

Таким образом, данный тип насосов признан в настоящее время одним из наименее перспективных и не производится в промышленном масштабе.

Проанализировав основные преимущества всех предложенных типов насосов, можно сделать выводы о том, какие насосы целесообразно применять в различных областях производства. В таблице 1 представлены некоторые возможные области применения безмасляных насосов и те типы насосов, которые в них используются. Галочками отмечены типы насосов, которые уже нашли широкое применение, а кружочками те, использование которых возможно.

На основе проведенной выборки определена общая структура рынка безмасляных форвакуумных насосов по типам производимых средств откачки. Она представлена на рис. 4.

#### АНАЛИЗ РЫНКА БЕЗМАСЛЯНЫХ НАСОСОВ

Широкий спектр безмасляных механических форвакуумных насосов, производимых на рынке вакуумного оборудования, целесообразно разделить на следующие классы:

1. По производительности:

1.1 — до 3 л/с;

1.2 — до 10 л/с;

1.3 — до 30 л/с;

1.4 — более 30 л/с.

2. По предельному давлению:

2.1. — до 10000 Па;

2.2. — до 500 Па;

2.3. — до 50 Па;

2.4. — 5 Па и менее.

Структура рынка по классам производимых безмасляных средств откачки показана в таблице 2.

Структура предложений безмасляных средств откачки, выполненная на основе выборки среди крупнейших мировых производителей представлена на рис. 5.

#### ОСНОВНЫЕ ТЕНДЕНЦИИ РАЗВИТИЯ БЕЗМАСЛЯНЫХ СРЕДСТВ ОТКАЧКИ

Основные тенденции развития безмасляных средств откачки можно условно разделить на несколько направлений.

Во-первых, совершенствование имеющихся средств откачки, которые хорошо себя зарекомендовали с точки зрения высокой надежности, воспроизводимости параметров получаемого вакуума, невысокой стоимости. В этом направлении следует отметить активно развивающиеся в последнее время разработки различных материалов,

**Таблица 2.** Структура рынка по классам производимых безмасляных средств откачки

Типы насосов	Класс устройств							
	По производительности				По развиваемому вакууму			
	до 3 л/с	до 10 л/с	до 30 л/с	более 30 л/с	до 10000 Па	до 50 Па	до 5 Па	5 Па и менее
Мембранный	26,56%	7,69%	0,00%	0,00%	18,18%	35,90%	11,54%	7,26%
Пластинчато-роторный	42,19%	46,15%	23,33%	25,00%	36,36%	17,95%	80,77%	41,94%
Винтовой	2,34%	7,69%	3,33%	0,00%	0,00%	0,00%	0,00%	4,03%
Двухроторный	11,72%	7,69%	50,00%	43,18%	18,18%	25,64%	0,00%	26,61%
Поршневой	10,16%	7,69%	0,00%	2,27%	0,00%	0,00%	0,00%	12,10%
Пластинчато-статорный	0,78%	0,00%	3,33%	0,00%	2,27%	0,00%	3,85%	0,00%
Роторно-поршневой	1,56%	0,00%	0,00%	0,00%	0,00%	0,00%	0,00%	1,61%
Жидкостно-кольцевой	0,78%	7,69%	10,00%	9,09%	0,00%	20,51%	0,00%	0,81%
Роторный	3,13%	0,00%	10,00%	20,45%	25,00%	0,00%	3,85%	3,23%
Спиральный	0,78%	15,38%	0,00%	0,00%	0,00%	0,00%	0,00%	2,42%

имеющих низкий коэффициент трения, и их сочетаний в парах трения.

Вторым направлением является создание новых средств откачки, изначально не требующих наличия масляной смазки.

Третьим направлением является совершенствование уже относительно новых систем откачки (таких как спиральные насосы). Активная работа в этом направлении ведется рядом известных мировых компаний.

Таким образом, для создания конкурентоспособного насоса необходимо выполнить ряд требований. Самое главное это конечно снижение себестоимости. Большинство фирм, которые в качестве оборудования хотят использовать безмасляные средства откачки, сталкиваются именно с проблемой непомерно высоких цен. Далее необходимо увеличить диапазон давлений, в котором происходит откачка, желательно от атмосферного давления до 100 – 10 Па и увеличить быстроту действия. Еще необходимо по возможности увеличить ресурс работы и максимально облегчить обслуживание. Кроме того, для использования

безмасляных насосов в некоторых областях производства требуется снижение уровня шума и уменьшение вибрации. Для таких областей, как медицина и фармакология актуально уменьшение размеров и удобный мониторинг.

#### ВЫВОД

В данной работе проанализированы основные типы безмасляных насосов, а также выполнено исследование современного состояния рынка безмасляных средств откачки. Показаны возможные тенденции развития данного оборудования и их рынка. Перечислены основные критерии, которые необходимо удовлетворить для создания конкурентоспособного насоса.

#### Summary

Dry pumps marketing classification is provided. The degree of oil-free vacuum equipment consumers needs satisfaction in various fields of science and technology is studied. Conclusions are made on the creation probability of a competitive pump and its main requirements are given.