

Белушкин В.А. и
Готвянский Н.Ф.

+

БЗ-8-5054



С 393е

Б-

ОБЪЕДИНЕННЫЙ ИНСТИТУТ ЯДЕРНЫХ ИССЛЕДОВАНИЙ

~~Поршневые детандеры~~

БЗ-8-5054^к

ДЕПОНИРОВАННАЯ ПУБЛИКАЦИЯ

Дубна 1970

с 393е

Б -

ПОРШНЕВЫЕ ДЕТАНДЕРЫ

/обзор отечественных и иностран-
ных изобретений/

БЗ-8-5054

12

с.р. 2436

Составители: Белушкин В.А. *Белушкин*
Готвянский Н.Ф. *Готвянский*

СЛУЖБЕННО ПОЛУЧЕНО
В НАУЧНО-ИССЛЕДОВАТЕЛЬСКОМ ЦЕНТРЕ
20 апреля 1970 г.

г. ДУБНА, 1969 г.

В сборнике представлены обзоры отечественных и зарубежных изобретений по поршневым детандерам.

Приводится количественный и качественный анализ, даны выводы о состоянии и тенденциях развития поршневых детандеров.

Сборник рассчитан на научных и инженерно-технических работников, связанных с разработкой криогенного оборудования, и на работников патентной службы.

Авторы.

О Г Л А В Л Е Н И Е

	стр.
1. Введение.....	3
2. Количественный анализ.....	4
3. История развития поршиновых детандоров.. и их качественный анализ.....	7
4. Выводы.....	19
5. Заключение.....	20
6. Литература.....	21
7. Иллюстрации.....	24

I. ВВЕДЕНИЕ.

Детандеры - расширительные машины-служат для создания холода за счет внешней работы, совершаемой расширяющимся газом. Расширительные машины нашли широкое применение в различных холодильных системах: в установках по сжиганию воздуха и трудно-конденсируемых газов, в установках разделения воздуха и сложных газовых смесей, в крупных экспериментальных устройствах, имитирующих высотные условия, в системах кондиционирования воздуха и т.д.

Широкое применение детандеров в различных циклах техники низких температур и глубокого охлаждения связано с тем, что получение холода при помощи детандеров требует меньших затрат энергии, нежели получение его за счёт дросселирования сжатого газа.

Авторами просмотрено и проанализировано около 130 патентных описаний по поршневым, турбинным, ротационным и мембранным детандерам, а также по машинам, используемым в газовых регенеративных циклах.

Выбор типа детандера, наиболее подходящего для данной ожижительной установки, зависит в основном от её производительности. Потребности ядерной физики в жидких водороде и гелии в течение ближайших 10-15 лет вряд ли приведут к необходимости иметь ожижители с производительностью более 1000 л/час.

Для таких установок применение поршневых машин вполне целесообразно. Они обладают высоким кпд, достигающим 80-90%, их

легко соединить с тормозными устройствами, работающими при комнатной температуре.

Для более крупных компрессоров безусловно следует переходить к использованию турбодетандеров.

Поэтому в обзоре подробно рассмотрены патенты и авторские свидетельства, относящиеся только к поршневым детандерам.

В последние годы появилось большое количество новых идей, относящихся к конструкции поршневых детандеров. Предлагаемый обзор является первой попыткой обобщить имеющийся разрозненный материал.

2. КОЛИЧЕСТВЕННЫЙ АНАЛИЗ.

Обзор составлен по патентной литературе основных стран мира по состоянию на 1969 год и по официальным изданиям книг и журналов. По этим странам просмотрены описания патентов и авторских свидетельств следующих классов:

США кл. 62-403, 62-86, 63-83, 63-64, 230-54,
91-280, 230-2.

СССР, БРГ,
Швейцария, Кл. 17a, 5, 17a20, 17a14, 17a1/03, 17a3,
Германия 17a3/03, 17g1.

Франция кл. F25b, F25j.

Количественный анализ по годам приоритета представлен в таблице 1, где в числителе - авторские свидетельства СССР, в знаменателе - патенты других стран.

ТАБЛИЦА 1.

ТИП ДЕТАНДЕРА	ГОД											
	40 1957	1958	1959	1960	1961	1962	1963	1964	1965	1966	1967	1968
поршневые	$\frac{1}{18}$	$\frac{0}{1}$	1	$\frac{0}{1}$	$\frac{0}{1}$	$\frac{2}{2}$	$\frac{3}{2}$	$\frac{1}{1}$	$\frac{4}{2}$	$\frac{6}{0}$	$\frac{4}{1}$	$\frac{4}{0}$
турбинные, ротационные и другие	$\frac{5}{22}$	$\frac{0}{2}$	—	$\frac{1}{0}$	—	$\frac{1}{2}$	$\frac{3}{2}$	$\frac{3}{0}$	$\frac{3}{1}$	$\frac{5}{0}$	$\frac{4}{1}$	$\frac{2}{0}$

С П И С О К

Патентов и авторских свидетельств, просмотренных
и использованных для анализа детандеров.

Страна и № патентов и авторск. сви- детельств.	Класс	Страна и № патентов и авторских свидетельств	Класс
1	2	1	2
С Ш А			
8080	1851 г.	114152	17a,5
1019790	1911 г.	114153	17a,5
1019791	1911 г.	119538	17a,5
2020923	62-403	134273	17a,5
2294619	62-403	134274	17a,5
3101547	62-86	152660	17a,5
3150565	91-280	153280	17a,5
3233426	62-403	153845	17a,5
3274781	60-64	161378	17a,5
3274789	62-85	163637	17a,5
3301471	230-54	163902	17a,5
		164618	17a,5
		164801	17a,5
		165474	17a,5
		165754	17a,5
С С С Р			
58671	17g, 1	167503	17a,5
77119	17a,5	167708	17a,5
77120	17a,5	167903	17a,5
79814	17a,5	169958	47g
106402	17g, 1	171006	17a,5
107253	17a, 3/01	177910	17a,5
112765	17a,5	179335	17a, 3/03

1	:	2	:	1	:	2
187044		17a,5		248713		17a,3/01
190373		17a,1/01		252358		17a,5
190376		17a,5		254529		17a,5
192833		17a,5		255948		17a,5
192836		17g,2/02				
193542		17a,5				
194854		17a,5				
196057		17a,5				
199914		17a,5				
205030		17a,5				
						ШВЕЙЦАРИЯ
205031		17a,5		348417		17a,5
207938		17a,3/03		443371		17a,5
207939		17a,5				
207942		17a,14				
208722		17a,5				
208723		17a,5				
210191		17a,5				
210880		17a,5				
220280		17a,5				
						Ф Р Г
220991		17a,5		804012		17g,1
223104		17a,5		806443		17g,1
228699		17a,3/03		1015454		17a,5
231561		17,45		1098932		17a,5
237174		17a,5		1101461		17g,1
237175		17a,5		1217982		17a,5
241460		17a,5				
243636		17a,5				
						ЯПОНИЯ
245148		17a,5		4064		68 -B11
245808		17a,5				

1	2	3	4
Германия			380244
10422	17aB		391507
14311	17a5		508223
51740	17a5		572618
110976	17a5		627369
115503	17a5		630529
115671	17a5		647446
121075	17a 3/01		651800
122007	17a5		670302
122009	17a5		699427
132963	17a5		720578
233897	17a5		724269
353063	17g1		727987

3. ИСТОРИЯ РАЗВИТИЯ ПОРШНЕВЫХ ДЕТАНДЕРОВ И ИХ КАЧЕСТВЕННЫЙ АНАЛИЗ.

Первый поршневой детандер, предназначенный для установки охлаждения воздуха, был создан Ж.Клодом в 1902 г./16/. Прототипом для него послужила паровая машина с золотниковым распределением. Уплотнение поршня осуществлялось при помощи кожаных манжет, работающих без смазки.

Гейландом /15/ в 1912 г. предложена конструкция детандера, поршень которого снабжен вытеснителем из материала с низкой теплопроводностью. Вытеснитель движется в цилиндре с зазором без трения. Поршневое уплотнение расположено в нижней части поршня и работает при температуре, близкой к комнатной. Тепло трения в значительной мере рассеивается в окружающую среду.

Таким образом удалось легко решить проблему уплотнения поршня обычно применяемыми в технике способами /поршневые кольца со смазкой/.

Эти две конструкции стали традиционными и послужили основой для создания современных поршневых детандеров. По первой схеме строятся машины "среднего" давления (до 80 атм), по второй - "высокого" (150-220 атм).

Применение синтетических материалов для поршневых несмываемых уплотнений, сальников механизма привода клапанов, хорошая тепловая изоляция, позволяют получать машины с высокими значениями кпд. Так, в одной из последних работ /6/, описан опытный детандер, испытанный на водороде и гелии, адiabатный кпд которого более 80%.

Детандеры для охидителей гелия строятся по схеме, предложенной Капицей в 1934 году /2/. Им впервые было применено целевое (лабиринтное) уплотнение поршня, детали механизма привода клапанов работают в основном на растяжении, что позволяет их сделать минимального сечения, рабочая зона цилиндра отделена от механизма движения длинным тепловым "мостом" из мало-теплопроводного материала, детандер расположен внутри охидителя. Эти меры позволяют свести к минимуму тепловые потери от трения поршневого уплотнения и теплопритока из окружающей среды.

Детандерами, построенными на этих принципах, оснащены многочисленные современные гелиевые охидители.

Наиболее уязвимым местом ^{этих} машин является пара поршень-цилиндр. В эффективной машине утечки через уплотнение не должны превышать нескольких процентов. Для этого радиальный зазор между поршнем и цилиндром должен быть не более нескольких

микрон. Такие пары технологически трудно выполнимы, кроме того, необходимо принимать специальные меры к особо тщательной очистке газа. В случае применения поршней с текстолитовой рубашкой /7/, поршни

необходимо сохранять в атмосфере абсолютно сухого газа. Поэтому в некоторых случаях наблюдается возврат к выносу поршневого уплотнения в зону комнатных температур, как это впервые было сделано Гейляндтом /15/, а позднее - Келлером и Джонкерсом в 1954 г. при создании газовой регенеративной машины "Филипс". Этот же принцип применен в одной из последних конструкций гелиевого детандера /3/ и в детандерах /9, 12, 18, 19).

Известен также гелиевый детандер с уплотнением кожаными манжетами, теплоотрениа которых снимается жидким азотом /4, 17/.

Сильфонные детандеры /8, 14/, несмотря на то, что в них достигается абсолютная герметичность рабочего объема, широкого распространения не получили, ввиду ограниченного срока службы сильфонов и большой величины мертвого объема.

Как правило, к.п.д. таких машин не превышает 65%, а долговечность сильфонов - несколько десятков часов /5/.

Кроме поршневого уплотнения наиболее ответственными узлами детандеров являются клапаны и механизмы привода их. Эти механизмы передают значительные усилия, узлы трения в них работают в условиях полусухого или сухого трения. Обычно они состоят из нескольких десятков деталей, выполненных из высококачественных материалов по высоким классам точности и чистоты обработки. Инерционные усилия и износ деталей этих механизмов ограничивают быстроходность и ресурс работы детандера.

Достаточно сказать, что современные серийные машины редко имеют число оборотов выше 500об/мин.

Рядом авторов были сделаны попытки вообще отказаться от одного или обожж клапанов.

В.Б.Гридиным в 1959 г. был создан прамоточный поршневой детандер /II,20/, который вместо выпускного клапана имел окна, расположенные в цилиндре 4 в районе нижней мертвой точки. На рис. 1 показана схема этой машины. Впускной клапан 3 снабжен устройством для разгрузки его в момент открытия (на рисунке не показано). Эти меры позволили значительно повысить число оборотов (до 1550 об/мин).

Большая величина обратного сжатия, обусловленная конструкцией машины, приводит к необходимости искусственного увеличения мертвого объема (до 20-25%) с тем, чтобы давление и температура в конце сжатия газа в мертвом объеме не превышали давления и температуры газа в впускном трубопроводе.

Адиабатный кпд этого детандера при испытаниях на воздухе с температурой на входе 300°К и давлением 200 атм. составил 70%.

Здером /10,21/ предложена конструкция детандера^{рис.2}, в котором оба клапана заменены окнами 2,5. Отсутствие клапанов позволяет значительно повысить число оборотов (до 1500 об/мин), однако существенно повышаются требования к герметичности пары поршень-цилиндр.

При радиальном зазоре 1,3 мм температурный кпд достигал 80% , но резко падал при увеличении зазора.

К недостаткам машины можно отнести также большой мертвый объем и невозможность получения оптимальных фаз газораспределения.

Уменьшить мертвый объем в детандере с окнами можно за счёт придания поршню 3 и крышке цилиндра I специальной формы /46/. Поршень детандера имеет полость в виде усеченного конуса, крышка цилиндра снабжена соответствующим выступом. Это позволяет уменьшить длину газораспределительных каналов. Данные об испытаниях этой машины не опубликованы.

Имеется также ряд авторских свидетельств на различные модификации таких машин /22, 27/.

Другой путь, который представляется нам более перспективным, заключается в использовании поршня для привода клапанов.

Первое удачное решение этой задачи было найдено Коллинзом еще в 1938 году /1, 14/. Им был создан диафрагмовый детандер для получения температуры 10°K . Клапаны этой машины приводятся в действие жестким центром диафрагмы, причем обеспечивается такое же газораспределение, как у машин с кулачковым приводом.

На рис. 3 приведена схема этого детандера.

При движении диафрагмы 2 вверх, жесткий центр ее I нажимает на толкатель 6 выпускного клапана, пружина 7 сжимается, и когда ее усиление станет больше усилия пружины 5, клапан 4 закроется. Начнется процесс поджатия газа. Впускной клапан II открывается при упоре толкателя 10 в крышку клапана II. Это происходит вблизи верхней мертвой точки. Начинается процесс впуска.

Величина отсечки впуска определяется разностью усилий, развиваемых пружинами 8 и 9.

Когда усилие, развиваемое пружиной 9, станет больше усилия пружины 8, клапан закроется, начнется процесс расширения газа в цилиндре. Впускной клапан 4 откроется в момент, когда усилие, развиваемое пружиной 5, станет больше газового усилия, действующего на клапан со стороны рабочей полости цилиндра.

с сотрудниками в Московском энергетическом институте.

В.М. Бродянский, Н.М. Савиновой и Л.Е. Медоваром предложена конструкция прямого поршневого детандера с выпускным клапаном, расположенным в поршне /12,28/, рис. 5.

Впускной клапан устроен так же, как в детандере Коллинза. Выпускной клапан 7 открывается принудительно вблизи нижней мертвой точки при набегании на неподвижный упор 10 и поддерживается в открытом положении за счет пружины 8; закрытие выпускного клапана произойдет после упора его в толкатель 5 (Усилие, развиваемое пружинкой 4, больше, чем усилие пружины 8). В процессах наполнения и расширения клапан 7 поддерживается в закрытом положении за счёт разности усилий пружин 2, 4 и 8 и разности газовых сил со стороны цилиндра и выпускного трубопровода.

Такая конструкция позволяет получить индикаторную диаграмму, не отличающуюся от диаграммы детандеров с кулачковым приводом клапанов. Моменты открытия клапанов не зависят от изменения жесткости пружин и величин давлений в цилиндре детандера. Модель детандера была испытана в ОИЯИ сотрудниками МЭИ.

Преимуществами машины являются: наличие прямого рабочего тела, что снижает потери от теплообмена газа со стенками цилиндра, возможность обеспечения больших проходных сечений впускного и выпускного клапанов без увеличения мертвого объема. К недостаткам можно отнести расположение поршневого уплотнения в рабочей зоне цилиндра и необходимость уплотнения ^{под} поршневого пространства, что усложняет машину.

Схема весьма перспективна и может найти широкое применение в детандеростроении.

Упростить поршневое уплотнение и вынести его из рабочей зоны можно, если применить схему, предложенную В.И. Бродянским и А.Б. Грачевым /13,29,30/, рис. 6.

Оба клапана 2 и II расположены в крышке цилиндра и в отличие от детандера Биндера (рис.4), снабжены устройствами, обеспечивающими принудительное закрытие и открытие их в нужные моменты времени. Привод впускного клапана, состоящий из толкателя I2 и пружины I3, расположен в поршне.

Модель такого детандера, имеющего диаметр и ход поршня 52 мм, была испытана на воздухе с начальным давлением 8-15 атм при температуре входа 300°K и оборотах от 250 до 800 об/мин. Максимальное значение адиабатного КПД - около 72%.

Однако, при такой схеме трудно обеспечить достаточно большие проходные сечения клапанов. Машина сложна в сборке и регулировке фаз газораспределения. Отказ от принципа прямотока увеличивает потери от регенеративного теплообмена.

Машина, в которой сохранен принцип прямотока, а поршневое уплотнение может быть вынесено из рабочей зоны, показана на рис. 7 /19/.

Впускной клапан 3 снабжен устройством I /3I/, позволяющим в широких пределах менять отсечку впуска за счет поджатия пружины 2. Выпускной клапан IO кольцевого типа расположен в цилиндре вблизи нижней мертвой точки.

Поясним более подробно работу механизма привода клапанов этого детандера.

При набегании стержня 4 на впускной клапан 3 начинает сжиматься пружина 5. Впускной клапан еще не открывается, так

как усилие пружины 5 недостаточно для преодоления сил, действующих на клапан (разность газовых усилий между впускным трубопроводом и цилиндром и сила пружины 2).

Клапан откроется, когда стержень 4 упрется в дно своего гнезда. Давления над и под клапаном выравняются, и при последующем движении поршня вниз клапан будет оставаться в открытом положении за счет разности усилий, развиваемых пружинами 5 и 2, до тех пор, пока усилие пружины 5 не станет меньше усилия пружины 2. Меняя величину сжатия пружины 2 винтом I, можно менять моменты закрытия впускного клапана.

При приближении поршня к нижней мертвой точке выступы 6 поршня набегает на выпускной клапан и снимают его с седла.

В процессах выхлопа и выпуска клапан удерживается в открытом положении пружиной 9. Закрывается клапан при помощи подпружиненной втулки II, установленной на поршне. Регулировать отсечку выпуска можно при помощи такого же механизма, как у впускного клапана, меняя степень сжатия пружины 9, однако, ввиду малого влияния величины отсечки выпуска на показатели работы детандера, проще определить ее оптимальную величину опытным путем.

Основные трудности, возникающие при осуществлении этой схемы, заключаются в сложности создания надежно работающего выпускного клапана, уплотнение которого происходит по большому периметру одновременно по двум поверхностям. Такие клапаны широко применяются в компрессорах, однако специфические условия работы детандера (низкие температуры, отсутствие смазки, более высокие требования к герметичности) обуславливают необходимость поисков ^{новых} конструктивных решений этого узла. Кроме того,

такой детандер будет иметь относительно большой мертвый объем (едва ли его можно сделать меньше 20%), так как кроме полостей, имеющих в механизмах привода клапанов, необходимо обеспечить достаточные проходные сечения для газа в процессе выталкиваний (на пути к клапану газ должен пройти через щель между поршнем и цилиндром).

Однако, эти конструктивные и технологические трудности не являются непреодолимыми, а потери от увеличенного мертвого объема могут быть в значительной мере скомпенсированы подбором оптимальных величин отсечек впуска и выпуска.

Опытный образец такого детандера в настоящее время проходит испытания в ОИЯИ.

В некоторых случаях может оказаться целесообразным принятие компромиссного решения: впускной клапан с внутренним приводом, а выпускной - с обычным, кулачковым (рис. 8). По такой схеме легко переделать почти любой из серийно выпускаемых детандеров. Этим удастся избежать наличия наименее надежного узла - сальника впускного клапана, значительно упрощается механизм привода, в результате чего можно повысить обороты машины. Привод же выпускного клапана несет меньшие нагрузки, а сальник его работает при небольшом перепаде давлений, поэтому его нетрудно сделать герметичным. Подобной переделке авторы подвергли водородный детандер 2ДВ 13/150 конструкции ИНИКРИОГЕНМАШ, испытания которого проводятся в ОИЯИ.

В последнее время авторами /18/ предложена новая схема детандера рис. 9, не имеющая недостатков, присущих схемам по рис. 7 и 8.

По этой схеме детандер состоит из двух цилиндров I и II, рабочие процессы в которых смещены на 180° . Когда в одном из цилиндров происходят процессы накопления, расширения, выхлопа, в другом — процессы выталкивания и обратного сжатия, т.е. существует положительная разность давлений на всем ходе ^{от} 0° до 180° между одним и другим цилиндрами. Эту разность давлений можно использовать для привода выпускного клапана. 10.

Выпускной клапан каждого цилиндра снабжен сервоприводом 3, приводная (надпоршневая) полость которого сообщена каналом 2 с рабочей полостью соседнего цилиндра. В тот момент, когда в одном из цилиндров (на рис. 9 -П) начнется процесс наполнения, давления в приводной полости сервопривода выпускного клапана цилиндра I резко возрастет, и поршень сервопривода, преодолев усилие пружины 4, откроет клапан. По мере движения поршня цилиндра II вниз давление в этом цилиндре будет падать и в определенный момент времени это давление уже не сможет удерживать клапан цилиндра I в открытом положении, пружина 4 закроет клапан. Этот момент определить величину отсечки выпуска. Регулируя силу сжатия пружины 4 при помощи устройства 5, можно менять момент закрытия выпускного клапана. Для того, чтобы свести к минимуму перетечки через поршень сервопривода, его нижняя кромка снабжена уплотнительным выступом, который при открытии клапана садится на прокладку 6. Перетечки возможны только в конце процесса расширения, когда в соседнем цилиндре выпускной клапан закрывается, однако, этот период кратковремен^{ен} и перепад давлений на поршне сервопривода не велик.

Перетечки можно ликвидировать полностью, если применить мембранный или сильфонный сервопривод.

Работа впускных клапанов была описана выше, поэтому повторять её нет необходимости.

Опытный образец такой машины подготовлен к испытаниям в ОИЯИ.

Кроме подробно разобранных, остановимся ещё на нескольких авторских свидетельствах и патентах, представляющих интерес. Ряд авторов предлагают конструкции с дифференциальными поршнями /25, 32, 33/; есть предложения по детандерам, в которых осуществляется изотермическое расширение газа /34, 35/, в патенте /36/ предлагается механическое устройство для управления выпускными клапанами детандера, в патенте /37/ оба клапана снабжены гидроприводом, в авторском свидетельстве /39/ для этой цели предложено использовать электромагнит с реле времени, в авторском свидетельстве /38/ привод клапанов предлагается осуществлять при помощи автономного электродвигателя.

Есть также патент ^{НА ДЕТАНДЕР} /40/, в котором движется цилиндр, детандера, а не поршень.

Наконец, предложены свободно-поршневые детандеры /41, 42/, рис. 10.

Имеется также небольшое количество предложений по вспомогательным устройствам к детандерам /43, 44, 45/, обеспечивающим безопасность работы в аварийных случаях.

ВЫВОДЫ

Отказ от традиционного кулачкового привода и переход к приводу клапанов от поршня, использование рабочего процесса в цилиндре для привода клапанов или полный отказ от них и замена окнами предоставляет изобретателям и конструкторам гораздо больше возможностей по созданию новых схем машин.

Следует ожидать появления многоцилиндровых, высокоуровневых, малогабаритных детандеров большой производительности. Вполне реальным стало создание свободнопоршневых детандеров - машин, не имеющих кривошипно-шатунного механизма, полностью уравновешенных, простых и надежных в эксплуатации. Значительно облегчается реализация наиболее экономичных схем с каскадным включением детандеров, так как к одному механизму движения может быть "прицеплено" в принципе любое количество цилиндров без существенного усложнения машины.

Очень перспективно применение таких машин в миниатюрных криогенных установках.

Механизмы движения детандеров для промышленных установок могут быть унифицированы с компрессорными, что дает большой экономический эффект.

Ни в коей мере нельзя считать, что идеи по совершенствованию поршневых детандеров полностью исчерпаны, и в ближайшие годы можно ожидать появления патентов и авторских свидетельств, которые приведут к созданию новых, более эффективных и совершенных установок на базе такой древней машины, как поршневой детандер.

ЗАКЛЮЧЕНИЕ

Авторы безусловно не являются ортодоксальными сторонниками только поршневых детандеров. Как уже указывалось во введении, выбор объема анализа определялся в основном требованиями решения конкретных задач, стоящих перед криогенным отделом ЛВЗ ОИЯИ.

Детандер - в принципе обращенный тепловой двигатель, поэтому почти любая идея, появившаяся в двигателестроении, может найти применение и в детандерах.

Кстати, основной довод противников первых конструкций детандеров с внутренним приводом клапанов был примерно таков: "Если бы это было хорошо, это давно бы сделали двигателисты". Но, несмотря на схожесть, двигатель и детандер в силу различного целевого назначения (получение работы или холода) имеют и существенные различия, поэтому решения, перспективные в одной отрасли, могут оказаться малопригодными в другой.

Впрочем, анализ идей, имеющихся в смежных отраслях, и прогноз по их применению в детандерах выходят за рамки этого обзора.

Авторы благодарят сотруднику отдела изобретательства, рационализации и патентной информации КАМИНСКУЮ А. за помощь при подборе патентных материалов.

ЛИТЕРАТУРА

1. Collins S.C., Cannaday R.L. Expansion Machines for low temperature processes. Oxford University press. 1958, p. 112.
2. Kapitza P. Proc. Roy Soc. A. 147, 1934, p. 189.
3. Collins S.C. Adv. in Gzyog. Eng. vol 11, 1966, pp. 11-15.
4. Буткович И.К., Добров В.М. "Химическое и нефтяное машиностроение" № 8, 1968 г.
5. Smith J.L., Adv. in Gzyog. Eng. vol 12, 1968.
6. Mezain W.A. Adv. in Gzyog. Eng. vol 12, 1968.
7. Данилов И.Б. ЛТЭ № 1, 1968 г.
8. Long H.M., Simon F.E. Proc. Internat. Inst. Refrig. September 1953.
9. U. Bindez Schweiz. Bauzeitung, 78 jahrg H16. 1960.
10. Edez F.X. Kaltetechnik Bd. 11 № 8, 1959.
11. Гридин В.Б. Кислород № 3, 1969 .
12. Бродянский В.М. Савинова Н.М. "Кислородное и автогенное машиностроение" № 1, 1966 г.

13. Бродянский В.М., Грачев А.Б. "Кислородное и автогенное машиностроение" № 1, 1966 г.
14. К.М.Страхович, И.К.Кондюжков и др. "Расширительные машины", Машиностроение М-Л-1966 г.
15. Heylandt C.W.P. US patent № 1019791, 1911.
16. Клод Ж., "Жидкий воздух", Хим.теоретиздат, 1930г.
17. Добров В.Я. и И.К.Буткевич, а.с. 220280 1966г.
18. Белушкин В.А., Готвянский Н.Ф., а.с.№ 252358 ,1968г.
19. Белушкин В.А., Готвянский Н.Ф., а.с. № 208723,1967 г.
20. Гридин В.Б., а.с. № 112765,1957
21. Doll R. Edez F. X. Швейцария, патент № 443371, 1963г.
22. Edez F. X. Франция, патент № 1368596 1964 г.
23. А.Д.Попов, ас. № 254529, 1968 г.
24. А.М.Архаров, Н.И.Воронин, В.В.Шиннов, а.с. № 243636, 1967г.
25. В.М.Добров, а.с. № 241460, 1968 г.
26. З.Г.Бахмутский, А.П. Кузнецов, а.с.№ 237175, 1967г.
27. К.З.Боцавер, А.А.Старцев, В.И. Иванов, В.Б.Гридин, а.с. № 210191, 1966 г.
28. Бродянский В.М., Л.Е. Медовар, Н.М.Савинова, а.с.№ 165754
1963г.
29. Бродянский В.М., Грачев А.Б., а.с. № 194854, 1964г.
30. Бродянский В.М., Грачев А.Б., а.с.№ 196057, 1965г.
31. Готвянский Н.Ф., а.с. № 223104, 1967 г.
32. Бродянский В.М., Грачев, а.с. 199914, 1965г.
33. Патент США, № 3131547, 1962г.
34. Арсланов Н.К., а.с. № 119538, 1958г.
35. Бродянский В.М., Грачев А.Б., Худзинский В.М. , а.с.205630
1966г.

36. Патент ФРГ № 1101461, 1961 г.
37. Патент США № 3150565, 1960 г.
38. Федотов И.К., а.с. № 177910, 1963 г.
39. Бродянский В.М., Савинова Н.М., а.с. № 165474, 1963.
40. Патент США, № 3233426, 1965 г.
41. Миркин А.З., а.с. № 231561, 1967 г.
42. Бродянский В.М., Миркин А.З., Савинова Н.М., а.с. № 207939,
1966 г.
43. Буткевич К.С., Некрасова А.П., и др., а.с. № 167503, 1962г.
44. Белушкин В.А., Готвянский Н.Ф., а.с. № 207942, 1966 г.
45. Ширев Н.И., а.с. № 245808, 1968 г.
46. Шитиков А.Б., а.с. № 167703, 1963 г.
47. Brown E.H. Expansion energies for hydrogen liquefies,
four of Res. NBS V.64e, N1, 25, 1960.

ИЛЛЮСТРАЦИИ

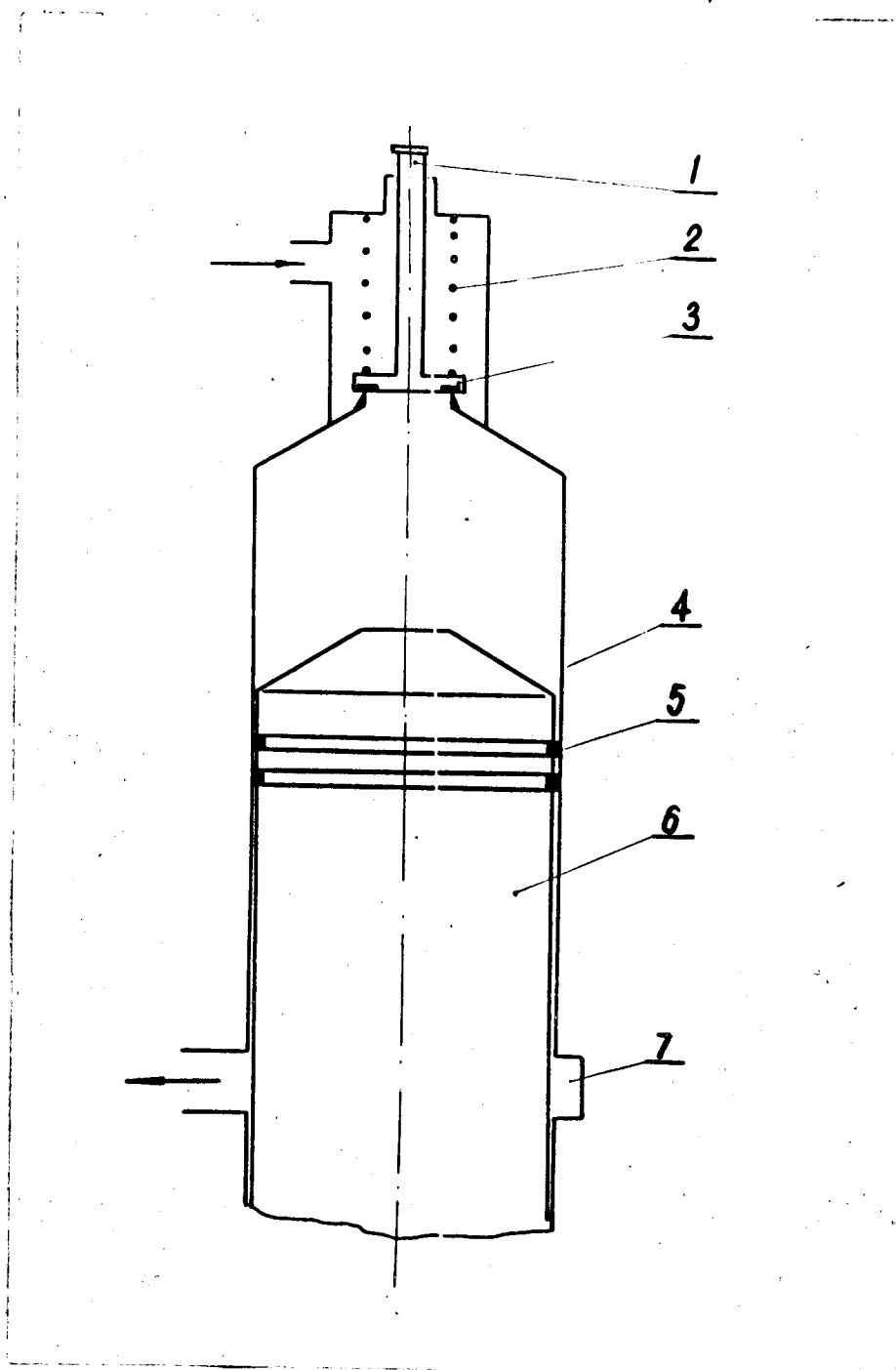


Рис. 1

Прямоточный детандер с обратным сжатием /11/20/

1-толкатель; 2-пружина; 3-впускной клапан; 4-цилиндр;
5-поршневое уплотнение; 6-поршень; 7-выпускные окна

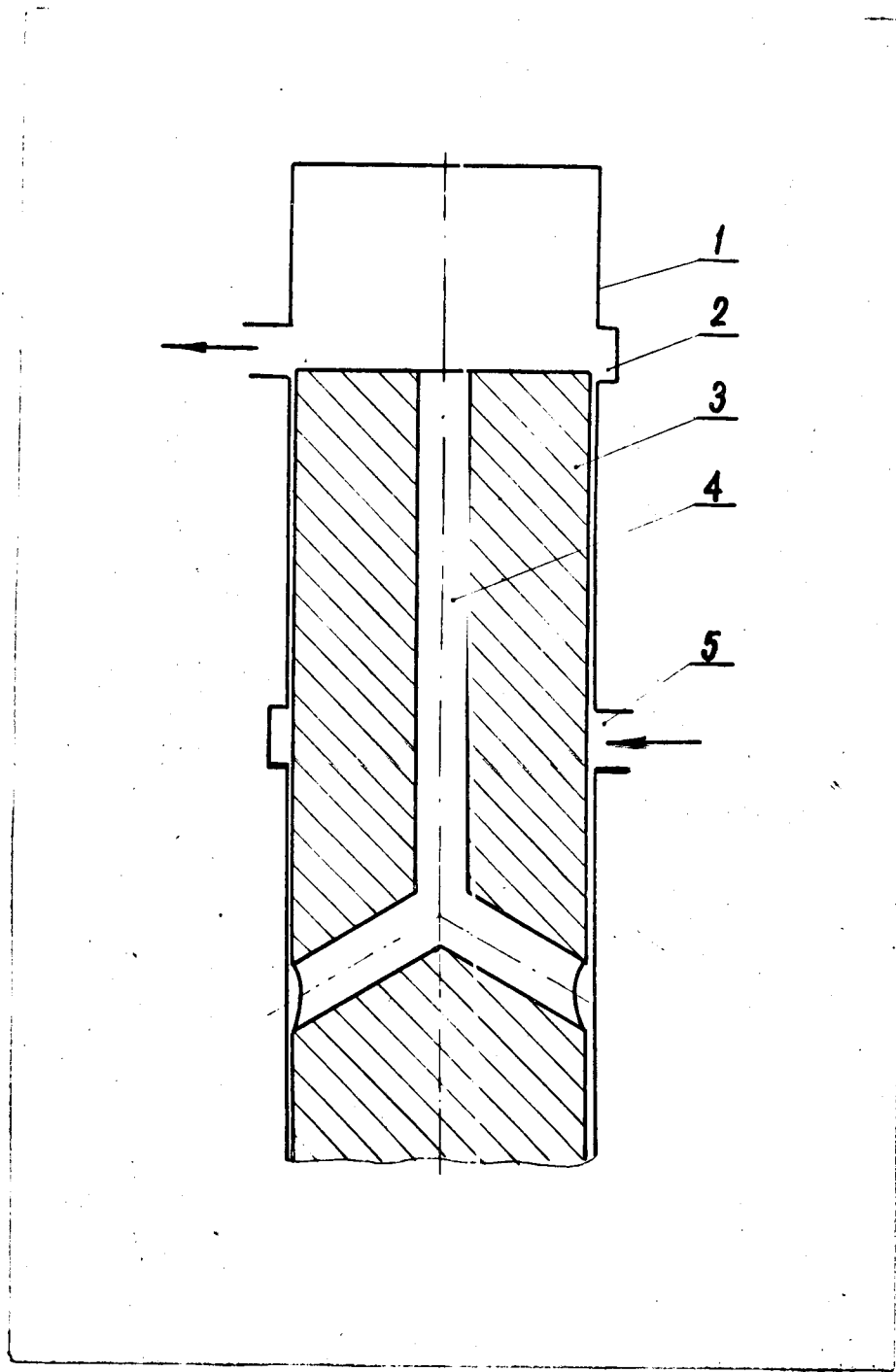


Рис. 2

Бесклапанный детандер /10/2V

1-цилиндр; 2-выпускные окна; 3-поршень; 4-впускной канал; 5-впускные окна.

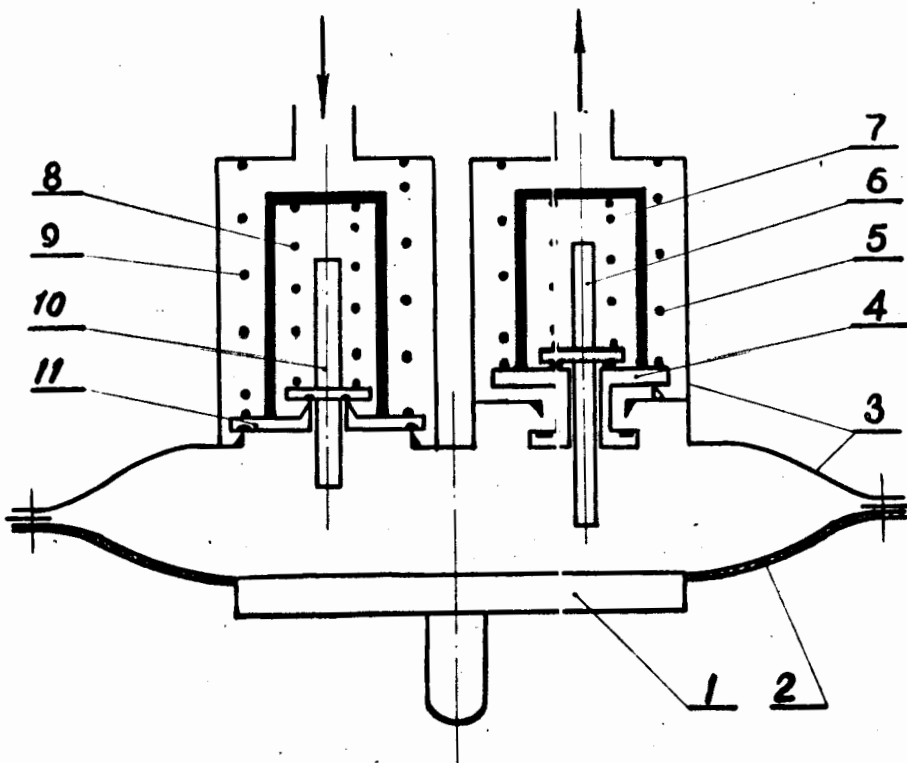


Рис. 3

Мембранный детандер с внутренним приводом
клапанов /1/ .

1-жесткий центр; 2-гибкая металлическая диафрагма; 3-корпус;
4-выпускной клапан; 5,7,8,9-пружины; 6-толкатель выпускного
клапана; 10-толкатель впускного клапана; 11-впускной клапан.

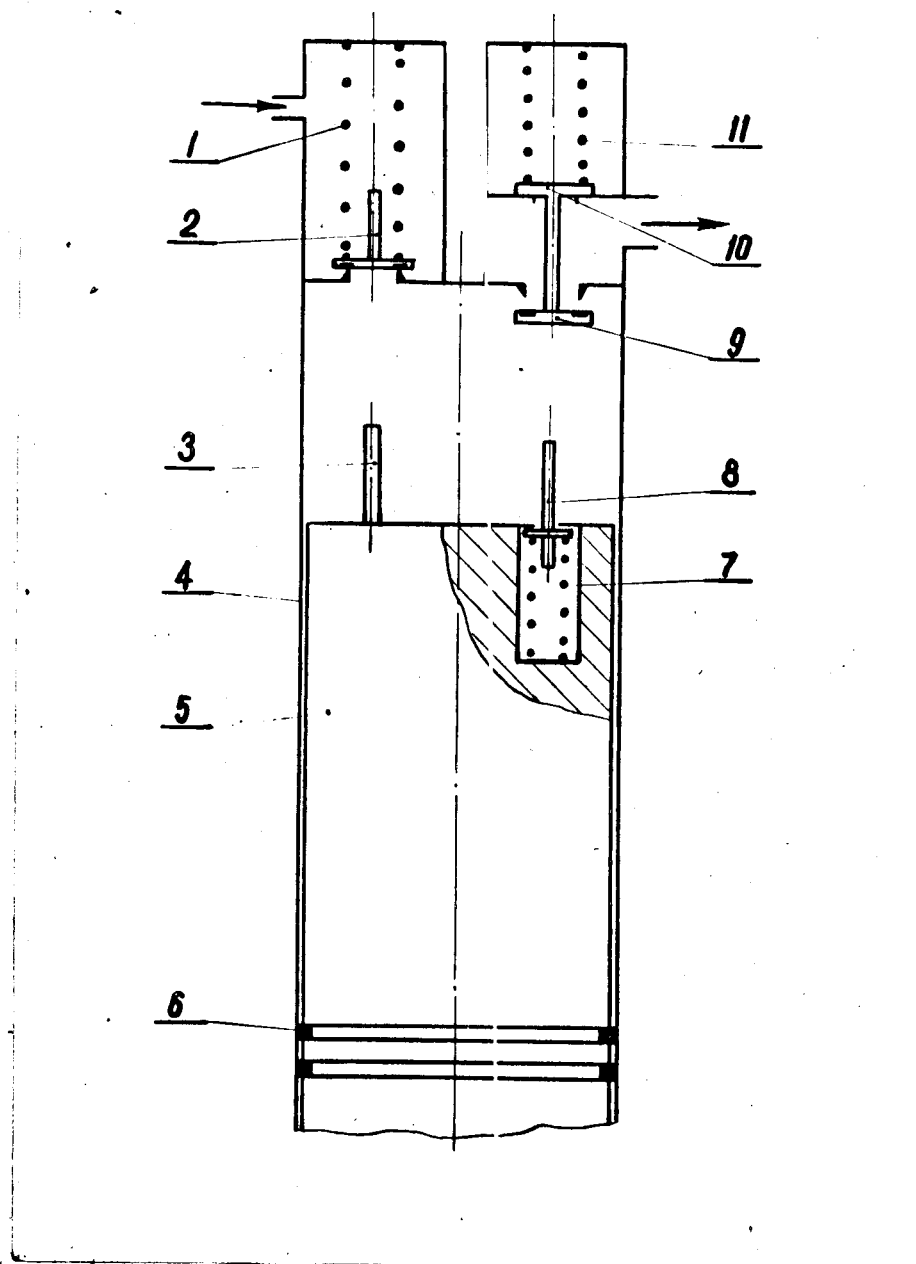


Рис. 4

Детандер с внутренним приводом клапанов /9/.

1, 7, 11-пружины; 2-впускной клапан; 3-толкатель впускного клапана; 4-цилиндр; 5-поршень; 6-поршневое уплотнение; 8-толкатель выпускного клапана; 9-выпускной клапан; 10-ограничитель.

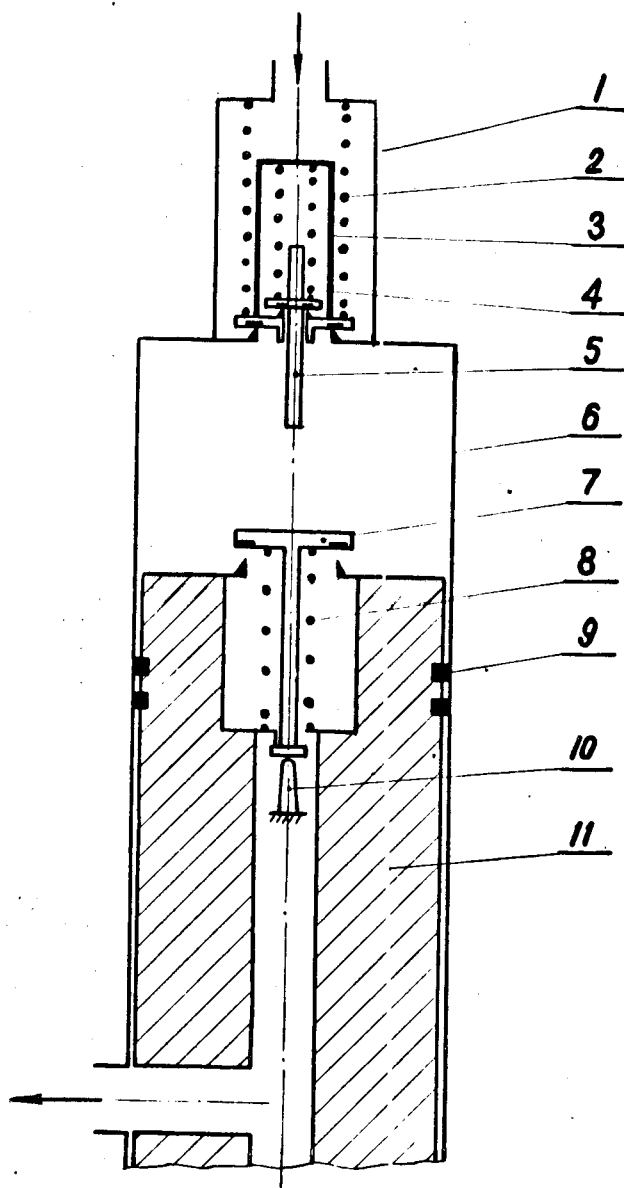


Рис. 5

Поршневой прямооточный детандер с выпускным клапаном в поршне /12/28/.

1-клапанная головка; 2,4,8-пружины; 3-впускной клапан; 5-толкатель впускного клапана; 6-цилиндр; 7-выпускной клапан; 9-поршневое уплотнение; 10-упор; 11-поршень.

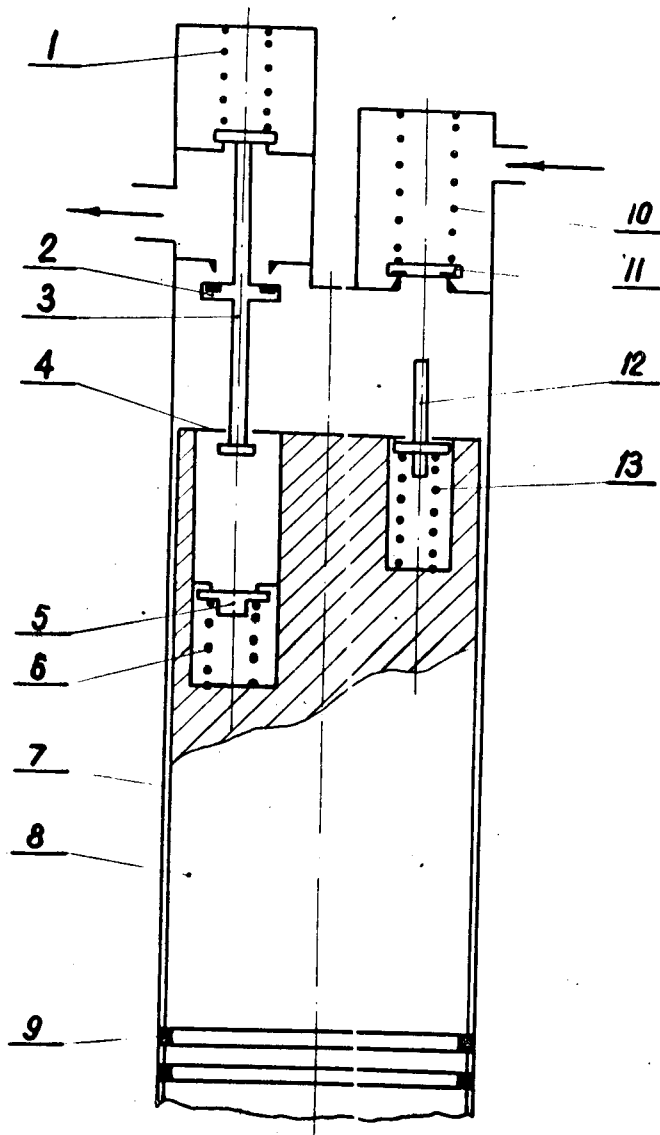


Рис. 6

Непрямоточный детандер с внутренним приводом
клапанов /13/29,30/

1,6,10,13-пружины; 2-выпускной клапан; 3-толкатель
выпускного клапана; 4-выступ; 5-тарелка; 7-цилиндр;
8-поршень; 9-поршневое уплотнение; 11-выпускной клапан;
12-толкатель выпускного клапана.

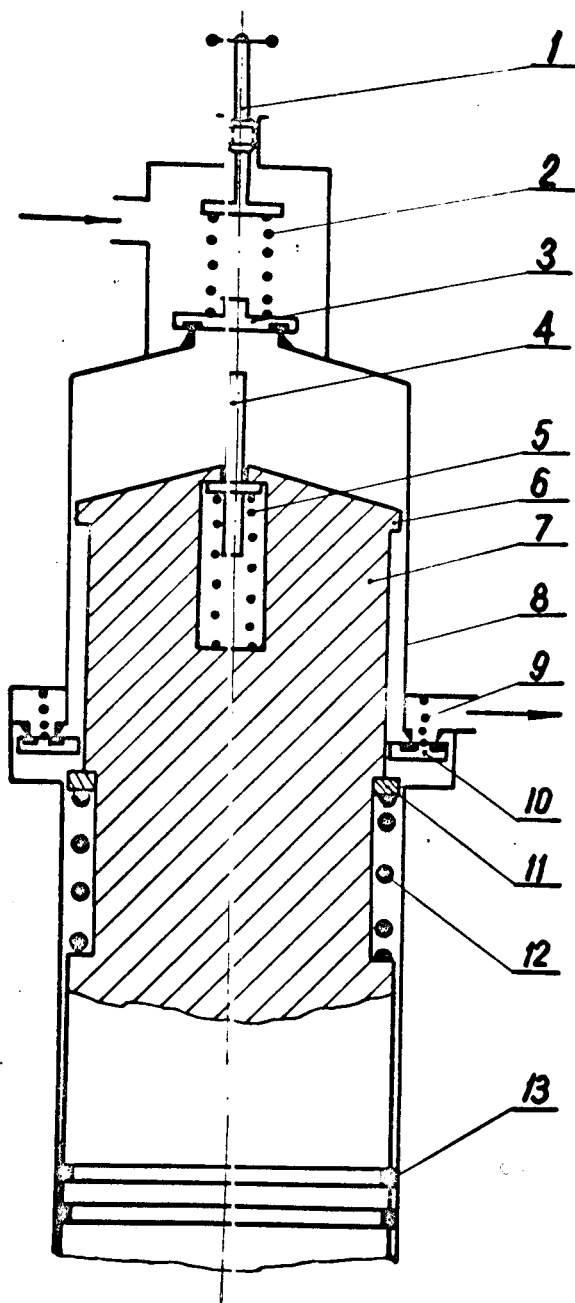


Рис. 7

Прямоточный поршневой детандер с выпускным клапаном в цилиндре. /19,31/

1-регулирующий винт; 2,5,9,12-пружины; 3-впускной клапан;
4-толкатель впускного клапана; 6-выступ; 7- поршень;
8-цилиндр; 10-выпускной клапан; 11-втулка; 13-поршневое
уплотнение.

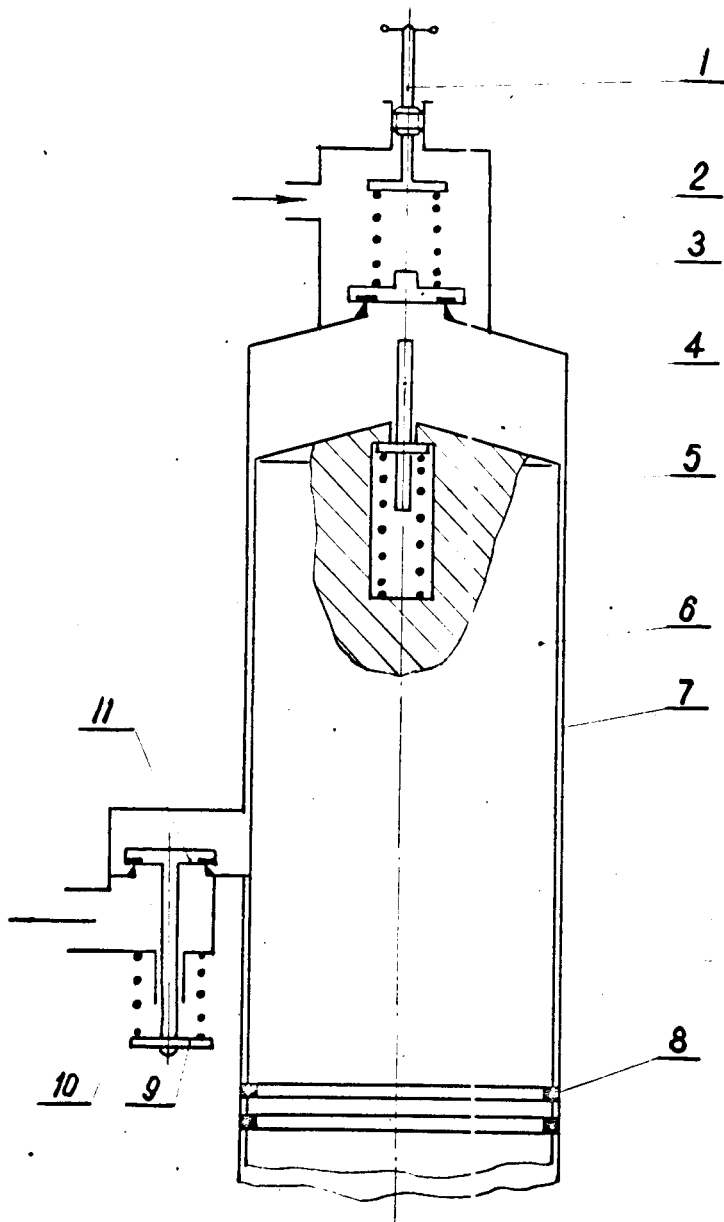


Рис. 8

Детандер с приводом впускного клапана от поршня, а выпускного от кулачкового вала.

- 1-регулирующий винт; 2, 5, 10-пружины; 3-впускной клапан;
- 4-толкатель впускного клапана; 6-поршень; 7-цилиндр;
- 8-поршневое уплотнение; 9-толкатель выпускного клапана;
- 11-выпускной клапан.

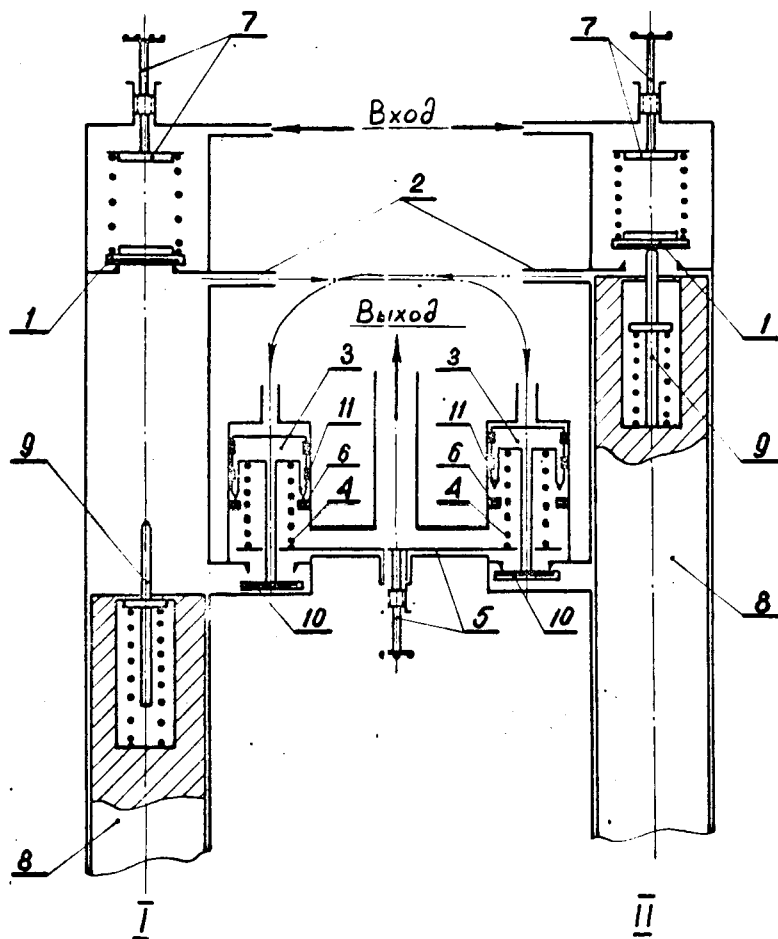


Рис. 9

Двухцилиндровый поршневой детандер с газовым приводом выпускных клапанов. /18.31/

- 1-впускной клапан; 2-соединительный канал; 3-сервопривод;
- 4-пружина сервопривода; 5,7-регулирующие устройства;
- 6-прокладка; 8-поршень; 9-подпружиненный толкатель впускного клапана; 10-выпускной клапан.

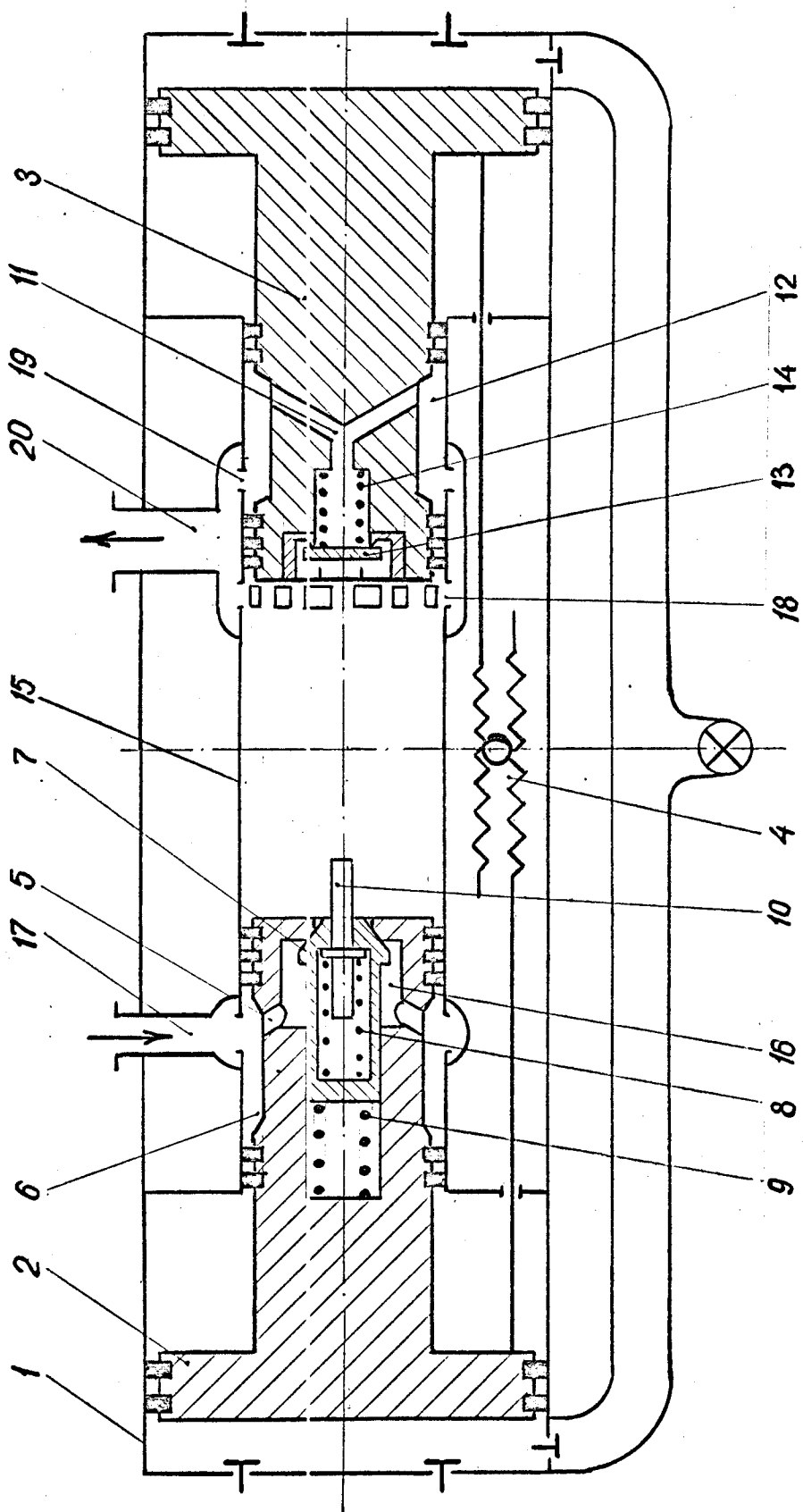


Рис. 10

Свободнопоршневой детандер - компрессор /42/.