

## **АНАЛИЗ СОВРЕМЕННЫХ СПОСОБОВ И УСТРОЙСТВ СЖАТИЯ ГАЗА**

**Музалевский Н.Д. – студент гр. ТМиО -41,  
Тарасов В.П. – кандидат технических наук, профессор  
ФГОУ ВО Алтайский государственный технический университет им.  
И.И. Ползунова, г. Барнаул**

В настоящее время за счет сжатых газов выполняется большое количество различных технологических, транспортных и вспомогательных операций в самых различных отраслях человеческой деятельности. Потребление газов, в том числе и сжатых, очень велико. Для получения сжатых газов используются различные методы и устройства (компрессоры). Компрессорами называют машины, предназначенные для сжатия и перемещения газов.

По принципу действия компрессоры можно разделить на две основные группы: объемные и динамические. Динамические компрессоры (вентиляторы, турбокомпрессоры, струйные устройства) сжимают газы за счет скоростного (динамического) давления. В машинах объемного принципа действия (поршневых, винтовых, роторно-шестеренчатых, мембранных, лопастных, спиральных и др.) рабочий процесс осуществляется в результате изменения объема рабочей камеры.

По назначению компрессоры классифицируются по отрасли производства, для которых они предназначены (химические, холодильные, энергетические, общего назначения и т. д.).

По роду сжимаемого газа компрессоры бывают воздушными, кислородными, хлорными, азотными, гелиевыми, фреоновыми, и т. д.

По способу отвода выделяемой в процессе работы машины теплоты компрессоры различают с жидкостным или воздушным охлаждением.

По конечному давлению компрессорные машины подразделяются:

- вакуум-компрессоры (газодувки) — машины, которые отсасывают газ из пространства с давлением ниже или выше атмосферного; они создают поток газа, обеспечивая возможность достижения избыточного давления от 10 до 100 кПа, в некоторых специальных исполнениях — до 200 кПа; в режиме всасывания они, как правило, могут создавать разрежение, 10..50 кПа, в отдельных случаях до 90 кПа и работать как вакуумный насос низкого вакуума;

- компрессоры низкого давления, предназначенные для нагнетания газа при давлении от 0,15 до 1,2 МПа;

- компрессоры среднего давления — от 1,2 до 10 МПа;

- компрессоры высокого давления — от 10 до 100 МПа.

- компрессоры сверхвысокого давления, предназначенные для сжатия газа выше 100 МПа.

По типу приводного двигателя компрессоры бывают с приводом от: электродвигателя, двигателя внутреннего сгорания, паровой или газовой турбины.

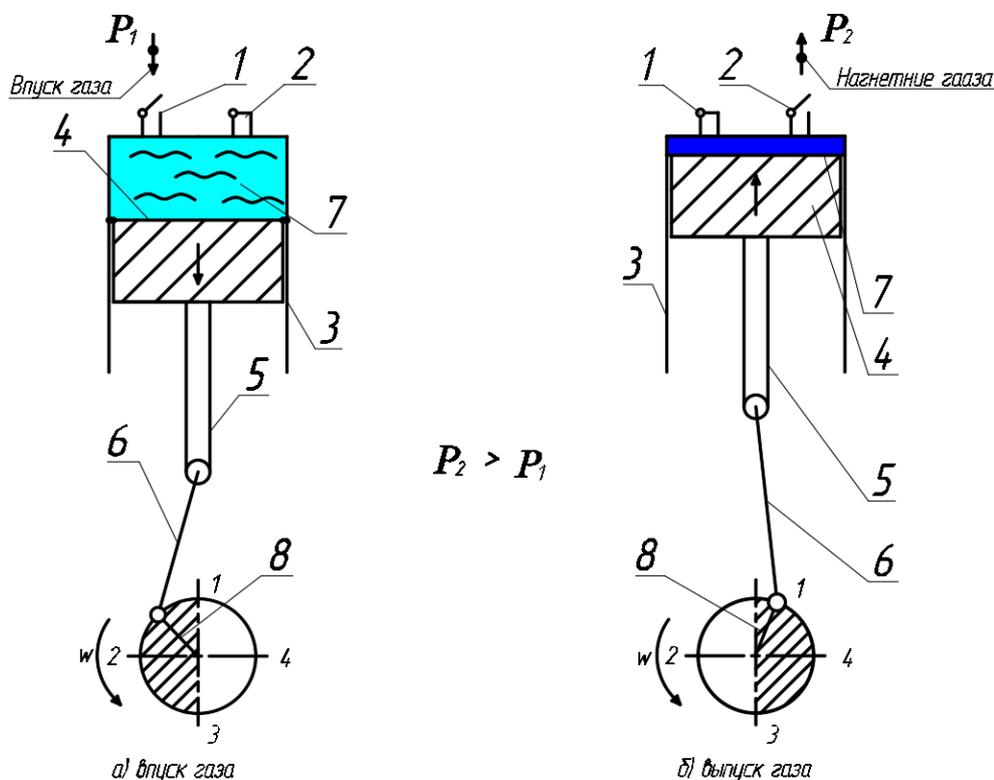
В пищевой, перерабатывающей промышленности, фармацевтических, медицинских и тому подобных отраслях, там, где сжатый газ будет взаимодействовать с продуктами и веществами, с которыми в дальнейшем будет потреблять человек, к таким газам, их сжатию и передаче предъявляют особые требования. К таковым требованиям можно отнести: максимальный размер твердых частиц содержащихся в сжатом газе, массовое содержание этих частиц в единице объема газа, массовое содержание влаги в единице объема газа, массовое содержание масел и смазывающих материалов в единице объема газа, содержание влаги в парообразном состоянии и др.

Нормативы и требования по содержанию «загрязнителей», устанавливаются в ГОСТе ИСО 8573-1-2005 «Загрязнения и классы чистоты», в соответствии с которым существует 6 классов очистки. В ГОСТе 17433-80 «Промышленная чистота. Сжатый воздух. Классы загрязненности» - эти требования разделены на 14 классов загрязненности, которые так же предъявляют требования по содержанию загрязнителей в сжатом газе.

Далеко не все современные компрессоры отвечают требованиям, предъявляемым стандартами, особенно для наиболее ответственных стадий производства, где газ непосредственно контактирует с различными продуктами. Кроме выше перечисленных ограничений, у разных видов компрессоров имеются собственные недостатки, связанные с конструкцией, принципом действия, особенностями эксплуатации и вытекающими из этого последствиями (низкий КПД, большие затраты энергии, высокая стоимость, технически сложные конструкции, большие габариты и масса).

Ниже предпринимается попытка анализа современных компрессорных машин, на основе которого в дальнейшем предполагается разработка такого компрессора, который бы имел определенные достоинства (главным образом по чистоте сжатого воздуха и простоте конструкции) перед существующими аналогами.

Поршневой компрессор используется для сжатия и подачи газов, жидкостей, масел, хладагентов и т.п. Принцип работы поршневого компрессора рис.1, заключается в сжатии исходного материала путем уменьшения объема рабочей камеры 7, образованной корпусом 3 и поршнем 4, совершающим возвратно поступательное движение, за счет кривошипно-шатунного привода. Такие машины считаются одними из первых компрессоров, которые массово начали применять в различных отраслях промышленности (машиностроительной, холодильной, химической, пищевой).



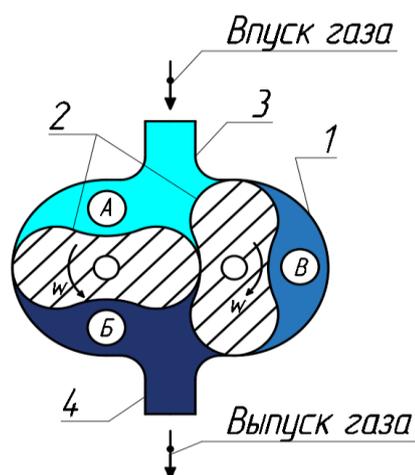
1 – впускной клапан; 2 – выпускной клапан; 3 – корпус (цилиндр); 4 – поршень;  
5 - шток; 6 – шатун; 7 – рабочая камера; 8 – кривошип

Рисунок 1 – Схема поршневого компрессора, а) – фаза впуска газа (положение кривошипа 1-2-3); б) – фаза выпуска сжатого газа (положение кривошипа 3-4-1)

К основным преимуществам поршневых компрессоров можно отнести возможность создания высокого давления и достижения большой производительности, не сложное обслуживание, простое конструктивное исполнение. Это связано с тем, что этот вид компрессоров давно стоит на службе человека, что сказалось на совершенстве и разнообразии его конструкций, а также их серийном производстве. Это, в свою очередь, обуславливает большое количество запасных частей, что облегчает его эксплуатацию.

Несмотря на эти преимущества, поршневые компрессоры могут быть не совместимы с некоторыми технологиями и процессами, т.к. имеют целый ряд недостатков. В число таких недостатков можно отнести высокий шум и вибрацию. Вибрация обусловлена неуравновешенными знакопеременными инерционными силами, движущихся и вращающихся частей компрессора. Для уменьшения воздействия этих вибраций на конструкции зданий и человека поршневые компрессоры рекомендуется устанавливать в отдельное помещение с подготовленным виброустойчивым фундаментом. Одним из основных недостатков поршневого компрессора является наличие смазывающих материалов в сжатом газе. Он нуждается в постоянной смазке и охлаждении рабочего органа. При работе компрессора, смазывающие материалы неизбежно попадают в рабочую камеру компрессора, после чего, вместе со сжатым газом уносятся в газопровод. Кроме того, работа поршневого компрессора связана с большими энергетическими затратами.

Шестеренчатый компрессор – является машиной объемного принципа действия с внешним сжатием. Газ в шестеренчатом компрессоре, рис.2 из камеры **А**, образованной верхней частью корпуса 1 и поверхностями кулачковых роторов 2 и соединенной со всасывающим патрубком 3, за счет вращения роторов в противоположные стороны захватывается в камеру **В**, а затем выталкивается в камеру **Б**. Камера **Б** сообщается с нагнетательным патрубком 4. Таким образом, газ из всасывающего патрубка перекачивается в нагнетательный. Давление создается за счет сопротивления, соединенной с нагнетательным патрубком сети. Кулачковые роторы представляют собой валы, имеющие сложную профильную форму, Для синхронизации вращения валы связаны между собой с помощью зубчатой или цепной передачи. Шестеренчатый компрессор может иметь несколько конструктивных исполнений, в том числе, - с роторами, имеющими два и более кулачка. В случае исполнения роторов с большим количеством кулачков, число рабочих камер увеличится.



1 – корпус; 2 – кулачковые роторы; 3 – всасывающий патрубок; 4 – нагнетательный патрубок

Рисунок 2 – Схема шестеренчатого компрессора

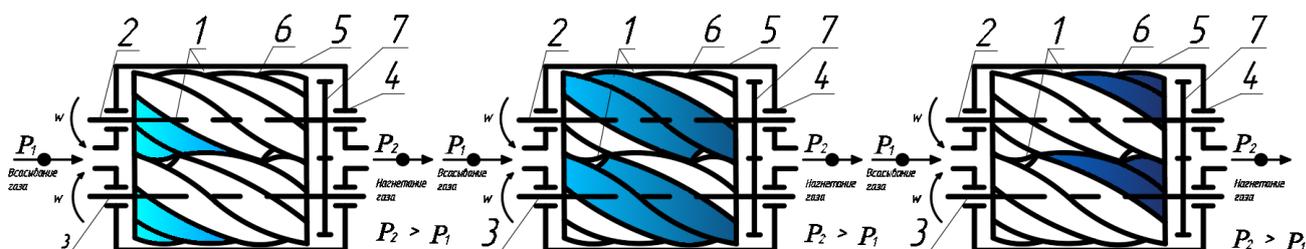
Шестеренчатый компрессор имеет относительно небольшие габариты, а это упрощает его транспортировку и установку. Одним из основных достоинств этого компрессора, является простота применяемого привода, что связано с вращательным движением основного рабочего органа.

Основными недостатками шестеренчатого компрессора, являются ограниченность создаваемого давления (обычно не более 100 кПа), большая стоимость (из-за необходимости соблюдения повышенной точности изготовления), а также достаточно высокий уровень шума при его работе (может быть более 100 дБ).

Винтовой компрессор – является разновидностью объемных компрессоров. Он применяется для создания избыточного давления разнообразных газов - при необходимости непрерывной и равномерной их подачи. Сжатие исходного газа в компрессоре происходит вследствие уменьшения объема рабочей камеры 1, рис. 3, образованной винтовыми поверхностями роторов 2, 3 и корпусом 5. Два винтовых ротора, ведущий 2 и ведомый 3, синхронно вращаются навстречу друг другу, благодаря тому, что связаны между собой зубчатой или цепной передачей 7.

При вращении роторов, между винтовыми поверхностями 6 образуется объем заполненный газом. Роторы, вращаясь, продвигают вдоль оси зажатый в рабочих камерах захваченный винтовыми поверхностями объем воздуха. При этом по мере осевого передвижения объем начинает уменьшаться, вместе с этим уменьшается объем газа находящийся в рабочей камере. Валы роторов фиксируются в подшипниковых узлах 4, закрепленных в корпусе 5.

По сравнению с поршневым компрессором, винтовой компрессор во время работы создает намного меньше шума и вибрации. Это позволяет устанавливать его непосредственно в производственном помещении. На выходе из винтового компрессора получается равномерный поток сжатого газа, без пульсации. Следует отметить простоту привода винтового компрессора. Это преимущество обусловлено тем, что рабочие органы винтового компрессора совершают вращательное движение. Благодаря этому, для передачи движения, не используются сложные приводы, создающие вибрацию.

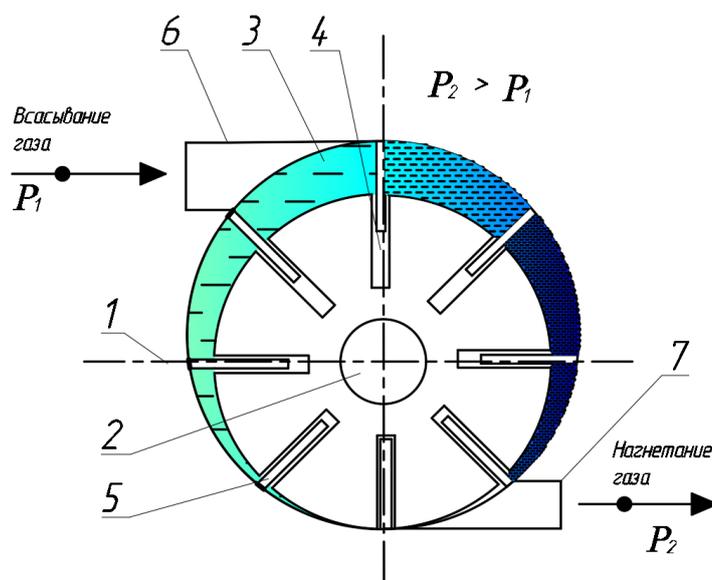


1 – рабочие камеры; 2 – ведущий ротор; 3 – ведомый ротор; 4 – подшипниковый узел; 5 – корпус; 6 – винтовая линия ротора, 7 – зубчатая передача.

Рисунок 3 – Схема винтового компрессора.

Наиболее существенным недостатком винтового компрессора, является высокая стоимость, что связано с необходимостью точной обработки и подгонки винтовых роторов. Такая точность изготовления обусловлена высокой скоростью вращения рабочих органов и минимизацией потерь расхода, снижения давления, а также уменьшением биения и вибраций роторов при вращении. Кроме того, некоторые разновидности винтовых компрессоров нуждается в смазке и охлаждении. Вследствие чего в винтовом компрессоре так же может быть унос масла вместе со сжатым газом.

Пластинчатый компрессор может работать не только для создания избыточного давления, но и для создания разрежения – вакуума. Эти компрессоры, как и винтовые, могут быть сухого сжатия или с использованием смазочных материалов. В основном, пластинчатые компрессоры сухого типа применяется в кондиционировании, в пневмотранспортных установках и в медицинских учреждениях, так как в процессе работы, они не выбрасывают масло в сжатый газ и обеспечивают другие специальные требования. Изменение объема рабочей камеры 3, рис 4 в пластинчатом компрессоре происходит вследствие вращения ротора 2, со смещенной относительно корпуса осью. Пластины 5 одним краем помещены в специальных пазах 4 ротора, а другим краем за счет сил инерции прижимаются корпусу 1. За счет смещения оси цилиндрического корпуса и оси вращения ротора отсекаемый пластинами в рабочей камере газ сжимается при приближении к выпускному отверстию. После выпуска сжатого газа в нагнетательный патрубок 6, по мере дальнейшего вращения ротора, газ вследствие увеличения объема рабочей камеры, поступает в нее из всасывающего патрубка 7, через впускное окно. В компрессорах сухого типа, пластины изготавливают из графита, а максимальное давление не превышает 200 кПа. Пластинчатые компрессоры, в которых осуществляется смазка, пластины изготавливаются из слоистого асбеста с добавлением полимеров. Смазываемые компрессоры могут развивать давление в одной ступени сжатия до 1,4 МПа.



1 – корпус; 2 – ротор; 3 – рабочая камера; 4 – паз; 5 – пластина; 6 нагнетательный патрубок; 7 – всасывающий патрубок.

Рисунок 4 – Схема пластинчатого компрессора

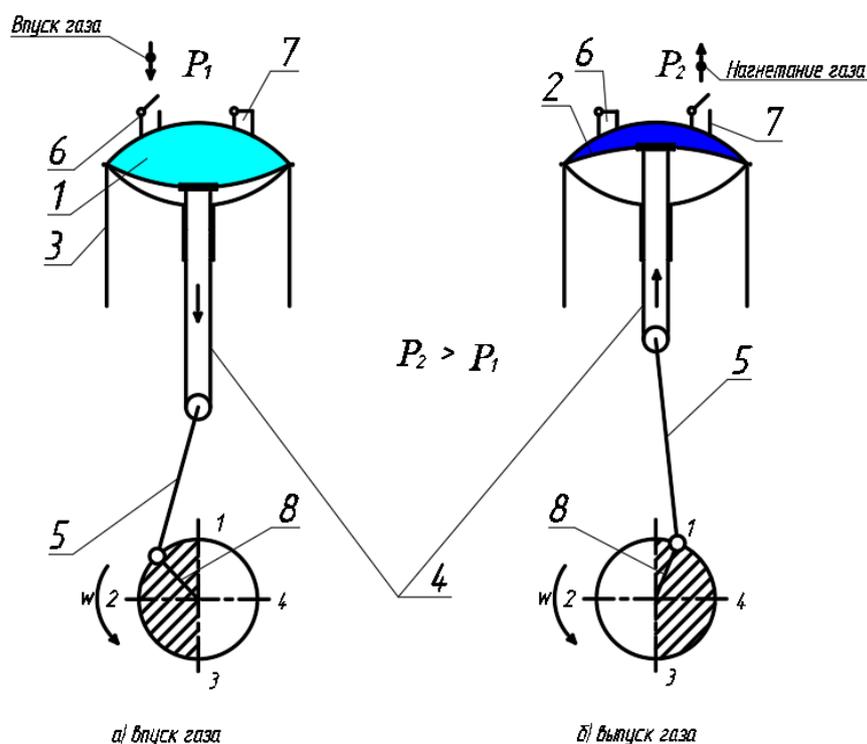
Основным преимуществом пластинчатых компрессоров является – небольшие габариты, что облегчает их размещение и обслуживание. Кроме этого, немаловажным достоинством пластинчатого компрессора является простота привода, так как рабочий орган совершает только вращательное движение. В случае, когда компрессор работает без смазки пластин, к преимуществам можно отнести отсутствие смазывающих веществ в сжатом газе.

Наиболее существенным недостатком пластинчатого компрессора является высокий износ пластин. Даже при работе компрессора с постоянной смазкой со временем пластины начинают разбивать пазы, что приводит к их заклиниванию.

Мембранные компрессоры используют в случаях, когда необходимо герметичное сжатие газа. Поэтому с помощью мембранных компрессоров перекачивают взрывоопасные, радиоактивные и токсичные газы. Кроме этого, эти компрессоры применяют для перемещения и сжатия высокочистых газов, которые необходимо изолировать от попадания в них окружающей среды. Изменение объема рабочей камеры 1, рис.6 в мембранном компрессоре происходит вследствие деформации мембраны 2 плотно зажатой между частями корпуса 3. Движение мембране передается от привода (кривошипа 5, шатуна 8 через шток 4). Газ при движении мембраны вниз через всасывающий патрубок 6 попадает в рабочую камеру, после чего мембрана поднимается вверх, что ведет к уменьшению объема рабочей камеры. После завершения процесса сжатия газ выходит в нагнетательный патрубок 7.

В мембранных компрессорах возможно достижение весьма высокого давления. Из-за хрупкости эластичной мембраны необходимо исключить попадания твердых частиц в пространство рабочей камеры, так как они могут повредить мембрану, что приведет к ее разрыву и поломке компрессора. Следует учитывать, что для каждой сжимаемой среды необходимо подбирать мембрану из соответствующего материала. Для сжатия не агрессивных сред (атмосферный воздух) можно использовать мембраны, сделанные из силикона, резины. Для сжатия агрессивных сред, используются сложносоставные, многослойные мембраны.

Несмотря на целый ряд положительных качеств, мембранный компрессор имеет ряд недостатков. Основными недостатками этого вида компрессоров являются высокая стоимость самого компрессора и сменных мембран к нему, а также сложность привода и неуравновешенность сил при его работе.



1- рабочая камера; 2 – мембрана; 3 – корпус; 4 – шток; 5 – кривошип; 6 – всасывающий патрубок; 7 – нагнетательный патрубок; 8 - шатун

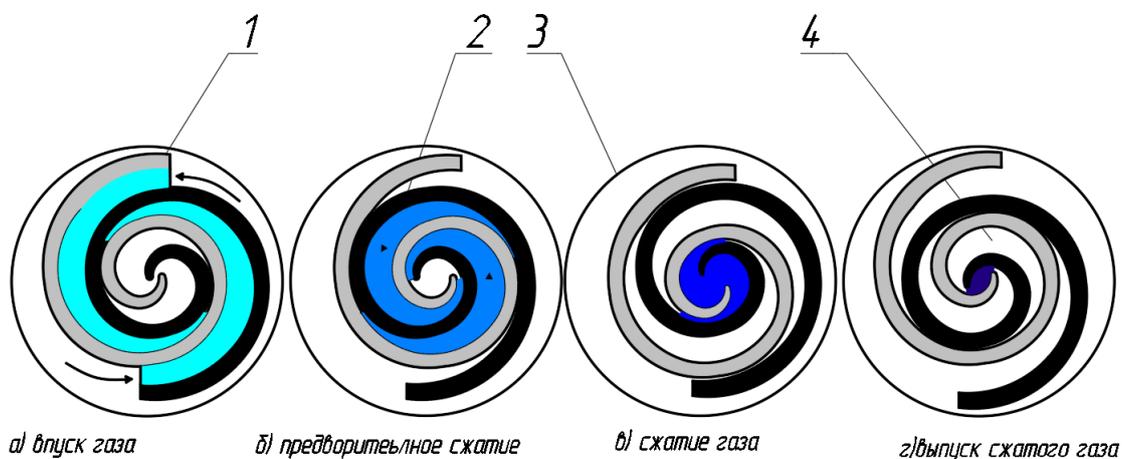
Рисунок 6 – Схема мембранного компрессора

Спиральный компрессор – также является машиной объемного действия. Существует несколько типов конструкции спиральных компрессоров. В наиболее распространенном варианте объем газа в рабочей камере 4, рис. 7, образованной двумя поверхностями – неподвижной 2 и подвижной 1 спиральями, вложенными друг в друга, при движении одной из них уменьшается. Неподвижная спираль жестко закреплена с корпусом, а вторая, подвижная соединена с приводом и совершает сложное движение, относительно оси корпуса. Так как спирали вложены друг в друга, при движении одной из них между ними образуется объем - камера, заполненная газом. При перемещении подвижной спирали сжимаемый газ двигается по винтовой полости в сторону выпускного отверстия, при этом уменьшается объем рабочей камеры, что в свою очередь приводит к сжатию газа.

В настоящее время спиральные компрессоры получили широкое распространение, как в бытовой, так и в промышленной деятельности. Их применяют в системах охлаждения, используют для производства сжатых газов высокой чистоты, так как обеспечивается отсутствие выбросов масла и твердых частиц в сжатый газ.

К основным преимуществам спиральных компрессоров также относятся их небольшие габариты, вес и почти идеальная уравновешенность. Поэтому эти компрессоры обладают низким уровнем шума и малой вибрацией в процессе работы, высокой надежностью из-за малого количества деталей, участвующих в

процессе сжатия, а также не имеют ощутимых пульсаций газа на выходе. Отсутствие «мертвого» объема обуславливает повышенную термодинамическую эффективность. Однако спиральные компрессоры чувствительны к загрязнению перекачиваемого газа, т.к. частицы могут оседать на поверхности спиралей, в результате чего нарушается герметичность рабочей камеры.



1-подвижная спираль; 2- неподвижная спираль; 3- корпус; 4- рабочая камера.

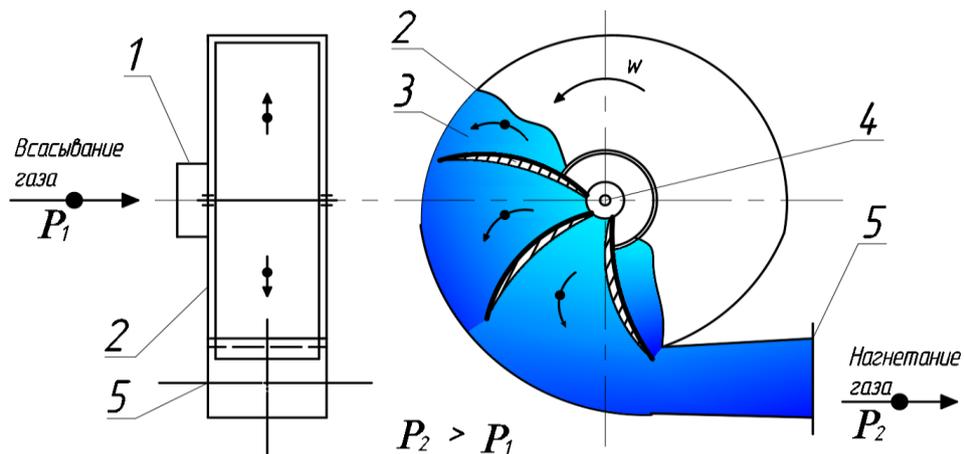
Рисунок 7 – Схема спирального компрессора

Динамические компрессоры разделяются на следующие виды: - центробежные (радиальные), - радиально-осевые (диагональные), - осевые, - вихревые, - струйные. Наибольшее распространение в различных сферах человеческой деятельности получили центробежные компрессоры.

Центробежный компрессор – является энергетической машиной динамического действия, так как в нем не изменяется объем газа, а изменяется скорость его движения. Основным рабочим органом центробежных компрессоров является лопатки, имеющие сложную форму. При вращении вала, на котором они закреплены, лопатки передают кинетическую энергию своего движения потоку газа. Можно сказать, что лопатки 3, рис. 5 разгоняют его. Газ поступает во всасывающий патрубок 1, после чего подхватывается движущейся лопаткой и за счет центробежной силы начинает двигаться в сторону выпускного окна в нагнетательный патрубок 5. При этом, создается соответствующее постоянное давление, и не образуется заметных пульсаций. Разогнанный поток газа подается потребителю через нагнетательный патрубок 5. Вал 4 с лопатками закреплен в подшипниковом узле, располагающемся в корпусе 2, и приводится в движение от электродвигателя.

Несмотря на кажущуюся простоту центробежного компрессора, следует учитывать, что при его изготовлении необходима высокая точность, поскольку это сказывается на продолжительности его работы, поскольку ротор вращается с большой частотой и должен быть хорошо сбалансирован. В противном случае, неизбежны вибрации, что, прежде всего, приводит к износу подшипников. Так же к недостаткам можно отнести маленькую степень сжатия. Для повышения этого показателя используются многоступенчатые системы, что, в свою очередь, приводит к удорожанию конструкции в целом.

К преимуществам этого компрессора можно отнести небольшую стоимость, простоту монтажа, а так же, как и у остальных компрессоров с вещательным движением рабочего органа, простоту привода.



1 – всасывающий патрубок; 2 – корпус (улитка); 3 – лопатки; 4 – вал; 5 – нагнетательный патрубок.

Рисунок 5 – Схема лопастного компрессора

В результате сравнительного анализа компрессоров, можно сделать некоторые выводы. Существующие разновидности компрессоров в той или иной мере не лишены отдельных недостатков. В компрессорах, имеющих высокую производительность, используются сложные приводы, они имеют большие габариты, для их установки требуются специально оборудованные места. Компрессоры, которые имеют простой привод и компактные размеры, не позволяют достигать высокой производительности или (и) создаваемого давления. Некоторые виды компрессоров нуждаются в регулярной замене, достаточно дорогостоящих элементов их конструкции (мембраны, подшипники, пластины). Практически все компрессоры не могут функционировать без постоянного охлаждения и смазки. Вследствие этого, в сжатый газ могут попадать смазывающее вещества, наличие которых недопустимо в ряде отраслей и производств. Последнее обстоятельство особенно актуально для пищевой, фармацевтической промышленности и медицины.

На основании выполненного анализа предлагается компрессор, в конструкции и при работе которого, предполагается избежать некоторых из выше перечисленных недостатков. В основу разрабатываемого на кафедре «Машины и аппараты пищевых производств» Алтайского государственного университета им. И.И. Ползунова компрессора, закладывается другой принцип движения основного рабочего органа и иная его конструкция.