KVIHT.RU
+7 (812) 715-41-64

@KVIHT

# Винтовые компрессоры – курс лекций

## Лекция: Эксплуатация винтовых маслозаполненных установок

Лектор: Юрий Владимирович Кожухов, доцент, к.т.н.

www.kviht.ru

Пример винтового газового компрессор фирмы Howden

| Max Давление | до 75 бар |
|---|---|
| Max Мощность | до 8500 кВт |
| Max Расход | до 29,000 нм$^3$/ч |

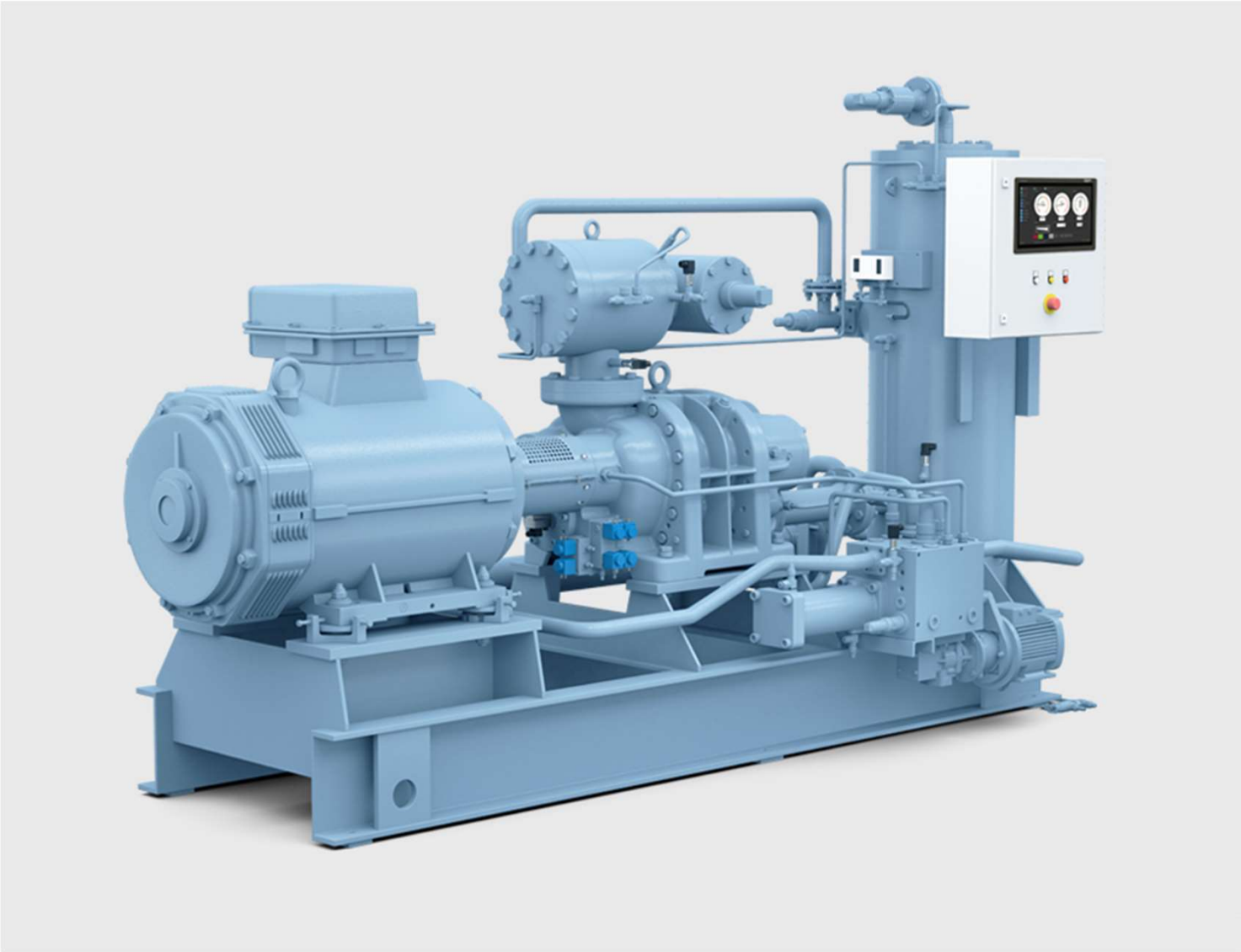
KOMPRESSOR

@KVIHT

WWW.KVIHT.RU

+7 (812) 715-41-64

Научно-инжиниринговая группа
«Компрессорная, вакуумная, холодильная
техника и системы транспорта и переработки газа»

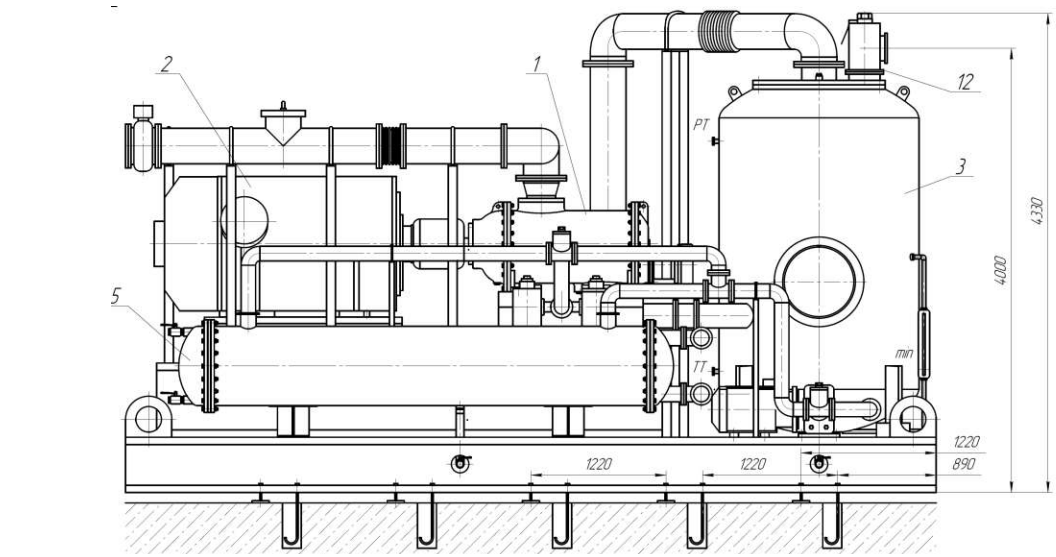


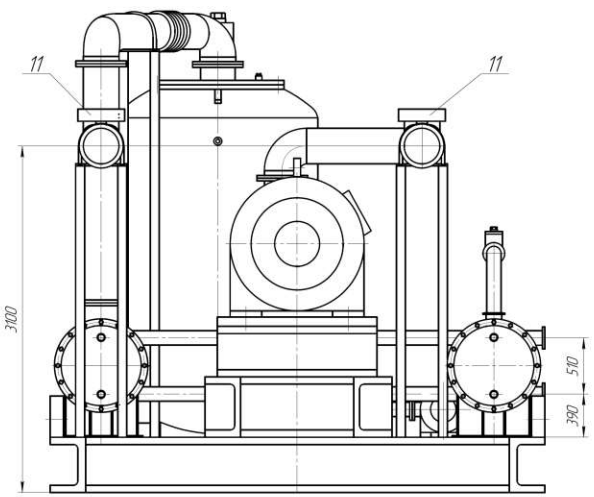
@KVIHT

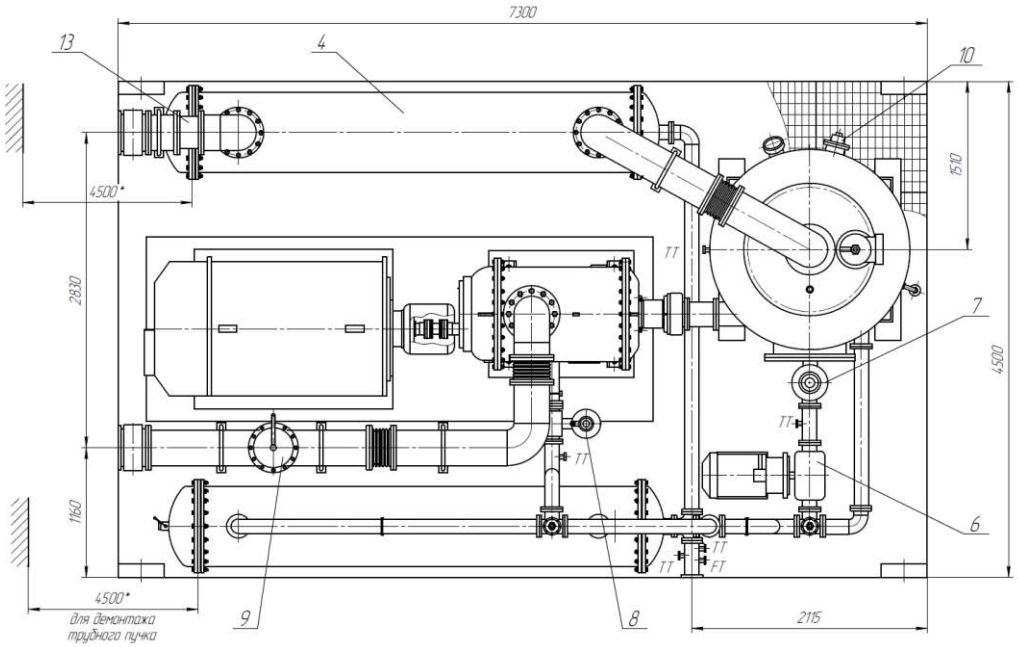
WWW.KVIHT.RU

+7 (812) 715-41-64

**Научно-инжиниринговая группа «Компрессорная, вакуумная, холодильная техника и системы транспорта и переработки газа»**

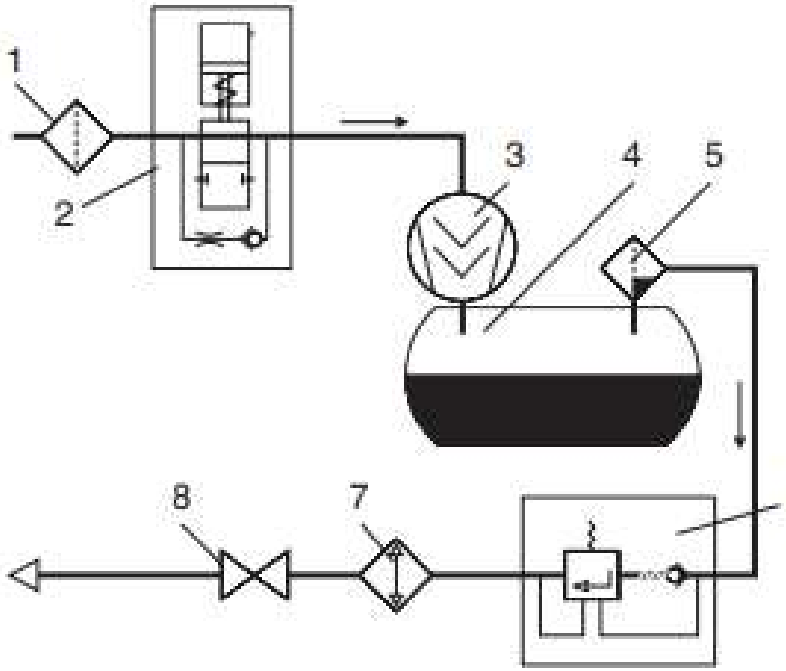


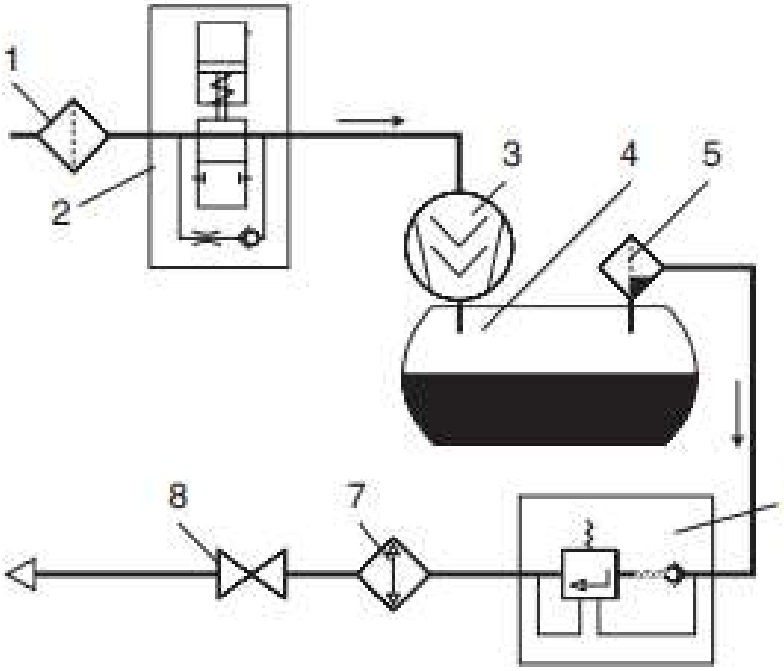




| Поз. | Наименование |
|---|---|
| 1 | Винтовой компрессор маслозаполненный |
| 2 | Электродвигатель |
| 3 | Двухступенчатый сепаратор и масляный бак |
| 4 | Теплообменный аппарат газовый |
| 5 | Теплообменный аппарат масляный |
| 6 | Маслонасос |
| 7 | Масляный фильтр грубой очистки |
| 8 | Дуплексный маслянный фильтр |
| 9 | Газовый фильтр грубой очистки |
| 10 | Трубчатый электронагреватель |
| 11 | Пневматический клапан |
| 12 | Предохранительный клапан |
| 13 | Обратный клапан |

Технологическая схема газовой коммуникации КУ с ВКМ



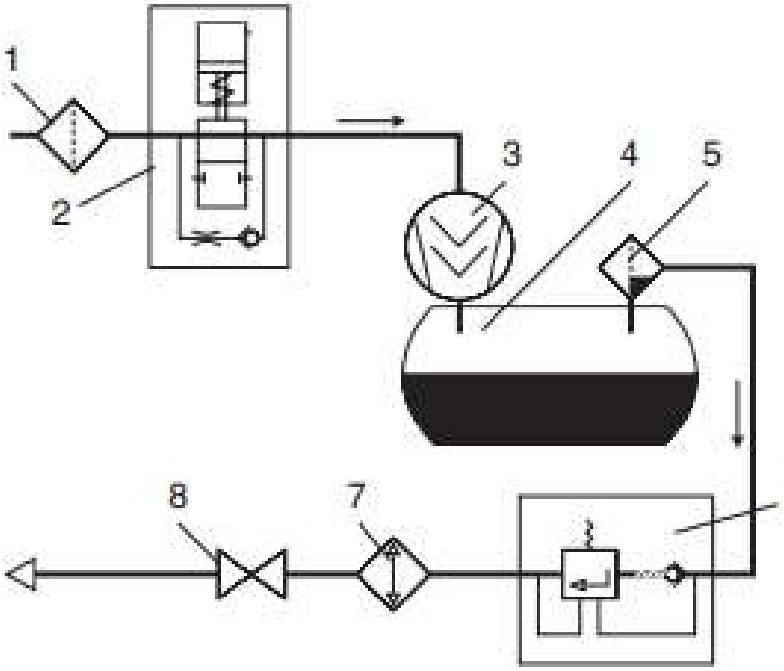

1 – фильтр всасывания; 2 – клапан всасывания; 3 – ВКМ;
4 – первая ступень влагомаслоотделителя; 5 – вторая ступень влагомаслоотделителя; 6 – клапан минимального давления;
7 – концевой охладитель воздуха; 8 – перекрывающий кран




Газ проходит фильтр всасывания 1, предназначенный для предотвращения попадания в ВКМ твердых частиц, содержащихся в атмосферном воздухе, и поступает в клапан всасывания 2.

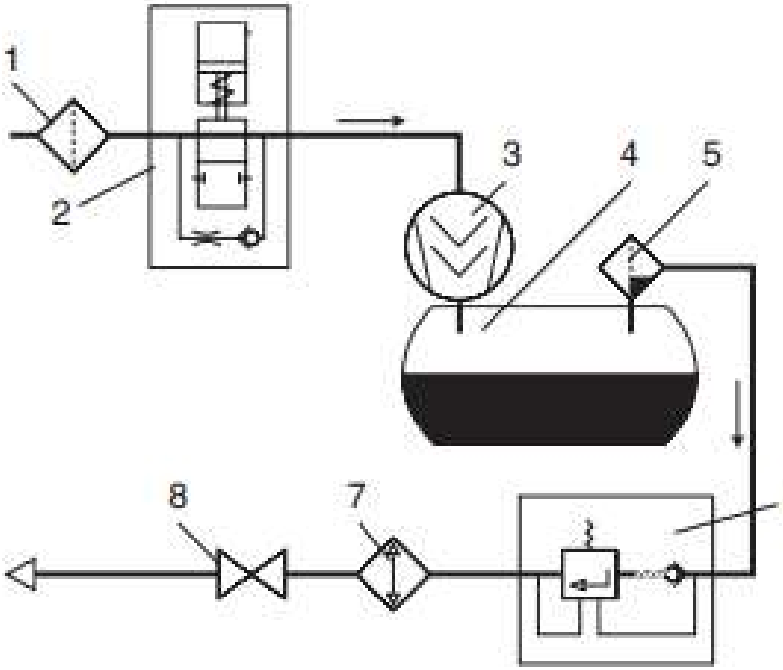
В компрессорах с плавным изменением производительности степень открытия клапана всасывания плавно регулируется в зависимости от давления в сети сжатого газа. Чем выше давление, тем меньше открыт клапан и меньше поступает газа в компрессор. И наоборот, чем ниже давление, тем сильнее открывается клапан всасывания и больше воздуха поступает на всасывание в компрессор.

В компрессорах со ступенчатым регулированием производительности используют двухпозиционные клапаны всасывания. При открытом клапане воздух поступает в ВКМ, и компрессор функционирует в рабочем режиме, при закрытом клапане компрессор продолжает работать но его производительность определяется тем расходом газа, который проходит через отверстие малого диаметра, выполненное в перекрывающем органе клапана, т. е. в режиме холостого хода.



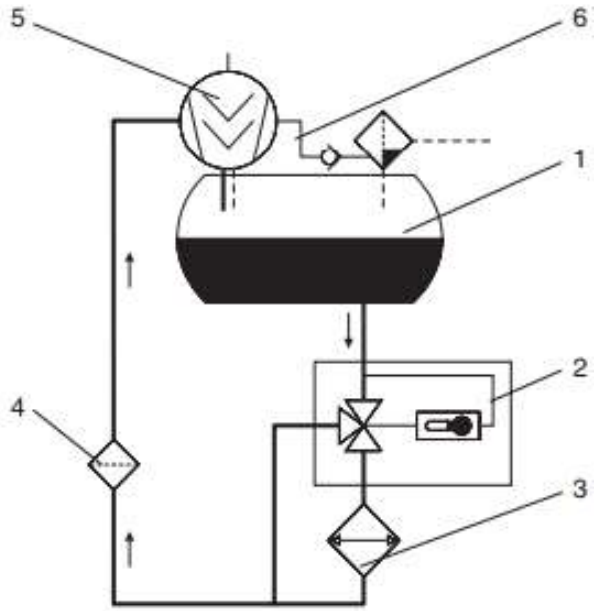

Газ, сжатый в компрессоре вместе с маслом, которое впрыскивается в полости сжатия, подается в первую ступень 4 влагомаслоотделителя, где примерно 95 % капельного масла и сконденсировавшейся из газа воды выделяются. Газ с оставшимся маслом и водой подается во вторую ступень 5 влагомаслоотделителя, где отделяется оставшееся капельное масло и влага, и поступает в клапан минимального давления 6. Клапан минимального давления закрывается, когда давление в первой ступени влагомаслоотделителя достигнет определенного уровня (обычно 0,35–0,45 МПа).

Нужно это для того, чтобы создать при переходе компрессора на рабочий режим давление во влагомаслоотделителе, достаточное для подачи масла в ВКМ и обеспечения достаточной смазки ВКМ при начале работы под нагрузкой.
В большинстве современных компрессоров клапан минимального давления также выполняет и функции обратного клапана.

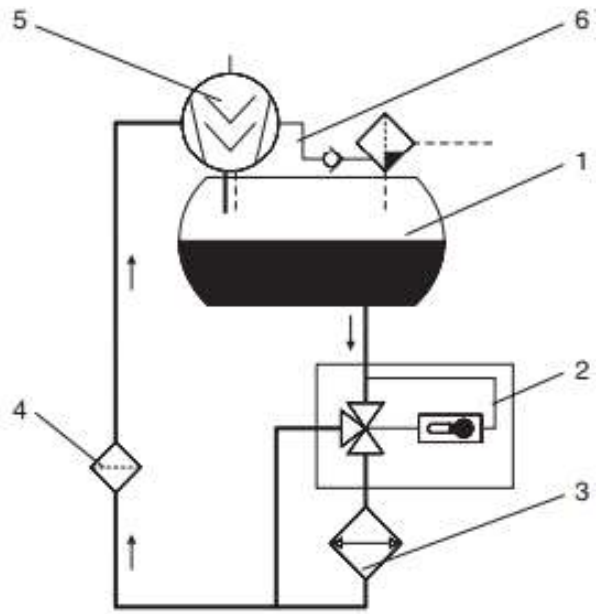



Сжатый газ, вышедший из ВКМ, может иметь температуру
от 60 до 110 °С, поэтому он подвергается охлаждению в охладителе 7, который может быть с воздушным или водяным охлаждением. Выбор вида охлаждения зависит от возможности подведения воды и ее рециркуляции.
Перекрывающий кран 8, обычно шаровой, служит для изоляции КУ от сети сжатого воздуха (например, на время проведения технического обслуживания).

Технологическая схема масляного контура КУ с ВКМ

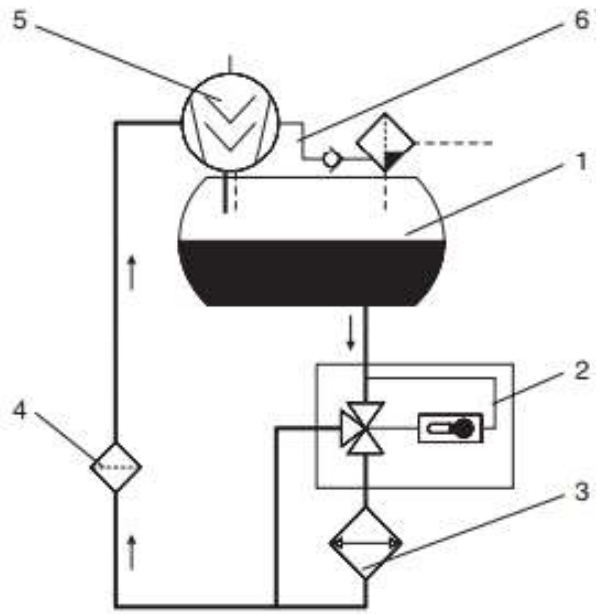



*1* – влагомаслоотделитель; *2* – термостатический клапан;
*3* – охладитель масла; *4* – масляный фильтр; *5* – ВКМ;
*6* – дренажная линия масла



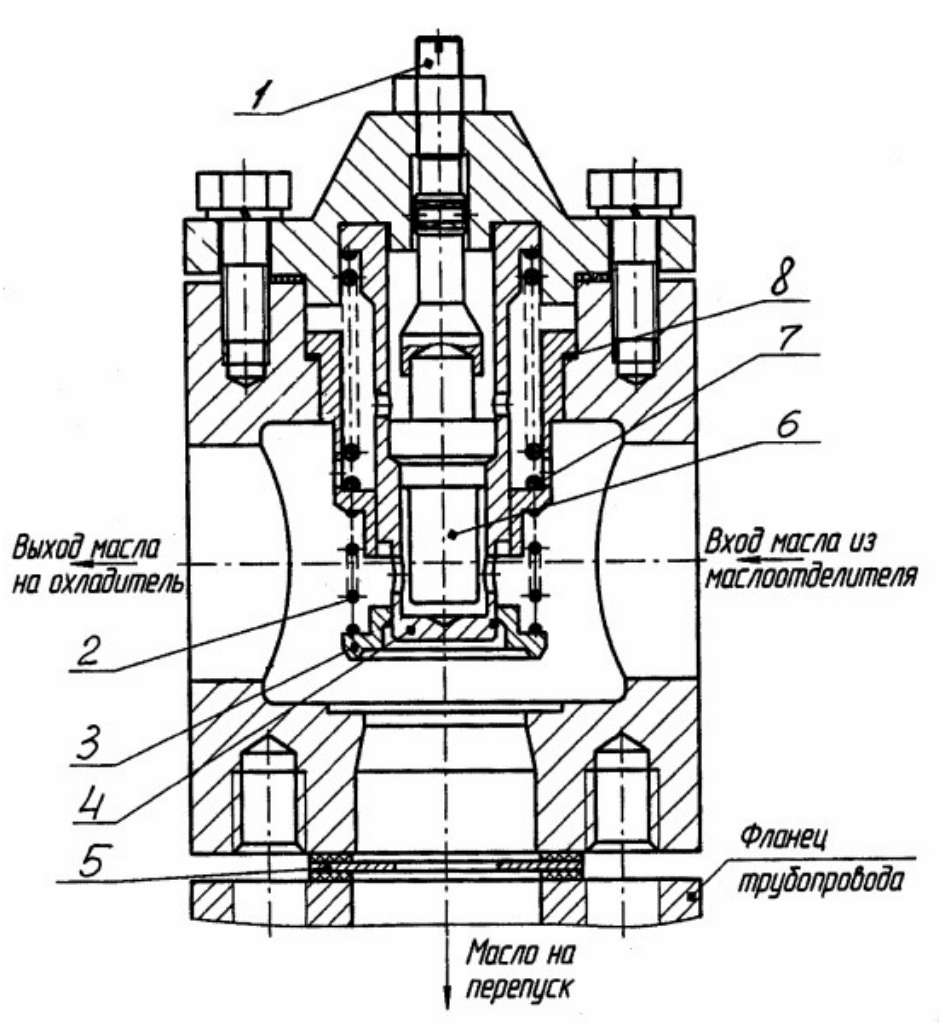

Масло из влагомаслоотделителя первой ступени 1 подается в охладитель 3, где охлаждается воздухом или водой. Температура масла на выходе из охладителя контролируется термостатическим регулятором 2.
Если температура за масляным охладителем опускается до 45 °С или ниже, термостатический регулятор открывается и пропускает часть нагретого масла в обход охладителя.
Охлажденное масло через масляный фильтр 4 и дроссельное устройство подается на впрыск в полости сжатия компрессора, сальники и подшипники для их охлаждения.

Нужно отметить, что полностью открытым или закрытым термостатический регулятор масла бывает редко, обычно часть масла подается в ВКМ без охлаждения, а часть охлажденным. Вследствие такого смешивания автоматически достигается заданная для ВКМ температура поступающего масла.



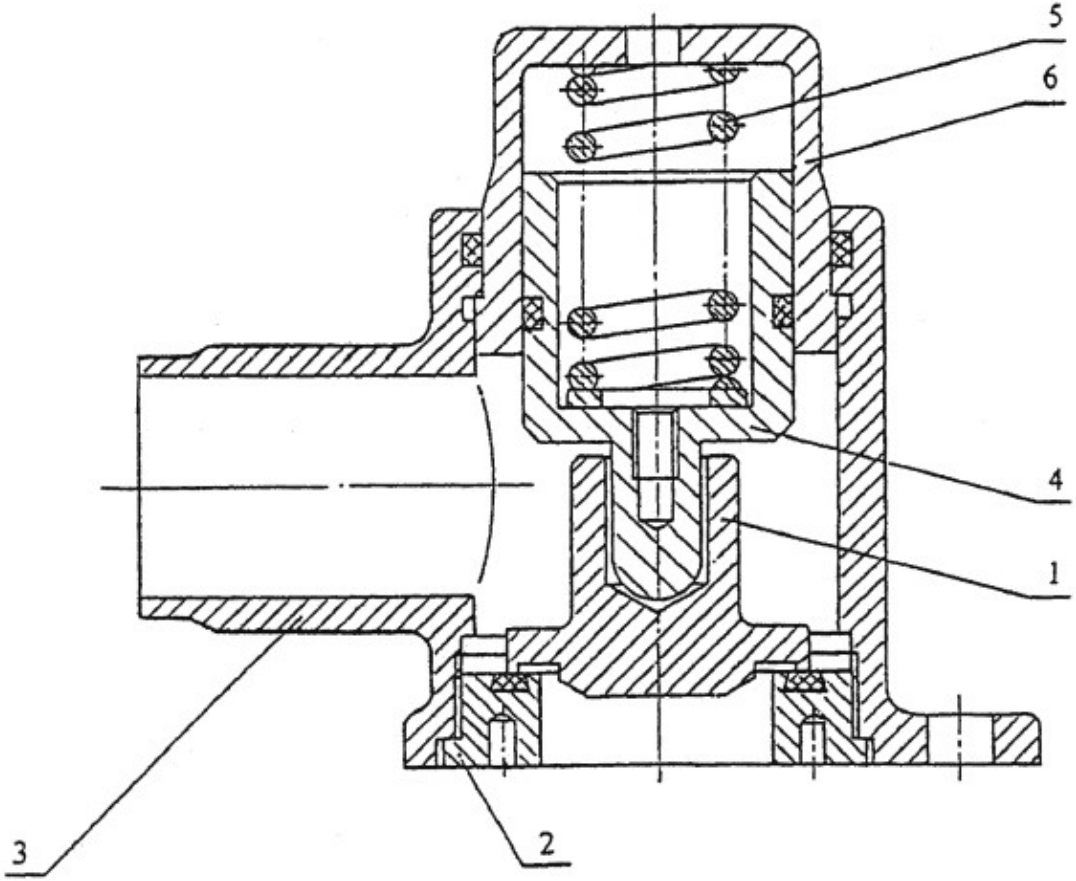

Влагомаслоотделитель первой ступени не может отделить от сжатого воздуха все масло. Часть его задерживается влагомаслоотделителем второй ступени, которым обычно служит волокнистый фильтр со сменными картриджами.
Масло, задержанное волокнистым фильтром, собирается на его дне и через дроссель и обратный клапан **6** поступает на всасывание ВКМ.

Схема термостатического регулирующего
клапана масла




*1* — регулировочный винт;
*2*, *7* — пружины; *3* — клапан;
*4* — стакан; *5* — дроссельная шайба;
*6* — термосиловой датчик;
*8* — кольцо

Схема обратного клапана минимального давления:




*1* — клапан;
*2* — седло;
*3* — корпус;
*4* — поршень;
*5* — пружина;
*6* — втулка

# Влагомаслоотделители

Инерционного типа :

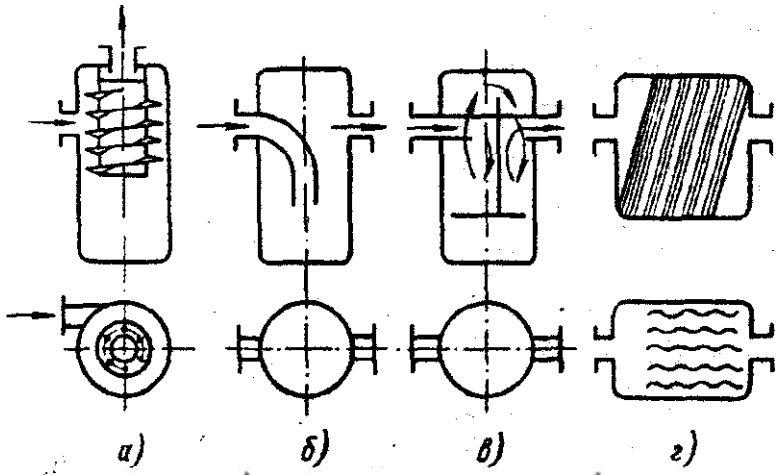
а) со спиральным входом;

б) с резким поворотом потока;

в) с поперечной перегородкой;

г) пластинчатый с волнистыми элементами.

Эффективность η=70-80%.




Центробежного типа :

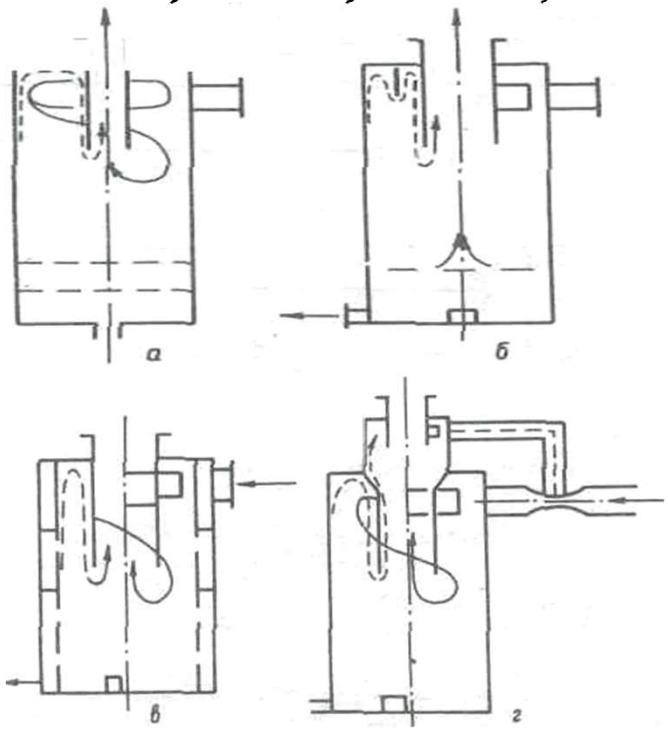
а- циклон с поворотом потока,

б- циклон с кольцевым ребром,

в- циклон с сеткой, г– циклон с всасыванием вторичного уноса.

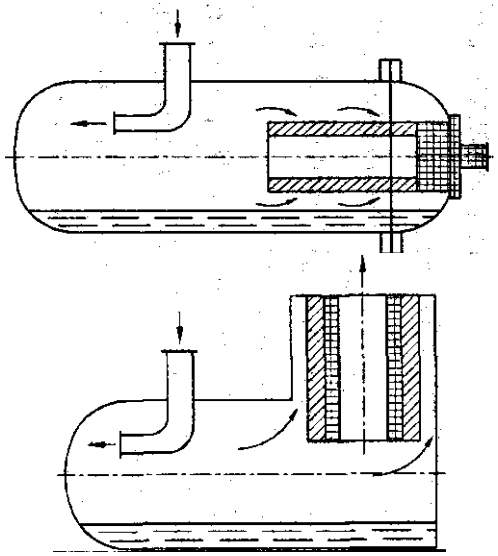
Эффективность циклонов η=90-97%.

η=97% - для циклона с эжектором.



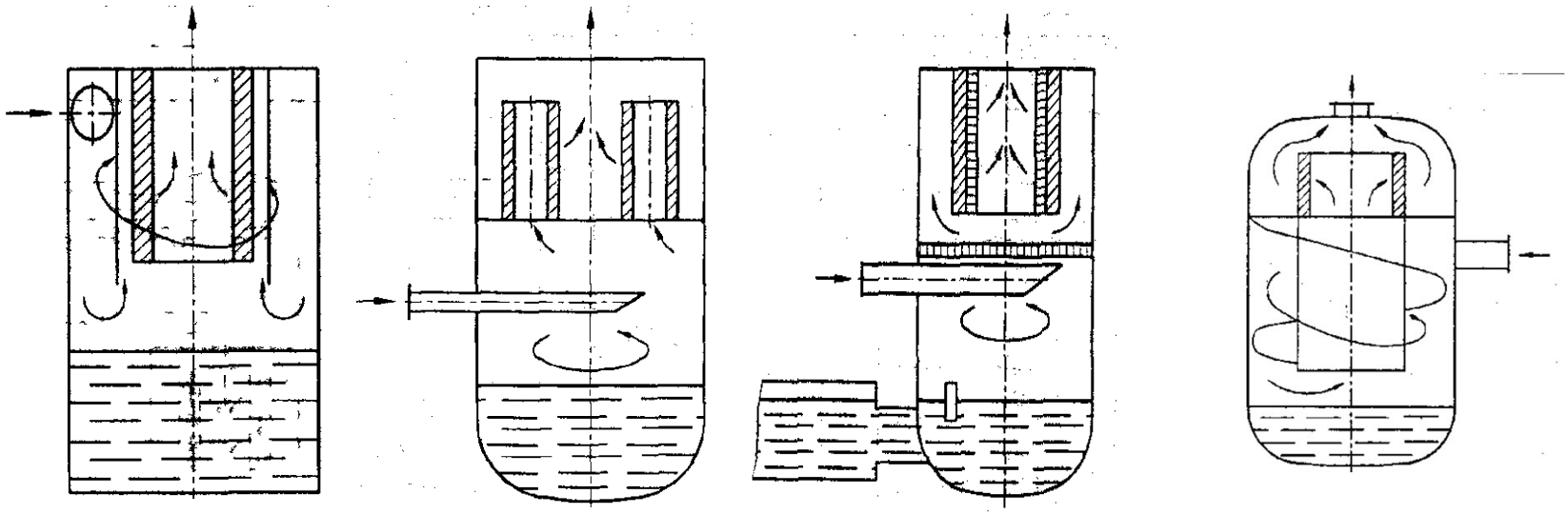
# Влагомаслоотделители

## Двухступенчатые влагомаслоотделители

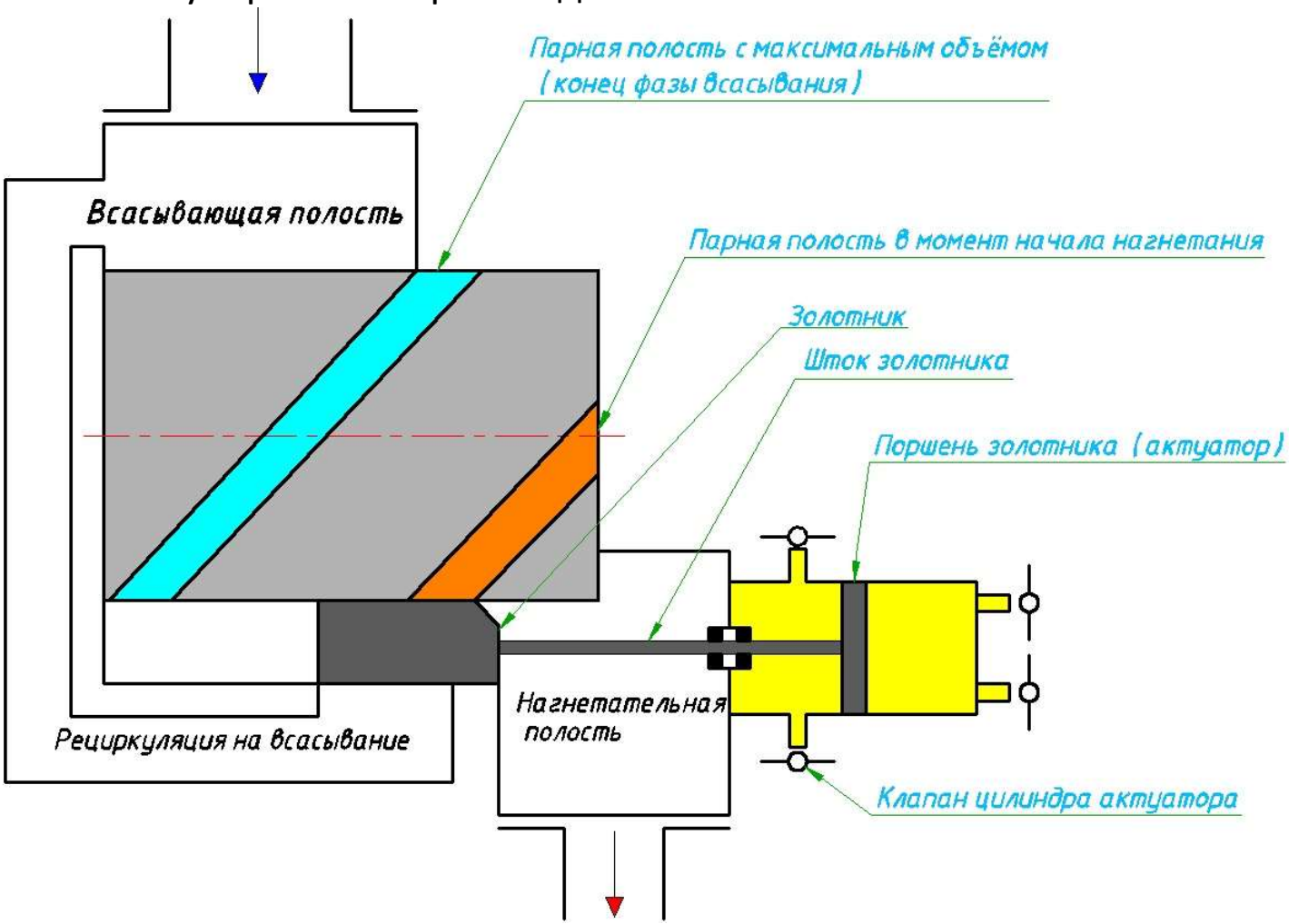


Параметры для расчета:

- Скорость газа по входном патрубке =7 м/сек
- Скорость газа у обечайки =0.25 м/сек
- Скорость прохождения газа через поверхность фильтра = 0,1 м/с

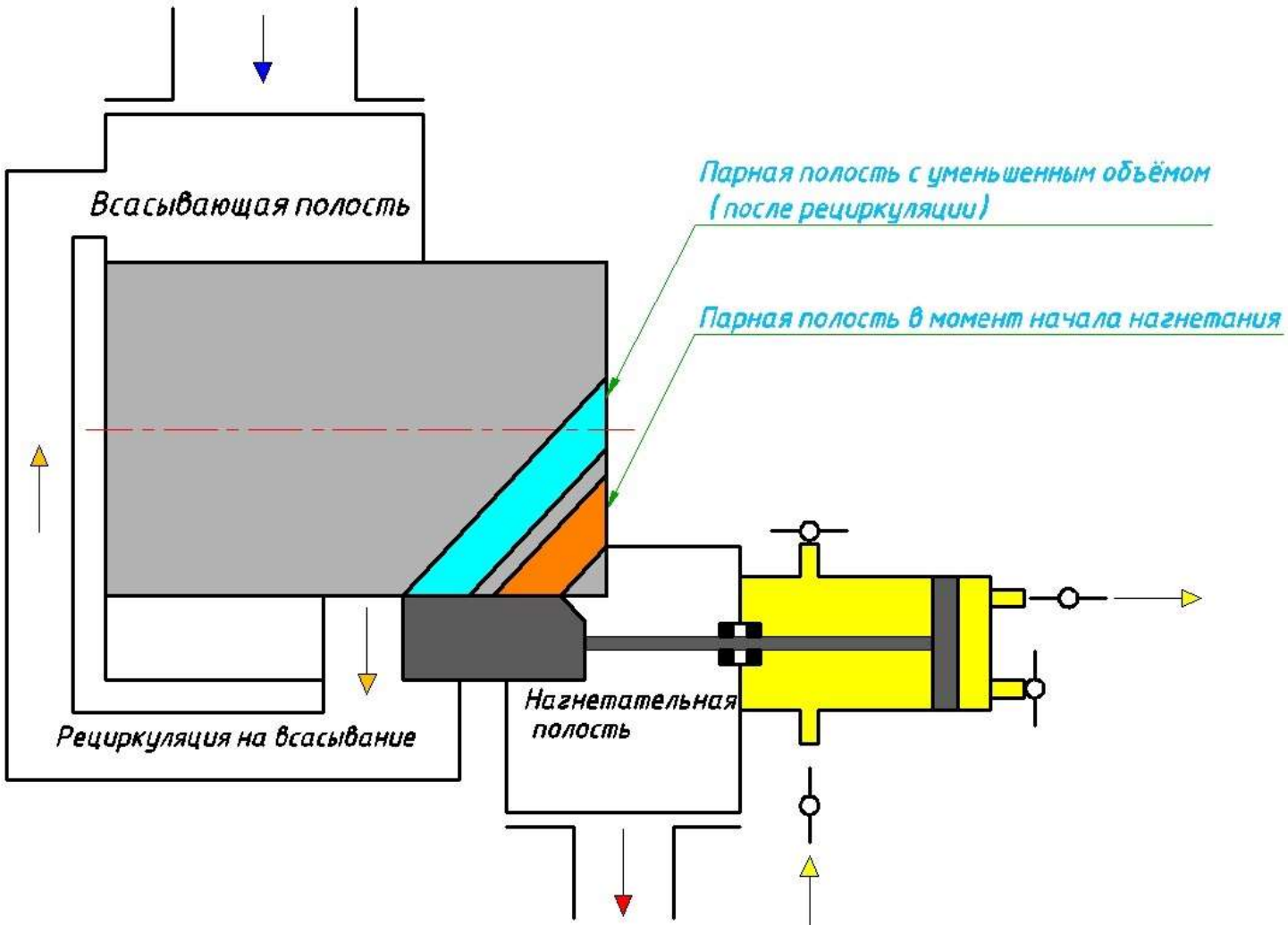


Регулирование производительности золотником



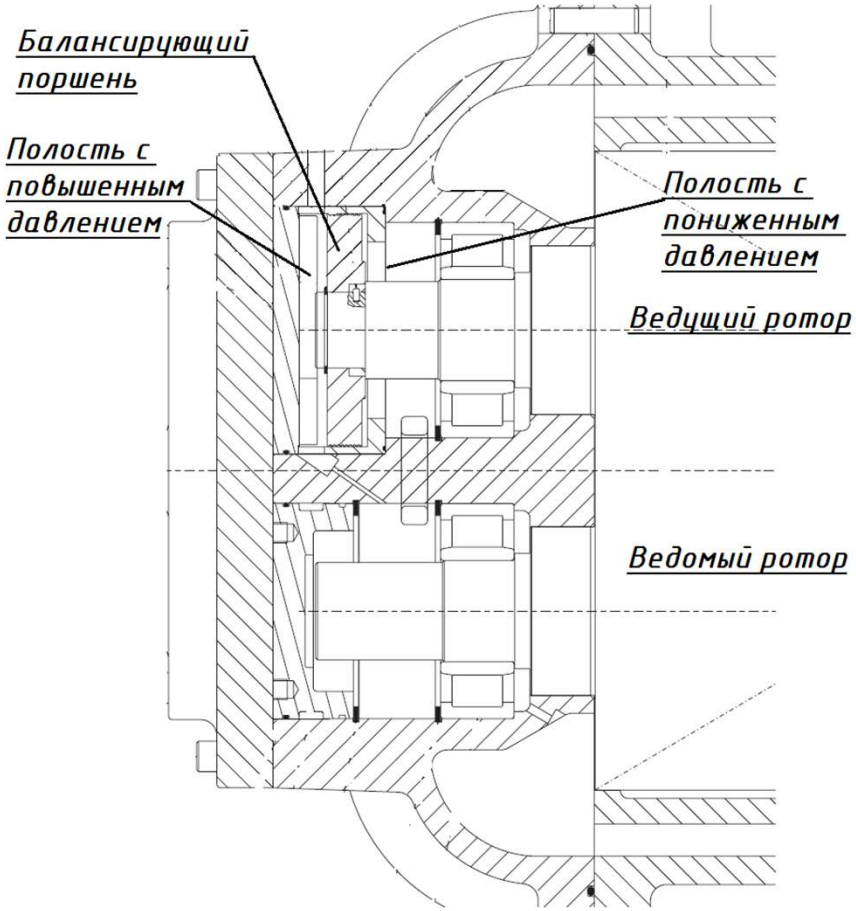

Максимальная производительность

Регулирование производительности золотником




55 % производительности

# Разгрузка осевых сил




Разгрузочный (балансировочный) поршень на стороне всасывания

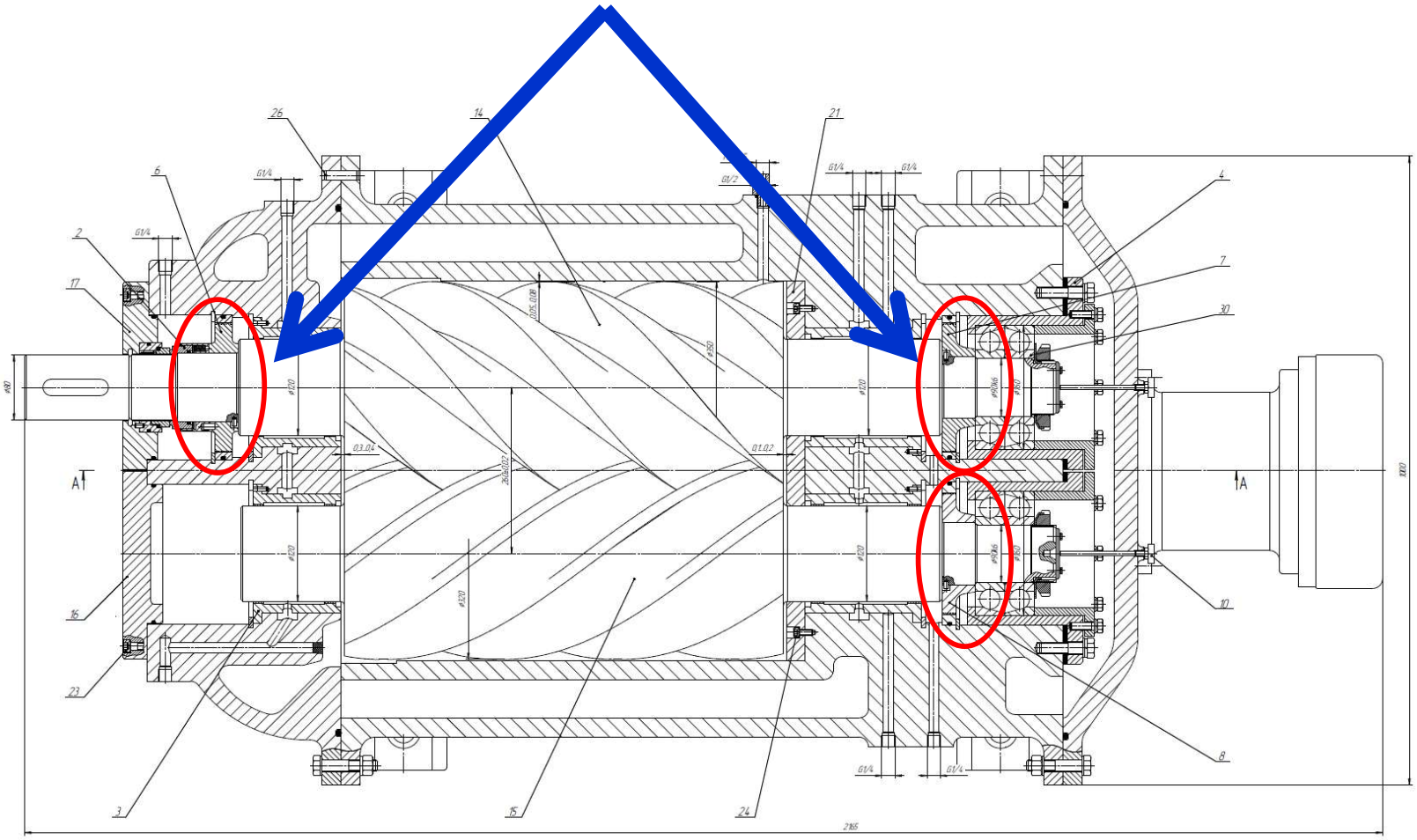
@KVIHT

WWW.KVIHT.RU

+7 (812) 715-41-64

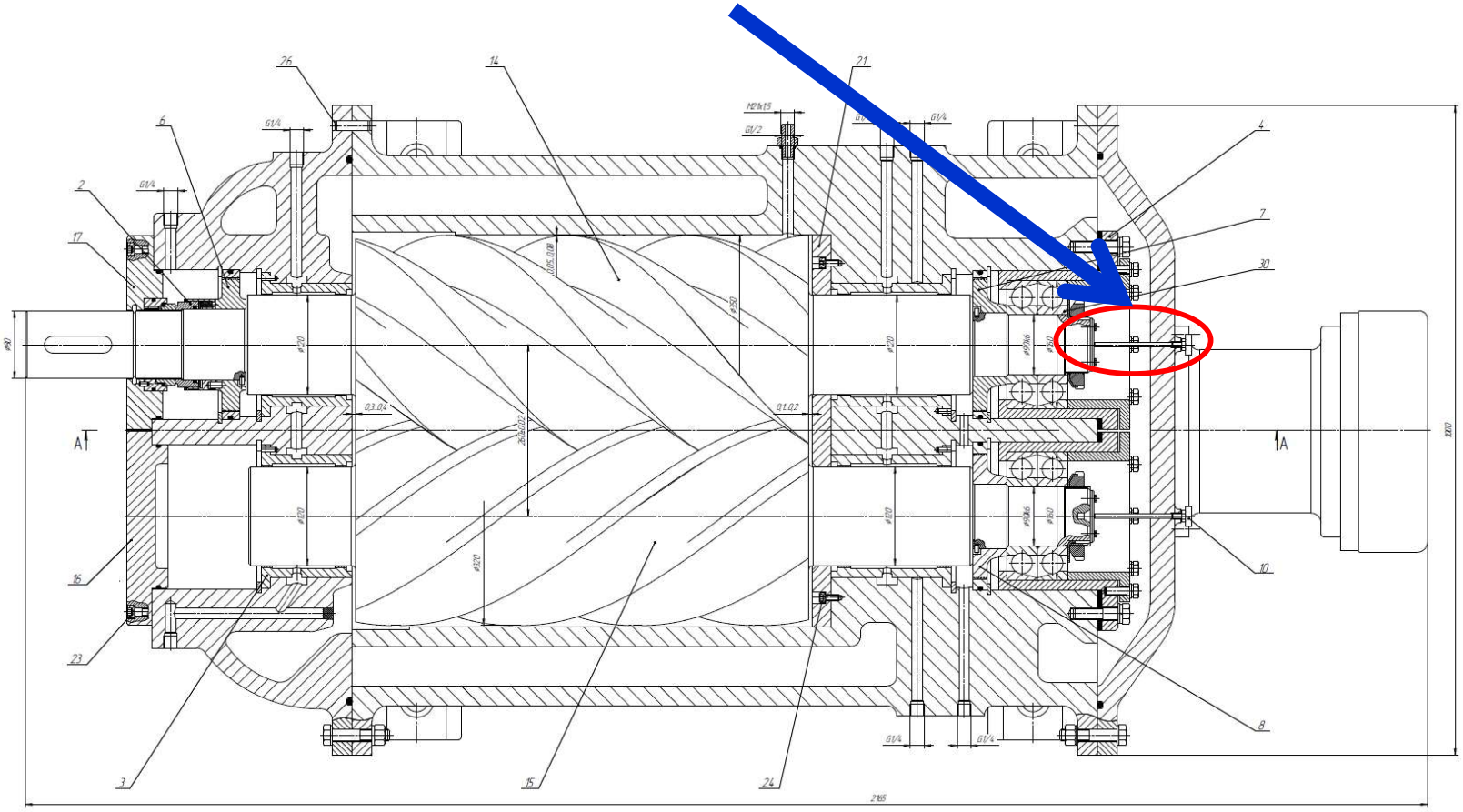
Научно-инжиниринговая группа
«Компрессорная, вакуумная, холодильная
техника и системы транспорта и переработки газа»

Разгрузка осевых сил
Разгрузочный (балансировочный) поршень

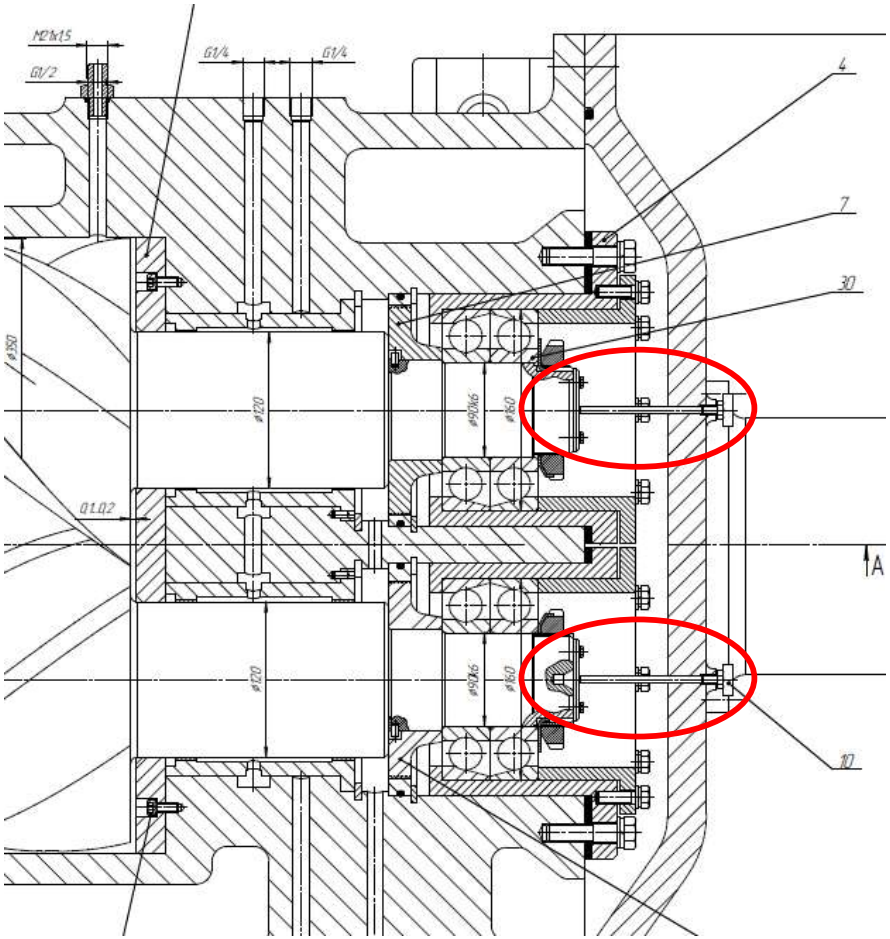


## Ограничение осевого сдвига

Датчик осевого сдвига



Ограничение осевого сдвига
Датчик осевого сдвига

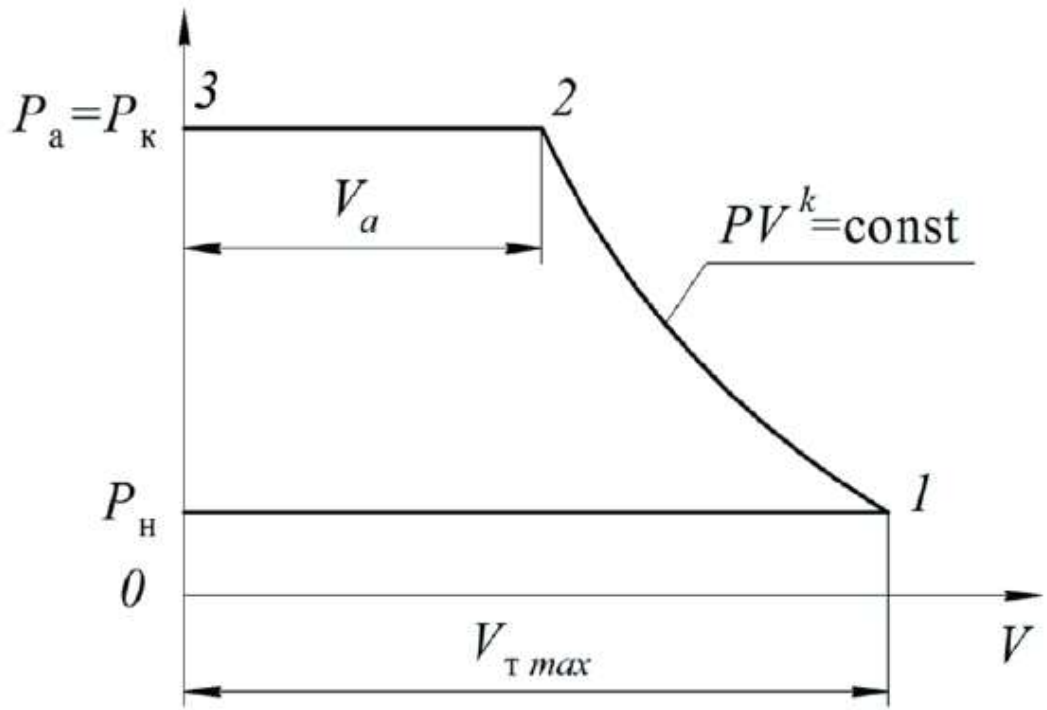


# Ограничение осевого сдвига
# Датчик осевого сдвига

Чувствительным элементом вихретоковых датчиков является катушка индуктивности, которая заключена в торце диэлектрического наконечника. Датчик подключается к драйверу, который обеспечивает возбуждение электромагнитных колебаний в катушке, в результате чего возникает электромагнитное поле, которое взаимодействует с материалом контролируемого объекта.

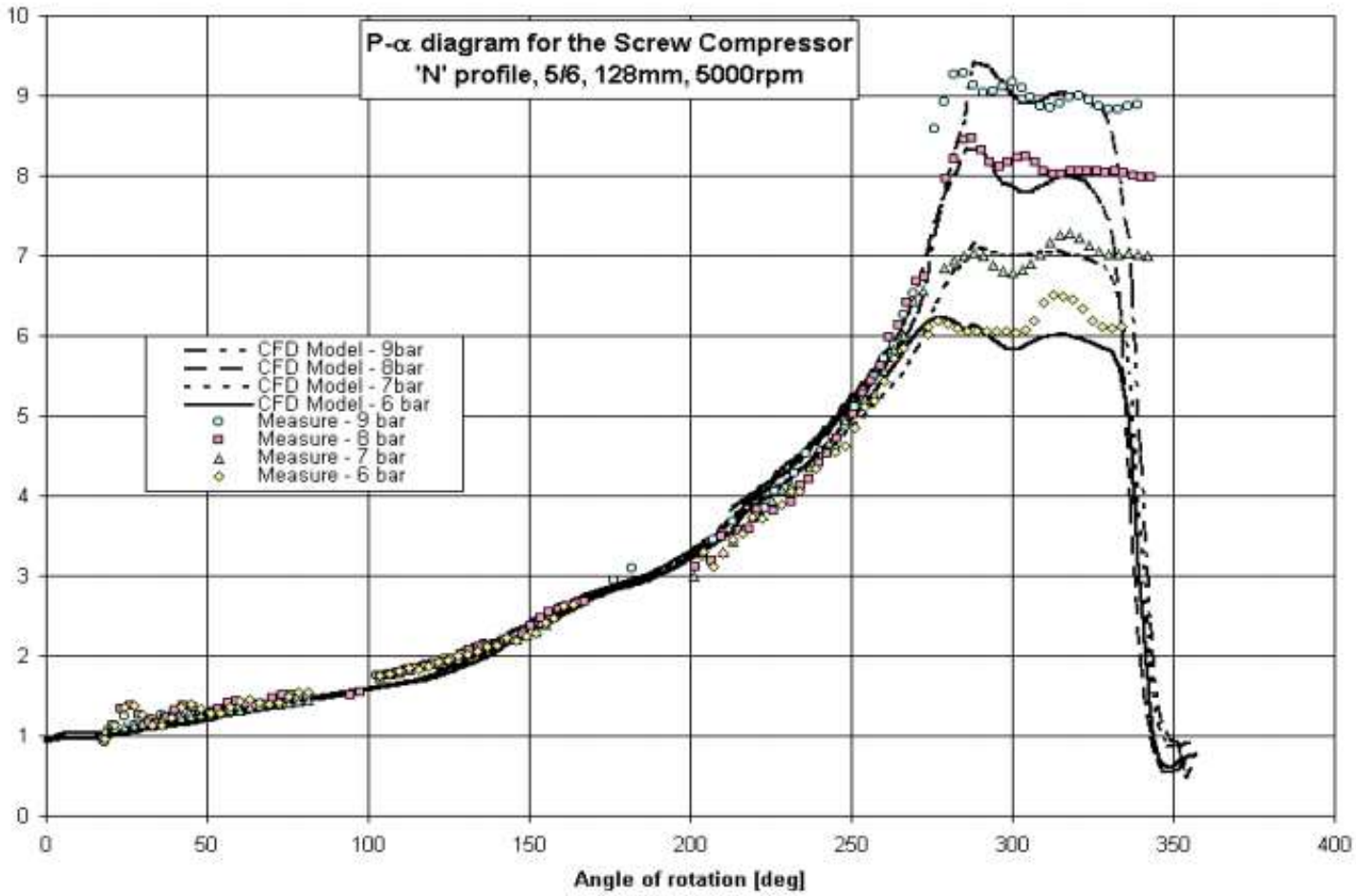
Если материал обладает электропроводностью, на его поверхности наводятся вихревые токи, которые, в свою очередь, изменяют параметры катушки — ее активное и индуктивное сопротивление. Параметры меняются при изменении зазора между контролируемым объектом и торцом датчика. Драйвер преобразует эти изменения в электрический сигнал, осуществляет его линеаризацию и масштабирование.

Индикаторная диаграмма

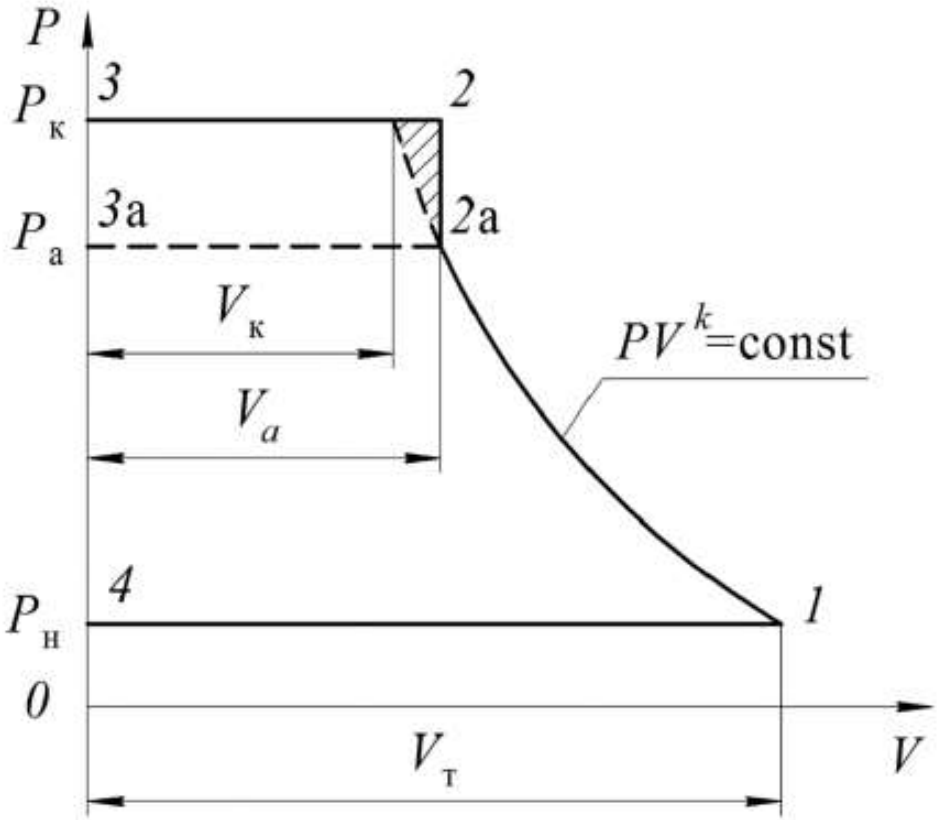



Теоретическая индикаторная диаграмма в координатах *P-V*

Индикаторная диаграмма
От угла поворота. Действительная



Индикаторная диаграмма




Процесс с недожатием

**Отношение давлений**
**$\varepsilon = p_н / p_в$**

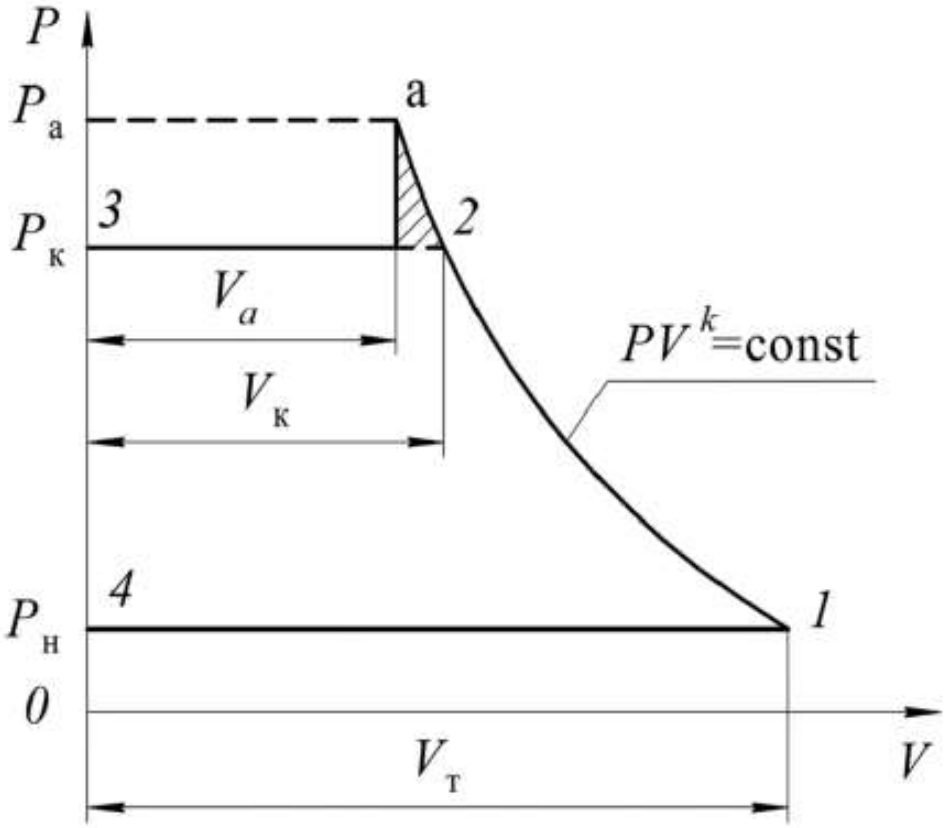
**Внутренняя степень сжатия**
**$\varepsilon_{вн} = p_2 / p_1$**

**Геометрическая степень сжатия**
**$\varepsilon_г = W_1 / W_2$**
**$W_1$ – начальный объем**
**$W_2$ – конечный объем**

$$\varepsilon_{вн} = \varepsilon_г^{\,n}$$

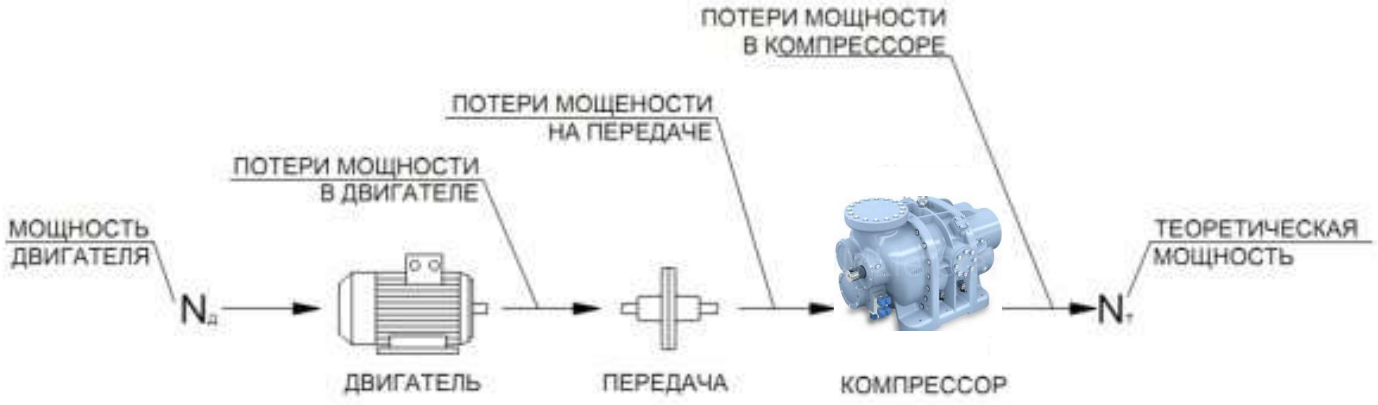
n – показатель политропы.

Индикаторная диаграмма




Процесс с пережатием

# Мощность привода




В общем случае, мощность, подводимая к компрессорной установки, складывается из индикаторной мощности, мощности на преодоление механического трения в элементах компрессора и мощности для привода вспомогательных механизмов (масляный и водяной насос, вентилятор, мультипликатор и др.)

# Мощность привода

Если компрессор **маслозаполненный**, то для оценки индикаторной мощности можно использовать формулу для изотермической работы и внутренний изотермический КПД.

Изотермическая мощность (единицы измерения в системе СИ)

$$N_{\text{из}} = P_{\text{н}} V_{\text{н}} \ln\left(\frac{P_{\text{к}}}{P_{\text{н}}}\right)$$

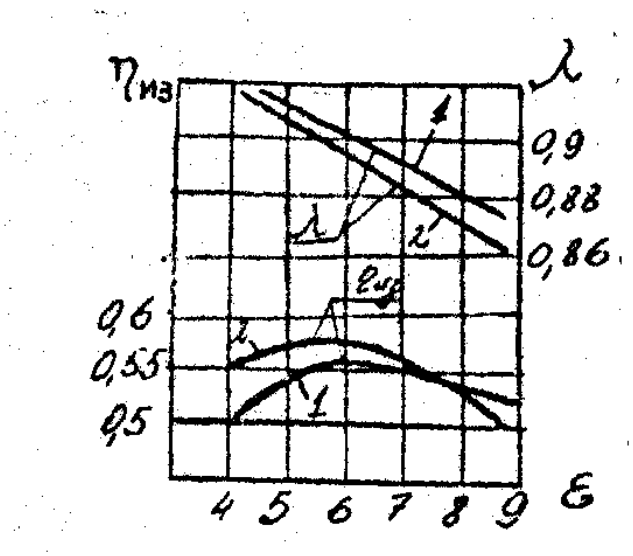
Мощность компрессора (без учета мощности на вспомогательные механизмы)

$$N_{min} = \frac{N_{\text{из}}}{\eta_{\text{из}} \cdot \eta_{\text{мех}}}$$

Мощность при изотермическом процессе будет минимальная.

# Мощность привода

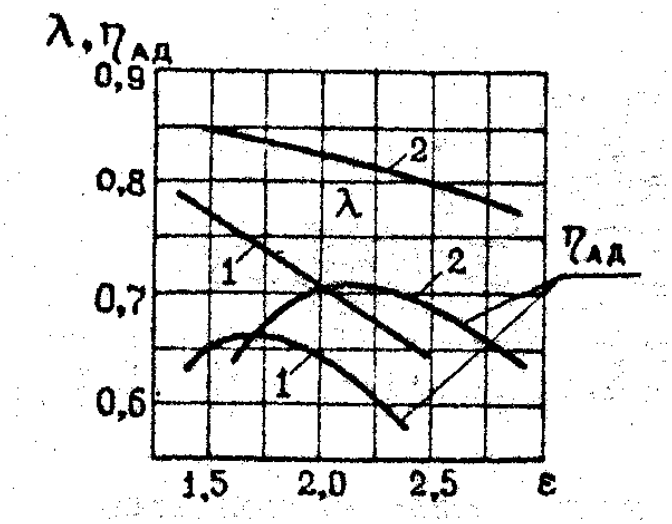
Если компрессор **маслозаполненный**, то для оценки индикаторной мощности можно использовать формулу для изотермической работы и внутренний изотермический КПД.




Зависимость коэффициента подачи **λ**, и изотермического кпд $\eta_{из}$ от внешней степени сжатия **ε** для маслозаполненных ВК: 1- $\varepsilon_г$ = 3,6; 2- $\varepsilon_г$ = 4,5

# Мощность привода

Если компрессор **сухого** сжатия, то для оценки индикаторной мощности можно использовать формулу для адиабатической мощности и внутренний адиабатический КПД.




Зависимость коэффициента подачи **λ** и адиабатного кпд $\boldsymbol{\eta_{АД}}$ от внешней степени сжатия ε для сухих ВК: I – $\boldsymbol{u}_1$= 60 м/с;
2 - $\boldsymbol{u}_1$= 25 м/с

# Мощность привода

Если компрессор **сухого** сжатия, то для оценки индикаторной мощности можно использовать формулу для адиабатической мощности и внутренний адиабатический КПД.

Адиабатическая мощность (единицы измерения в системе СИ)

$$N_{\text{ад}} = \frac{k}{k-1} P_{\text{н}} V_{\text{н}} \left[ \left( \frac{P_{\text{к}}}{P_{\text{н}}} \right)^{\frac{k-1}{k}} - 1 \right]$$

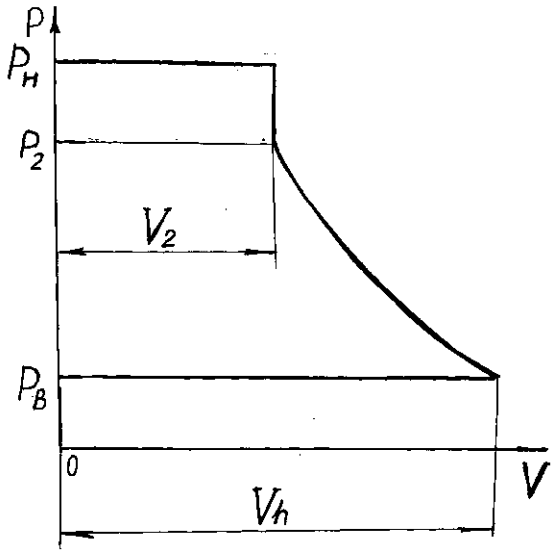
Мощность компрессора (без учета мощности на вспомогательные механизмы)

$$N_{max} = \frac{N_{\text{ад}}}{\eta_{\text{ад}} \cdot \eta_{\text{мех}}}$$

# Мощность привода

Также, когда $p_2 \neq p_н$ индикаторная мощность ВК можно определить по формуле:

$$N_и = K \cdot Q \cdot [p_в \cdot (\varepsilon^{n-1} - m)/(1-m) + p_н \cdot (1/\varepsilon)]$$




где:
$N_и$ – мощность винтового компрессора (индикаторная), кВт;
K – поправочный коэффициент;
Q – производительность при входных условиях, м$^3$/с;
$p_в$ – давление на всасывании, Па;
$p_н$ – давление на нагнетании, Па;
ε – степень сжатия (геометрическая);
n – показатель **политропы**.

Для $V_e$<0,5 м$^3$/с K=1,12-1,18
Для $V_e$≥0,5 м$^3$/с K=1,05-1,1