

УДК 621.514

# Регулирование производительности холодильного винтового компрессора с помощью внутренних устройств

Д-р техн. наук А. Н. НОСКОВ

Санкт-Петербургский национальный исследовательский университет ИТМО

Институт холода и биотехнологий

191002, Санкт-Петербург, ул. Ломоносова, 9

А. А. ЗИМКОВ

ООО «ОК», 194044, Санкт-Петербург, Б. Сампсониевский пр., 45

**The analysis of the features and applications of various internal devices to regulate the performance of refrigeration screw compressor. The dependences of changes in effective compressor efficiency under different schemes of regulators of productivity.**

**Keywords:** refrigerating screw compressor, refrigerant, the geometric compression ratio, productivity.

**Ключевые слова:** холодильный винтовой компрессор, хладагент, геометрическая степень сжатия, производительность.

Для поддержания в заданном диапазоне температуры охлаждаемого объекта или теплоносителя путем обеспечения теплового баланса между теплопритоками и холодопроизводительностью холодильной машины при изменении температурного режима ее работы служит система регулирования производительности маслозаполненного винтового компрессора (ВКМ).

Существуют следующие способы регулирования производительности холодильных винтовых компрессоров [1, 2]:

- с помощью внешних устройств;
- изменением скорости вращения роторов;
- с помощью внутренних устройств, изменяющих объем полостей винтов при их отсечении от окна всасывания.

Регулирование с помощью внешних устройств осуществляется путем байпасирования сжатого хладагента или дросселированием на всасывании.

Способ регулирования производительности ВКМ изменением частоты вращения роторов в диапазоне оптимальной окружной скорости является достаточно экономичным, так как при этом не изменяется геометрическая степень сжатия. В настоящее время широкое распространение получило регулирование частоты вращения роторов с помощью частотных преобразователей. Однако при уменьшении производительности компрессора ниже 30 % от номинального значения значительно снижаются объемные и энергетические характеристики компрессора. Поэтому отметим, что большей энергетической эффективностью обладает способ регулирования с помощью внутренних устройств.

Широкое распространение получил способ регулирования производительности ВКМ регулятором, позволяющим изменять эффективную длину винтов и тем самым изменять объем парной полости  $W_{\text{пн}}$  в начале процесса сжатия. Регулятор представляет собой золотник, приводящийся в движение электро- или гидроприводом и пере-

мещающийся вдоль осей винтов по направляющей цилиндрической расточке, расположенной между цилиндрами роторов со стороны сжатия. Так как только цилиндрическая часть окна нагнетания (ОН) расположена на золотнике, торцевая часть ОН при регулировании производительности компрессора остается неизменной. Вследствие этого объем парной полости (ПП) в конце процесса сжатия, т.е. в момент ее соединения с окном нагнетания, остается постоянным ( $W_{\text{пн}} = \text{const}$ ) и со снижением производительности уменьшается геометрическая степень сжатия  $\varepsilon_{\text{гн}} = W_{\text{пн}}/W_{\text{н}}$ . Это приводит к уменьшению давления внутреннего сжатия  $p_{\text{в}}$  и к возрастанию потерь работы компрессора, связанных с внешним дожатием пара хладагента до давления нагнетания  $p_{\text{н}}$ .

Существует несколько конструктивных схем регулятора.

*Первая конструктивная схема регулятора* — это регулятор, состоящий из одного золотника, у которого при полной производительности цилиндрическая и торцевая части ОН соответствуют одинаковой начальной геометрической степени сжатия  $\varepsilon_{\text{г}}$ .

Некоторые зарубежные фирмы, такие как «Hitachi», «Frick», «Sabroe» разработали конструкции винтовых компрессоров с двумя золотниками, позволяющими осуществлять регулирование  $\varepsilon_{\text{г}}$  при полной производительности, а также одновременное регулирование  $\varepsilon_{\text{г}}$  и производительности [2]. Эта конструкция — *вторая конструктивная схема регулятора*. Золотники имеют возможность отдельного или совместного перемещения вдоль винтов. На одном золотнике выполнена цилиндрическая часть окна нагнетания, которая обеспечивает геометрическую степень сжатия  $\varepsilon_{\text{г}} = 2,6$ , и торцевая часть ОН, которая обеспечивает  $\varepsilon_{\text{г}} = 4,0$  при полной производительности. Кроме этого конструкция регулятора позволяет осуществить два варианта регулирования производительности

при совместном или раздельном перемещении золотников.

Изменять положение торцевых кромок окна нагнетания можно поворотными заслонками, изменяя тем самым объем парной полости  $W_{ni}$  в момент ее соединения с ОН. Возможно и одновременное изменение торцевых кромок ОН заслонками, а цилиндрических — золотником. Это *третья конструктивная схема регулятора* [3].

Поворот заслонок регулятора можно осуществить независимо от осевого перемещения золотника. При такой конструкции регулятора возможно не только эффективное изменение величины  $\epsilon_{ri}$  при полной производительности, но и ее регулирование при уменьшении производительности по определенному закону. Это *четвертая конструктивная схема регулятора*.

При регулировании производительности ВКМ часть пара хладагента из ПП перепускается на всасывание через перепускное окно (ПО), образованное кромками гребней зубьев парной полости винтов и отсечными кромками золотника. Для увеличения верхней границы регулирования производительности и уменьшения потерь при перепуске пара на всасывание отсечные кромки золотника могут быть выполнены под углами наклона, равными углам наклона гребней соответствующих винтов [4].

На рис. 1 приведены зависимости изменения площадей: цилиндрической  $F_{ц}$ , торцевой  $F_T$  части окна нагнетания и суммарной площади окна нагнетания  $F_{он}$  от относительной объемной производительности  $V_{Ti}/V_T$  при различных схемах регулятора для винтового компрессора ВХ-130 [5].

При регулировании по второму варианту конструктивной схемы регулятора линия  $e-f$  соответствует изменению  $\epsilon_{ri}$  с сохранением полной производительности компрессора.

В этом варианте в случае регулирования производительности одним золотником изменение  $\epsilon_{ri}$  происходит по линии  $b-d-c$  при совпадении кромки отсечной кромки золотника (ОК) и торца всасывания компрессора (ТВ) и по линии  $b'-d'-c$  при смещении ОК в сторону от ТВ. При регулировании производительности двумя золотниками, после достижения максимального значения  $\epsilon_r = 4$  (точка  $e$ ) изменение  $\epsilon_{ri}$  происходит по линии  $e-c$  в случае выполнения ОК по [4], или по линии  $g-c$  при совпадении ОК и ТВ компрессора, или по линии  $g'-c$  при смещении ОК.

В винтовом компрессоре, имеющем только один золотник и одинаковую по торцевой и по цилиндрической части ОН начальную геометрическую степень сжатия  $\epsilon_r = 2,6$ , с уменьшением производительности изменение  $\epsilon_{ri}$  происходит по линии  $b_1-a$  (при регулировании от торца всасывания) и по линии  $b'_1-a$  (при регулировании от момента достижения максимального объема). Начальное падение относительной производительности остается таким же, как и при регулировании одним золотником по второй конструктивной схеме регулятора.

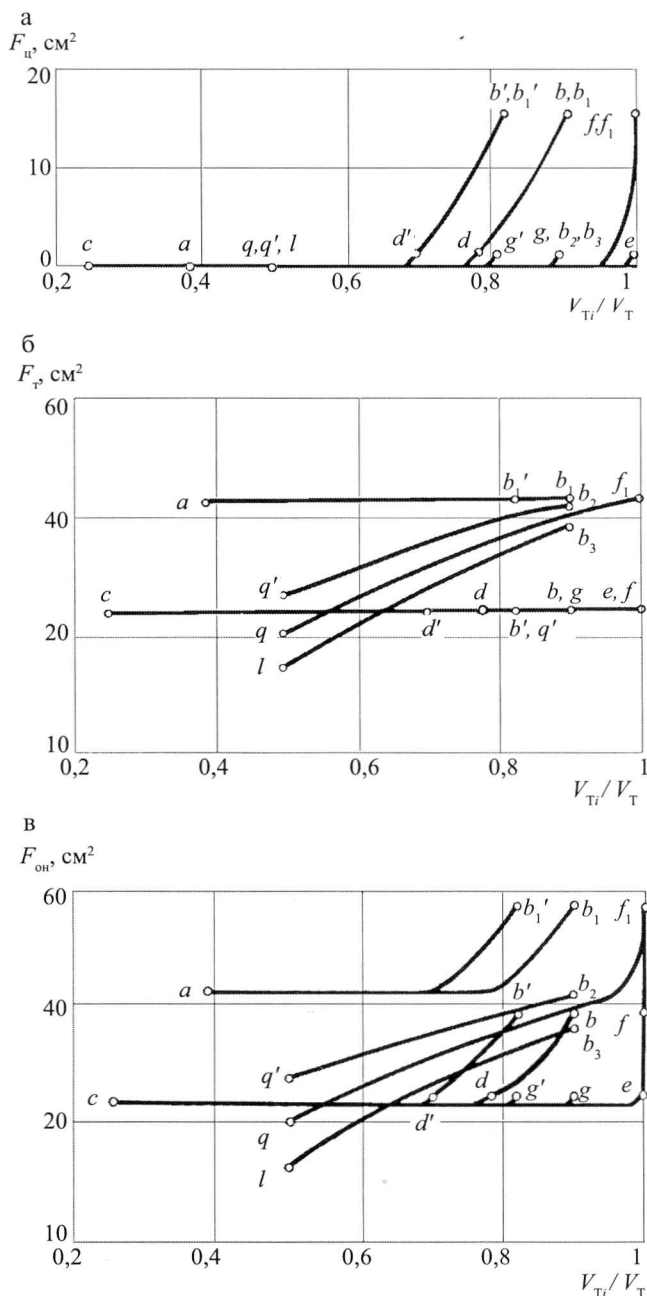


Рис. 1. Зависимость изменения цилиндрической (а), торцевой (б) и суммарной (в) площади окна нагнетания от относительной производительности винтового компрессора при различных схемах регулятора

Если начальная геометрическая степень сжатия по торцевой и цилиндрической части ОН равна 4, то изменение  $\epsilon_{ri}$  с уменьшением производительности происходит по линиям  $e-c$ ,  $g-c$  и  $g'-c$  при выполнении ОК золотника по [4], при ее совпадении с торцом всасывания и при ее сдвиге, соответственно.

Если золотник имеет начальную геометрическую степень сжатия по торцевой части  $\epsilon_r = 4$ , а по цилиндрической  $\epsilon_r = 2,6$ , то за счет изменения последней возможно регулирование  $\epsilon_{ri}$  при полной производительности по линии  $f-e$ .

После достижения максимального значения  $\epsilon_{ri} = 4$ , изменение  $\epsilon_{ri}$  происходит по линии  $e-c$ ,  $g-c$  или  $g'-c$  в зависимости от выполнения ОК. Таким образом, этот вариант регулирования совпада-

ет с регулированием двумя золотниками по второй конструктивной схеме регулятора.

При выполнении регулятора по третьей конструктивной схеме, возможно регулирование  $\varepsilon_{r1}$  при полной производительности как за счет цилиндрической части ОН, так и за счет выполненной на поворотных заслонках торцевой части. Этот вариант регулирования также совпадает с регулированием двумя золотниками по второй конструктивной схеме регулятора, но изменение  $\varepsilon_{r1}$  при полной производительности происходит по линии  $f_1-e$  при большем значении площади ОН.

При четвертой конструктивной схеме регулятора отсутствует механическая связь между перемещением золотника и поворотом заслонок, что позволяет регулировать  $\varepsilon_{r1}$  при полной производительности по линии  $f_1-e$  и получать различные законы изменения  $\varepsilon_{r1}$  при уменьшении производительности. Например, при начальном значении  $\varepsilon_r = 2,6$ , по линиям  $b_2-q'$  или  $b_3-l$  при совпадении отсечной кромки золотника с торцом всасывания или по линии  $f_1-q$  при выполнении отсечной кромки по [4].

На кафедре холодильных машин и низкпотенциальной энергетики ИХиБТ проведены испытания холодильного винтового компрессора ВХ-130 на хладагенте R22 по внешним характеристикам и методом индицирования. По результатам испытаний получены зависимости эффективного КПД  $\eta_e$  от внешней степени повышения давления  $\pi_n$  и геометрической степени сжатия  $\varepsilon_{r1}$  для различных конструктивных схем регуляторов производительности при относительной производительности  $V_{r1}/V_T$  равной 1; 0,75 и 0,5.

Для детального исследования рабочего процесса ВКМ при полной и частичной производительности проведено индицирование компрессора ВХ-130.

Индицирование показало, что снижение эффективности работы ВКМ при уменьшении производительности в случае ее регулирования одним золотником вызвано главным образом двумя основными причинами. Во-первых, при уменьшении производительности уменьшается и  $\varepsilon_{r1}$ , что приводит к возрастанию потерь работы компрессора при недожати. Во-вторых, при уменьшении производительности имеют место значительные потери работы при выталкивании компримируемой среды через перепускное окно в камеру всасывания.

Сравнивая зависимости изменения  $\eta_e$  от  $V_{r1}/V_T$  при регулировании производительности одним золотником (рис. 2, а) и поворотными заслонками с золотником, кромки перепускного окна которого выполнены по [4] (рис. 2, б) при  $\pi_n = 2,5$  и различных температурах кипения, можно сделать вывод, что во втором случае величины эффективного КПД компрессора при уменьшении произ-

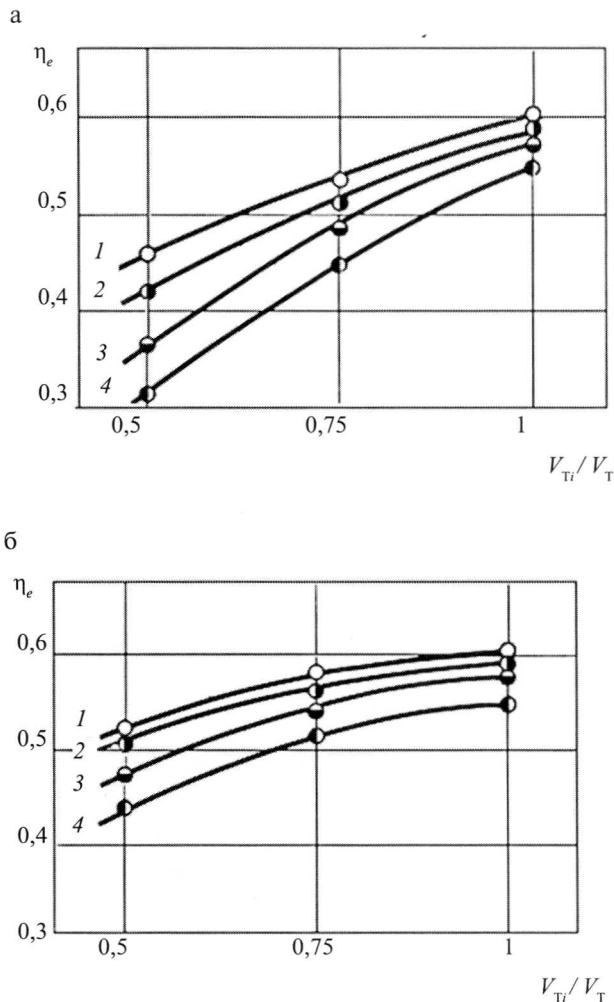


Рис. 2. Зависимость эффективного КПД ВКМ  $\eta_e$  от относительной объемной производительности  $V_{r1}/V_T$ : 1 — при  $t_0 = -10^\circ\text{C}$ ; 2 — при  $t_0 = -20^\circ\text{C}$ ; 3 — при  $t_0 = -30^\circ\text{C}$ ; 4 — при  $t_0 = -40^\circ\text{C}$

водительности увеличиваются на 4–7 % и 14–37 % при относительной производительности 0,75 и 0,5, соответственно.

### Список литературы

1. Холодильные машины/Под ред. Л. С. Тимофеевского. — СПб.: Политехника, 2006.
2. Нурждин А. А., Васильев В. И. Регулирование производительности винтовых холодильных компрессоров. — М.: ЦИНТИхимнефтемаш, 1988.
3. А. с. 1714200 СССР, МКИ F 04 C 18/16. Винтовой компрессор/А. Н. Носков, В. И. Ведайко, В. И. Пекарев, А. П. Алексеев. 1992. Бюл. № 7.
4. А. с. 1691558 СССР, МКИ F 04 C 18/16. Винтовой компрессор/А. Н. Носков, А. П. Алексеев, В. И. Пекарев, В. И. Ведайко. 1991. Бюл. № 42.
5. Холодильные компрессоры/А. В. Быков, Э. М. Бежанишвили, И. М. Калнинь и др./Под ред. А. В. Быкова. — М.: Колос, 1992.