

УДК 621.56

## Влияние различных факторов на эффективность винтового компрессора при впрыскивании жидкости

*Д-р техн. наук* **Пекарев В. И.** refmach@mail.ru

*Университет ИТМО*

*191002, Санкт-Петербург, ул. Ломоносова, 9*

*В статье приводятся результаты теоретического эксперимента по определению точки впрыскивания жидкого рабочего вещества в винтовой компрессор при помощи математической модели. Расчеты показали, что наиболее эффективно располагать точку впрыска ближе к окну нагнетания.*

*Для выяснения комплексного влияния впрыска жидкости, была поставлена задача проследить, как зависит работа сжатия при различных режимах работы компрессора. Количество жидкости при этом во всех случаях одинаковое. Впрыск происходил однократно и мгновенно, через одну точку на углах поворота ведущего вала, относительно момента закрытия окна всасывания. Эксперимент проводился для температур кипения 0, -10, -20, -30°C и температур конденсации 25 и 40°C. Расчеты показали, что во всех режимах производилось увеличение работы сжатия от 2 до 8%. Линии изменения процента увеличения работы явно показывают сокращение работы сжатия при расположении места впрыска ближе к окну нагнетания. Эксперимент подтвердил, что работа сжатия компрессор увеличивается при впрыскивании жидкого рабочего вещества, однако такой способ охлаждения компрессора может рассматриваться при недостатке охлаждающей воды.*

*В работе также рассматривается влияние свойств рабочих веществ на эффективность компрессора при впрыскивании жидкости.*

*Ключевые слова:* винтовой компрессор, впрыск жидкости, оптимальная точка, эффективность, способ охлаждения.

---

## The influence of various factors on the efficiency of screw compressor with liquid injection

*D.Sc.* **Pekarev V.I.** refmach@mail.ru

*ITMO University*

*191002, Russia, St. Petersburg, Lomonosov str., 9*

*The article presents the results of a theoretical experiment to determine the point of injection of the liquid working substance in the screw compressor using a mathematical model. Calculations have shown that the most effective positioning the injection point closer to a window injection.*

*To determine the combined effect of liquid injection, was tasked to see how dependent compression work under different operating conditions of the compressor. The amount of liquid while in all cases the same. Injection occurred singly and instantaneously through one point on the rotation angles of the drive shaft relative to the closing of the suction box. The experiment was performed for Boiling 0, -10, -20, -30 ° C and condensing*

*temperatures of 25 and 40 ° C. Calculations showed that in all modes of compression produces an increase from 2 to 8 %. Line changes percent increase work clearly shows the reduction of the compression work at the location of injection sites closer to the window injection . Experiments have confirmed that the work of the compressor is increased by injecting the liquid working substance , but this method of cooling of the compressor can be treated with a deficiency of cooling water.*

*The paper also examines the impact of the working properties of substances on the efficiency of the compressor in the injection fluid.*

**Key words:** a screw compressor, liquid injection, the optimal point of efficiency, a method of cooling.

---

На энергетическую эффективность винтового компрессора оказывает существенное влияние впрыскивание в парную полость охлаждающей жидкости – жидкого рабочего вещества, взятого из конденсатора [1].

Определение оптимальной точки впрыскивания жидкости предлагается провести в результате теоретического эксперимента при помощи математической модели, представленной в работе [2].

Рассмотрим четыре точки впрыскивания жидкости, в зависимости от угла поворота ведущего винта, относительно момента закрытия окна всасывания: 45° – точка А, 90° – точка Б, 135° – точка В и 180° – точка Г.

Результаты эксперимента при температуре конденсации 25°, 35° и 45° представлены на рис. 1. Из рисунка видно, что характер и угол наклона линий для различных режимов работы в точках впрыскивания Г и Б совпадает, но во всех случаях относительное увеличение работы сжатия в точке «Г» значительно меньше, чем при впрыскивании в точке «Б», причем разница составляет около 4%.

Сокращение работы сжатия при впрыске ближе к окну нагнетания объясняется тем, что основной отвод теплоты от сжимаемого газа происходит при смешивании газа в полости и пара, образующегося при дросселировании впрыскиваемой жидкости до давления в компрессоре. Теплоты к каплям, образующимся в полости при впрыске жидкости, отводится незначительное количество, а для сжатия пара образовавшегося при дросселировании впрыскиваемой жидкости затрачивается много. Этим и объясняется сокращение работы при впрыске жидкости в полость в точке "Г" т.к. при впрыске ближе к окну нагнетания сокращается процесс сжатия "лишнего" пара.

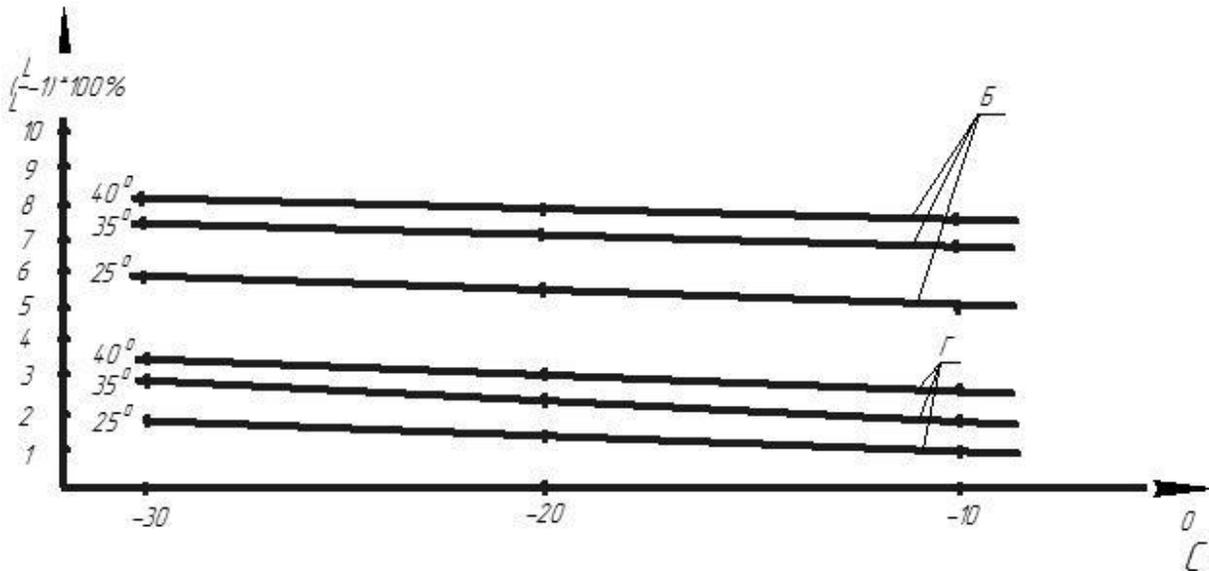


Рис. 1. Влияние впрыска жидкого хладагента в точках «Б» и «Г» на увеличение работы

При несомненном преимуществе впрыска жидкости ближе к окну нагнетания необходимо отметить, что располагать место впрыска слишком близко к окну нагнетания нецелесообразно по следующим причинам: т.к. охлаждение газа в полости происходит при смешивании с паром, а при дросселировании до высоких давлений в полости образуется меньше пара (из-за разной степени сухости пара), то для достижения требуемой температуры в полости необходимо впрыснуть большое количество жидкости. Получается, что через конденсатор проходит больше хладагента, чем через испаритель. При большом количестве жидкости, подаваемой на впрыск, увеличатся и станут существенными затраты на перенос жидкости оседающей на стенках полости от точки впрыска до окна нагнетания. Хотя в данной математической модели делается допущение о незначительности перетечек, что при данных степенях повышения давления и диапазоне температур кипения, конденсации оправдано, в реальности из-за впрыска жидкого хладагента при высоких давлениях перетечки существенно возрастают и нельзя не учитывать этого влияния. Резкое возрастание давления в полости из-за впрыска жидкого хладагента приводит к существенной разнице давлений в данной и последующей полостях. Это скажется на коэффициенте подачи компрессора, перетечки придется учитывать при расчете процесса и это влияние на процесс может оказаться значительным.

Для выяснения комплексного влияния впрыска через разные точки на относительное увеличение работы сжатия при различных режимах была проведена вторая часть эксперимента. При этом использовалась та же математическая модель и тот же компрессор. Ставилась задача проследить влияние на работу сжатия впрыска в разные моменты и при разных режимах. Количество жидкости при этом подавалось во всех случаях одинаковое. Впрыск в процессе сжатия производил однократно и мгновенно, через одну точку.

Впрыск производился на углах поворота ведущего вала, относительно момента закрытия окна всасывания

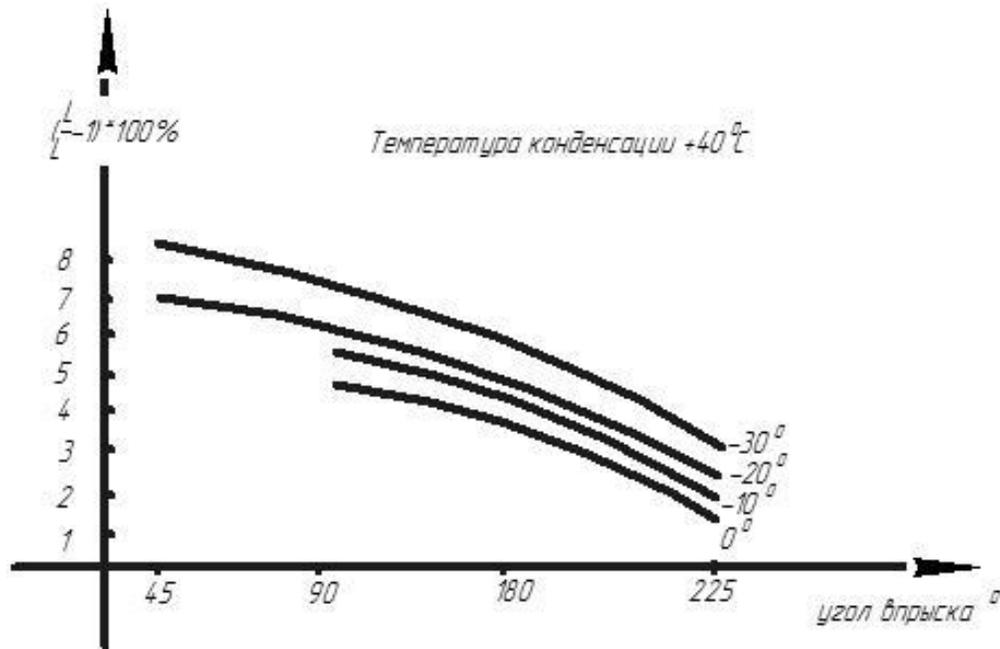


Рис. 2. Влияние впрыска жидкого хладагента на увеличение работы сжатия от точки впрыска (температура конденсации +40°C)

Эксперимент проводился для температур кипения 0, -10, -20 и -30° С. Результаты эксперимента – зависимость процента увеличения работы сжатия при работе компрессора с впрыском жидкости от места впрыска и различных температур кипения – представлены на двух графиках 2 и 3 для температуры конденсации в 40° и 25°С.

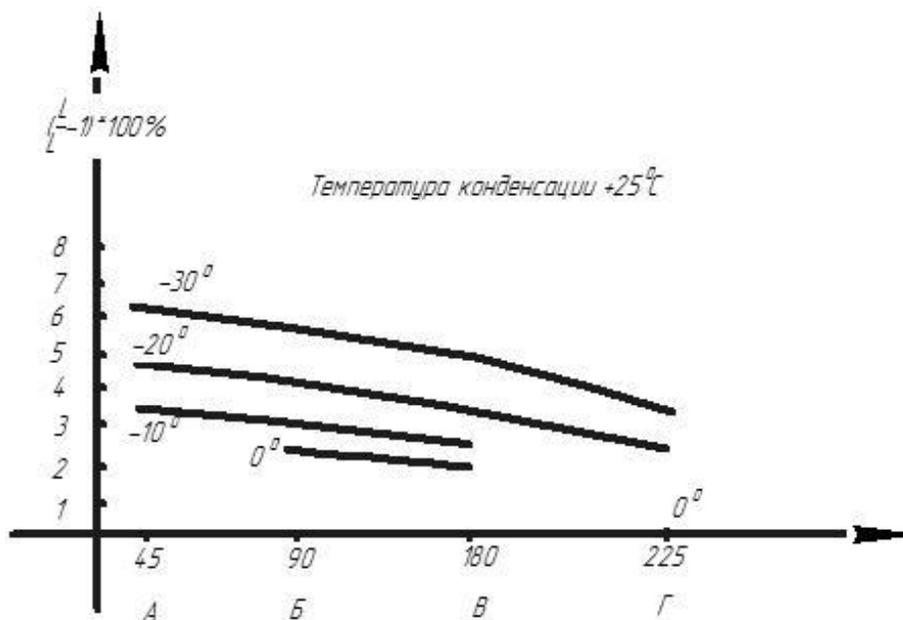


Рис. 3. Влияние впрыска жидкого хладагента на увеличение работы сжатия от точки впрыска (температура конденсации +25°C)

Как видно из графиков процент увеличения работы сжатия во всех режимах лежит в пределах от 2 до 8%. Линии изменения процента увеличения работы явно показывают сокращение работы сжатия при расположении места впрыска ближе к окну нагнетания. Линии изменения относительной работы на графиках приведены не для всех точек, это объясняется тем, что при впрыске охлаждающей жидкости близко к окну всасывания процесс сжатия заходил в область влажного пара и его расчет становился, невозможен. Сокращение работы в отдельных режимах достигают 3...4% при изменении места впрыска от точки «А» до точки «Г». Еще можно отметить, что чем ниже степень повышения давления в процессе работы холодильной машины, тем меньше относительная работа сжатия. Эксперимент еще раз подтвердил, что затраты на сжатие пара, образующего при впрыске, значительно перекрывают выигрыш от охлаждения сжимаемого газа и работа винтового компрессора с впрыском жидкого хладагента ни в одном режиме не становится меньше работы винтового компрессора без впрыска охлаждающей жидкости. Однако такой способ охлаждения винтового компрессора может рассматриваться при охлаждении ветви.

Для выяснения влияния свойств рабочих веществ на процессы с впрыском жидкости были проведены эксперименты с использованием различных хладагентов. Цель расчетов оценить изменение относительного увеличения работы винтового компрессора, в схемах с подачей жидкого рабочего вещества на впрыск в рабочую полость для охлаждения газа в процессе сжатия, при различных рабочих веществах. В процессе впрыска ставилась задача достичь температуры конца сжатия, позволяющей отказаться от маслоохладителя в схеме холодильной машины. Расчет количества жидкости, подаваемой на впрыск, велся из этих предпосылок.

Эксперимент проводился с рабочими веществами R12, R22 и R717. В качестве математической модели использовалась модель, описанная в [2]. В качестве объекта эксперимента был компрессор наружный диаметр роторов 160 мм, относительная длина нарезной части роторов 1, угол закрутки зубьев ведущего ротора  $304^\circ$ , соотношение числа зубьев 4:6, профиль зубьев асимметричный.

Эксперимент проводился яда температуры конденсации в  $30^\circ\text{C}$  и различных температур кипения от 0 до  $-20^\circ\text{C}$ .

Результаты эксперимента представлены на рис.4. На графике приведены три зависимости отношения работ винтовых компрессоров от температуры кипения рабочего вещества. Для иллюстрации эффективности различных рабочих веществ в процессах сжатия с впрыском жидкого хладагента выбрано отношение работ винтового компрессора с впрыском жидкости и без впрыска, т.к. нам важно оценить эффективность процесса сжатия, а не эффективность данного рабочего вещества применительно к рассматриваемым циклам.

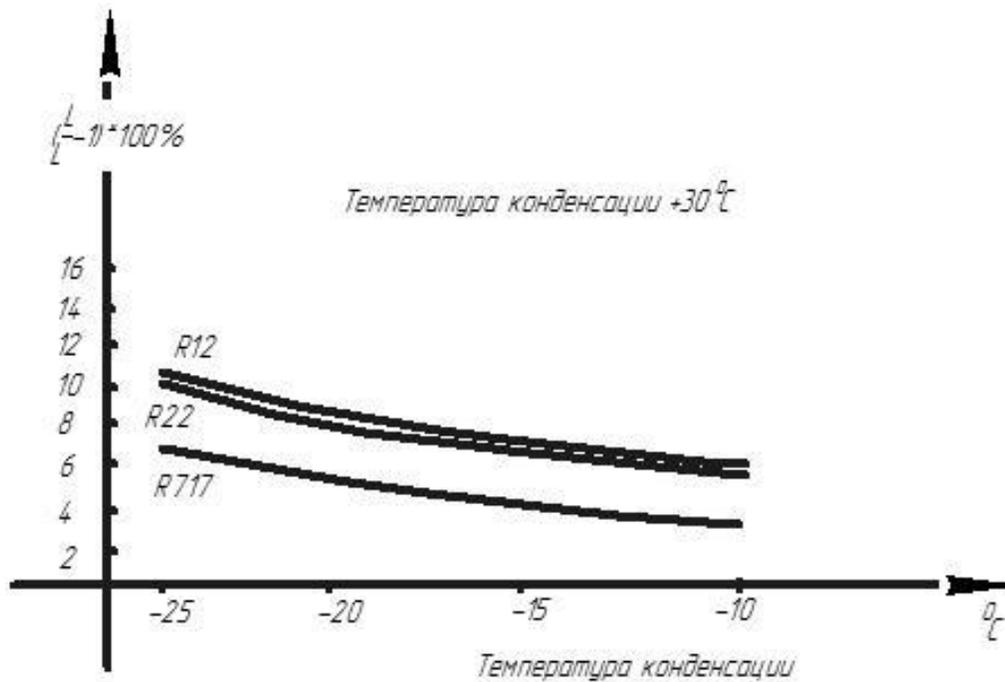


Рис. 4. Отношение работы винтового компрессора, с впрыском жидкого хладагента к работе винтового компрессора без впрыска, при охлаждении сжимаемого газа различными рабочими веществами

На графике видно расхождение кривых, но это расхождение незначительно и характер процесса для всех рабочих веществ одинаковый. Это обусловлено особенностями расчетной системы. Данная расчетная схема в состоянии учесть только различную теплоотдачу от капель различных веществ и различную теплоту I перехода в момент вскипания капель в момент впрыска, а также количество пара, образующееся при дросселировании данного рабочего вещества до давления в полости. Для того, чтобы четко определить преимущество одного рабочего вещества над другим, в процессах с впрыском жидкости, необходимо учитывать также разницу в диаметре и количестве капель жидкости, из-за различных коэффициентов вязкости, и испарение капель в процессе движения в полости. Но для всех этих процессов не существует стопроцентно верных методик расчета, и выяснить влияние совокупности этих факторов может только полновесный эксперимент.

На основании этого расчета и сообразуясь с эмпирическими наблюдениями, можно порекомендовать использование впрыска рабочего вещества в полость для охлаждения для машин, работающих на рабочих веществах с высокой теплотой парообразования, таких, например как аммиак. Это способствует более интенсивному отводу тепла при вскипании жидкости с образованием малого количества пара, который будет ухудшать энергетические характеристики компрессора.

## Список литературы

1. Пекарев В.И. «Исследование работы винтового компрессора в режимах паровых холодильных машин» – Диссертация на соиск. ученой степени канд. наук. – 1969г.
2. Пекарев В.И., Матвеев А.А. Математическая модель винтового маслозаполненного компрессора с впрыскиванием жидкого рабочего / Вестник Международной академии холода. 2013. № 3. С. 11-13.