

# 02, февраль 2016

УДК 621.51, 621.52

### **Исследование характеристик побудителя расхода для переносного газоанализатора**

***Ефимов П.Н.** студент*

*Россия, 105005, г. Москва, МГТУ им. Н.Э. Баумана,  
кафедра «Вакуумная и компрессорная техника»*

***Соковых В.С.** студент*

*Россия, 105005, г. Москва, МГТУ им. Н.Э. Баумана,  
кафедра «Вакуумная и компрессорная техника»*

*Научный руководитель: **Кюрджиев Ю.В.**, к.т.н., доцент  
Россия, 105005, г. Москва, МГТУ им. Н.Э. Баумана  
кафедра «Вакуумная и компрессорная техника»*

*[nkn@bmstu.ru](mailto:nkn@bmstu.ru)*

Побудитель расхода – устройство, обеспечивающее равномерную подачу заданного количества анализируемого газа на чувствительный элемент газоанализатора или газосигнализатора.

В статье рассматривается мембранный магнитоэлектрический побудитель расхода (микрокомпрессор) МКМ-7, производимый ЗАО «Эксис», поставляемый как в виде отдельного агрегата, так и в составе переносных газоанализаторов серии МАГ, ПКУ и ПКГ.

Ниже представлены технические характеристики микрокомпрессора, указываемые производителем:

1. Производительность: от 2 до 10 л/час (не менее)
2. Питание: напряжение от 3 до 10 В, меандр частотой 400 Гц
3. Ток потребления: не менее 30 мА при напряжении питания 5 В
4. Габаритные размеры: 25\*25\*18 мм
5. Масса: 29 г.

Также производитель представляет зависимость создаваемого давления на выходе компрессора от расхода при напряжении питания 5 В, зависимость расхода от частоты управляющего напряжения (напряжение 5 В), зависимость расхода от управляющего

напряжения (при частоте управляющего напряжения 490 Гц) и зависимость создаваемого разрежения на входе компрессора от расхода (напряжение 5 В).

Производителем не представлены данные о зависимости максимального и минимального давлений в режимах компрессора и вакуумного насоса в зависимости от частоты управляющего напряжения. Зависимости расхода от давления сжатия и разрежения представлены только для напряжения питания 5 В.

Для использования МКМ-7 в составе заново проектируемых переносных газоанализаторов, газосигнализаторов и иных систем необходимы дополнительные данные помимо указанных производителем, а именно: зависимость максимальных перепадов давления, создаваемых МКМ-7 в режимах компрессора и вакуумного насоса, от частоты управляющего напряжения, зависимость расхода, создаваемого МКМ-7 в режимах компрессора и вакуумного насоса, от перепада давления при различных частотах управляющего напряжения. В данной статье представлены результаты экспериментального определения описанных выше характеристик.

Далее рассматривается конструкция МКМ-7:

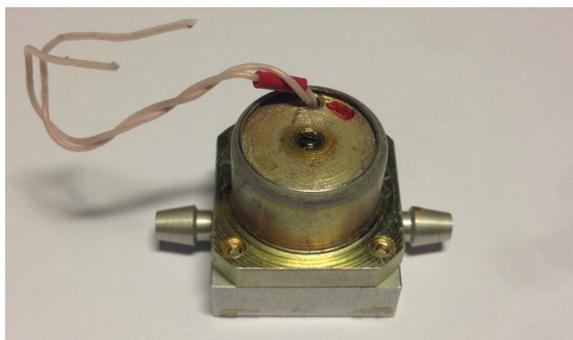


Рис. 1. МКМ-7 в сборе

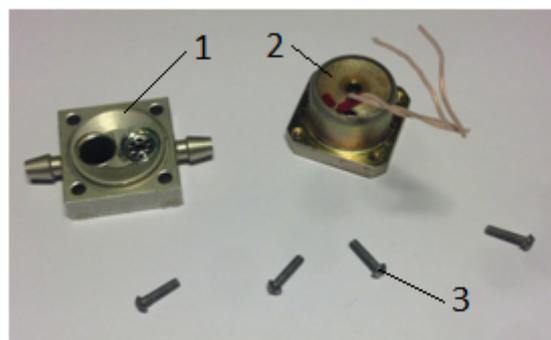


Рис. 2. МКМ-7 разобранный

На рис. 1 изображён микрокомпрессор МКМ-7 в собранном виде. На рис. 2 представлен микрокомпрессор МКМ-7 в разобранном виде. Он состоит из основания 1 и корпус катушки 2. Корпус катушки и основание соединяются с помощью четырёх винтов 3.

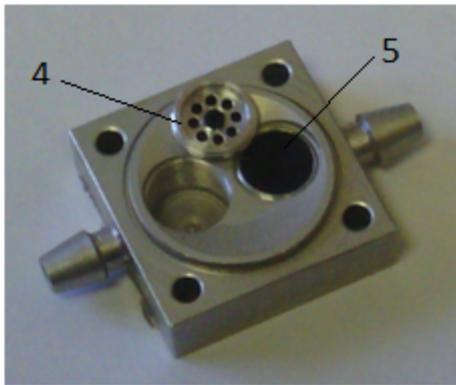


Рис. 3. Основание и клапаны

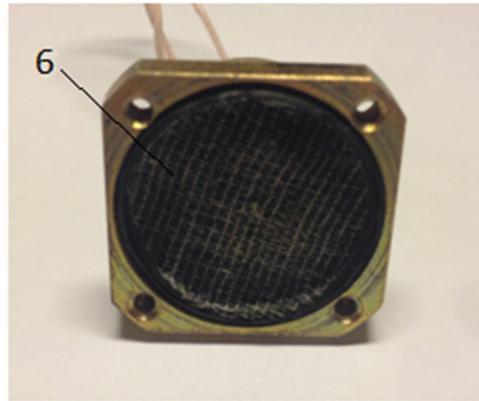


Рис. 4. Мембрана

На рис. 3 показано основание, на котором расположены штуцеры для присоединения патрубков всасывания и самодействующие грибовидные клапаны 5, установленные в ввертных сёдлах 4. На рис. 4 представлен корпус катушки, на котором установлена мембрана 6, катушка с подвижным сердечником, к которой крепится мембрана, пружина, обеспечивающая возвратное движение сердечника и электрические провода для подключения к источнику питания.

В качестве питания МКМ-7 на катушку подаётся импульсный электрический сигнал прямоугольной формы – меандр. Меандр обладает характеристиками: частота сигнала, амплитуда сигнала, заполнение единичного цикла.

Ниже на рис. 5 и рис. 6 представлены визуальное представления единичного цикла электрического сигнала при минимальной и максимальной частоте сигнала, в данном опыте соответственно 10 Гц и 490 Гц.

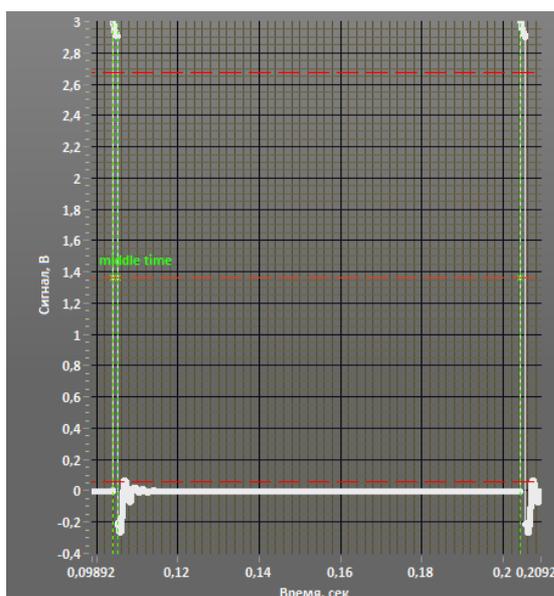


Рис. 5. Единичный цикл (10 Гц)

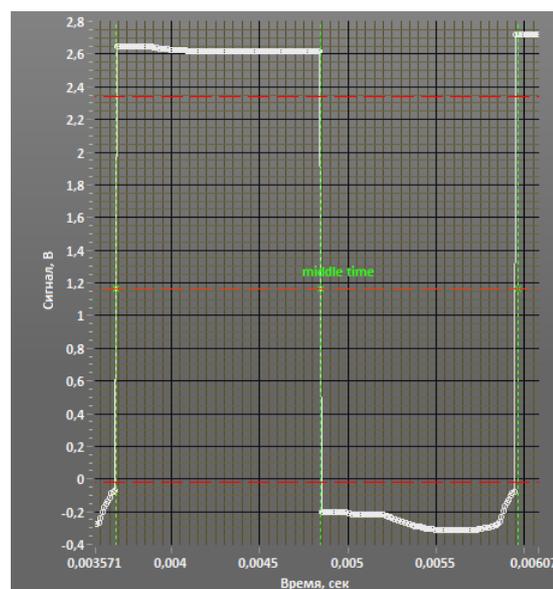


Рис. 6. Единичный цикл (490 Гц)

Важной особенностью МКМ-7 является взаимосвязь меандра с движением мембраны. Частота меандра соответствует частоте колебания мембраны. Заполнение единичного цикла соответствует поступательному движению сердечника, а значит, движению мембраны в процессе сжатия газа в рабочей полости. Амплитуда сигнала соответствует амплитуде движения мембраны. Частота, заполнение и амплитуда сигнала связаны между собой, поэтому изменение одной составляющей сигнала ведёт к изменению остальных.

Таким образом, изменение меандра влечёт за собой изменение движения мембраны, а соответственно, влияет на рабочие характеристики МКМ-7.

Далее в статье рассматривается зависимость рабочих характеристик МКМ-7 от изменения электрического сигнала (меандра). Амплитуда сигнала (напряжение) в ходе эксперимента для упрощения анализа полученных данных составляла 3 В и не изменялась.

Пневматическая схема испытательного стенда представлена на рис. 7. [1]

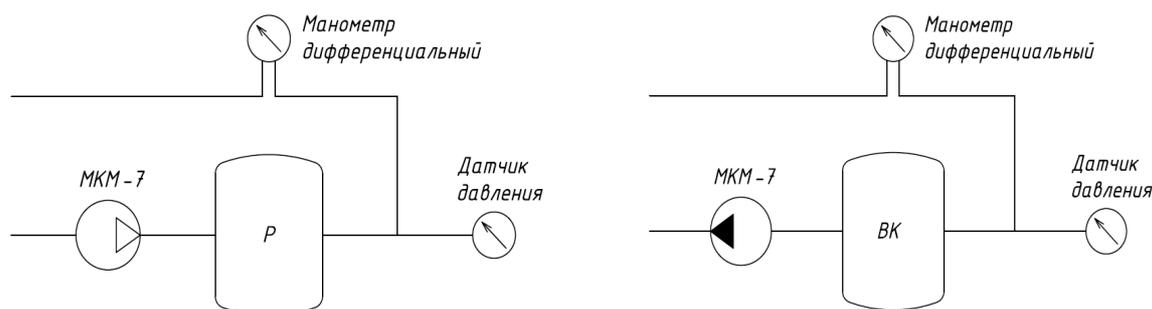


Рис. 7. Пневматическая схема испытательного стенда для режима компрессора (слева) и режима вакуумного насоса (справа)

В ходе эксперимента давление определялось аналоговым датчиком давления Honeywell 40PC001BA. Дифференциальный манометр ММН-2400 использовался для контроля достижения предельных давлений и контроля показания датчика давления. Погрешность показания не превышала 2 Па. Сигналы с датчиков давления регистрировались с помощью аналогово-цифрового преобразователя Е1-140 с частотой опроса до 100 кГц на канал.

На рис. 8 и рис. 9 представлены зависимости максимальных перепадов давления от частоты меандра, создаваемых МКМ-7 в режиме компрессора и вакуумного насоса.

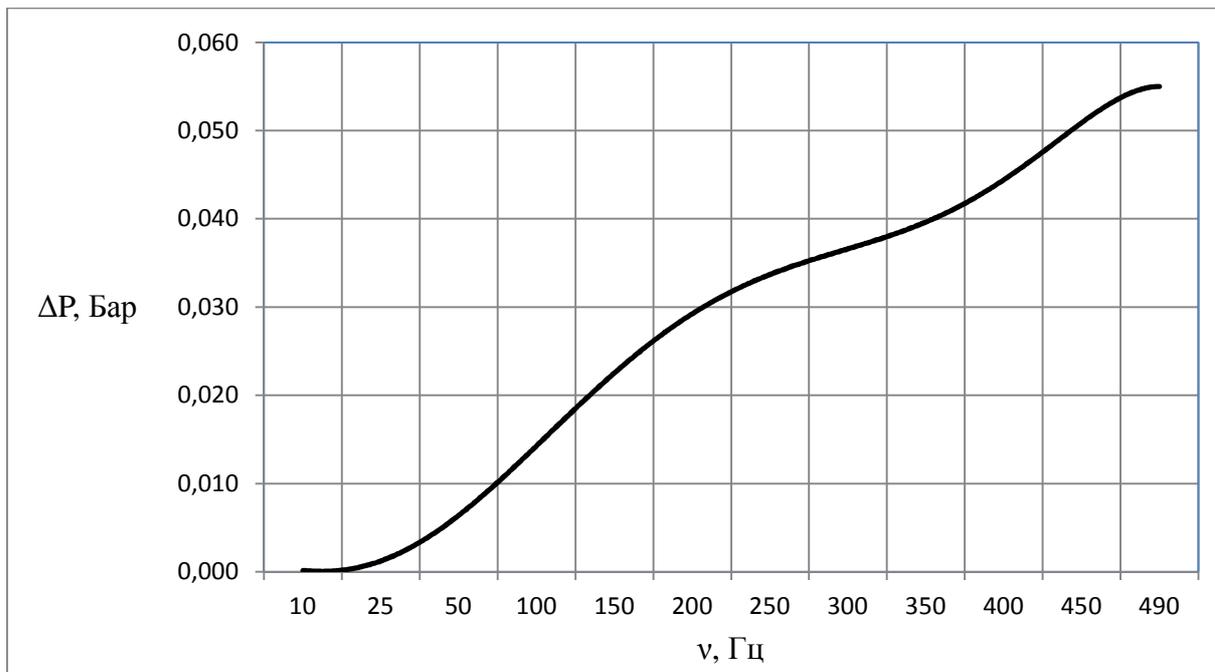


Рис. 8. Зависимость максимального перепада относительно атмосферного давления на выходе из МКМ-7 в режиме компрессора от частоты управляющего напряжения (напряжение 3 В)

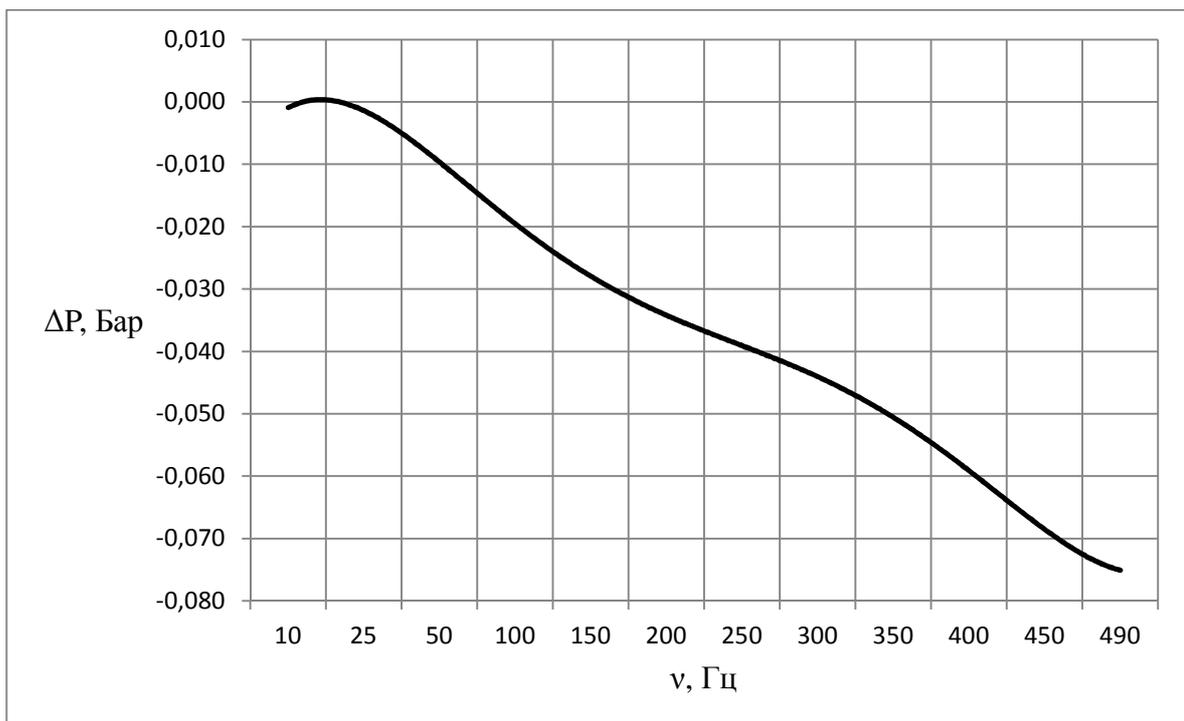


Рис. 9. Зависимость максимального перепада давления на входе в МКМ-7 в режиме вакуумного насоса от частоты управляющего напряжения (напряжение 3 В)

Из полученных графиков следует вывод, что зависимость максимального перепада давления от частоты сигнала близка к линейной и является прямо пропорциональной: с

ростом частоты сигнала растёт максимальный перепад давления, при чём перепад давления в режиме вакуумного насоса получается больше перепада давления в режиме компрессора.

Далее была определена зависимость расхода, создаваемого МКМ-7 в режимах компрессора и вакуумного насоса, от давления. Расход определялся методом постоянного объёма. Этот метод был выбран в силу того, что микрокомпрессор создаёт слишком малые расходы для целесообразного использования расходомера.

Методика определения расхода использована в соответствии с указаниями [2].

Расход газа определялся при следующих допущениях:

- газ в полости идеальный;
- объем полости постоянный;

Для этого случая массовый расход определяется по зависимости:

$$G = \frac{dm}{d\tau} = \frac{dP}{d\tau} \frac{V}{RT},$$

где  $G = \frac{dm}{d\tau}$  – массовый расход, кг/с;

$P$  – давление газа в полости, Па;

$V$  – объем полости, м<sup>3</sup>;

$k$  – показатель адиабаты газа;

$R$  – газовая постоянная газа, Дж/(кгК)

$T$  – температура газа, К.

Объёмный расход определялся путём пересчёта на условия всасывания:

$$V_e = \frac{G}{\rho},$$

где  $\rho$  – плотность воздуха на всасывании, кг / м<sup>3</sup>.

Производная давления по времени для каждого момента времени определяется из экспериментальных данных, температура принимается равной температуре окружающей среды, объём – объёму полости.

Далее на рис. 10 и рис. 11 представлены графические зависимости расхода газа при различных частотах управляющего напряжения и различных давления.

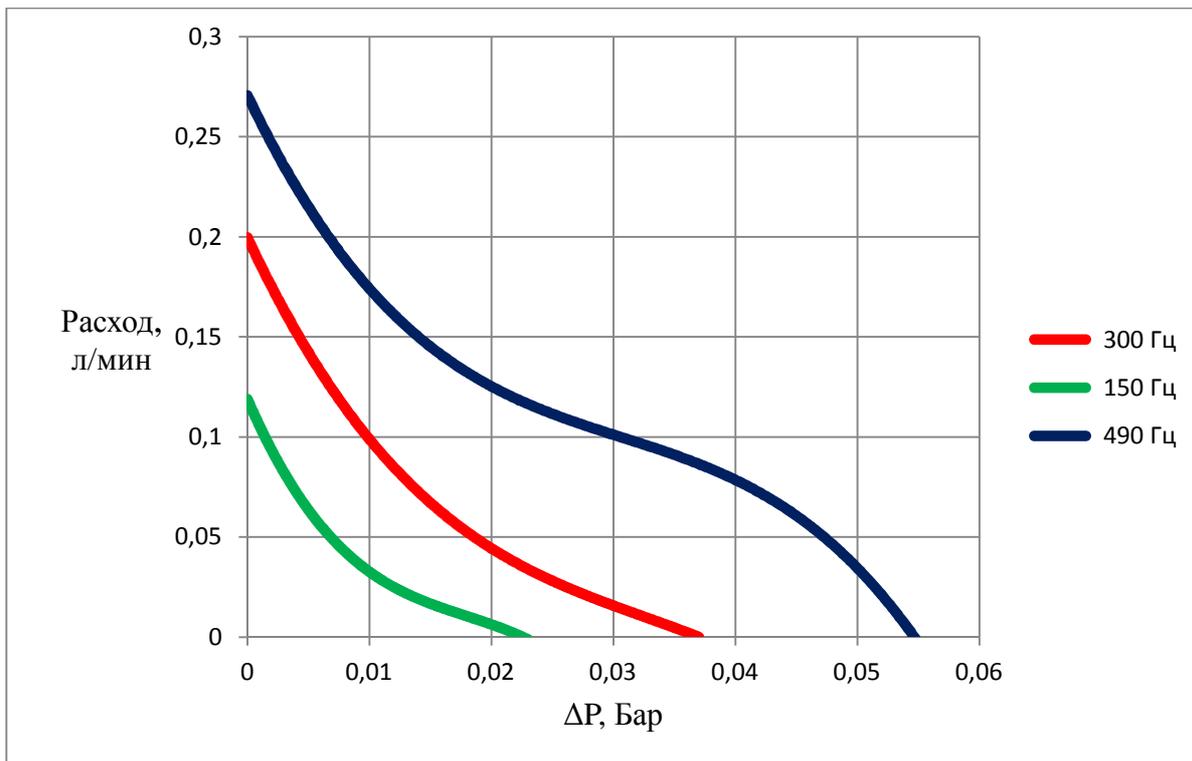


Рис. 10. Зависимость расхода от перепада давления на выходе в режиме компрессора при различных частотах управляющего напряжения

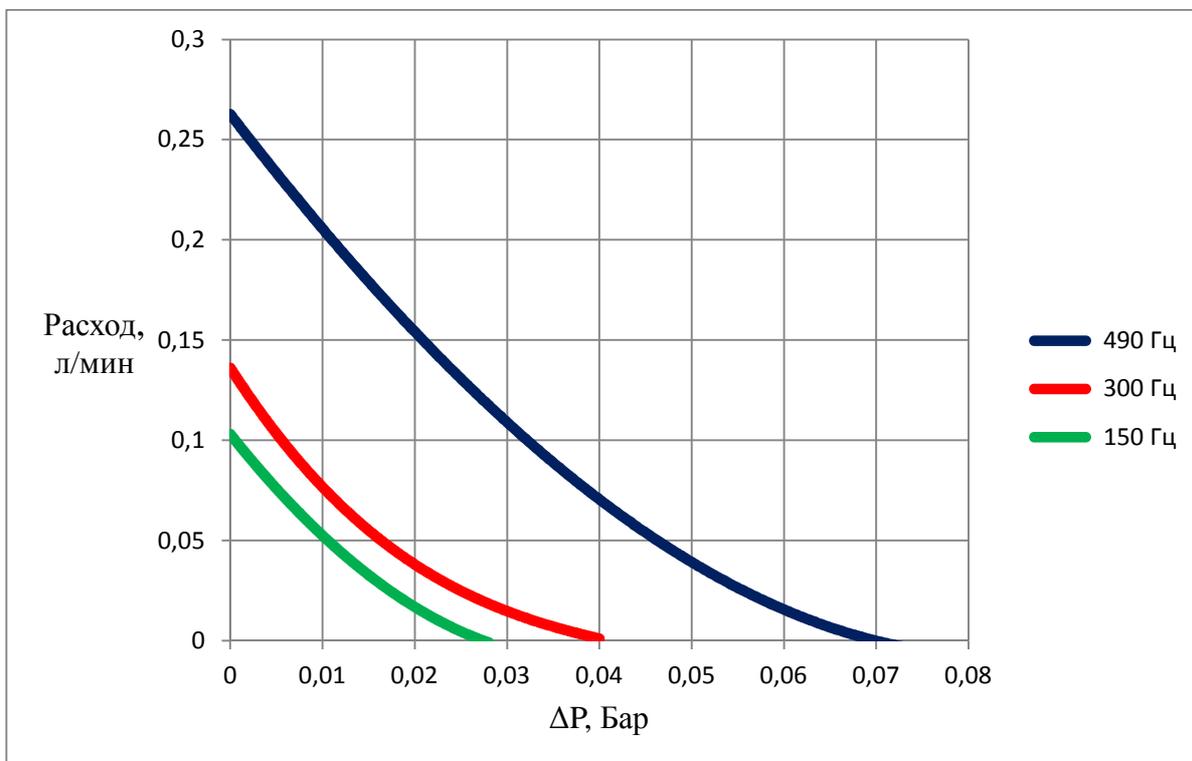


Рис.11. Зависимость расхода от давления на входе в режиме вакуумного насоса при различных частотах управляющего напряжения

Из полученных графиков следует вывод, что зависимость расхода газа от частоты меандра прямо пропорциональная, то есть с увеличением частоты меандра увеличивается расход газа.

Анализ экспериментальных данных:

1. В ходе опыта выявлено, что МКМ-7 в режиме компрессора при напряжении питания 3 В частотой 490 Гц создаёт избыточное давление в 0,057 бар. При частоте 400 Гц максимальное избыточное давление – 0,046 бар. Это значение превосходит данное производителем при частоте 400 Гц и питании 5 В (0,018 бар).

2. В режиме вакуумного насоса при напряжении питания 3 В частотой 490 Гц МКМ-7 создаёт давление разрежения 0,074 бар. При частоте 400 Гц – 0,056 бар, что так же превосходит данные производителя при той же частоте и напряжении питания 5 В (0,016 бар).

3. По данным производителя при напряжении питания 3 В микрокомпрессор создаёт расход 0,05 л/мин при частоте питания 400 Гц. В ходе эксперимента были получены значения, превышающие значения производителя, а именно:

при частоте 150 Гц в режиме компрессора расход составил 0,27 л/мин

при частоте 300 Гц в режиме компрессора расход составил 0,2 л/мин

при частоте 300 Гц в режиме компрессора расход составил 0,12 л/мин

4. Из полученных графических зависимостей расхода от создаваемого давления при различных частотах управляющего напряжения следует вывод о возможности регулирования производительности уменьшением или увеличением частоты управляющего напряжения. Также путём изменения частоты управляющего напряжения можно изменять создаваемый перепад давления.

5. Из полученных данных видно, что необходимый расход анализируемого газа (0,1 л/мин) с помощью МКМ-7 может быть достигнут при напряжении 3 В и частоте сигнала 150 Гц. Напряжение и частота ниже рекомендуемой производителем (5 В и 400 Гц). Использование МКМ-7 при пониженном управляющем напряжении и пониженной частоте сигнала положительно скажется на энергоэффективности и сроке службы мембраны [3].

Рассмотрим побудители расхода, схожие по конструкции и назначению с МКМ-7:

Побудитель расхода газа ПМЭ-10-4012 (мембранный микрокомпрессор) требует источник питания 220 В, имеет массу 5 кг и обладает большими габаритными размерами (235x145x90 мм).

Побудитель расхода ПР-7 обладает габаритными размерами 345x182x210 мм, требует питания 220 В.

В результате исследования определены преимущества, которыми обладает побудитель расхода МКМ-7 перед побудителями расхода схожего сегмента, а именно:

1. Меньшие габариты и масса
2. Меньшая потребляемая мощность, что позволяет использовать в качестве источника питания портативные батареи
3. Широкий диапазон регулирования давления и производительности МКМ-7 путём изменения амплитуды и частоты меандра на катушке.

К его недостаткам можно отнести сравнительно небольшой расход газа, однако необходимый расход для нормального функционирования чувствительных элементов газоанализаторов достигается (~0,1 л/мин). Другими особенностями МКМ-7 являются высокочастотный шум и нагрев катушки при длительной работе. Нагрев катушки не приводит к отказу побудителя расхода, однако может оказать влияние на другие элементы системы, в состав которой входит МКМ-7.

### **Заключение**

В статье рассмотрена конструкция побудителя расхода МКМ-7. Уточнены данные производителем рабочие характеристики и экспериментально получены дополнительные рабочие характеристики побудителя расхода. Рассмотрена возможность регулирования давления и производительности побудителя расхода путём изменения частоты управляющего сигнала. Выявлены преимущества МКМ-7 перед аналогами. На основании полученных экспериментальных данных могут быть сформированы рекомендации для использования МКМ-7 в составе заново проектируемых переносных газоанализаторов, газосигнализаторов и иных систем.

### **Список литературы**

- [1]. Григорьев В.А., Зорин М.В. Теплоэнергетика и теплотехника. Общие вопросы: справочник. 2-е издание переработанное. М.: Энергоатомиздат, 1987. 455 с.
- [2]. Кюрджиев Ю.В., Чернышёв А.В. Исследование процесса истечения газа из ёмкости постоянного объёма через дроссельную шайбу в окружающую среду. Методические указания для выполнения лабораторной работы по курсу «Теория и расчёт процессов в агрегатах пневматических систем». М.: МГТУ им. Н.Э.Баумана, 2013. 25 с.
- [3]. Алтухов С.М., Румянцев В.А. Мембранные компрессоры. М.: Машиностроение, 1967. 129 с.