

А.Н. ОЗЕРОВ, аспирант
В.Б. ЮФЕРОВ, д-р. техн. наук
А.Н. ПОНОМАРЕВ,
Е.В. МУФЕЛЬ,
В.Н. ИЩЕНКО

О НЕКОТОРЫХ ОСОБЕННОСТЯХ РАБОТЫ ИМПУЛЬСНЫХ ПНЕВМАТИЧЕСКИХ ИЗЛУЧАТЕЛЕЙ С ЭЛЕКТРОМАГНИТНЫМ ПРИВОДОМ

Досліджена робота імпульсного газового клапана пневмовипромінювача з урахуванням часткового розвантаження його затвора за рахунок тиску газу в його камері. Приведені залежності сили тяги електромагніту пневмовипромінювача і його ефективної сили тяги. Визначені витрати газу залежно від об'єму камери пневмовипромінювача і тиск газу в ній.

Исследована робота імпульсного газового клапана пневмоізлучателя з урахуванням частичної розгрузки його затвора за рахунок тиску газу в його камері. Приведені залежності сили тяги електромагніта пневмоізлучателя і його ефективної сили тяги. Определены расходи газу в залежності від об'єму камери пневмоізлучателя і тиску газу в ній.

Введение. Интенсивность акустического сигнала в импульсных пневмоизлучателях [1] определяется потоком сжатого газа из них, который в первом приближении определяется произведением начального давления, P_0 , в пневмокамере на проводимость U отверстия седла (или эффективного сечения затвора пневмоизлучателя $S_{эф}$). Поскольку импульсное открытие затвора в рассматриваемой конструкции пневмоизлучателя производится с помощью электромагнитного привода, то при росте величины произведения $P \cdot S_{эф}$ необходимо увеличивать и тяговое усилие электромагнита F_m , определяемое как $F_m = B^2 \cdot S_M \cdot k$, где B – напряженность магнитного поля, S_M – сечение магнитопровода, $k = \text{const}$. Для повышения тягового усилия электромагнита необходимо увеличивать как его параметры, так и параметры системы его электропитания (емкость конденсаторной батареи и напряжение на ней). При повышении напряженности магнитного поля, начиная с некоторого значения достигаются условия насыщения железа, используемого в конструкциях ярма и якоря электромагнита. Это осложняет возможности дальнейшего повышения параметров пневмоизлучателя, и для данной конструкции последнего, как бы исчерпываются возможности повышения параметров. Вместе с тем результаты проведенных исследований показали, что дальнейшее повышение

рабочих параметров возможно. Эти возможности было целесообразно изучить.

Описание эксперимента. В [2] мы исследовали работу такого пневмоизлучателя и рассматривали некоторые его энергетические характеристики. В настоящей работе мы попытались повысить рабочие параметры пневмоизлучателя без изменения габаритов и основных его элементов. Для этого был экспериментально исследован механизм частичной компенсации сил, действующих на затвор пневмоизлучателя за счет давления сжатого газа в пневмокамере, а также определено влияние емкости конденсаторной батареи на силу тяги электромагнита.

На рис. 1 представлен схематический вид пневмоизлучателя, параметры которого задаются величинами: V – объем камеры, P_0 – начальное давление в ней, U – проводимость (или эффективная площадь затвора – $S_{эф}$).

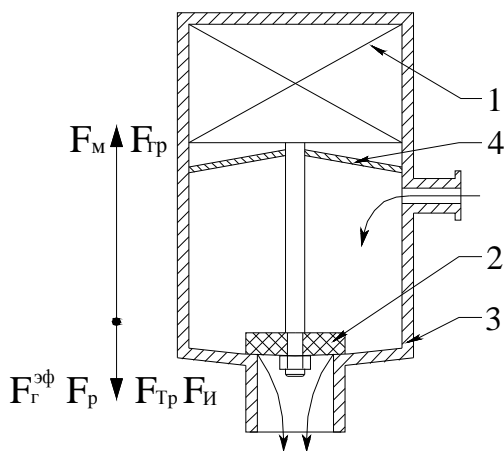
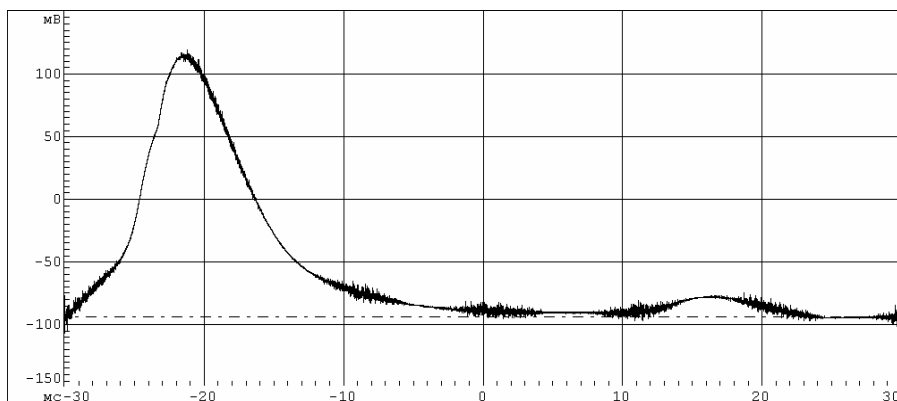


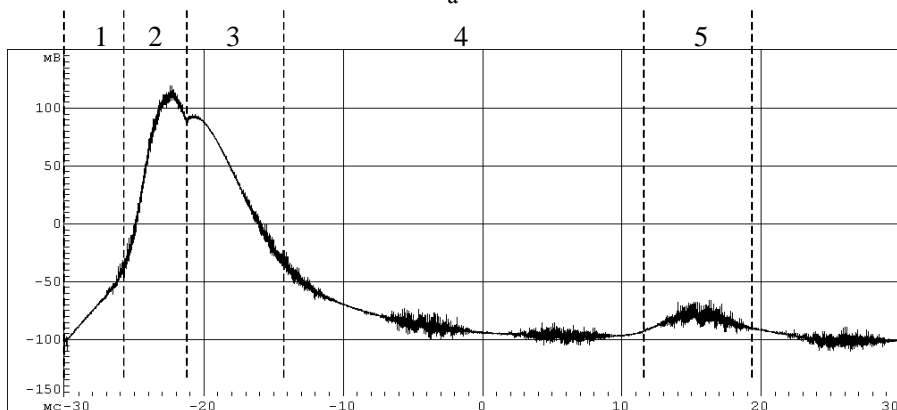
Рис. 1. Схематический вид пневмоизлучателя. 1 – электромагнит, 2 – затвор клапана, 3 – корпус, 4 – возвратная разделительная мембрана. F_M – тяговое усилие электромагнита, $F_Г^{эф}$ и $F_Г$ – эффективная сила давления газа на затвор и сила давления газа, $F_р$ – сила давления разделительной мембраны, $F_{зр}$ – давление газа на мембрану, $F_{тр}$ – силы трения и $F_{и}$ – инерциальной силы

Там же приведены направления противодействующих сил, приложенных к элементам пневмоизлучателя и определяющих открытие-закрытие его затвора, F_M , $F_Г$, $F_Г^{эф}$, $F_{и}$, $F_р$, $F_{мп}$, $F_{зр}$. Уравнение баланса сил запишется как: $F_M + F_{зр} \geq F_Г + F_р + F_{мп} + F_{и} = F_1$, где по порядку в левой части уравнения – сила тяги электромагнита и сила воздействия сжатого газа на возвратную резиновую мембрану – сила пневморазгрузки. В правой части уравнения соответственно по порядку представлены – давление газа на затвор, давление на затвор резиновой мембраны при давлении газа $P = 0$, сила трения подвижных эле-

ментов и сила инерции системы. Открытие затвора произойдет тогда, когда суммарные силы в левой части уравнения превысят сумму сил в правой части. Однако при этом нельзя удовлетвориться любым значением превышения сил. Для получения приемлемых значений амплитуд акустических колебаний существенное значение имеет и скорость открытия затвора или время разряда емкостной батареи (при ее различных номиналах) на обмотки электромагнита, с учетом переменной индуктивности системы во время токового импульса и при нагруженном сжатом газом затворе. На рис. 2 (а и б) представлены осциллограммы таких разрядов с особенностями на переднем и заднем фронтах импульса.



а



б

Рис. 2. Осциллограммы токового импульса через обмотку электромагнита излучателя:
а – "зачубрина" находится на подъеме тока; б – "зачубрина" на спаде тока

Токовую характеристику по времени можно условно разбить на 5 облас-

тей, определяющихся переменными параметрами цепи. Участок 1 – можно охарактеризовать, пожалуй, неизменными параметрами цепи. На участке – 2 индуктивность цепи уменьшается, что может объясняться снижением магнитной восприимчивости (величины μ) – ферромагнитного ярма и подвижного якоря из-за достижения насыщения железа. Участок – 3 характеризуется резким повышением индуктивности цепи. Это возможно при замыкании магнитной цепи за счет перемещения подвижного якоря до соприкосновения с магнитопроводом – ярмом, но далее ток разряда уменьшается, и железо электромагнита выходит из насыщения, при этом индуктивность увеличивается, за счет этого разряд конденсаторной батареи затягивается во времени. Участок – 5 связан с размыканием магнитной цепи якорь-ярмо, падением индуктивности и накрыванием затвора под действием упругих сил возвратной резиновой мембраны и давления остаточного газа.

Завершение открытия затвора, сопровождающееся замыканием магнитной цепи при соприкосновении якоря электромагнитного привода с его ярмом, характеризуется особенностью – «зазубриной» (рис. 2) на переднем (заднем) фронте, или максимуме кривой токовой характеристики в зависимости от нагрузки затвора пневмоизлучателя, т.е. давления в нем. В зависимости от величины пневматической нагрузки на затвор, то есть давления сжатого газа в пневмокамере, положение этой «зазубрины» на токовой зависимости может изменяться. По мере увеличения давления сжатого газа в пневмокамере и, соответственно, снижении величины F_G , полное открытие затвора происходит по времени все позднее и с переднего фронта токового импульса оно переходит сначала на максимум тока, а затем на его задний фронт до тех пор пока открытие затвора вообще не происходит. Это соответствует предельному значению давления сжатого газа в пневмоизлучателе, начиная с которого пневмоизлучатель не работоспособен. Токовые зависимости измерялись при постоянном зарядном напряжении на емкостном накопителе, т.е. начальное тяговое усилие электромагнита F_M , было приблизительно постоянным. В то же время нагрузка, являющаяся суммой противодействующих сил: $F_G^{\text{эф}}$ – газа, F_p – разделительной мембраны F_{mp} – силы трения и инерциальной силы- F_u , изменяется за счет изменения давления газа в пневмокамере. Следует заметить, что конструкция данных пневмоизлучателей предусматривает частичную компенсацию суммарных сил, действующих на затвор перед его открытием, поэтому истинная ее величина, названная нами $F_G^{\text{эф}}$ на самом деле меньше, чем произведение $pS_{\text{эф}}$. Различная степень превышения F_M над суммой $\sum F_1$ т.е. величиной ΔF_u определяет и скорость, и время открытия затвора. Более детально это видно из рис. 2,б, где представлен участок осциллограммы вблизи максимума тока и хорошо видны временные сдвиги особенностей в виде "зазубрины" на токовых характеристиках при увеличении давления в пневмокамере излучателя. Экспериментально были определены величины F_p и $S_{\text{эф}}$ – эффективное сечение затвора оказавшееся равным соответственно 11 кг и 20 см² необходимое для определения F_c – газа, опреде-

лявшегося как произведение $pS_{эф}$ и, в конечном счете, тягового усилия электропривода, считая, что $F_{mp}=0$. На рис. 3 представлены зависимости силы тяги электромагнита пневмоизлучателя ПИК-2 с объемом камеры 0.3 л от напряжения источника питания (при отсутствии сжатого газа в его камере). Параметром кривых является емкость конденсаторной батареи. Из приведенных кривых видно, что при увеличении емкости конденсаторов батареи в 4 раза сила тяги электромагнита увеличивается в среднем на 40 %.

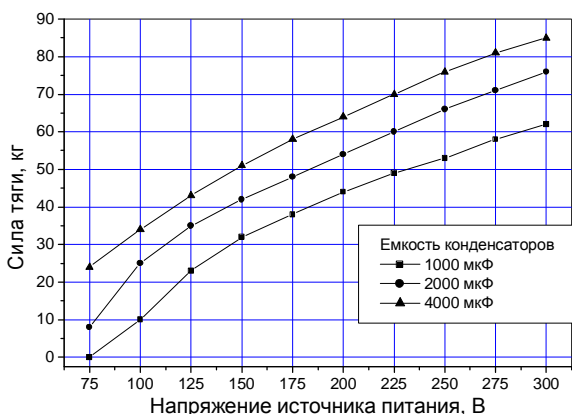


Рис. 3 Зависимость силы тяги электромагнита пневмоизлучателя ПИК-2 от напряжения источника питания

Положительную роль пневморазгрузки при наличии в пневмокамере сжатого газа демонстрируют зависимости эффективной силы тяги электромагнита пневмоизлучателя ПИК-2, представленные на рис. 4 (а, б).

Особенно наглядно увеличение эффективной силы тяги при давлении сжатого газа 12 атмосфер – примерно в 2,8 раза, по сравнению с силой тяги только электромагнита. Однако на рис. 4,б видно и существенное повышение уровня начального напряжения при котором затвор пневмоизлучателя открывается. Так при давлении сжатого газа в пневмокамере 12 атмосфер затвор может открыться только при напряжении примерно 235 В, в то время как при отсутствии сжатого газа – при 78 В.

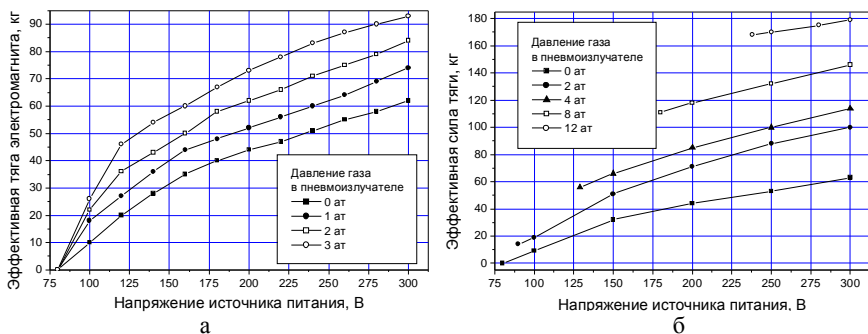


Рис. 4. Зависимость эффективной силы тяги электромагнита пневмоизлучателя ПИК-2 от напряжения источника питания: а – в диапазоне изменений давления сжатого газа 0÷3 ат; б – в диапазоне 0÷12 ат

Одной из важнейших характеристик рассматриваемых пневмоизлучателей является объем, выпускаемого газа за импульс. Эти зависимости как функции давления сжатого газа в пневмокамере излучателей ПИК-2 (объем пневмокамеры 0.3 л), ПИК-3 (объем 0.8 л) и ПИК-2 вместе с ресивером (объем 21 л) представлены на рис. 5. Видно, что расход газа во время импульса не является линейной зависимостью от его давления в пневмокамере. Это свидетельствует о том, что не весь газ покидает пневмокамеру. Начальные линейные участки кривых – отклоняются, т.е. не весь газ выходит из пневмоизлучателя за время нахождения последнего в открытом состоянии. В пневмокамере остается примерно 10÷15 % газа. Это связано с изменением скорости течения газа через кольцевое отверстие и появлением противодавления при одновременном уменьшении давления в пневмоизлучателе. Естественно, что при этом уменьшается и скорость газового потока, достигавшая в момент открытия – величины скорости звука. Повышение длительности импульса путем увеличения емкости батареи позволяет продлить пребывание затвора в открытом состоянии и до определенной величины давления выпускать весь газ. Следует, однако, заметить, что эти последние порции газа, по-видимому вносят малый вклад в акустические колебания. Максимальная величина акустического сигнала, по-видимому должна наблюдаться вблизи фазы открытия затвора, хотя возможны и особенности.

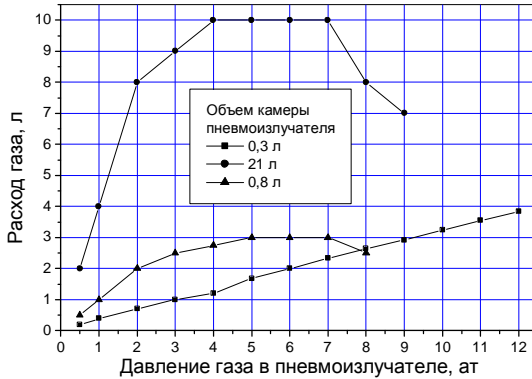


Рис. 5. Зависимость расхода газа, во время газового импульса

Иная картина наблюдается при работе пневмоизлучателя с большим запасом сжатого газа, когда пневмокамера сообщена с ресивером (суммарный объем равен 21 л). При начальном давлении сжатого газа 10 атмосфер общее количество запасенного в них газа составляет 210 л. При расходе газа за один импульс 10 л давление сжатого газа в пневмоизлучателе после газового импульса изменяется всего лишь на 0,48 атмосферы. Таким образом, в этом случае газовый импульс осуществляется при практически мало изменяющемся высоком давлении.

Выводы. Выбрана конструкция пневмоизлучателя с частичной пневморазгрузкой, благодаря чему производство давления газа на площадь сечения затвора оказалось существенно больше, чем тяговое усилие электромагнита. Определены возможные пути дальнейшего повышения энергии пневматических импульсов.

Коллектив авторов благодарит Холода Юрия Васильевича за оказанное содействие в проведении исследований импульсного пневмоизлучателя.

Список литературы: 1. Пневмоизлучатель / Холод Ю.В., Косик Н.А., Малец В.Ф., Муфель Е.В., Озеров А.Н., Юферов В.Б. и др. – Патент Украины № 52214, 2002, кл. В08В3/00. 2. Юферов В.Б., Озеров А.Н., Холод Ю.В. и др. Пневматический импульсный излучатель с электромагнитным // Вестник НТУ "ХПИ" Сборник научных трудов. Тематический выпуск: "Проблемы совершенствования электрических машин и аппаратов", Харьков, – 2007, – № 24, – С. 104-110.

Поступила в редколлегию 09.011.07