

УДК 681.583.35

## ОСОБЕННОСТИ РАБОТЫ УСКОРИТЕЛЬНОГО КЛАПАНА УСОВЕРШЕНСТВОВАННОЙ КОНСТРУКЦИИ

Н.Г. Михалевич, доц., к.т.н., А.А. Ярита, ассист.,  
Харьковский национальный автомобильно-дорожный университет

*Аннотация.* Приведена конструкция усовершенствованного ускорительного клапана. На основе результатов математического моделирования рабочих процессов, протекающих во время работы ускорительного клапана, показано отличие предлагаемой конструкции от ранее известных.

*Ключевые слова:* ускорительный клапан, дроссель, математическая модель, полость.

## ОСОБЛИВОСТІ РОБОТИ ПРИСКОРЮВАЛЬНОГО КЛАПАНА ВДОСКОНАЛЕНОЇ КОНСТРУКЦІЇ

М.Г. Михалевич, доц., к.т.н., О.О. Ярита, асист.,  
Харківський національний автомобільно-дорожній університет

*Анотация.* Наведено конструкцію удосконаленого прискорювального клапана. На основі результатів математичного моделювання робочих процесів, що протікають під час роботи прискорювального клапана, показано відмінність запропонованої конструкції від раніше відомих.

*Ключові слова:* прискорювальний клапан, дросель, математична модель, порожнина.

## OPERATION CHARACTERISTICS OF THE ACCELERATION VALVE OF ADVANCED DESIGN

M. Mikhalevich, Assoc. Prof., Cand. Sc. (Eng.), O. Yarita, T. Asst.,  
Kharkiv National Automobile and Highway University

**Abstract.** The design of an advanced acceleration valve is presented. Based on the results of mathematical modeling of working processes that occur during the acceleration valve operation there was shown the difference of the proposed design from the prior ones.

**Key words:** acceleration valve, throttle, mathematical model, cavity.

### Введение

Современный уровень развития науки и технологий способствует постоянному совершенствованию различных отраслей автомобилестроения. Повышение безопасности, экономичности и комфорта на данный момент приоритетным направлением в совершенствовании автомобиля.

Процесс управления сцеплением – неотъемлемая часть процесса управления транспортным средством. Облегчение процесса управления агрегатами трансмиссии, в частности,

сцеплением – актуальная задача, решение которой позволит значительно улучшить условия работы водителя и повысить безопасность дорожного движения. Основными путями совершенствования приводов управления сцеплением являются использование различных усилителей и применение новых источников энергии. В данном контексте наиболее перспективным выглядит усовершенствование конструкции исполнительного механизма электропневматического привода сцепления (ЭПС), которое позволит повысить его эксплуатационные характеристики.

## Цель и постановка задачи

Целью данной работы является описание и исследование процессов, протекающих во время работы ускорительного клапана усовершенствованной конструкции.

Для достижения поставленной задачи была разработана математическая модель, описывающая процесс наполнения рабочей полости исполнительного механизма электропневматического привода управления сцеплением.

## Анализ публикаций

На данный момент в автомобилестроении широко применяются ускорительные клапаны различных конструкций [1, 2]. Основной их задачей является увеличение быстродействия механизма за счет повышения скорости наполнения и опорожнения полостей аппаратов рабочим телом. При этом положительный эффект от применения ускорительных клапанов, такой как повышение быстродействия, всегда сопряжен с наличием определенных недостатков:

– при релейном способе подачи сжатого воздуха к управляющей полости наблюдается перерегулирование, которое обусловлено сравнительно небольшими размерами управляющей полости и, соответственно, значительным скачкообразным перемещением управляющего поршня;

– при подаче сжатого воздуха в управляющую полость поршень может войти в колебания, поскольку он, в сочетании с пружиной клапана, образует колебательную систему. Эти колебания не желательны, поскольку они вызывают шум и даже могут привести к разрушению клапана.

## Особенности работы ускорительного клапана усовершенствованной конструкции

Основным отличием предложенного ускорительного клапана, по сравнению с известными аналогами, является введение в его конструкцию дросселя (рис. 1), который позволяет быстро выровнять давление с обеих сторон золотника [3].

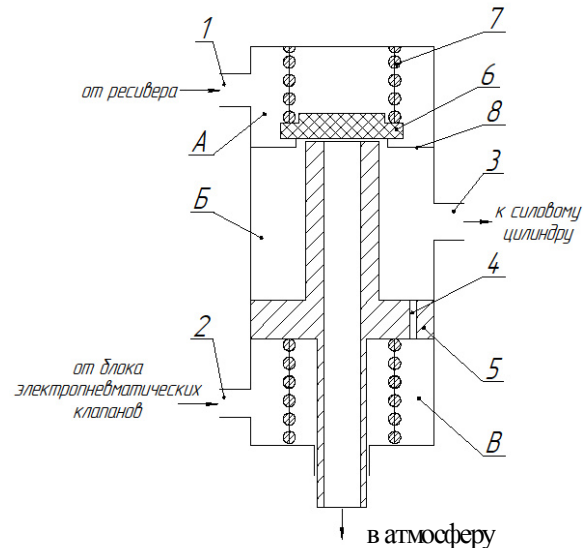


Рис. 1. Схема усовершенствованного ускорительного клапана

Таким образом, достигается уменьшение эффекта перерегулирования при релейном способе подачи воздуха в управляющую полость и уменьшение колебаний поршня ускорительного клапана.

Если рассматривать данную особенность усовершенствованного ускорительного клапана в контексте его применения в конструкции электропневматического привода управления сцеплением (рис. 2) [4], получим необходимое повышение точности позиционирования штока исполнительного механизма [5].

В соответствии с приведенной схемой (рис. 1) в состоянии покоя (отсутствие воздействия на орган управления) сжатый воздух в управляющей полости В отсутствует. Отсутствие избыточного давления на поршень 5 приводит к образованию между ним и клапаном впуска-выпуска 6 зазора. Через образовавшийся зазор и сквозное отверстие в поршне 5 выходная полость Б сообщается с атмосферой, соответственно атмосферное давление через выход 3 устанавливается в силовой полости потребителя и, за счет дросселя 4, в управляющей полости В. В это время клапан впуска 6 прижат к своему седлу 8 за счет усилия пружины 7 и дополнительного усилия, образованного давлением воздуха.

В случае подачи оператором сигнала на выключение сцепления, в управляющую полость В через вход 2 попадает сжатый воздух в виде коротких импульсов (релейный спо-

соб управления), величина которых зависит от характеристик органа управления (электропневматического клапана).

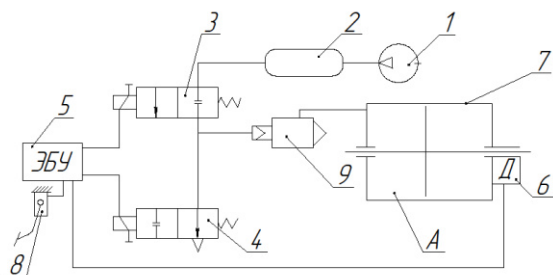


Рис. 2. Схема электропневматического привода управления сцеплением с ускорительным клапаном: 1 – компрессор; 2 – ресивер; 3 – впускной электропневматический клапан; 4 – выпускной электропневматический клапан; 5 – электронный блок управления; 6 – датчик перемещения; 7 – пневматический цилиндр; 8 – орган управления (педаля); 9 – ускорительный клапан

Рост давления в управляющей полости В приводит к перемещению поршня 5, выбору зазора между поршнем и клапаном 6 и разобщению выходной полости Б с атмосферой. В то же время через дроссель 4, выполненный в поршне 5, происходит перетекание сжатого воздуха из управляющей полости В в выходную полость Б. Это приводит к повышению давления в силовой полости цилиндра еще до открытия впускного клапана. Поскольку диаметр входа 2 в несколько раз больше, чем диаметр дросселя 4, давление в управляющей полости В повышается, что приводит к росту усилия на поршне 5. В момент времени, когда оно превышает силу пружины 7, впускной клапан 6 открывается и выходная полость Б соединяется с питающей полостью А, силовая полость цилиндра быстро заполняется сжатым воздухом.

Благодаря наличию в поршне 5 дросселя 4, сжатый воздух, перетекая из управляющей полости В в выходную полость Б, уменьшает перерегулирование. После окончания подачи управляющего сигнала давление в полостях Б и В быстро выравнивается. Таким образом поршень 5 перемещается благодаря усилию пружины 7 и сжатого воздуха, действующего на клапан 6 до его посадки на седло 8. При этом клапан выпуска также остается закрытым, благодаря прижимной силе, наличие которой обусловлено разницей площадей поршня 5. В таком состоянии покоя, когда

оба клапана закрыты, система находится до следующей команды ЭБУ.

В случае подачи ЭБУ сигнала на включение сцепления, с управляющей полости В через вход 2 сжатый воздух выпускается в атмосферу короткими импульсами. Резкое падение давления в управляющей полости приводит к перемещению поршня 5 и его отрыву от седла выпускного клапана 6. Соответственно на некоторое время выходная полость Б через отверстие в поршне 5 сообщается с атмосферой, после выравнивания давления в управляющей и выходной полостях поршень снова прижимается к седлу выпускного клапана 6. Таким образом, реализуется функция регулирования при выпуске воздуха из силовой полости цилиндра.

При подаче управляющего сигнала не релейным способом, подача сжатого воздуха в управляющую полость приводит к резкому перемещению поршня 5 и, соответственно, полному открытию впускного клапана 6. Силовая полость цилиндра максимально быстро заполняется сжатым воздухом. Выпуск происходит в обратном порядке.

#### Математическая модель работы ускорительного клапана в составе электропневматического привода управления сцеплением

Основное отличие в работе усовершенствованного ускорительного клапана от ранее существующих конструкций наблюдается на режимах, когда воздух в управляющую полость подается в виде коротких импульсов. В данной работе рассматриваются процессы, протекающие в ускорительном клапане до открытия его основного сечения.

Математическая модель ускорительного клапана включает в себя: дифференциальные уравнения газодинамических функций, описанных Е.В. Герц [6], дифференциальные уравнения, отображающие работу ускорительного клапана, а также уравнения связи.

Наполнение штоковой полости исполнительного механизма осуществляется из управляющей полости U ускорительного клапана через дроссель (рис. 3), а после нарастания давления в управляющей полости до порогового значения – и через основное сечение ускорительного клапана. Каждому давлению, температуре и объёму присвоим индексы, соответствующие расчётным полостям.

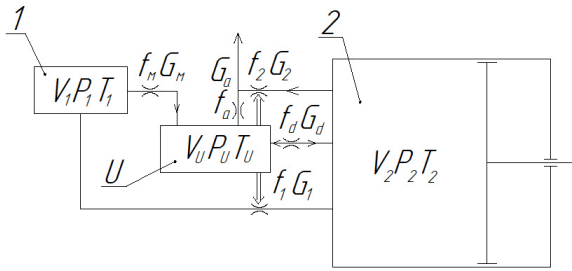


Рис. 3. Расчётная схема пневматической части ЭПС: 1 – ресивер; 2 – штоковая полость силового цилиндра; U – управляющая полость ускорительного клапана; U – управляющая полость ускорительного клапана; T, V, p – температура, объём и давление воздуха соответствующих звеньев

В соответствии с расчетной схемой, приведенной на рис. 3, система уравнений для процесса наполнения управляющей полости U ускорительного клапана имеет вид

$$\begin{cases} kR T_1 G_M - T_U G_d) dt = V_U dp_U \\ G_M = K \mu_M f_m p_1 \sqrt{\frac{1}{R \cdot T_1}} \varphi(Y_M) \\ G_d = K \mu_d f_d p_U \sqrt{\frac{1}{R \cdot T_U}} \varphi(Y_d) ; \\ T_1 = T_0 \cdot \left(\frac{p_1}{p_0}\right)^{\frac{k-1}{k}} \end{cases} \quad (1)$$

$$\begin{cases} \text{если } \left(\frac{2}{k+1}\right)^{\frac{k}{k-1}} < \frac{p_U}{p_1} < 1 \\ \text{то } \varphi(Y_M) = \sqrt{\left(\frac{p_U}{p_1}\right)^{\frac{2}{k}} - \left(\frac{p_U}{p_1}\right)^{\frac{k+1}{k}}} ; \\ \text{иначе } \varphi(Y_M) = \left(\frac{2}{k+1}\right)^{\frac{1}{k-1}} \cdot \sqrt{\frac{k-1}{k+1}} \end{cases} \quad (2)$$

$$\begin{cases} \text{если } \left(\frac{2}{k+1}\right)^{\frac{k}{k-1}} < \frac{p_2}{p_U} < 1 \\ \text{то } \varphi(Y_d) = \sqrt{\left(\frac{p_2}{p_U}\right)^{\frac{2}{k}} - \left(\frac{p_2}{p_U}\right)^{\frac{k+1}{k}}} ; \\ \text{иначе } \varphi(Y_d) = \left(\frac{2}{k+1}\right)^{\frac{1}{k-1}} \cdot \sqrt{\frac{k-1}{k+1}} \end{cases} \quad (3)$$

Уравнения процесса опорожнения управляющей полости U ускорительного клапана

отличаются функцией расхода и примут следующий вид:

$$\begin{cases} kR T_U \cdot (-G_a) + T_2 G_d) dt = V_U dp_U \\ G_a = K \mu_a f_a p_U \sqrt{\frac{1}{R \cdot T_U}} \varphi(Z_a) \\ G_d = K \mu_d f_d p_2 \sqrt{\frac{1}{R \cdot T_2}} \varphi(Y_d) ; \\ T_U = T_0 \cdot \left(\frac{p_U}{p_0}\right)^{\frac{k-1}{k}} \end{cases} \quad (4)$$

$$\begin{cases} \text{если } \left(\frac{2}{k+1}\right)^{\frac{k}{k-1}} < \frac{p_0}{p_U} < 1 \\ \text{то } \varphi(Z_a) = \sqrt{\left(\frac{p_0}{p_U}\right)^{\frac{2}{k}} - \left(\frac{p_0}{p_U}\right)^{\frac{k+1}{k}}} ; \\ \text{иначе } \varphi(Z_a) = \left(\frac{2}{k+1}\right)^{\frac{1}{k-1}} \cdot \sqrt{\frac{k-1}{k+1}} \end{cases} \quad (5)$$

где  $T_U$  – температура в управляющей полости ускорительного клапана, К;  $T_1$  – температура перед входом в управляющую полость ускорительного клапана, К;  $T_2$  – температура воздуха в штоковой полости усилителя, К;  $G_M$  – расход воздуха через впускной электропневматический клапан;  $G_d$  – расход воздуха через дроссель;  $V_U$  – объём управляющей полости ускорительного клапана, м<sup>3</sup>;  $V_2$  – объём штоковой полости усилителя, м<sup>3</sup>;  $V_1$  – объём ресивера, м<sup>3</sup>;  $p_U$  – давление воздуха в управляющей полости ускорительного клапана, МПа;  $p_1$  – давление воздуха в ресивере, МПа;  $p_2$  – давление воздуха в штоковой полости усилителя, МПа;  $f_m$  – площадь поперечного сечения впускного электропневматического клапана, м<sup>2</sup>;  $f_d$  – площадь поперечного сечения дросселя, м<sup>2</sup>;  $f_a$  – площадь поперечного сечения выпускного электропневматического клапана, м<sup>2</sup>;  $\mu_M$  – коэффициент расхода впускного электропневматического клапана;  $\mu_a$  – коэффициент расхода выпускного электропневматического клапана;  $\mu_d$  – коэффициент расхода дросселя;  $\varphi(Y_M)$  – функция расхода при наполнении через впускной электропневматический клапан;  $\varphi(Z_a)$  – функция расхода при опорожнении управляющей полости через выпускной электропневматический клапан;  $\varphi(Y_d)$  – функция расхода при наполнении через дроссель.

Запишем систему уравнений для процессов наполнения и опорожнения штоковой полости цилиндра. Она будет выглядеть аналогично системе, описывающей процессы в управляющей полости ускорительного клапана

$$\left\{ \begin{array}{l} kR (T_1 G_1 + T_U G_d) dt = V_2 dp_2 \\ G_1 = K\mu_1 f_1 p_1 \sqrt{\frac{1}{R \cdot T_1}} \varphi(Y_1) \\ G_d = K\mu_d f_d p_U \sqrt{\frac{1}{R \cdot T_2}} \varphi(Y_d); \\ T_1 = T_0 \cdot \left(\frac{p_1}{p_0}\right)^{\frac{k-1}{k}} \end{array} \right. \quad (6)$$

$$\left\{ \begin{array}{l} \text{если } \left(\frac{2}{k+1}\right)^{\frac{k}{k-1}} < \frac{p_2}{p_1} < 1 \\ \text{то } \varphi(Y_1) = \sqrt{\left(\frac{p_2}{p_1}\right)^{\frac{2}{k}} - \left(\frac{p_2}{p_1}\right)^{\frac{k+1}{k}}} ; \\ \text{иначе } \varphi(Y_1) = \left(\frac{2}{k+1}\right)^{\frac{1}{k-1}} \cdot \sqrt{\frac{k-1}{k+1}} \end{array} \right. \quad (7)$$

$$\left\{ \begin{array}{l} \text{если } \left(\frac{2}{k+1}\right)^{\frac{k}{k-1}} < \frac{p_2}{p_U} < 1 \\ \text{то } \varphi(Y_d) = \sqrt{\left(\frac{p_2}{p_U}\right)^{\frac{2}{k}} - \left(\frac{p_2}{p_U}\right)^{\frac{k+1}{k}}} ; \\ \text{иначе } \varphi(Y_d) = \left(\frac{2}{k+1}\right)^{\frac{1}{k-1}} \cdot \sqrt{\frac{k-1}{k+1}} \end{array} \right. \quad (8)$$

Уравнения процесса опорожнения штоковой полости исполнительного механизма ЭПС будут отличаться только функцией расхода и примут следующий вид:

$$\left\{ \begin{array}{l} kR T_2 \cdot (-G_2) + T_2 (-G_d) dt = V_2 dp_2 \\ G_2 = K\mu_2 f_2 p_2 \sqrt{\frac{1}{R \cdot T_2}} \varphi(Z_2) \\ G_d = K\mu_d f_d p_2 \sqrt{\frac{1}{R \cdot T_2}} \varphi(Z_d) ; \\ T_2 = T_0 \cdot \left(\frac{p_2}{p_0}\right)^{\frac{k-1}{k}} \end{array} \right. \quad (9)$$

$$\left\{ \begin{array}{l} \text{если } \left(\frac{2}{k+1}\right)^{\frac{k}{k-1}} < \frac{p_0}{p_2} < 1 \\ \text{то } \varphi(Z_2) = \sqrt{\left(\frac{p_0}{p_2}\right)^{\frac{2}{k}} - \left(\frac{p_0}{p_2}\right)^{\frac{k+1}{k}}} ; \\ \text{иначе } \varphi(Z_2) = \left(\frac{2}{k+1}\right)^{\frac{1}{k-1}} \cdot \sqrt{\frac{k-1}{k+1}} \end{array} \right. \quad (10)$$

$$\left\{ \begin{array}{l} \text{если } \left(\frac{2}{k+1}\right)^{\frac{k}{k-1}} < \frac{p_U}{p_2} < 1 \\ \text{то } \varphi(Z_d) = \sqrt{\left(\frac{p_U}{p_2}\right)^{\frac{2}{k}} - \left(\frac{p_U}{p_2}\right)^{\frac{k+1}{k}}} ; \\ \text{иначе } \varphi(Z_d) = \left(\frac{2}{k+1}\right)^{\frac{1}{k-1}} \cdot \sqrt{\frac{k-1}{k+1}} \end{array} \right. \quad (11)$$

где  $G_1$  – расход воздуха при наполнении штоковой полости цилиндра через ускорительный клапан;  $G_2$  – расход воздуха при опорожнении штоковой полости цилиндра через ускорительный клапан;  $f_1$  – площадь поперечного сечения впускного канала ускорительного клапана,  $m^2$ ;  $f_2$  – площадь поперечного сечения выпускного канала ускорительного клапана,  $m^2$ ;  $\mu_1$  – коэффициент расхода ускорительного клапана на впуск;  $\mu_2$  – коэффициент расхода ускорительного клапана на выпуск;  $G_a$  – расход воздуха через выпускной электропневматический клапан;  $\varphi(Y_1)$  – функция расхода при наполнении штоковой полости цилиндра через ускорительный клапан;  $\varphi(Z_2)$  – функция расхода при опорожнении штоковой полости цилиндра через ускорительный клапан.

Для описания процессов, протекающих в ускорительном клапане, необходимо учитывать его основные габаритные параметры и функциональные связи между элементами (рис. 4).

В нормально закрытом положении электропневматических клапанов в управляющей полости ускорительного клапана избыточное давление отсутствует, таким образом, штоковая полость усилителя через канал в золотнике связана с атмосферой. Это состояние элементов ускорительного клапана является исходным при моделировании его работы.

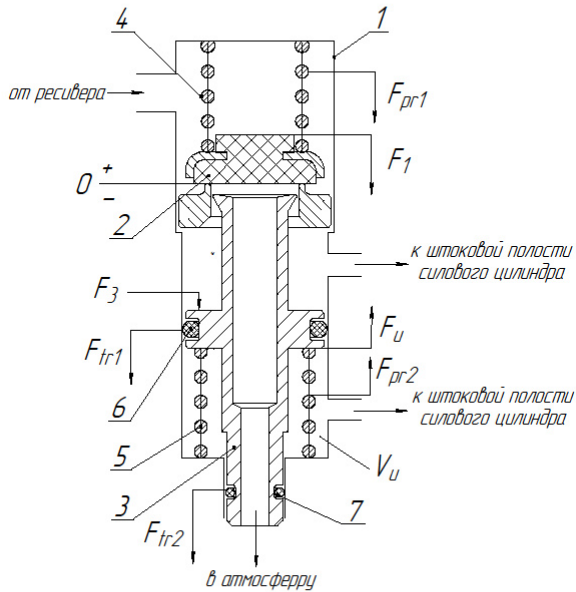


Рис. 4. Расчётная схема ускорительного клапана: 1 – корпус; 2 – седло клапана; 3 – золотник; 4 – пружина клапана; 5 – пружина золотника; 6, 7 – уплотнительные кольца

Исходя из расчетной схемы ускорительного клапана (рис. 4), условие движения золотника 3 в начальный момент времени определяется зависимостью:

$$m_{zoi} \cdot a_{zoi} = F_{pr2} + F_u - F_{tr1} - F_{tr2} - F_3, \quad (12)$$

где  $m_{zoi}$  – масса золотника, кг;  $a_{zoi}$  – ускорение золотника,  $m/s^2$ ;  $F_{pr2}$  – усилие пружины золотника 5, Н;  $F_u$  – сила, действующая на золотник 3 от давления воздуха в управляющей полости ускорительного клапана, Н;  $F_{tr1}$  – сила трения уплотнительного кольца 6 по диаметру  $d$ , Н;  $F_{tr2}$  – сила трения уплотнительного кольца 7 по диаметру  $d_{zol}$ , Н;  $F_3$  – сила, действующая на золотник 3 от давления воздуха в проточной полости ускорительного клапана, Н.

При моделировании перемещения золотника принято допущение: золотник перемещается на 2 мм, после чего появляются силы сопротивления со стороны клапана. С учетом допущений уравнение движения золотника примет вид

$$(m_{zoi} + m_{kl}) \cdot a_{zoi} = F_{pr2} + F_u - F_{tr1} - F_{tr2} - F_3 - F_{pr1} - F_1, \quad (13)$$

где  $m_{kl}$  – масса клапана, кг;  $F_{pr1}$  – усилие пружины клапана 5, Н;  $F_1$  – сила, действующая на золотник 3 со стороны седла клапана 2 от давления воздуха в силовой полости ускорительного клапана, Н.

Учитывая незначительные перемещения золотника в процессе работы, в ходе математического моделирования объем управляющей полости ускорительного клапана был принят постоянным  $V_u = \text{const}$ . Поскольку в данной работе проводилось моделирование начальной стадии наполнения силового цилиндра, во время которой поршень остается неподвижным, объем штоковой полости также был принят постоянным  $V_2 = \text{const}$ .

Основной задачей моделирования наполнения управляющей полости ускорительного клапана является необходимость определения граничного времени  $t_{тр}$ , времени открытия электропневматического клапана, которое приводит к срабатыванию ускорительного клапана.

Импульсы продолжительностью менее  $t_{тр}$   $t_{имп} < t_{тр}$  будут использоваться в электронном блоке управления для обеспечения точности регулирования, а большей –  $t_{имп} > t_{тр}$  – для получения необходимого быстродействия.

В соответствии с осциллограммой (рис. 5) изменение времени пребывания впускного электропневматического клапана в открытом состоянии в интервале от  $t_{имп} = 0,025$  до  $t_{имп} = 0,045$  с не приводит к срабатыванию ускорительного клапана.

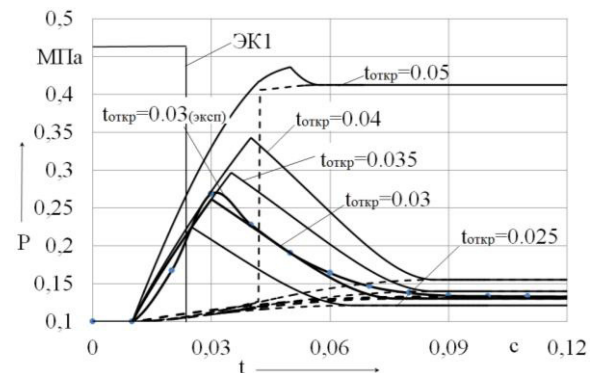


Рис. 5. Влияние времени открытия впускного электропневматического клапана на процесс наполнения штоковой полости усилителя: — давление в управляющей полости; - - - - - давление в штоковой полости

Наполнение штоковой полости усилителя осуществляется путем перетекания сжатого воздуха через дроссель. При открытии электропневматического клапана на время  $t_{\text{имг}}=0,05$  с, наблюдается скачкообразное повышение давления в штоковой полости усилителя, что свидетельствует о срабатывании ускорительного клапана.

Экспериментальная кривая процесса наполнения штоковой полости усилителя для времени открытия электропневматического клапана  $t_{\text{откр}}=0,03$  с практически совпадает с полученной теоретической зависимостью, что свидетельствует об адекватности работы предлагаемой математической модели при расчете процесса выключения сцепления.

### Выводы

Предложены новые взаимосвязи между конструктивными элементами ускорительного клапана, позволяющие обеспечить необходимое быстродействие работы исполнительного механизма электропневматического привода управления сцеплением без потери точности регулирования при использовании двух электропневматических клапанов.

Математическое моделирование рабочего процесса электропневматического привода управления сцеплением с ускорительным клапаном позволило определить граничное время открытия впускного электропневматического клапана, после превышения которого наступает срабатывание ускорительного клапана.

### Литература

1. Михайловский Е.В. Устройство автомобиля: учебник для учащихся автотранспортных техникумов / Е.В. Михайлов-

- ский, К.Б. Серебряков, Е.Я. Тур. – М.: Машиностроение, 1987. – 352 с.
2. Мордашов Ю.Ф. Устройство автомобилей КамАЗ: учебное пособие / Ю.Ф. Мордашов, В.Н. Носаков, В.Д. Запойнов. – Н. Новгород: ВГИПУ, 2010 – 78 с.
3. Пат. 108703 Україна, МПК В60К 23/00. Підсилювач привода зчеплення автотранспортного засобу / заявники Богомолов В.О., Клименко В.І., Ярита О.О.; патентовласники Богомолов В. О., Клименко В.І. – №201401541; заявл. 17.02.2014; опубл. 25.05.2015. Бюл. №10, 5 с.
4. Пат. 109503 Україна, МПК В60К 23/00. Прискорювальний клапан / заявники Богомолов В.О., Клименко В.І., Михалевич М.Г., Ярита О.О.; патентовласники Богомолов В.О., Клименко В.І. – №201405006; заявл. 12.05.2014; надр. 25.08.2015. Бюл. 16, 4с.
5. Михалевич Н.Г. Обоснование ступенчатости характеристики максимальной точности механизма управления сцеплением / Н.Г. Михалевич, А.А. Ярита // Совершенствование организации дорожного движения и перевозок пассажиров и грузов: сборник научных трудов по результатам МНПК «Безопасность дорожного движения». – Минск, БНТУ, 2016. – С. 446–452.
6. Герц Е.В. Пневматические приводы / Е.В. Герц. – М.: Машиностроение. 1968. – 360 с.

Рецензент: А.В. Бажинов, профессор, к.т.н., ХНАДУ.

Статья поступила в редакцию 21 сентября 2016 г.