

УДК 629.3.017.5

Д.Н. Леонтьев, доцент, канд. техн. наук

*Харьковский национальный автомобильно-дорожный университет
ул. Петровского, 25, г. Харьков, Украина, 61002*

МОДЕЛИРОВАНИЕ ПЕРЕХОДНЫХ ПРОЦЕССОВ В ПНЕВМАТИЧЕСКОМ ТОРМОЗНОМ ПРИВОДЕ АВТОМОБИЛЯ, КОТОРЫЙ ОБОРУДОВАН СИСТЕМОЙ АВТОМАТИЧЕСКОГО РЕГУЛИРОВАНИЯ ТОРМОЗНОГО УСИЛИЯ

Изложен концептуальный подход позволяющий выполнить моделирование переходных процессов в пневматическом тормозном приводе автомобиля, который оборудован системой автоматического регулирования тормозного усилия, основанный на выборе методов расчета динамики течения рабочего тела (воздуха) в приводе и параметров отдельных элементов привода.

Ключевые слова: *система автоматического регулирования тормозного усилия, антиблокировочная система, пневматический тормозной привод, моделирование работы антиблокировочной системы, переходные процессы в пневматическом тормозном приводе.*

Постановка проблемы. Динамика торможения автомобиля является наиболее важным его эксплуатационным свойством. Она зависит от переходных процессов, протекающих в пневматическом тормозном приводе при условии, что колеса транспортного средства катятся по опорной поверхности. Широкое внедрение электронных систем управления, постоянное совершенствование конструкций пневматических аппаратов тормозного привода автомобиля вызывает необходимость в создании программных комплексов позволяющих оценивать динамику торможения транспортных средств, в различных сцепных условиях, на основе расчётных методов переходных процессов, протекающих в тормозном приводе и методов описывающих взаимодействие автомобиля с окружающей средой.

Анализ последних исследований. Вопросу метода расчета приводов в научно-технической литературе [1-2] было уделено много внимания такими исследователями как Н.Ф. Метлюк и О.В. Герц. Их методы получили дальнейшее развитие в научных трудах многих современных исследователей, которые уточнили ряд взаимосвязей и способ позволяющих смоделировать процессы, протекающие в пневматическом тормозном приводе. Так в работе [3] уточнены положения имитационного моделирования пневматического тормозного привода автотранспортного средства, которые позволяют реализовать положения, излагаемые автором в данной работе.

Цель и задачи исследования. Цель исследования – автоматизация процесса моделирования переходных процессов в типовых элементах пневматического тормозного привода, основанная на объектно-ориентированной технологии наследования в среде *Code::Blocks* при помощи языка программирования *C++*.

Задачи исследования: определение типовых элементов пневматического тормозного привода; определение типовых схем пневматических тормозных приводов; разработка математических моделей для типовых элементов пневматического привода; разработка и реализация классов и объектов в виде программного комплекса позволяющего автоматизировать моделирование переходных процессов в типовых элементах пневматического тормозного привода.

Материалы исследования. В научно-технической литературе [1, 2] известен ряд методов расчета пневматического тормозного привода и отдельных его ветвей, которые с достаточной точностью позволяют описать динамический процесс изменения давления в расчётном узле тормозного привода при переменном законе изменения давления на входе и выходе из пневматического аппарата или проходного элемента привода. Но в инженерной практике конструкторы не всегда имеют технические средства для применения расчетных методов изложенных в работах [1-4], поэтому они вынуждены идти экспериментальным путем, подбирая различные сочетания элементов привода, основываясь на собственном опыте конструирования тормозных систем. Как следствие, конструкторские бюро, расходуют значительные финансовые ресурсы при создании опытных пневматических тормозных приводов и дальнейшего внедрения этих приводов в производство.

Анализ наиболее часто применяемых пневматических тормозных приводов [1, 2] показал, что их количество не так уж и велико. Так было выделено 10 типичных схем тормозного привода (рисунок 1):

1. Простая схема пневматического тормозного привода (ПТП);
2. Схема ПТП с регулятором тормозных сил (РТС) в заднем контуре;
3. Схема ПТП с РТС в заднем контуре и 4 модуляторами антиблокировочной системы (АБС);
4. Схема ПТП с РТС в заднем контуре 1 модулятором АБС в переднем контуре и 2 модуляторами АБС в заднем контуре;
5. Схема ПТП с ускорительным клапаном (УК) в заднем контуре;
6. Схема ПТП с УК в заднем контуре и 4 модуляторами АБС;

7. Схема ПТП с УК в заднем контуре 1 модулятором АБС в переднем контуре и 2 модуляторами АБС в заднем контуре;
8. Схема ПТП с 2 модуляторами АБС в переднем контуре и 2 модуляторами АБС в заднем контуре;
9. Схема ПТП с 2 модуляторами АБС в переднем контуре и 1 модулятором АБС в заднем контуре;
10. Схема ПТП с 1 модулятором АБС в переднем контуре и 2 модуляторами АБС в заднем контуре.

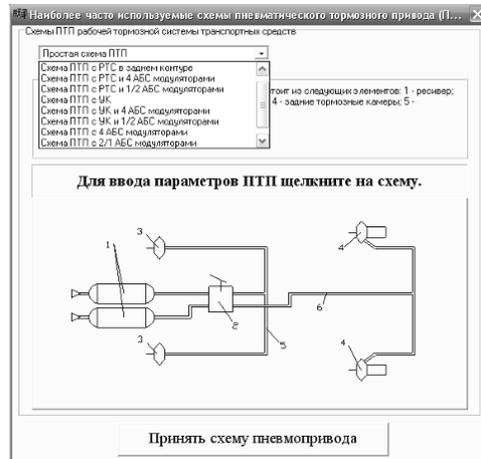


Рисунок 1 – Схема выбранного пневматического тормозного привода транспортного средства:
 ПТП – пневматический тормозной привод; РТС – регулятор тормозных сил; УК – ускорительный клапан;
 АБС – антиблокировочная система; 1/2 - количество модуляторов АБС в переднем/заднем контуре ПТП;
 1 – ресиверы; 2 – тормозной кран; 3 – передние тормозные камеры; 4 – задние тормозные камеры;
 5 – передний контур ПТП; 6 – задний контур ПТП

Каждая схема пневматического тормозного привода состоит из большого количества элементов, которые при его математическом описании принято называть расчетными узлами («ДЕ-звеньями»). Все расчетные узлы привода имеют свои индивидуальные параметры и свойства, поэтому в конструкторских бюро и проектных отделах описанные в работах [1, 2] расчетные методы и не используются при проектировании тормозных приводов. Для решения этой проблемы, в разработанном программном комплексе [5] создан класс, в среде *Code::Blocks* на языке программирования C++, который позволяет хранить массивы данных каждого элемента пневматического тормозного привода в виде матрицы составленной индивидуально для каждой расчетной схемы пневматического тормозного привода.

При помощи объектно-ориентированной технологии наследования в программном комплексе были созданы диалоговые окна (рисунок 2), для задания, пользователем, параметров элементов пневматического тормозного привода, которые в дальнейшем передают эти параметры в расчетный модуль *brake.dll* для последующего расчета переходных процессов протекающих в типовых узлах пневматического тормозного привода.

Все заданные пользователем элементы пневматического тормозного привода образуют контуры пневматического тормозного привода, таким образом, для решения задачи расчета пневматического привода необходимо осуществить решение ряда дифференциальных уравнений описывающих переходные процессы в каждом элементе привода. Как уже упоминалось, в технической литературе существует ряд математических методов предложенных Е.В. Герц [1], Н.Ф. Метлюк [2] и А.В. Крамской [4, 5], которые и были реализованы в виде программного продукта *EkspertBrakeSystem.exe* [5].

Таким образом, пользователю остается только выбрать расчетный метод (рисунок 3), задать параметры интегрирования по времени и за доли секунды получить результаты расчета для оценки целесообразности создания натурального экспериментального образца пневматического тормозного привода.

Отображение результатов расчета организовано в удобном пользователю (инженеру конструктору) виде. Пневматический тормозной привод транспортного средства разделен на два контура передний (рисунок 4) и задний (рисунок 5) для удобства анализа переходных процессов протекающих в расчетных узлах привода и оценки времени наполнения наиболее удаленного элемента от источника хранения рабочего тела (воздуха) – ресивера.

Представленные интерфейсы на рисунке 4 и рисунке 5 позволяют пользователю временно не отображать результаты моделирования отдельных элементов контура тормозного привода, что является удобным инструментом при исследовании и проработки быстродействия конкретных «ДЕ-звеньев» тормозного привода. Очевидно, что такой инструмент позволит оценить влияние динамики изменения давления в переднем и заднем контуре ПТП на динамику движения транспортного средства оборудованного различными автоматическими устройствами, такими как ускорительный клапан, регулятор тормозных сил с механическим управлением от подвески, а также модуляторами

антиблокировочной системы, которые активно используются на современных автомобилях.

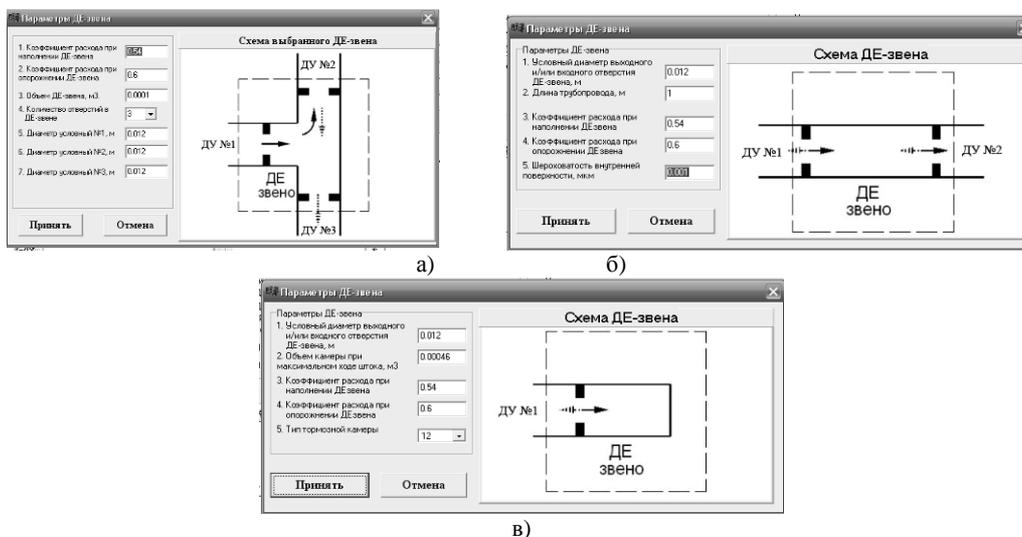


Рисунок 2 - Диалоговые окна задания параметров элементов ПТП: а) схема разветвления (секция тормозного крана, разветвление, нижняя секция УК, нижняя секция РТС, полости в модуляторе АБС) б) схема проточной полости (трубки) в) схема тупиковой полости (верхняя секция УК, верхняя секция РТС, тормозная камера)

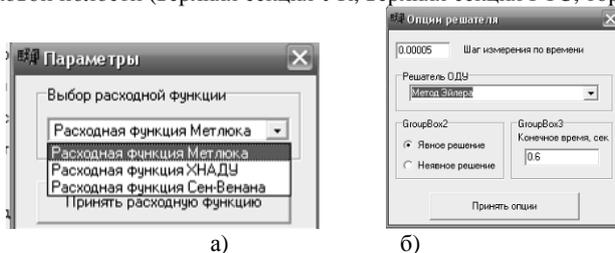


Рисунок 3 - Выбор метода расчета ПТП: а) выбор расходной функции б) выбор решателя и шага интегрирования

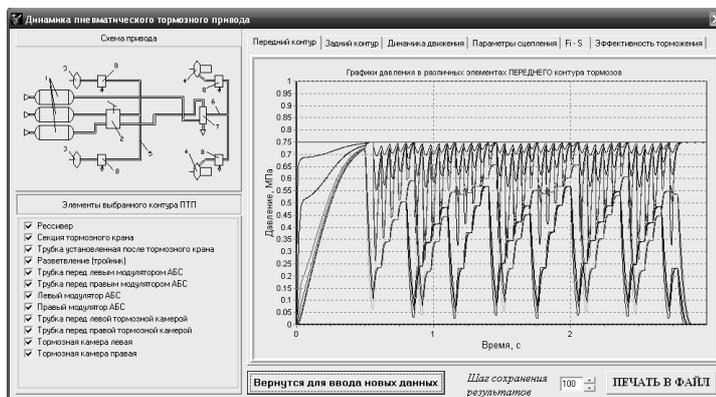


Рисунок 4 - Переходные процессы в типовых элементах переднего контура пневматического тормозного привода оборудованного АБС

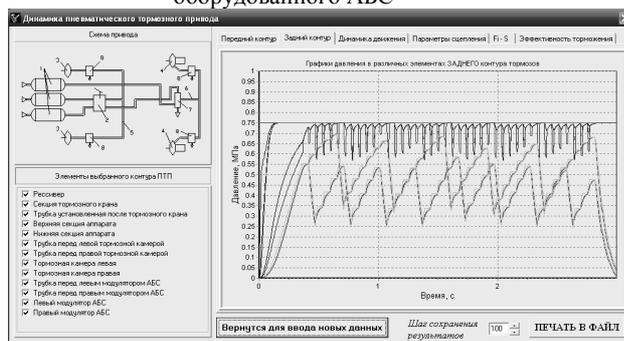


Рисунок 5 - Переходные процессы в типовых элементах заднего контура пневматического тормозного привода оборудованного АБС

Следует отметить, что моделирование модуляторов антиблокировочной системы может осуществляться в двух вариантах, которые охватывают все существующие конструкции АБС. То есть, модели модуляторов АБС имеют возможность осуществлять работу при двухфазном изменении давления (повышение и снижение давления в ветви привода расположенной после модулятора) и трехфазном изменении давления (повышение, снижение или выдержка давления в ветви привода расположенного после модулятора).

Выводы. Разработанный программный комплекс позволяет автоматизировать процесс расчёта переходных процессов протекающих в пневматическом тормозном приводе транспортных средств оборудованных автоматическими системами регулирования тормозного усилия, а также дает возможность, специалистам в области проектирования и создания тормозных приводов, снизить трудозатраты и время, затрачиваемое на создание современных компонентов и аппаратов тормозных систем автомобилей.

На основе разработанных методов выполнены численные исследования динамики тормозного привода автобуса МАЗ-256200, которые показали хорошую сходимость результатов теоретических и экспериментальных данных. Погрешность при использовании расчетных методов Герц О.В. заложенных в разработанном программном комплексе не превышает в среднем 7%. Погрешность при использовании расчетных методов предложенных Метлюк Н.Ф. - не превышает в среднем 14%.

Концептуальные решения, принятые при реализации принципов работы автоматических систем регулирования тормозного усилия, позволяют смоделировать их работу с погрешностью не более 5% по временным параметрам и не более 8% по динамическим характеристикам. Большая погрешность наблюдается при использовании расчетных методов предложенных Н.Ф. Метлюк.

Библиографический список использованной литературы

1. Метлюк Н.Ф. Динамика пневматических и гидравлических приводов автомобилей / Н.Ф. Метлюк, В.П. Автушко. – М.: Машиностроение, 1980. – 231 с.
2. Герц Е.В. Динамика пневматических систем машин / Е.В. Герц. – М.: Машиностроение, 1985. – 256 с.
3. Туренко А.Н. Математическое моделирование динамического процесса наполнения типовых звеньев пневматического привода автотранспортных средств / А.Н. Туренко, В.А. Богомолов, В.И. Клименко, А.В. Крамской // Автошляховик України.– Київ. – 2004. – №5. – С.22 – 25.
4. Крамской А.В. Совершенствование методов расчета динамики пневмоаппаратов и пневматического тормозного привода автотранспортных средств: автореферат диссертации на соискание ученой степени кандидата технических наук / Крамской Александр Владимирович – Харьков, 2006 – 20с.
5. Леонтьев Д.М., Крамський О.В. Свідчення про реєстрацію авторського права на твір № 33767 від 17.06.2010 «Програма розрахунку пневматичних гальмівних приводів двохвісних транспортних засобів».

Поступила в редакцію 07.05.2013 г.

Леонтьев Д.М. Моделирование переходных процессов у пневматическом гальмівному приводі автомобіля, який обладнаний системи автоматичного регулювання гальмівного зусилля

Викладено концептуальний підхід, який дозволяє виконати моделювання переходних процесів в пневматическому гальмівному приводі автомобіля обладнаного системою автоматичного регулювання гальмівного зусилля, заснований на виборі методів розрахунку динаміки перебігу робочого тіла (повітря) в приводі і параметрів окремих елементів приводу.

Ключові слова: система автоматичного регулювання гальмівного зусилля, антиблокувальна система, пневматичний гальмівний привід, моделювання роботи антиблокувальної системи, переходні процеси в пневматическому гальмівному приводі.

Leontiev D. Simulation of transient processes in the pneumatic brake drive a car that is equipped with automatic braking regulation

Outlined a conceptual approach allows to perform simulation of transient processes in the pneumatic brake actuator vehicle that is equipped with an automatic braking regulation, based on the choice of methods for calculating the dynamics of the working fluid flow (air) into the drive and the parameters of the unit components.

Keywords: automatic braking regulation, anti-lock braking system, a pneumatic brake actuator, modeling the anti-lock system, the transients in the pneumatic brake actuator.