

компрессора, конденсатора, испарителя и дополнительного рекуператора, расположенного между выходом испарителя и входом сжатия. Уравнения состояния хладагента и теплообмена формулируются через зависимости давления, энтальпии и температуры, а потери давления и эффективность теплообменных аппаратов учитываются эмпирическими корреляциями [1].

Среды моделирования:

– Modelica (Dymola/OpenModelica) – обеспечивает компонентный подход и готовые библиотеки холодильных циклов; подходит для анализа переходных процессов [1];

– MATLAB/Simulink – удобен для быстрой прототипизации и интеграции с алгоритмами управления, используется при синтезе ПИД-регуляторов и оптимизации режимов [1];

– Engineering Equation Solver (EES) – решает системы нелинейных уравнений термодинамики, часто применяется для первичных расчетов тепловых балансов [2];

– COMSOL Multiphysics – предназначен для детального CFD-анализа потоков в теплообменниках и оценки локальных неоднородностей температурного поля [3].

Модель была реализована параллельно в средах Modelica и MATLAB/Simulink. Результаты сравнивали с данными опытной установки и результатами CFD-модели в COMSOL. Максимальное расхождение по ключевым параметрам (давление, температура конденсации, хладопроизводительность) не превысило 5 %.

Разработанная компьютерная модель и примененные программные средства демонстрируют высокую точность и универсальность при проектировании холодильных компрессорных станций с рекуперацией тепловой энергии. Интеграция Modelica, MATLAB/Simulink и EES обеспечивает баланс между скоростью моделирования и глубиной анализа, а COMSOL Multiphysics позволяет детализировать гидродинамические аспекты. Внедрение предложенной методики способно повысить энергетическую эффективность холодильных комплексов на 10–15 % и снизить эксплуатационные затраты.

Л и т е р а т у р а

1. Петров, Е. Т. Компьютерное проектирование низкотемпературных систем / Е. Т. Петров, А. А. Круглов. – СПб. : Университет ИТМО, 2021. – 122 с.
2. Хутская, Н. Г. Циклы паросиловых установок : учеб.-метод. пособие по дисциплине «Термодинамика» для студентов специальности «Энергоэффективные технологии и энергетический менеджмент» / Н. Г. Хутская, Г. И. Пальченко, А. В. Новик. – Минск : БНТУ, 2022. – 56 с.
3. Optimization of vapor compression refrigeration systems using phase change material and thermoelectric generator / S. N. R. Vallapureddy, L. N. V. Venkata Swamy, N. K. Addanki [et al.] ; Sādhana – Academy Proceedings in Engineering Sciences, 2025. – 122 p.

МОДЕЛИРОВАНИЕ РАБОТЫ ГИДРОСИСТЕМЫ РУЛЕВОГО УПРАВЛЕНИЯ ПОГРУЗЧИКА В ПРИЛОЖЕНИИ AUTOMATION STUDIO

Д. А. Клевжиц, Ю. А. Андреевец, Д. Л. Стасенко

Гомельский государственный технический университет
имени П. О. Сухого, Республика Беларусь

Представлена гидравлическая схема рулевого управления телескопического погрузчика и компьютерная модель, построенная при помощи программного пакета Automation Studio. Разработанная модель позволяет проследить процессы в гидролиниях, определить взаимосвязь элементов системы, проверить корректность расчетных данных. Графический интерфейс позволяет управлять моделью и получать результаты для дальнейшего исследования.

Ключевые слова: гидравлическая система рулевого управления, компьютерная модель гидросистемы, Automation Studio.

MODELING THE OPERATION OF HYDRAULIC STEERING SYSTEM OF A LOADER IN AUTOMATION STUDIO

D. A. Klevzhits, Yu. A. Andreyevets, D. L. Stasenko

Sukhoi State Technical University of Gomel, Republic of Belarus

This paper presents a hydraulic circuit of the steering system of a telescopic loader and a computer model developed using the Automation Studio software package. The created model makes it possible to trace the processes in the hydraulic lines, determine the interconnection of system components, and verify the accuracy of calculated data. The graphical interface allows the user to control the model and obtain results for further research.

Keywords: hydraulic steering system, computer model of hydraulic system, Automation Studio.

Современные телескопические погрузчики относятся к классу специализированной техники. Одним из важнейших узлов является система рулевого управления, от которой зависит точность маневрирования и удобство эксплуатации машины. Рулевое управление обеспечивает поворот машины за счет: переднего управляемого моста (транспортный режим); переднего и заднего управляемых мостов (режим «минимальный радиус поворота»); поворот колес переднего и заднего управляемых мостов + в одну сторону (режим «краб»).

Исследования, направленные на построение математических моделей систем мобильных машин, являются важнейшей задачей для получения точных значений параметров работы системы и сопоставление расчетных данных с результатами моделирования. Использование имитационного моделирования позволяет упростить решение задач регулирования, управления, статики, динамики, исходя из единых методических позиций гидравлических систем и объединить все исследования в одно ядро расчетного комплекса [1].

Объектом исследования является гидросистема телескопического погрузчика АМКОДОР Т400-70 (рис. 1, а) с LS-управлением, которая обеспечивает адаптацию расхода рабочей жидкости к нагрузке. Такой подход позволяет снизить потери мощности в системе, уменьшить нагрев рабочей жидкости и увеличить общий ресурс гидравлического оборудования.

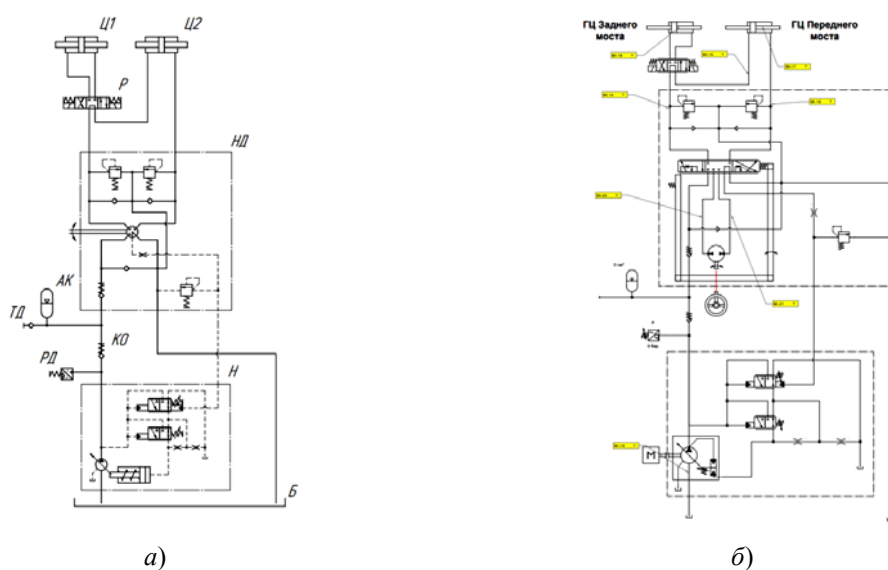


Рис. 1. Схемы рулевого управления:

а – гидравлическая принципиальная; б – имитационная модель

Для построения модели использовались стандартные гидравлические элементы из библиотеки Automation Studio, на основе которых формировались отдельные узлы и объединялись в составные блоки (рис. 1, б). Из-за отсутствия некоторых гидроустройств в стандартной библиотеке, был произведен подбор аналогичных элементов с близкой структурой и функционалом. После построения модели выполняется параметризация всех гидроустройств согласно технической документации и каталогам производителей, что приближает модель к реальным условиям и повышает достоверность расчетов.

Результаты симуляции предоставляются графиками изменения давления каждого гидроцилиндра моста при повороте руля телескопического погрузчика (рис. 2).



Рис. 2. График изменения давления гидроцилиндров

Результаты показывают, что гидросистема с LS-управлением работает в допустимых режимах: при прямом и обратном ходе давление в цилиндрах достигает 220–240 бар (расчетное – 250 бар). Перепад давлений составляет 150–170 бар, что соответствует расчетному значению (166 бар). Предохранительные клапаны настроены 225 бар, предотвращающие развитие гидроудара, а кратковременные пики до 240 бар объясняются переходными процессами, после чего давление стабилизируется в допустимых пределах. Также на графике видно, что система адекватно обрабатывает все режимы работы рулевого управления, поддерживая расчетные перепады и исключая перегрузку.

Использование Automation Studio для моделирования гидросистем дает возможность оценивать их рабочие характеристики еще на этапе проектирования схем. Это ускоряет разработку, экономит ресурсы и позволяет выявлять возможные ошибки в расчетах.

Литература

1. Хазеев, Е. В. Анализ имитационного моделирования гидравлических систем мобильных машин в различных программных комплексах / Е. В. Хазеев, Ю. А. Андреев, К. В. Пупенко // Машиностроение: инновационные аспекты развития : материалы междунар. науч.-практ. конф., Санкт-Петербург, 26 апр. 2022 г. / Научно-исследовательский центр «МашиноСтроение». – СПб. : Индивид. предприниматель Жукова Елена Валерьевна, 2022. – Т. 5. –С. 18–22.