

повышает надежность и делает систему независимой от внешних серверов и распределенных систем управления.

Разработанное решение для управления выводом изображения на светодиодные матрицы без применения распределенных систем демонстрирует высокую эффективность и простоту эксплуатации. Оно может быть использовано в образовательных учреждениях, на промышленных объектах, в рекламных и информационных установках. В отличие от аналогичных решений, основанных на распределенных системах (например, *Screenly* или *Yodeck*), предложенный подход не требует сложной сетевой инфраструктуры и обеспечивает более высокую надежность при локальной эксплуатации. Однако вывод на несколько матриц одного изображения затруднен. Для этого необходимо разработать распределенную систему для вывода изображений на несколько матриц.

Литература

1. Петросян, А. В. Встраиваемые микрокомпьютерные системы управления / А. В. Петросян. – М. : БХВ-Петербург, 2018. – 384 с.
2. Espressif Systems. ESP32 Technical Reference Manual. – URL: <https://docs.espressif.com/> (date of access: 10.10.2025).
3. PxMatrix LED MATRIX library for ESP8266, ESP32. – URL: <https://github.com/2dom/PxMatrix> (date of access: 10.10.2025).

КОМПЬЮТЕРНАЯ МОДЕЛЬ И ПРОГРАММНЫЕ СРЕДСТВА ДЛЯ МОДЕЛИРОВАНИЯ РАБОТЫ ХОЛОДИЛЬНОЙ КОМПРЕССОРНОЙ СТАНЦИИ С РЕКУПЕРАЦИЕЙ ТЕПЛОВОЙ ЭНЕРГИИ

Я. А. Поливач, В. И. Токочаков

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

Представлена разработка компьютерной модели холодильной компрессорной станции с интегрированной системой рекуперации отводимого тепла и обзор соответствующих программных средств для ее реализации. Математическая модель основана на термодинамическом балансе основных узлов компрессорной станции, включая компрессор, конденсатор, испаритель и теплообменник-рекуператор. Для численного решения были использованы языки Modelica и MATLAB/Simulink, а также пакеты EES и COMSOL Multiphysics. В качестве примера моделирования рассмотрен типовой промышленный случай, показавший повышение общей энергетической эффективности установки на 12 % за счет утилизации низкопотенциального тепла от конденсации и охлаждения масла.

Ключевые слова: холодильная компрессорная станция, рекуперация тепловой энергии, термодинамическая модель, Modelica, MATLAB/Simulink, EES, COMSOL Multiphysics.

COMPUTER MODEL AND SOFTWARE TOOLS FOR SIMULATING THE OPERATION OF A REFRIGERATION COMPRESSOR STATION WITH HEAT RECOVERY

Y. A. Polivach, V. I. Tokochakov

Sukhoi State Technical University of Gomel, Republic of Belarus

This paper presents the development of a computer model of a refrigeration compressor station with an integrated waste heat recovery system and provides an overview of the relevant software tools for its implementation. The mathematical model is based on the thermodynamic balance of the main units of the compressor station, including the compressor, condenser,

evaporator, and heat recovery exchanger. For numerical solutions, the Modelica and MATLAB/Simulink languages were used, along with the EES and COMSOL Multiphysics packages. As a modeling example, a typical industrial case was considered, which demonstrated an increase in the overall energy efficiency of the installation by 12% due to the utilization of low-grade heat from condensation and oil cooling.

Keywords: refrigeration compressor station, heat recovery, thermodynamic model, Modelica, MATLAB/Simulink, EES, COMSOL Multiphysics.

Современные холодильные системы потребляют значительные объемы электроэнергии и выделяют в окружающую среду отработанное тепло, часто не используемое в производственных процессах. Внедрение систем рекуперации позволяет возвращать часть этой энергии для технологических нужд или системы отопления, снижая эксплуатационные расходы и углеродный след предприятия. Задача создания точной компьютерной модели компрессорной станции с рекуперацией тепла требует учета сложных термодинамических и гидравлических процессов, что диктует выбор специализированных программных средств для анализа динамических режимов и оптимизации параметров работы.

В работе рассмотрены математическая модель и программные средства для моделирования работы холодильной компрессорной станции с рекуперацией тепловой энергии. В основе модели лежит баланс массовых и энергетических потоков в узлах 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.

Литература

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