

## Краткий итоговый отчет по гранту РФФИ «Разработка основ оптимального управления городскими системами теплоснабжения с использованием цифровых двойников», рук. Тихонов А.И.

На первом этапе проекта было формализовано понятия цифрового двойника (ЦД) системы теплоснабжения города (СТГ), выбран базовый метод имитационного моделирования тепловых сетей на основе метода аналогии с электрическими цепями, что позволило, в частности, абстрагироваться от конкретного объекта моделирования (многие модели разрабатывались и тестировались в приложении к расчету теплового состояния силовых трансформаторов), разработана технология моделирования распределенных теплофизических процессов на основе теории цепей Маркова, разработана система моделирования тепловых полей методом конечных разностей. Осуществлен анализ методов сбора и обработки исходных данных об объектах СТГ, выявлена проблема адекватности существующих ЦД СТГ. Разработан метод уточнения характеристик ЦД СТГ путем сопоставления результатов расчета со значениями наблюдаемых по показаниям приборов учета реальных систем. Для описания топологии ЦД СТГ использованы геоинформационные системы (ГИС). Для повышения адекватности расчетов на основе ЦД СТГ разработан метод, обеспечивающий постоянную калибровку и настройку ЦД СТГ по данным мониторинга показаний приборов узлов учета тепловой энергии.

В рамках второго этапа проекта разработаны методы совместного анализа оперативных данных, получаемых с приборов учета отпуска и потребления тепловой энергии, и ЦД СТГ. Осуществлена адаптация разработанных методов моделирования тепловых процессов к проблеме создания ЦД СТГ. Созданы модели данных, которые объединяют данные текущих измерений, получаемые из существующих облачных информационных систем, с данными ЦД СТГ в информационной системе управления режимом работы тепловой сети. Разработан метод слежения за изменением режима работы тепловой сети и формирования сообщений пользователям системы при появлении отклонений от оптимального режима работы сети и возникновения нештатных режимов. Предложен метод и алгоритм локализации мест утечек теплоносителя на основе анализа данных измерений и анализа ЦД СТГ. Разработанные методы и алгоритмы апробированы на примере анализа работы реальной системы теплоснабжения. В рамках третьего этапа проекта продолжена работа по совершенствованию моделей тепловых процессов в технических системах. Разработан метод поддержки принятия управленческих решений по изменению режима работы СТГ и настройке оборудования на базе использования результатов мониторинга режима работы реальной СТГ и ЦД СТГ. Разработана математическая модель процесса управления режимом работы СТГ. Сформированы критерии и ограничения для выбора оптимального режима работы СТГ. Разработан метод оптимизации работы СТГ с использованием оперативных данных, получаемых с приборов учета отпуска и потребления тепловой энергии, и ЦД СТГ. Проведены эксперименты для проверки полученных результатов на действующих объектах тепловых сетей, обслуживаемых котельной ИГЭУ. Разработан метод практического внедрения разработанной технологии и требования по подготовке объекта автоматизации к внедрению технологии.