

КОМПЬЮТЕРНОЕ ОБЕСПЕЧЕНИЕ И ВЫЧИСЛИТЕЛЬНАЯ ТЕХНИКА

DOI: 10.24143/2072-9502-2019-4-59-69
УДК 004.932

ИССЛЕДОВАНИЯ СОВМЕСТНОЙ РАБОТЫ ГЕНЕТИЧЕСКОГО АЛГОРИТМА И АЛГОРИТМА КООРДИНАТНОГО ПОИСКА ДЛЯ ОПТИМИЗАЦИИ ТЕМПЕРАТУРЫ ОТАПЛИВАЕМЫХ ПОМЕЩЕНИЙ

А. П. Шуравин, С. В. Вологдин

*Ижевский государственный технический университет имени М. Т. Калашикова,
Ижевск, Российская Федерация*

Исследования алгоритмов оптимизации являются актуальными как для решения различных прикладных задач, так и для науки об искусственном интеллекте в целом. Методы оптимизации используются для решения экологических задач, в том числе задач энергосбережения. В рамках проекта «Умный город» актуально решение задач оптимизации теплогидравлических режимов зданий, в частности задачи устранения температурного дисбаланса в целях экономии тепловой энергии и улучшения микроклимата в квартирах. Приводится математическая постановка задачи оптимизации температурного режима помещений с помощью регулируемых устройств, описан гибридный алгоритм, который применяется для решения поставленной задачи. В рассмотренном алгоритме сочетаются два метода оптимизации: метод покоординатного поиска и генетический алгоритм. Таким образом, в гибридном алгоритме использованы стохастическая составляющая (элемент генетического алгоритма) и градиентная составляющая (элемент метода координатного поиска). Приводится описание вышеуказанных алгоритмов, включая используемый математический аппарат и расчетные формулы. Представлены результаты численного эксперимента для предложенного алгоритма. Данные результаты сравниваются с результатами применения генетического алгоритма и метода координатного поиска в отдельности. Подтверждена гипотеза о том, что для повышения эффективности решения задач рассматриваемого класса необходимо объединение генетического алгоритма и градиентных методов. Вместе с тем делается вывод, что в случаях малой тепловой мощности радиаторов одной только оптимизации гидравлических сопротивлений клапанов недостаточно: необходимы также теплоизоляционные мероприятия и замена радиаторов. Практическая ценность работы состоит в возможности ее использования для решения задачи экономии тепловой энергии в системе жилищно-коммунального хозяйства.

Ключевые слова: отопительные приборы, помещение, координатный поиск, температура, регулировочный клапан, гидравлическое сопротивление, оптимизация, генетический алгоритм, тепловые сети.

Для цитирования: Шуравин А. П., Вологдин С. В. Исследования совместной работы генетического алгоритма и алгоритма координатного поиска для оптимизации температуры отопляемых помещений // Вестник Астраханского государственного технического университета. Серия: Управление, вычислительная техника и информатика. 2019. № 4. С. 59–69. DOI: 10.24143/2072-9502-2019-4-59-69.

Введение

В настоящее время в работе систем централизованного отопления актуальны такие оптимизационные задачи, как устранение температурного дисбаланса, который выражается в наличии «теплых» и «холодных» зданий, а также «теплых» и «холодных» помещений внутри одного здания. Эта проблема решается следующим образом: если в здании есть холодные помещения, увеличиваются расходы теплоносителя или повышается его температура, в результате чего в «теплых» помещениях температура становится еще выше. В некоторых случаях такая жара

становится буквально невыносимой для жильцов. Тогда они просто открывают окна, «отапливая» улицу. Понятно, что это приводит к нерациональному расходу энергии, кроме того, увеличивает нагрузку на экологию.

Анализ существующих решений

Для начала рассмотрим некоторые альтернативные способы решения данной проблемы:

1. подбор оптимальной мощности отопительных приборов помещений здания, обеспечивающих нормативную температуру в каждом помещении с учетом фактического состояния ограждающих конструкций;

2. посредством регулирования балансировочных клапанов стояков (данный вопрос рассматривался в [1], применяется для действующих и проектируемых зданий);

3. посредством регулирования регулировочных клапанов отопительных приборов (применяется для действующих зданий). Данный вопрос рассмотрен в настоящей статье.

Первый способ обычно применяется на этапе проектирования зданий. Его можно применить и для действующих зданий, но, как правило, это затратный способ. Кроме того, установка дополнительных секций радиаторов в холодных комнатах не всегда приводит к устранению теплового дисбаланса.

Что касается второго способа, то следует отметить, что посредством регулирования балансировочных клапанов стояков невозможно устранить тепловой дисбаланс в тех помещениях, которые подключены к одному и тому же стояку, и имеет место ситуация, когда к этому стояку подключены как холодные, так и теплые комнаты.

Таким образом, остается вариант с использованием регулировочных клапанов отопительных приборов. Для справки: стоимость радиаторов отопления – от 3 000 до 12 000 руб., регулировочных клапанов – в пределах 1 000 руб.

Третий способ сочетает в себе проблему нелинейности и системной сложности. Дело в том, что регулирование клапана в одной комнате приводит также к изменению температуры в других комнатах, и эта зависимость носит нелинейный характер. Таким образом, нахождение оптимальных значений гидравлических сопротивлений клапанов сводится к решению системы нелинейных уравнений. Размерность данной системы уравнений порядка сотен (по количеству клапанов и комнат). В настоящее время не существует аналитического способа решения данной математической задачи, поэтому проблема решается исключительно приближенным итерационным методом.

Рассмотрим существующие решения данной задачи.

В работе [2] была рассмотрена компьютерная программа, предназначенная для расчета тепловых сетей разных уровней. Авторы описали методики расчета и оптимизации тепловых сетей, используемые при эксплуатации данного программного продукта. Однако данный программный продукт не содержит функционала по оптимизации температурных режимов отапливаемых помещений.

Проблема оперативного регулирования теплоснабжения в зависимости от температуры наружного воздуха рассмотрена в статье [3]. Данная задача решалась путем применения имитационного моделирования. Был применен метод оптимизации температуры теплоносителя, основанный на использовании штрафных функций по температуре воздуха в помещениях и количеству потребляемой тепловой энергии. Следует отметить, что, хотя предложенный авторами метод и позволяет экономить энергию за счет регулирования температуры теплоносителя, он не устраняет температурный дисбаланс, следовательно, его применение будет неэффективным, т. к. нельзя запретить открывать форточку жильцам «теплых» квартир.

В целях оптимизации структуры тепловой сети в работе [4] авторы применяли алгоритм перебора деревьев и метод имитации отжига. Однако этот метод подходит только для вновь создаваемых тепловых сетей, т. к. перестроить существующую сеть экономически невыгодно.

Задача исследования оптимизации гидравлических режимов пассивных древовидных тепловых сетей как многошагового процесса решалась в [5]. Такая задача, как правило, возникает перед началом очередного отопительного сезона. Однако предложенный авторами метод не предполагает регулирование температуры внутри отдельных помещений отапливаемых зданий.

Задача оптимального отопления зданий решалась в работе [6]. Авторы поставили цель – найти условия достижения минимума потерь энергии при обогреве здания в системе центрального отопления. Авторы решали двухкритериальную задачу: поддержания комфортной температуры и достижение минимума потери энергии. Под критерием комфортности температуры подразумевается специальная фитнес-функция¹, учитывающая отклонение температуры от нормативной, считающейся комфортной для человека. Были найдены простейшие частные решения и предложены расчетные формулы. Предложенное решение состоит:

- в снижении эффективного коэффициента теплоотдачи через наружные стены (это, как правило, дорогостоящее мероприятие);
- строгом соблюдении температурного графика, который должен быть индивидуальным для каждого здания (такое не всегда возможно в российских условиях).

Кроме того, авторы не предложили регулировать температуру внутри помещений.

Таким образом, исследование новых алгоритмов оптимизации температуры помещений является актуальной задачей. Кроме того, каждый из алгоритмов оптимизации имеет те или иные недостатки, например отсутствие гарантии достижения глобального экстремума целевой функции, большая вычислительная стоимость и т. д. [7, 8].

Исследования, проведенные в работе [9], показывают, что генетический алгоритм в общем случае дает лучшее значение целевой функции (среднеквадратичное отклонение от нормативной или средней температуры), чем градиентный метод, но работает значительно медленнее. Таким образом, возникает необходимость в объединении этих двух алгоритмов для устранения недостатков того и другого. Данная задача выполнена в рамках настоящего исследования.

Следует также отметить, что проблемам оптимизации в энергетике (включая как оптимизацию тепловых сетей, так и электросетей) посвящен ряд зарубежных исследований [10–13]. Авторами предложен ряд методов, включая элементы искусственного интеллекта и методы математической оптимизации. В работе [10] рассматривалась модель иерархической оптимизации для сети станций зарядки электромобилей. Авторы предложили трехслойную модель оптимизации, включающую оптимизацию местоположений заправочных станций (первый слой), модель очередей (второй слой) и оптимизации динамики зарядки аккумулятора (третий слой). В работе [11] была предложена крикинг-модель для снижения потерь энергии в распределительных сетях. Авторы предложили алгоритм аппроксимации сложных распределительных сетей для ускорения процесса поиска решения. В статье [12] показано применение метода Монте-Карло для оптимизации энергосистем, моделирования безопасности, отказов передачи энергии в режиме реального времени. В работе [13] приведены решения задач оптимизации в электроэнергетике с целью снижения затрат с учетом безопасности.

Постановка задачи

В ходе исследования решалась задача оптимизации температурного режима помещений путем регулирования клапанов отопительных приборов и балансировочных клапанов стояков. Целевая функция задачи оптимизации температурного режима – минимум среднеквадратичного отклонения температуры помещений от нормативной величины:

$$\Phi(s_1, s_2, \dots, s_z) = \left[\frac{1}{N} \sum_{i=1}^N (t_i(s_1, s_2, \dots, s_z) - t_{\text{норм}})^2 \right]^{1/2} \rightarrow \min, \quad (1)$$

где z – количество регулировочных клапанов отопительных приборов и балансировочных клапанов стояков; i – номер помещения; N – количество помещений; t_i – расчетная температура в помещении; $t_{\text{норм}}$ – температура в помещении, которую планируется достичь (в статье применено два варианта оптимизации: относительно нормативной и относительно средней температуры помещений по зданию); s_j – сопротивление j -го клапана (j является номером клапана и принимает значение от 1 до z).

¹ Фитнес-функция – функция, значение которой нужно минимизировать либо максимизировать в ходе решения задачи оптимизации.

Размерность набора оптимизируемых параметров (порядка сотен) определяется количеством регулируемых клапанов.

В связи с тем, что регулировочные клапаны имеют свой диапазон значений сопротивлений, введем ограничение

$$s_j^{\min} \leq s_j \leq s_j^{\max}, \quad (2)$$

где s_j^{\min} и s_j^{\max} минимальное и максимальное сопротивление соответственно.

Температура воздуха внутри отапливаемых помещений рассчитывается из уравнения теплового баланса [2], которое учитывает тепловой приток от теплоносителя в приборах отопления и тепловые потери через ограждающие конструкции (стены, окна, двери, пол и пр.):

$$Q_{\text{ст}}^T + Q_{\text{пол}}^T + Q_{\text{пот}}^T + Q_{\text{дв}}^T + Q_{\text{дв}}^I + Q_{\text{окн}}^T + Q_{\text{окн}}^I + Q_{\text{возд}}^I = Q_{\text{пр}} + Q_{\text{тр}}, \quad (3)$$

где $Q_{\text{ст}}^T$ – теплообмен со стенами; $Q_{\text{пол}}^T$ – теплообмен с полом; $Q_{\text{пот}}^T$ – теплообмен с потолком; $Q_{\text{дв}}^T$ – теплообмен с дверями; $Q_{\text{дв}}^I$ – инфильтрация через двери; $Q_{\text{окн}}^T$ – теплообмен с окнами; $Q_{\text{окн}}^I$ – инфильтрация через окна; $Q_{\text{возд}}^I$ – инфильтрация воздуха; $Q_{\text{пр}}$ – приход тепла от отопительных приборов; $Q_{\text{тр}}$ – приход тепла от труб.

Визуально тепловой баланс помещения представлен на рис. 1.

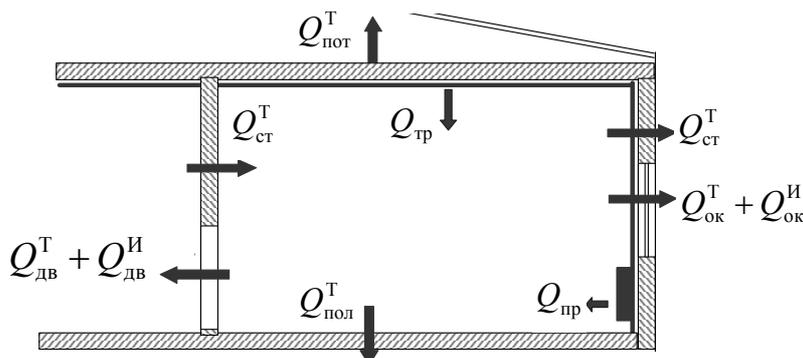


Рис. 1. Схема теплового баланса помещения

Уравнение (3) записывается и решается отдельно для каждого помещения из N помещений здания.

Теплоотдача от труб и отопительных приборов рассчитывается исходя из расхода теплоносителя, который определяется путем решения системы гидравлических уравнений

$$\begin{cases} Ax = q_d, \\ By = 0, \\ y + h_d = SXx, \end{cases} \quad (4)$$

где A – матрица соединений узлов и ветвей; B – матрица контуров, построенная на исходном графе; x и y – векторы неизвестных, соответственно расходов на узлах и перепадов давления на узлах; S – матрица гидравлических сопротивлений; X – матрица расходов; h_d – вектор действующих гидравлических напоров; q_d – вектор действующих расходов теплоносителя в узлах.

Система составляется на основании ориентированного графа системы отопления здания, в качестве ветвей которого выступают участки, расход теплоносителя в которых не меняется. Пример построения такого графа представлен на рис. 2.

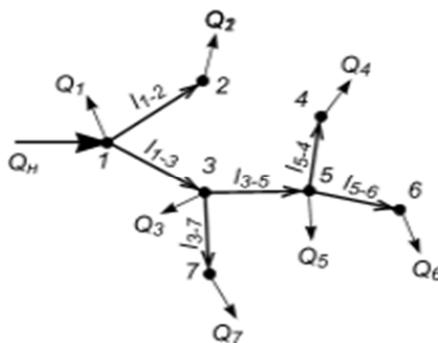


Рис. 2. Пример графа разветвленной теплосети

Изменение сопротивлений гидравлических клапанов приводит к изменению расхода теплоносителя и, следовательно, к изменению теплоотдачи от батарей, что в конечном итоге, согласно уравнению (3), приводит к изменению температуры воздуха в отапливаемом помещении. Существуют два варианта регулирования расхода теплоносителя:

- путем регулировки балансировочных клапанов стояков, которые, как правило, устанавливаются в подвале и регулируют расход теплоносителя по группе помещений, принадлежащих данному стояку;
- путем регулировки клапанов на отопительных приборах (индивидуальное регулирование для каждого помещения).

Во втором случае отопительный прибор соединен параллельно с перемычкой, гидравлическое сопротивление такой системы выражается формулой

$$S_{\text{общ}} = \frac{1}{\left[(\sqrt{S_{\text{приб}}})^{-1} + (\sqrt{S_{\text{пер}}})^{-1} \right]^2},$$

где $S_{\text{приб}}$ – сопротивление отопительного прибора; $S_{\text{пер}}$ – сопротивление перемычки. Сопротивление отопительного прибора складывается из сопротивления радиатора и регулировочного клапана:

$$S_{\text{приб}} = S_{\text{рад}} + S_{\text{клап}},$$

где $S_{\text{рад}}$ – сопротивление радиатора; $S_{\text{клап}}$ – сопротивление клапана.

В данном исследовании в целях сравнения минимумов достижения целевой функции были проведены следующие эксперименты:

- оптимизация гидравлических сопротивлений клапанов отопительных приборов;
- оптимизация гидравлических сопротивлений балансировочных клапанов стояков;
- совместная оптимизация гидравлических сопротивлений клапанов отопительных приборов и балансировочных клапанов стояков.

Рассчитывалось типовое здание при средних расчетных условиях г. Ижевска для фактического состояния ограждающих конструкций и отопительных приборов помещений. Оптимизация была произведена в двух вариантах:

- относительно нормативной температуры, которая была принята 20 °С;
- относительно средней температуры по помещениям.

Начальное приближение – случайное значение из диапазона формулы (2).

Обоснование выбора математического аппарата

Температура в помещении не может быть аналитически выражена из функционала (1), поэтому для ее расчета можно использовать только некоторые методы итеративной оптимизации. Поскольку функционал нелинейный, мы исключаем из рассматриваемых методов методы линейного программирования, например симплекс-метод. Также невозможно аналитически выразить температуру из уравнения (3) и системы уравнений (4), таким образом, температура рассчитывается итерационным методом. Также невозможно найти производную функционала (1), что исключает возможность применения градиентных методов, требующих вычисления производной,

например методов градиентного спуска. Исходя из этих ограничений в качестве базы нового алгоритма были выбраны метод координатного поиска и генетический алгоритм.

Научная новизна данной работы состоит в объединении генетического алгоритма и алгоритма координатного поиска для решения задачи оптимизации температуры отопляемых помещений. Практическая значимость заключается в возможности использования данной разработки для экономии расхода тепловой энергии и улучшения микроклимата отопляемых помещений за счет снижения температурного дисбаланса. Разработка может быть использована организациями ЖКХ и ТСЖ.

Описание алгоритма

Основные понятия и объекты алгоритма.

GradientSpesies – используемый в разработанной программе объект, который мутирует с использованием метода координатного поиска (псевдоградиентный метод).

RandomSpesies – используемый в разработанной программе объект, который мутирует случайно.

Ген – элемент информации; может быть числом, текстом или сложным объектом. В алгоритме, используемом в данном исследовании, число.

Мутация – случайное изменение гена(ов).

Хромосома – упорядоченная последовательность генов. В алгоритме, используемом в данном исследовании, представляет собой просто массив чисел, которые являются аргументами s функционала (1).

Скрещивание – в классическом генетическом алгоритме операция скрещивания представляет собой так называемое точечное скрещивание. Также применяются и другие виды скрещивания: двухточечное, многоточечное и равномерное. В используемом в данном исследовании алгоритме применено точечное скрещивание. Оно происходит следующим образом. Выбираются пары хромосом из родительской популяции. Далее для каждой пары отобранных таким образом родителей разыгрывается позиция гена (локус) в хромосоме, определяющая так называемую точку скрещивания. В новую хромосому берется «половинка» из первой хромосомы – до точки скрещивания – и из второй – после точки скрещивания. Точка скрещивания выбирается случайно.

Описание работы алгоритма. Представленный в настоящем исследовании *гибридный алгоритм* использует отдельные фрагменты генетического алгоритма и алгоритма координатного поиска, взятые из работы [9].

Так же, как и генетический алгоритм, алгоритм, разработанный в данном исследовании, проходит следующие стадии:

1. Начальное заполнение.
2. Размножение наборов (элементов выборки).
3. Сортировка.
4. Селекция.
5. Проверка условия завершения оптимизации. Если данное условие выполнено, то прерываем алгоритм, иначе переходим к шагу 2 (начинаем новый цикл)

Разница между генетическим алгоритмом и гибридным алгоритмом – в способе мутаций элементов выборки. Во-первых, элементы имеют два типа. Первый – *RandomSpesies*, у элементов данного типа мутация и скрещивание происходят случайным образом. В этом случае они соответствуют генетическому алгоритму (ГА), который описан в [9]. Вторым типом – *GradientSpesies* – получается при скрещивании элементов методом координатного поиска. Это влияет на селекцию, алгоритм которой будет описан ниже.

При начальном заполнении всем элементам выборки присваивается тип *RandomSpesies*. Заполнение происходит точно так же, как в ГА.

Размножение. В отличие от ГА, в гибридном алгоритме на стадии размножения сначала происходит скрещивание координатным поиском, при котором новый элемент выборки получается точно так же, как в методе координатного поиска (КП) из [9]. Скрещивание происходит по схеме «каждый с каждым», за исключением тех случаев, когда в элементах выборки недостаточно различий, чтобы использовать метод КП. Если не удалось скрестить таким образом ни один элемент, происходит дополнительная генерация элементов случайным образом, и уже эти дополнительные элементы скрещиваются методом КП. Дальше выборка дополняется элементами, скрещенными, как в ГА.

Сортировка. Точно такая же, как в ГА.

Селекция. Алгоритм селекции состоит из нескольких этапов:

1. Подсчет количества наборов по типам (RandomSpesies и GradientSpesies).
2. Если количество наборов типа GradientSpesies превышает общее максимально допустимое количество наборов¹, то выполняем п. 2.1–2.3, иначе переход к п. 3.1–3.3.

2.1. Из популяции удаляются все наборы типа GradientSpesies.

2.2. Если количество наборов в популяции все еще больше максимального предела, начинаем удалять уже наборы типа RandomSpesies, но удаляем только наборы, порядковый номер которых превышает максимально допустимое количество, в результате чего оставляем в популяции только максимально допустимое количество наборов. Так как наборы уже отсортированы по целевой функции в порядке ее ухудшения, то таким образом будут удалены только самые худшие наборы (удаление с конца).

2.3. Переход к п. 4.

3.1. Определяется k – удельный вес наборов типа GradientSpesies как отношение количества GradientSpesies к общему количеству наборов.

3.2. Случайным образом удаляем из популяции наборы, так же как в ГА, но вероятность удаления умножается на $1 + k$ (значение k вычислено на шаге 3.1).

3.3. Переход к п. 4.

4. Алгоритм завершен.

В качестве фитнес-функции используется среднеквадратическое отклонение температур, вычисленное согласно функционалу (1).

Результаты эксперимента

Результаты эксперимента приведены в таблице.

Сравнение алгоритмов

Алгоритм	Что оптимизируем	Что регулируем	Значение целевой функции (результат оптимизации)*	Время работы, мин	Количество итераций	
Гибридный	Отклонение от среднего	Стояки	2,89	216	100	
Генетический			3,08	62	100	
Координатный поиск			1	100		
			3	1 000		
Генетический		3,03	450	700		
Гибридный		Батарей	2,58	180	100	
Генетический			70			
Координатный поиск			1			
Гибридный		Стояки + батареи	2,29	230	100	
Генетический			3,22	118		
Координатный поиск			2,67	1		
Гибридный		Отклонение от $t = 20$ °C	Стояки	3,76	233	100
Генетический	2,86			69	100	
	2,76			205	400	
Координатный поиск	3,46			1	100	
Гибридный	Батарей		3,0	181		
Генетический			3,6	71		
Координатный поиск			3,25	1		
Гибридный	Стояки + батареи		3,21	180		100
Генетический			3,35	60		
Координатный поиск			2,72	1		
Без оптимизации	–		–	5,14		–

* Значения больше 5 – неудовлетворительно (сильный дисбаланс); 3–4 – удовлетворительно (имеется дисбаланс); 1,5–3 – хорошо (небольшой дисбаланс); 0,5–1 – отлично (дисбаланс незначительный); менее 0,5 – идеально (дисбаланс практически отсутствует),

¹ Общее количество – независимое от типа.

Из таблицы видно, что в ряде случаев (например, гибридный алгоритм, оптимизируем отклонение от среднего, регулируем балансировочные клапаны стояков) действительно наблюдается улучшение результатов оптимизации при объединении ГА и метода координатного поиска, но сильно увеличивается время работы алгоритма (хотя и не всегда). А именно: для варианта «оптимизируем отклонение от среднего, регулируем балансировочные клапаны стояков» значение целевой функции для гибридного алгоритма 2,89, что лучше, чем для ГА с тем же вариантом оптимизации (значение 3,08), и лучше, чем для координатного поиска (значение 3,47). Данные строки в таблице выделены.

Также из результатов эксперимента следует, что координатный поиск действительно не может продвинуть оптимизацию дальше локального минимума, в которой он «застрял»: результат одинаков при 100, 1 000 и 10 000 итераций.

Следует также отметить, что оптимизация не помогает, когда для обогрева помещения не хватает мощности отопительных приборов (рис. 3 и 4). В этом случае рекомендуется замена отопительных приборов или улучшение теплоизоляции.

28,1С	23,5С	22,1С	22,6С	25,9С	25,3С	24,9С	25,9С	23,2С	25,8С	25,5С	20,2С	24,1С	28,1С
24,3С	26С	23,1С	23,3С	20,9С	28,1С	25,5С	23,9С	22,2С	26,7С	19,5С	22,3С	18,8С	25,8С
27,3С	26С	23,8С	25,5С	25,7С	27,4С	25С	22,4С	26,9С	24,8С	20,1С	20С	18,2С	14,5С
25,4С	25С	21,4С	19,4С	28,1С	25,5С	17,1С	25,8С	26,2С	23,5С	24С	22,3С	19,7С	
19С	28,1С	27,3С	18,6С	24,1С	22,9С	17,6С	15,2С	24,1С	18,6С	22,5С	21,8С	18С	
14,1С	21,8С	23,9С	20,3С	24,7С	27,1С	19,7С	19,3С	19,5С	22,3С	23,2С	19С	24,7С	
23,4С	22,1С	22,4С	19,6С	23,7С	28,1С	21,4С	25,9С	18,6С	24,3С	27,4С	21,6С	22,7С	
21,9С	23,9С	20,4С	17,9С	25,3С	22,7С	21С	26,1С	25,5С	21,6С	26,9С	20,7С	14,4С	
20,6С	21,8С	20,9С	23,8С	28,1С	20,5С	22,1С	25,5С	22,6С	25С	19,3С	17,8С	24,6С	
21,4С	24,9С	23,1С	22,2С	24,9С	23,7С	25,4С	15,2С	23,3С	21,5С	17,1С	24,3С	27,7С	

Рис. 3. Температурная карта помещения до оптимизации

19,5С	21,1С	21С	20,7С	18,4С	21,8С	22,4С	23,1С	20,8С	22,8С	20,9С	20,9С	21,7С	28,1С
21,7С	20,7С	23,2С	24,2С	21,6С	24,9С	21,9С	22,2С	19,7С	22,8С	20,2С	21,6С	19,8С	24,1С
22,2С	22,6С	21,3С	19,5С	23,7С	22,4С	20,2С	20,7С	22,4С	22,9С	20,6С	20,9С	19,1С	15,7С
20,9С	21,7С	22,2С	20,1С	25,5С	21,5С	17,6С	20,1С	22,1С	21,7С	21,2С	21,2С	20,8С	
19,8С	24,8С	18,8С	19,3С	20,6С	21С	18,2С	15,6С	20,5С	19С	21,5С	22С	19,1С	
14,1С	20С	19,9С	21,6С	21,2С	24,3С	21,3С	19,7С	20С	19,9С	22,2С	19,9С	21,2С	
20,5С	18,6С	23,4С	20,8С	20,7С	23,1С	21,8С	21,5С	19С	20,3С	23,9С	21,2С	20,7С	
19,3С	19,4С	21,8С	19,1С	21С	21,8С	20,9С	21,2С	20,9С	22,7С	20,8С	21,4С	15С	
19С	20,9С	22,1С	21,4С	26,3С	21,2С	21,3С	21,8С	21,6С	23,2С	20,1С	18,3С	26,1С	
22,4С	20,3С	24,6С	20,9С	21С	20,3С	21,1С	15,5С	20,9С	22,6С	17,5С	21,1С	28,1С	

Рис. 4. Температурная карта помещения после оптимизации с применением гибридного алгоритма

Как видим, оптимизация позволила снизить температуру в большинстве помещений, где было жарко, но в холодных комнатах температура практически не изменилась.

Выводы

1. В ряде случаев объединение генетического алгоритма и метода координатного поиска позволяют достичь большей глубины оптимизации (лучшего значения целевой функции), чем при использовании этих алгоритмов по отдельности. Но такое улучшение происходит не всегда, поэтому необходимо дальнейшее исследование с целью выяснения факторов, влияющих на глубину оптимизации.

2. Использование генетического алгоритма приводит к резкому увеличению времени выполнения алгоритма, но т. к. данный алгоритм позволяет получить большую глубину оптимизации, его применение оправдано, однако последний нуждается в доработке.

3. Наряду с оптимизацией гидравлического сопротивления клапанов стояков и отопительных приборов необходимо производить оптимизационные мероприятия помещений, заключающиеся в замене отопительных приборов или улучшении теплоизоляции для тех помещений, где недостаточно мощности тепловых приборов для обогрева помещения.

4. Границы применимости гибридного алгоритма:

4.1. Оптимизация гидравлических сопротивлений балансировочных клапанов стояков, либо регулировочных клапанов батарей, либо клапанов стояков + батарей в том случае, когда необходимо устранить температурный дисбаланс отапливаемых помещений относительно средней температуры помещений.

4.2. Оптимизация гидравлических сопротивлений клапанов батарей, когда необходимо устранить температурный дисбаланс отапливаемых помещений относительно нормативной температуры.

4.3. В остальных случаях (устранение температурного дисбаланса отапливаемых помещений относительно нормативной температуры с регулированием балансировочных клапанов стояков либо стояков + батарей) данный алгоритм неприменим, т. к. он дает худшие результаты, чем алгоритм координатного поиска или генетический алгоритм в отдельности.

СПИСОК ЛИТЕРАТУРЫ

1. Шуравин А. П., Вологдин С. В. Применение генетического алгоритма для оптимизации температурного режима помещений посредством регулирования балансировочных клапанов стояков // Интеллектуальные системы в производстве. 2018. Т. 16. № 2. С. 113–120.

2. Вологдин С. В. Исследование и оптимизация режимов теплоснабжения зданий, обслуживаемых централизованным источником тепла: автореф. дис. ... канд. техн. наук. Ижевск, 2000. 19 с.

3. Баслаев А. А., Шнайдер Д. А. Метод оптимизации температуры подаваемого теплоносителя в системе централизованного теплоснабжения зданий на основе имитационного моделирования // Вестн. Юж.-Урал. гос. ун-та. Сер.: Компьютерные технологии, управление, радиоэлектроника. 2017. Т. 17. № 1. С. 15–22.

4. Стенников В. А., Чемерзов А. А. Применение алгоритма перебора деревьев и метода имитации отжига для схемно-структурной оптимизации тепловых сетей // Программные продукты и системы. 2018. № 2. С. 387–395.

5. Луценко А. В., Новицкий Н. Н. Исследование задачи оптимизации гидравлических режимов пассивных древовидных тепловых сетей как многошагового процесса // Энергетика в современном мире: материалы VIII Междунар. заоч. науч.-практ. конф. (Чита, 11–15 декабря 2017 г.). Чита: Изд-во ЗГУ, 2017. С. 101–107.

6. Сабенов К. О., Байтасов Т. М. Оптимальное (энергоэффективное) теплоснабжение здания в системе центрального отопления // Изв. Том. политехн. ун-та. Инжиниринг георесурсов. 2015. № 8 (326). С. 53–60.

7. Акулич И. Л. Математическое программирование в примерах и задачах: учеб. пособие для студентов эконом. спец. вузов. СПб.: Лань, 2011. 352 с.

8. Коробейников А. В. Программирование нейронных сетей: учеб.-метод. пособие. Ижевск: Изд-во ИжГТУ, 2013. 44 с.

9. Шуравин А. П., Вологдин С. В., Горохов М. М. Сравнение генетического алгоритма и метода координатного поиска для оптимизации температурного режима помещений посредством регулирования клапанов отопительных приборов и балансировочных клапанов стояков // Актуальные проблемы прикладной математики, информатики и механики: сб. тр. Междунар. науч. конф. (Воронеж, 17–19 декабря 2018 г.). Воронеж: Науч.-исслед. публикации, 2018. С. 470–475.

10. Kong C., Jovanovic R., Bayram I. S., Devetsikiotis M. A hierarchical optimization model for a network of electric vehicle charging stations // Energies. 2017. V. 10 (5), 675. URL: <https://doi.org/10.3390/en10050675> (дата обращения: 13.04.2019)

11. Wang D., Hu Q., Tang J., Lia H., Li Y., Gao S., Fan M. A kriging model based optimization of active distribution networks considering loss reduction and voltage profile improvement // Energies. 2017. V. 10 (12). 2162. DOI: 10.3390/en10122162.

12. Sacaan R., Rudnick H., Lagos T., Ordóñez F., Navarro-Espinosa A., Moreno R. Improving power system reliability through optimization via simulation // 2017 IEEE Manchester PowerTech (Manchester, UK, 18–22 June 2017). URL: <https://ieeexplore.ieee.org/document/7981193> (дата обращения: 13.04.2019).

13. Dolan M. J., Davidson E. M., Kockar I., Ault G. W., McArthur S. D. J. Distribution power flow management utilizing an online optimal power flow technique // IEEE Transactions on Power Systems. 2012. V. 27. N. 2. P. 790–799.

ИНФОРМАЦИЯ ОБ АВТОРАХ

Шуравин Александр Петрович – Россия, 426069, Ижевск; Ижевский государственный технический университет имени М. Т. Калашникова; аспирант кафедры информационных систем; megabaх@ Rambler.ru.

Вологдин Сергей Валентинович – Россия, 426069, Ижевск; Ижевский государственный технический университет имени М. Т. Калашникова; д-р техн. наук, доцент; профессор кафедры информационных систем; vologdin_sv@mail.ru.



STUDIES OF JOINT WORK OF GENETIC ALGORITHM AND COORDINATE SEARCH ALGORITHM TO OPTIMIZE TEMPERATURE OF HEATED INDOOR AREAS

A. P. Shuravin, S. V. Vologdin

*Kalashnikov Izhevsk State Technical University,
Izhevsk, Russian Federation*

Abstract. The article is focused on studying optimization algorithms that are relevant both for solving applied problems and for studying the artificial intelligence in general. Optimization methods are used to solve environmental problems including the issues of energy saving. It is important to solve problems of optimizing the thermo-hydraulic modes of buildings (as a part of the “Smart City” project), in particular, problems of eliminating temperature imbalance in terms of saving thermal energy and improving the microclimate in apartments. There is shown a mathematical formulation of the problem of optimizing the temperature modes of the indoor areas using adjustable devices. A hybrid algorithm applied to solve the problem has been described. The considered algorithm combines two optimization methods: a coordinate search method and a genetic algorithm. Thus, the stochastic component (element of the genetic algorithm) and the gradient component (element of the coordinate search method) are used in the hybrid algorithm. A description of the above algorithms is given including the mathematical apparatus used and the design formulas. The results of the numerical experiment for the suggested algorithm are presented. These results are compared with the results of applying the genetic algorithm and the method of coordinates search separately. There has been confirmed the hypothesis that in order to increase the efficiency of solving the considered class of problems, it is necessary to combine the genetic algorithm and gradient methods. At the same time, it has been inferred that in cases of low thermal power of radiators, optimization of the hydraulic resistance of valves is not sufficient, thermal insulation measures and replacement of radiators are also required. The practical value of the work lies in the possibility of solving the problem of saving thermal energy in the housing and communal services system.

Key words: heating appliances, premises, coordinate search, temperature, regulating valve, hydraulic resistant, optimization, genetic algorithm, heat networks.

For citation: Shuravin A. P., Vologdin S. V. Studies of joint work of genetic algorithm and coordinate search algorithm to optimize temperature of heated indoor areas. *Vestnik of Astrakhan State Technical University. Series: Management, Computer Science and Informatics.* 2019;4:59-69. (In Russ.) DOI: 10.24143/2072-9502-2019-4-59-69.

REFERENCES

1. Shuravin A. P., Vologdin S. V. Primenenie geneticheskogo algoritma dlia optimizatsii temperaturnogo rezhima pomeshchenii posredstvom regulirovaniia balansirovochnykh klapanov stoiakov [Application of genetic algorithm to optimize temperature mode of rooms by regulating balancing valves of risers]. *Intellektual'nye sistemy v proizvodstve*, 2018, vol. 16, no. 2, pp. 113-120.
2. Vologdin S. V. *Issledovanie i optimizatsiia rezhimov teplosnabzheniia zdanii, obsluzhivaemykh tseentralizovannym istochnikom tepla. Avtoreferat dis. ... kand. tekhn. nauk* [Research and optimization of heat supply regimes for buildings served by centralized heat source. Diss. Abstr. .. Cand. Tech. Sci.]. Izhevsk, 2000. 19 c.

3. Basalaev A. A., Shnaider D. A. Metod optimizatsii temperatury podavaemogo teponositel'ia v sisteme tsentralizovannogo teplosnabzheniia zdaniia na osnove imitatsionnogo modelirovaniia [Method for optimizing temperature of supplied coolant in heating system of buildings based on simulation method]. *Vestnik Iuzhno-Ural'skogo gosudarstvennogo universiteta. Seriya: Komp'iuternye tekhnologii, upravlenie, radioelektronika*, 2017, vol. 17, no. 1, pp. 15-22.
4. Stennikov V. A., Chemerzov A. A. Primenenie algoritma perebora derev'ev i metoda imitatsii otzhiga dlia skhemno-strukturnoi optimizatsii teplovykh setei [Application of tree search algorithm and annealing simulation method for structural optimization of heating networks]. *Programmnye produkty i sistemy*, 2018, no. 2, pp. 387-395.
5. Lutsenko A. V., Novitskii N. N. Issledovanie zadachi optimizatsii gidravlicheskikh rezhimov passivnykh drevovidnykh teplovykh setei kak mnogoshagovogo protsessa [Investigation of problem of optimizing hydraulic modes of passive tree-like heat networks as multi-step process]. *Energetika v sovremennom mire: materialy VIII Mezhdunarodnoi zaochnoi nauchno-prakticheskoi konferentsii (Chita, 11–15 dekabria 2017 g.)*. Chita, Izd-vo ZGU, 2017. Pp. 101-107.
6. Sabenov K. O., Baitasov T. M. Optimal'noe (energoeffektivnoe) teplosnabzhenie zdaniia v sisteme tsentral'nogo otopeniia [Optimal (energy efficient) heat supply of building in central heating system]. *Izvestiia Tomskogo politekhnicheskogo universiteta. Inzhiniring geoesursov*, 2015, no. 8 (326), pp. 53-60.
7. Akulich I. L. *Matematicheskoe programmirovaniie v primerakh i zadachakh: uchebnoe posobie* [Mathematical programming in examples and tasks: tutorial]. Saint-Petersburg, Lan' Publ., 2011. 352 p.
8. Korobeinikov A. V. *Programmirovaniie neuronnykh setei: uchebno-metodicheskoe posobie* [Neural network programming: training manual]. Izhevsk, Izd-vo IZHGTU, 2013. 44 p.
9. Shuravin A. P., Vologdin S. V., Gorokhov M. M. Sravnenie geneticheskogo algoritma i metoda koordinatnogo poiska dlia optimizatsii temperaturnogo rezhima pomeshchenii posredstvom regulirovaniia klapanov otopitel'nykh priborov i balansirovochnykh klapanov stoiakov [Comparison of genetic algorithm and coordinate search method for optimizing temperature conditions of indoor areas by adjusting valves of heating appliances and balancing valves of risers]. *Aktual'nye problemy prikladnoi matematiki, informatiki i mekhaniki: sbornik trudov Mezhdunarodnoi nauchnoi konferentsii (Voronezh, 17–19 dekabria 2018 g.)*. Voronezh, Izd-vo «Nauchno-issledovatel'skie publikatsii», 2018. Pp. 470-475.
10. Kong C., Jovanovic R., Bayram I. S., Devetsikiotis M. A hierarchical optimization model for a network of electric vehicle charging stations. *Energies*, 2017, vol. 10 (5), 675. Available at: <https://doi.org/10.3390/en10050675> (accessed: 13.04.2019).
11. Wang D., Hu Q., Tang J., Lia H., Li Y., Gao S., Fan M. A kriging model based optimization of active distribution networks considering loss reduction and voltage profile improvement. *Energies*, 2017, vol. 10 (12), 2162. DOI: 10.3390/en10122162.
12. Sacaan R., Rudnick H., Lagos T., Ordóñez F., Navarro-Espinosa A., Moreno R. Improving power system reliability through optimization via simulation. *2017 IEEE Manchester PowerTech (Manchester, UK, 18-22 June 2017)*. Available at: <https://ieeexplore.ieee.org/document/7981193> (accessed: 13.04.2019).
13. Dolan M. J., Davidson E. M., Kockar I., Ault G. W., McArthur S. D. J. Distribution power flow management utilizing an online optimal power flow technique. *IEEE Transactions on Power Systems*, 2012, vol. 27, no. 2, pp. 790-799.

The article submitted to the editors 22.07.2019

INFORMATION ABOUT THE AUTHORS

Shuravin Alexander Petrovich – Russia, 426069, Izhevsk; Izhevsk Kalashnikov State Technical University; Postgraduate Student of the Department of Information Systems; megabax@rambler.ru.

Vologdin Sergey Valentinovich – Russia, 426069, Izhevsk; Izhevsk Kalashnikov State Technical University; Doctor of Technical Sciences, Assistant Professor; Professor of the Department of Information Systems; vologdin_sv@mail.ru.

