

Компьютеризированная система оптимизации потребления электроэнергии в жилом доме

С.В. Хмелевой^{*1}, А.С. Усова^{*2}

^{*1} к.т.н, доцент, Донецкий национальный технический университет,
hmelevoy.sergey@gmail.com

^{*2} магистрант, Донецкий национальный технический университет,
anastacy27@gmail.com

Хмелевой С.В., Усова А.С. Компьютеризированная система оптимизации потребления электроэнергии в жилом доме. В статье рассмотрена проблема оптимизации потребления электроэнергии. Для решения данной проблемы рассмотрено применение программы Demand Response. Проанализировано построение генетического алгоритма применительно к Demand Response, а именно, разработан способ кодирования хромосомы и предложен первоначальный выбор параметров алгоритма. Проанализирован вид фитнес-функции для оптимизации потребления электроэнергии с учётом заданного алгоритма и ограничений. Приведены результаты работы разрабатываемой программы.

Ключевые слова: Demand Response, генетический алгоритм, оптимизация потребления электроэнергии, оптимизация работы электроприборов, расписание.

Введение

На сегодняшний день наблюдается стремительное наращивание мощностей энергетики [1]. Что влечёт за собой проблему исчерпаемости запасов сырьевых ресурсов, поэтому не теряет своей актуальности проблема энергосбережения. Для того чтобы в будущем предотвратить проблемы, связанные с нехваткой электрических мощностей, правительства многих стран прорабатывают программы, направленные на побуждения населения сокращать потребление электроэнергии с помощью применения энергоэффективных технологий, системы тарифов (многотарифные счетчики), энергосберегающего оборудования. Также во многих странах для оптимизации потребления электроэнергии вводят программу Demand Response. Demand Response – это изменение потребления электроэнергии конечными потребителями относительно их нормального профиля нагрузки в ответ на изменение цен на электроэнергию во времени или в ответ на стимулирующие выплаты, предусмотренные чтобы снизить потребление в периоды высоких цен на электроэнергию на оптовом рынке или когда системная надёжность под угрозой [2]. Анализ литературных источников показывает, что существует целый класс проблем, относящихся к решению задачи Demand Response [3-5].

Наиболее значительным объектом оптимизации в жилом секторе являются домашние электроприборы. Анализ приборов по виду и регулярности включения подразумевает некоторую классификацию. В рамках данной работы предлагается разделять электробытовые приборы на следующие категории: не оптимизирующийся, с термостатическим управлением, с циклическим режимом работы, нуждающиеся в присутствии человека в доме.

Применение генетического алгоритма к Demand Response

Целью работы является минимизация расходов на электроэнергию с учётом ограничения пиковой нагрузки. Объектом оптимизации потребление электроэнергии в жилом секторе будут выступать домашние электроприборы и для них будут оптимизироваться временные моменты включения, для минимизации расходов на электроэнергию и снижение пиковой нагрузки на сеть. Формальная постановка задачи остаётся как в работе [6]. Рассмотрим подробнее алгоритм работы.

Предполагается, что в многоквартирном доме, в условиях ОСМД, устанавливается в каждой квартире микроконтроллер, который будет управлять электроприборами.

В свою очередь пользователи дают информацию администратору о приборах, которые будут регулироваться. Наименование электроприбора и его потребляемую мощность. Также пользователи составляют расписание (часы работы) для их электрооборудования в квартире.

При этом предусмотрено, что у жильцов установлены трёхтарифные счетчики и оплата за электроэнергию начисляется по разным тарифам рис. 1 [7].



Рисунок 1 – Действующие тарифы

Компьютеризированная система, в серверной, которая находится возле исходного дома будет распределять время работы для электроприборов с термостатическим управлением и с циклическим режимом работы. Входные данные для разрабатываемой системы представлены в табл.1.

Таблица 1. – Входные данные

Обозначение	Описание
M	количество квартир в доме
N	количество управляемых электроприборов
I	индекс электроприбора
t_i	время включения i -го электроприбора, где $i = [1, \dots, N]$
Δt_i	длительность времени работы электроприбора
P_i	мощность i -го электроприбора, где $i = [1, \dots, N]$
$Vkl_{i,t}$	текущее состояние электроприбора, если $Vkl_i = 1$ – включен, если $Vkl_i = 0$ – выключен
$TimeCost_{i,t}$	текущая стоимость электроэнергии, потребленной в течение любого интервала времени t , $t \in T$
T	горизонт планирования, $T = 24$
$EappUutil$	полезность бытовой техники (на сколько пользователю удобна работа прибора в конкретное время, измеряется от 0 до 1)
$EcostSavings$	экономия электроэнергии, выраженная в процентах

На выходе системы оптимизации потребления электроэнергии, ожидается получить оптимальное расписание работы электроприборов со снижением спроса, влекущее за собой минимизацию суммарных затрат на электроэнергию с учетом дневного и ночного тарифа, а также снижением пиковой нагрузки потребления электроэнергии. Предполагаемый формат выходных данных:

$$Y = \{ [N_i(\text{Электроприбор}),] [VKL_{i,t}(\text{Текущее состояние электроприбора}),] [t_i(\text{Часы работы}),] [P_i(\text{Мощность}),] [EcostSavings(\text{экономия электроэнергии})] \};$$

Разработка способа кодирования хромосомы генетического алгоритма

В данной работе для решения поставленной задачи предлагается применение генетического алгоритма. Генетические алгоритмы применяются для решения задач Demand Response большим количеством авторов [8-11]. Алгоритм предлагается классический, состоящий из селекции хороших хромосом, их кроссинговера и мутации с целью получения возможно более лучших решений, формировании по их результатам новой популяции и итерационного повторения предыдущих шагов пока не будет достигнут критерий остановки.

Кодирование хромосомы в данной работе предлагается двоичное: хромосомы рассматриваются как массив битов, которые представляют состояние включения (равно 1) или выключения (равно 0) электроприборов. Интервал включения/выключения хромосом предлагается брать 10 минут, таким образом состояние включения-выключения одного прибора в течение 24 часов можно закодировать $24 \cdot 6 = 144$ битами. Дополнительно к этим битам в соответствии с работой [9] предлагается добавлять несколько дополнительных. Также предлагается ввести дополнительные параметры, которые могут влиять на построение хромосомы. А

именно, параметр определяющий id класса электроприбора (не управляемые, термостатические, циклические); параметр для id электроприбора (порядковый номер электроприбора, закреплённый за ним в базе данных); параметр прерывания назначается для того чтобы определить может ли работа электроприбора прерываться или нет (1-да, 0-нет); параметр приоритета отводится для приоритетности электроприбора (1-да, 0-нет), табл. 2. Таким образом, общая длина хромосомы будет достигать 152 бит или 19 байт.

Таблица 2 – Кодирование хромосомы

id класса	id электроприбора	Расписание	Прерывается работа или нет	Бит приоритета
3 бита	3 бита	144 бита - раз в 10 минут (6 бит на 1 час)	1 бит	1 бит

Первоначальный выбор параметров генетического алгоритма

В соответствии с кодировкой хромосомы предлагается использование стандартных генетических операторов – классические двоичные одноточечный кроссинговер, мутация, классическая репродукция.

Первоначальные параметры генетических операторов предлагаются следующие.

Вероятность кроссинговера. Большое значение означает быструю сходимость за счет точности. В [10] упоминается, что в литературе установлено наилучшей скоростью кроссинговера для задачи оптимизации является: $P_c = 0.9$.

Вероятность мутации очень мала, что определяется следующей формулой:

$$P_m = \frac{1 - P_c}{10}$$

Элитизм используется для запоминания наилучшего решения, которое передается от одного поколения к другому.

Дополнительно планируется использование одного проблемно-ориентированного оператора, основанного на методе load shifting:

$$\forall \max(P_i) < limit$$

Он основан на выключении наименее приоритетных электроприборов в часы максимального потребления или путем включения их в более раннее или позднее время. Если суммарное потребление мощности электроприборов превышает значение максимальной мощности, то среди всех включённых электроприборов отключается электроприбор с наименьшей приоритетностью:

$$\begin{aligned} &\text{если } \sum_i P \leq \max P, \\ &\text{и } \forall Pr_i = \max, Vkl_i = 1, \\ &\text{то } Vkl_i = 0 \end{aligned}$$

Где Vkl_i – это текущее состояние электроприбора. $Vkl_i = 1$ – включен, $Vkl_i = 0$ – выключен.

Отбор на основе турнира используется для формирования новой популяции из существующих, и алгоритм завершается при выполнении критериев генерации.

Ограничения в исследуемой работе, следующие: принудительное включение электроприборов пользователем; будет выставлен в 1 бит приоритетности и будет произведён перерасчёт ГА, исходя из текущего момента пересчитывается как дальше будет включаться электрооборудование; снижение пиковой нагрузки потребления; учет комфорта пользователя: своевременное периодическое включение приборов с циклическим режимом и поддержка работы приборов с термостатическим управлением в штатном режиме.

Разработка фитнес-функции

Фитнес-функция состоит из двух составляющих. *EcostSavings* – сэкономленная электроэнергия, *EappUtil* – полезность бытовой техники (на сколько пользователю удобна работа прибора в конкретное время, измеряется от 0 до 1);

Максимизация фитнес-функции приводит к минимизации расходов на электроэнергию при сохранении на необходимом уровне комфорта пользователя (штатном режиме работы термостатических приборов и своевременности включения приборов с циклическим режимом).

$$\text{Max}(EappUtil + EcostSavings)$$

$$EappUtil = (\alpha - (\frac{delay}{24}))$$

$$0.3 \leq \alpha \leq 0.7$$

$$1 \leq delay \leq 4$$

$$EcostSavings = \beta * (\frac{cost}{100}) * (\frac{Sch_cost}{TimeCost})$$

$$0.3 \leq \beta \leq 0.7$$

$$\alpha + \beta = 1$$

Где:

α и β – переменными задержки;

EcostSavings – сэкономленная электроэнергия;

EappUtil – полезность бытовой техники (на сколько пользователю удобна работа прибора в конкретное время, измеряется от 0 до 1);

delay – функция задержки, и в исходном сценарии она ограничена четырьмя часами;

cost – это функция стоимости, и ее значения находятся между 20% и 70%.

Sch_cost – стоимость мощности приборов в течение всего дня, рассчитывается по битам состояния устройства x , номинальная мощность;

TimeCost – текущая стоимость электроэнергии, потребленной в течение времени t , $t \in T$.

T – горизонт планирования, $T = 24$;

Полный вид фитнес функции представлен следующей формулой:

$$\text{MinS}(c_1 \sum_{i=1}^N \sum_{t=1}^T Vkl_{i,t} \times \text{TimeCos}t_{i,t}) +$$

$$+ c_2 \frac{1}{EappUtil + EcostSavings}$$

Где:

i – индекс электроприбора;

N – количество электроприборов;

$Vkl_{i,t}$ – текущее состояние электроприбора, если $Vkl_i = 1$ – включен, если $Vkl_i = 0$ – выключен;

TimeCost_{i,t} – текущая стоимость электроэнергии, потребленной в течение интервала времени t , $t \in T$.

T – горизонт планирования, $T = 24$;

EcostSavings – экономия электроэнергии выраженная в процентах;

EappUtil – полезность бытовой техники (на сколько пользователю удобна работа прибора в конкретное время, измеряется от 0 до 1);

Масштабные коэффициенты c_1 и c_2 подбираются таким образом, чтобы первое и второе слагаемое были сравнимых размеров.

Результат работы

На рис. 2 изображен фрагмент неоптимизированного расписания, представляющее собой набор моментов включения и выключения электрооборудования. На рис. 3 изображён фрагмент работы ГА для построения оптимизированного расписания времени работы электроприборов в квартире. В табл. 3 представлен тестовый набор с описанием оптимального времени работы электроприборов.

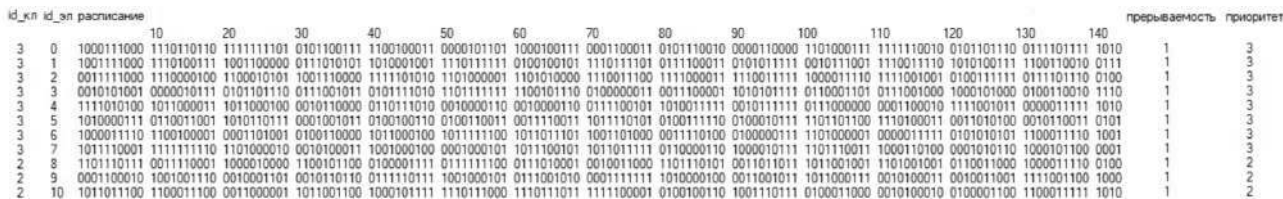


Рисунок 2 – Фрагмент запуска программы работы ГА для построения графика работы электроприборов

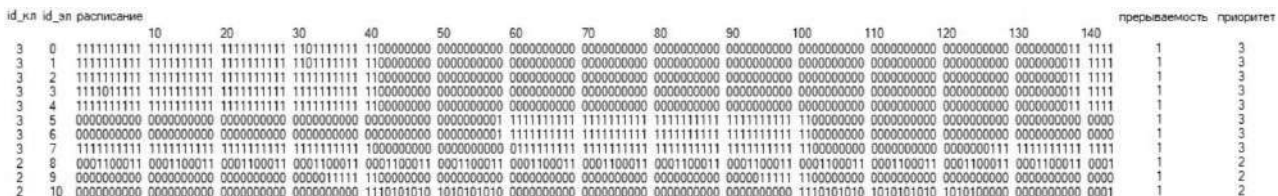


Рисунок 3 – Фрагмент запуска программы работы ГА для построения графика работы электроприборов

Таблица 1 – Форматирование страницы в статье

Таблица 3 – Результат работы ГА для построения графика работы электроприборов

id_кл	id_эл	Наименование	Время работы	Прерывание	Приоритет	
3-циклический	0	стиральная машина	только в ночной тариф	1	3	
	1	посудомоечная машина		1		
	2	умный пылесос (зарядка)		1		
	3	гироборд (зарядка)		1		
	4	сушилка		1		
	5	мультиварка		дневной тариф, но не в час пик		1
	6	хлебопечка				1
	7	ноутбук (зарядка)	в любое время, кроме часа пик	1		
2-термостатический	8	холодильник	20 мин работает; 30 мин не работает	1	2	
	9	бойлер	вкл. на 70 мин перед часом пик	1		
	10	кондиционер	вкл. на 20 мин до часа пик; в часы пик 10 мин работает, 10 мин не работает	1		

Как видно из рис. 3 и табл. 3 разрабатываемая система оптимизирует моменты включения и выключения электрооборудования, из-за чего происходит минимизация расходов на электроэнергию и снижение пиковой нагрузки потребления электроэнергии.

Выводы

В данной работе по оптимизации потребления электроэнергии жилого дома проанализировано использование методов Demand Response. Проанализировано построение генетического алгоритма применительно к Demand Response. Произведена разработка способа кодирования хромосомы генетического алгоритма. Предложен первоначальный выбор параметров генетического алгоритма. Разработана фитнес-функция исходной задачи с учётом заданных ограничений. Приведены результаты работы разрабатываемой программы.

Литература

1. Мировое потребление электроэнергии [Электронный ресурс] – Режим доступа: <https://yearbook.enerdata.ru/electricity/electricity-domestic-consumption-data.html>. - Загл. с экрана.

2. National Assessment & Action Plan on Demand Response – 2016 – URL: <https://www.ferc.gov/industries/electric/indus-act/demand-response/dr-potential.asp> (дата обращения: 05.11.2020). – Текст: электронный.
3. Nan S, Zhou M, Li G. Optimal residential community demand response scheduling in smart grid. Appl Energy 2018; 210:1280-9.
4. Нехороших И.Н., Добринова Т.В., Анисимов А.Ю., Жагловская А.В. Мировая практика управления спросом на электроэнергию // Экономика в промышленности – 2019 –12(3) – С.280-287.
5. C. Eid, E. Koliou, M. Valles, J. Reneses, e R. Hakvoort, Time-based pricing and electricity demand response: Existing barriers and next steps, Util. Policy, vol. 40, pp. 15–25, Jun. 2016.
6. Усова А.С., Хмелевой С.В. Компьютеризированная система оптимизации потребления электроэнергии жилого дома // Информатика и кибернетика Донецк, ДонНТУ – 2020 – № 1(19) – С.27-35.
7. Действующие тарифы на электроэнергию в 2019 году [Электронный ресурс] – Режим доступа: <https://samelectrik.ru/dejstvuyushhie-tarifny-na-elektroenergiyu-v-2019-godu-rossiya.html>. - Загл. с экрана.
8. Oladeji, O., Olakanmi, O. O. A genetic algorithm approach to energy consumption scheduling under demand response. In 2014 IEEE 6th International Conference on Adaptive Science & Technology (ICAST) (pp. 1-6). IEEE. – 2014
9. Javaid, N., Javaid, S., Abdul,W., Ahmed, I.; Almogren, A., Alamri, A., Niaz, I.A. A Hybrid Genetic Wind Driven Heuristic Optimization Algorithm for Demand Side Management in Smart Grid // Energies, Vol.10, N 319, 2017, - p.1-7.
10. Mudassar Naseem, Nadeem Javaid Heuristic Algorithm based Home Energy Management System in Smart Grid. In “Electrical Engineering COMSATS Institute of Information Technology Islamabad” – 2016. – Pakistan, p.15-63.
11. Nusrat Shaheen, Nadeem Javaid, Najmun Nisa, Amber Madeeha Zeb, Zahoor Ali Khan, Umar Qasim. Appliance Scheduling for Energy Management with User Preferences // International Conference on Innovative Mobile and Internet Services in Ubiquitous Computing 10th. 2016. – p. 328–334.

Хмелевой С.В., Усова А.С. Компьютеризированная система оптимизации потребления электроэнергии в жилом доме. В статье рассмотрена актуальность проблемы оптимизации потребления электроэнергии, для решения данной проблемы рассмотрено применение программы Demand Response. Проанализировано построение генетического алгоритма применительно к Demand Response, а именно, разработан способ кодирования хромосомы и предложен первоначальный выбор параметров алгоритма. Проанализирован вид фитнес-функции для оптимизации потребления электроэнергии с учётом заданного алгоритма и ограничений. Приведены результаты работы разрабатываемой программы.

Ключевые слова: Demand Response, генетический алгоритм, оптимизация потребления электроэнергии, оптимизация работы электроприборов, расписание.

Hmelevoy S., Usova A. Computerized system optimization of electricity consumption of residential buildings. The article considers the relevance of the problem of optimizing electricity consumption. To solve this problem, the application of the Demand Response program is considered. The construction of the genetic algorithm in relation to Demand Response is analyzed, namely, the method of encoding the chromosome is developed and the initial choice of algorithm parameters is proposed. The type of fitness function for optimizing power consumption is analyzed, taking into account the specified algorithm and restrictions. The results of the developed program are presented.

Key words: Demand Response, genetic algorithm, optimization of electricity consumption, optimization of electrical appliances, schedule.