

**НЕЧЕТКАЯ СИСТЕМА ПОДДЕРЖКИ ПРИНЯТИЯ РЕШЕНИЙ ДЛЯ
ЭНЕРГОСБЕРЕЖЕНИЯ В ОБРАЗОВАТЕЛЬНОМ УЧРЕЖДЕНИИ**

Деканова Нина Петровна

Д.т.н., профессор, профессор, Иркутский государственный университет путей сообщения
Федерального агентства железнодорожного транспорта
664074, г. Иркутск, ул. Чернышевского 15, e-mail: dekanova_np@irgups.ru

Хан Полина Вениаминовна

К.ф.-м.н., научный сотрудник, Институт систем энергетики им. Л.А. Мелентьева СО РАН,
664130 г. Иркутск, ул. Лермонтова 130, e-mail: polinakhan@gmail.com

Хан Вениамин Владимирович

К.т.н., доцент, доцент, Иркутский национальный исследовательский технический
университет (ИРНИТУ), 664074, г. Иркутск, ул. Лермонтова 83, e-mail: khan@istu.edu

Осипова Екатерина Андреевна

Инженер-энергетик, ИРНИТУ, e-mail: Klepikova-katya@mail.ru

Богданова Валентина Игоревна

Инженер-энергетик, ИРНИТУ, e-mail: Valentina809Bogdanova@yandex.ru

Ступина Анна Викторовна

Аспирант, Иркутский государственный университет путей сообщения Федерального
агентства железнодорожного транспорта, 664074, г. Иркутск, ул. Чернышевского 15,
e-mail: njurca@mail.ru

Аннотация. В статье описана разработка системы поддержки принятия решений о выборе энергосберегающих мероприятий для образовательного учреждения. Исходные данные классифицированы по уровню доступности и форме представления. Указана роль нечёткой информации, получаемой путём сбора мнений сотрудников в формировании программы мероприятий. На примере обследования систем отопления выполнено формальное описание процесса автоматического формирования решений по повышению качества потребления энергоресурсов с помощью нечетких импликаций, разработаны правила принятий решений и построены матрицы нечетких отношений.

Ключевые слова: система поддержки принятия решений; энергосбережение; система отопления; нечеткая импликация; нечеткое лингвистическое описание; логический вывод.

Введение. Методы нечёткой логики находят широкое применение в самых разных областях человеческой деятельности, где требуется автоматизировать процесс выбора или обработки информации [1, 2, 4]. Задача оценки защищенности работников решается аналогичным способом, если учитываются НЕ-факторы [3]. Процесс наблюдения и регистрации параметров состояния объектов потребления энергоресурсов относится к числу важнейших условий обеспечения экономической эффективности для имущественного комплекса образовательного учреждения [7]. Для построения и реализации задачи

автоматического формирования решений по повышению эффективности потребления энергоресурсов необходимы информационная система сбора, хранения и анализа параметров состояния объектов потребления энергоресурсов и база правил для принятия решений при выборе мероприятий, направленных на повышение качества потребления энергоресурсов [2, 4]. В данной работе решение задачи построения автоматизированной системы принятия решений для объектов потребления энергоресурсов с учетом нечеткой информации рассмотрено на примере автоматизации принятия решений по выбору энергосберегающих мероприятий при обследовании системы отопления учебного учреждения.

1. Постановка задачи составления программы энергосберегающих мероприятий.

Информация, необходимая для построения и реализации системы управления, делится на две части: численная (количественная), получаемая с измерительных датчиков, и лингвистическая (качественная), поступающая от сотрудников (экспертов) образовательного учреждения. Имущественный комплекс рассматриваемого образовательного учреждения составляет около 300 помещений в 10 учебных корпусах. В рамках составления энергопаспорта и формирования программы энергосберегающих мероприятий для учреждения требуется:

- по каждому корпусу выполнить сравнение потребления энергоресурсов с нормативными и ретроспективными показателями;
- по каждому помещению и типу мероприятия определить степень необходимости его проведения.

В качестве входной числовой и лингвистической информации учитываются параметры, представленные в табл. 1, 2.

Таблица 1. Входные числовые параметры

| № | Название | Область определения, °С |
|----|---|-------------------------|
| 1. | Температура воздуха в помещении, t_b | 0-50 |
| 2. | Температура отопительных приборов, t_b | 0-100 |
| 3. | Температура труб системы отопления, t_T | 0-100 |
| 4. | Температура поверхности окна внутри, t_o | 0-50 |
| 5. | Температура рамы окна внутри помещения, t_p | -40 - 50 |
| 6. | Разница температур воздуха в помещении и окна, r_{eo} | 0 - 20 |
| 7. | Разница температур воздуха в помещении и рамы, r_{ep} | 0 - 20 |

Таблица 2. Входные лингвистические параметры

| № | Название | Значение |
|----|---|--------------------|
| 1. | Состояние регулятора отопительного прибора, l_p | Нет/Открыт/Закрыт |
| 2. | Наличие системы вентиляции воздуха в помещении, l_e | Есть/Нет |
| 3. | Наличие данных о температуре окна, l_o | Есть/Нет |
| 4. | Наличие данных о температуре рамы, l_r | Есть/Нет |
| 5. | Оценка эксперта по температуре воздуха в помещении, l_T | Нет/холодно/ жарко |
| 6. | Оценка эксперта по движению воздуха в помещении, l_d | Нет/душно/ дует |

Перечень мероприятий, проводимых с целью дополнительного анализа состояния исследуемого объекта и автоматического формирования решений по повышению эффективности потребления энергоресурсов, приведен в табл. 3. Каждому мероприятию соответствует компонент $y_i \in [0..1]$ вектора выходных лингвистических параметров $\vec{y} = (y_1, \dots, y_{11})$, отражающий степень необходимости данного мероприятия для рассматриваемого помещения.

Таблица 3. Мероприятия

| № | Название | Значение |
|-----|---|-----------------|
| 1. | Измерение температур окна и рамы, y_1 | да/нет |
| 2. | Тепловизионная съемка, y_2 | да/нет |
| 3. | Улучшение прилегания оконных рам, y_3 | да/нет |
| 4. | Замена стеклопакета, y_4 | да/нет |
| 5. | Установка жалюзи, y_5 | да/нет |
| 6. | Установка регулятора отопительного прибора, y_6 | да/нет |
| 7. | Регулятор отопительного прибора, y_7 | открыть/закрыть |
| 8. | Прочистка отопительной системы, y_8 | да/нет |
| 9. | Установка системы вентиляции, y_9 | да/нет |
| 10. | Регулировка вентиляции, y_{10} | да/нет |
| 12. | Понижение температуры теплоносителя, y_{11} | да/нет |

2. Представление данных в терминах нечеткой логики. Для каждого входного и выходного параметра нечеткой модели точно определены множества значений и заданы функции принадлежности значений параметра этим множествам. Например, множество значений температуры отопительных приборов, t_B может быть разделено на три нечетких множества: низких, средних и высоких температур - T_B^H, T_B^C, T_B^B , соответственно. Каждое множество задано функцией принадлежности $\mu_{T_B^H}(t_B)$, $\mu_{T_B^C}(t_B)$, $\mu_{T_B^B}(t_B)$ (рис. 1).

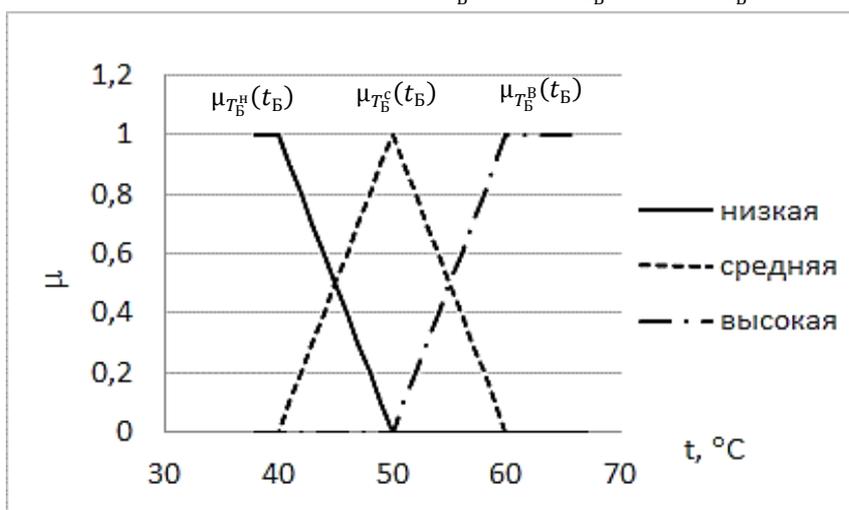


Рис. 1. Функции принадлежности множеств температуры отопительных приборов

Множество значений лингвистических входных переменных, например, состояние регулятора отопительного прибора l_p , может быть разделено на одноэлементное множество (синглетон) с одним элементом «нет» и два нечетких множества «закрыт» и «открыт»

L_p^H, L_p^3, L_p^0 , соответственно. Эти множества заданы функциями принадлежности $\mu_{L_p^H}(l_p), \mu_{L_p^3}(l_p), \mu_{L_p^0}(l_p)$ (рис. 2 а).

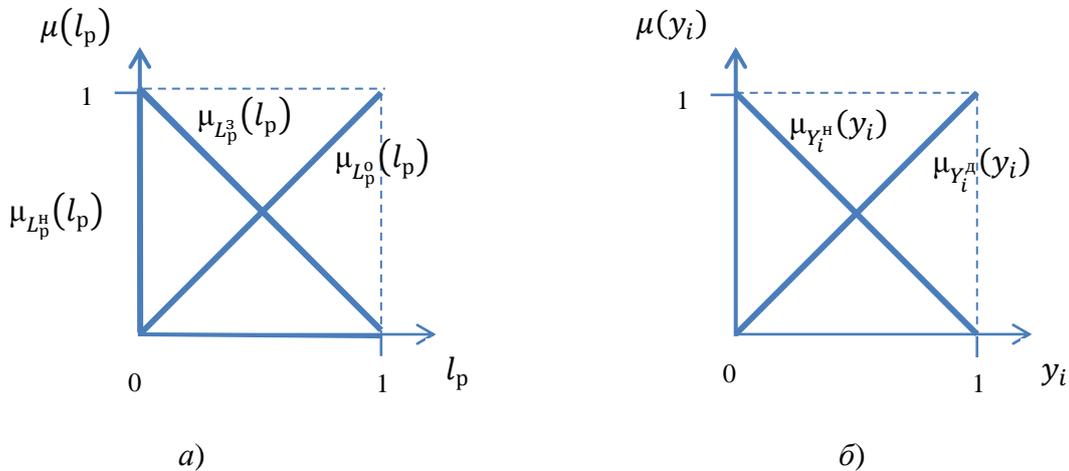


Рис. 2. Функции принадлежности: а) множеств состояния регулятора отопительного прибора, б) множеств значений выходного параметра «замена стеклопакета»

Множество значений лингвистических выходных переменных $y_i, i = 1, \dots, 11$, представлено парой нечетких множеств «нет» и «да» Y_i^H, Y_i^D и заданными функциями принадлежности $\mu_{Y_i^H}(y_i), \mu_{Y_i^D}(y_i)$ (рис. 2 б).

3. Формализация процесса принятия решений. Центральным элементом нечеткой модели системы поддержки принятия решений является база правил, согласно которым определяется необходимость планирования тех или иных энергосберегающих мероприятий. Важным свойством базы является независимость правил, относящихся к различным элементам вектора выходных параметров, то есть для каждого выходного параметра $y_i, i=1, \dots, 11$ формируется локальная база правил. В условиях правил участвует связанный с i -м выходным параметром набор входных параметров модели.

Рассмотрим некоторые из правил.

1. Требуется измерить температуру окна и рамы, если отсутствуют данные о температуре окна или рамы и температура в помещении – холодная (температура воздуха в помещении – низкая, или оценка экспертов по температуре воздуха в помещении - «холодно» или оценка экспертов по движению воздуха в помещении - «дует»).

Формализация правила имеет следующий вид:

R_1 : ЕСЛИ $((l_o = L_o^H)$ ИЛИ $(l_r = L_r^H))$ И $((t_b = T_b^H)$ ИЛИ $(l_t = L_t^X)$ ИЛИ $(l_d = L_d^B))$ ТО $(y_1 = Y_1^D)$.

Здесь $L_o^H, L_r^H, T_b^H, L_t^X, L_d^B$ - нечеткие множества условий отсутствия данных о температуре окна, рамы, низкой температуры воздуха в помещении; оценки экспертов по температуре воздуха в помещении - «холодно» и оценки экспертов по движению воздуха в помещении - «дует», соответственно; Y_1^D – нечеткое множество заключения о необходимости измерить температуру окна и рамы; l_o, l_r, t_b, l_t, l_d – входы нечеткой модели – параметры наличия данных о температуре окна и рамы, температура воздуха в помещении, оценки экспертов по температуре воздуха и по движению воздуха в помещении; y_1 – выход нечеткой модели – заключение о потребности мероприятия по измерению температуры окна и рамы.

2. Требуется улучшение прилегания оконных рам, если имеются данные о температуре рамы и разница температур воздуха в помещении и рамы высокая или оценка экспертов по движению воздуха в помещении - «дует».

Формализация правила имеет следующий вид:

$$R_2: \text{ЕСЛИ } (l_r = L_r^A) \text{ И } (r_{вр} = R_{вр}^B) \text{ ИЛИ } (l_d = L_d^B) \text{ ТО } (y_3 = Y_3^A).$$

Здесь L_r^A , $R_{вр}^B$, L_d^B - нечеткие множества условий наличия данных о температуре рамы, высокой разницы температур воздуха в помещении и рамы; оценка эксперта по движению воздуха в помещении - «дует», соответственно; Y_3^A – нечеткое множество заключения о необходимости улучшения прилегания оконных рам; l_r , $r_{вр}$, l_d – входы нечеткой модели – параметр наличия данных о температуре рамы, разница температур воздуха в помещении и рамы, оценка экспертов по движению воздуха в помещении; y_3 – выход нечеткой модели – заключение о потребности мероприятия по улучшению прилегания оконных рам.

Используемые при рассуждениях отношения, имеющие форму правила, в котором допускается частичная истинность условия и заключения со значением, принадлежащим непрерывному интервалу $[0 .. 1]$, называются нечеткой импликацией [5, 6, 8]. Целью вывода из базы правил является определение результирующей функции принадлежности $\mu_{res}(y_i), i = 1, \dots, 11$.

Правила, составляющие локальную базу правил для некоторого выходного параметра y_i , имеют, как правило, сложную конъюнктивно-дизъюнктивную форму условий. Алгоритм вывода результирующей функции принадлежности предполагает использование в базе правил, имеющих только конъюнктивную форму. Исходя из этого, на первом шаге выполняется преобразование дизъюнктивных или смешанных правил в совокупность конъюнктивных правил. Например, правило R_2 для исключения дизъюнкции преобразуется в два правила:

$$R_{21}: \text{ЕСЛИ } (l_r = L_r^A) \text{ И } (r_{вр} = R_{вр}^B) \text{ ТО } (y_3 = Y_3^A).$$

$$R_{22}: \text{ЕСЛИ } (l_r = L_r^A) \text{ И } (l_d = L_d^B) \text{ ТО } (y_3 = Y_3^A).$$

Далее для исходно заданных значений входов нечеткой модели определяются степени h_j выполнения условий отдельных правил на основе t -нормы. В работе для агрегации условий используется оператор MIN. Степень выполнения условий h_{21} правила R_{21} определяется по формуле:

$$h_{21} = \text{MIN}(\mu_{L_r^A}(l_r^*), \mu_{R_{вр}^B}(r_{вр}^*)).$$

Если степень выполнения агрегированного условия $h_{21} > 0$, то правило R_{21} является активизированным и участвует в операции определения модифицированной функции принадлежности заключения правила R_{21} , в противном случае правило не активизированное и в дальнейших вычислениях не участвует. Для получения модифицированной функции принадлежности заключения правила R_{21} используется оператор нечеткой импликации Мамдани:

$$\mu_{Y_3^A}^{21}(y_3) = \text{MIN}(h_{21}, \mu_{Y_3^A}(y_3)).$$

На основе полученного набора модифицированных функций принадлежности заключений правил путем их аккумуляции на основе s -нормы определяется результирующая функция принадлежности:

$$\mu_{Y_3^*}(y_3) = \mu_{res}(y_3) = \text{MAX}(\mu_{Y_3^A}^{21}(y_3), \mu_{Y_3^A}^{22}(y_3), \dots, \mu_{Y_3^A}^{2m}(y_3)),$$

где m – количество правил локальной базы, предназначенной для определения потребности мероприятия по улучшению прилегания оконных рам. Нечеткое множество Y_3^* является результатом вывода и задается функцией принадлежности $\mu_{Y_3^*}(y_3) = \mu_{res}(y_3)$.

Наиболее типичным представителем множества Y_3^* является значение y_3^* , имеющее максимальную степень принадлежности. Если такое значение не является единственным, то определяется среднее значение по формуле:

$$y_3^* = 0.5(y_3^{*1} + y_3^{*2}),$$

где y_3^{*1} и y_3^{*2} – наименьшее и наибольшее значения параметра y_3 , имеющие максимальную степень принадлежности [1].

4. Результаты и обсуждения. Рассмотрим результаты автоматизированного планирования энергосберегающих мероприятий для ряда помещений образовательного учреждения. В табл. 4 приведены исходные данные, полученные в результате осмотра помещений, измерения температур и опроса экспертов.

Таблица 4. Исходные значения параметров

| Помещение | Температура, °С | | | | | Состояние регулятора отопительного прибора, l_p | Наличие системы вентиляции воздуха в помещении, l_{ce} | Оценка эксперта |
|-----------|------------------------------|-------------------------------|--------------------------------|---------------------------------|-------------------------------|---|--|-----------------|
| | воздуха в помещении, t_b , | отопительных приборов t_6 , | труб системы отопления t_r , | поверхности окна внутри t_o , | рамы внутри помещения t_p , | | | |
| 1. | 23,0 | 19,2 | 31,4 | 13,2 | 7,0 | открыто | нет | холодно |
| 2. | 23,4 | 33,2 | 56,7 | 19,7 | -1,2 | закрыто | нет | дует |
| 3. | 24,1 | 26,0 | 57,7 | 15,8 | 3,0 | закрыто | да | дует |
| 4. | 25,9 | 38,0 | 57,9 | - | - | закрыто | да | душно |
| 5. | 26,2 | 58,4 | 60,3 | 17,3 | 13,6 | открыто | да | душно |
| 6. | 26,4 | 31,9 | 62,4 | 18,0 | 15,0 | закрыто | нет | |
| 7. | 25,7 | 31,5 | 72,0 | 17,0 | 0,0 | закрыто | нет | душно |
| 8. | 26,3 | 27,5 | 32,2 | 24,0 | 15,0 | закрыто | нет | душно |
| 9. | 26,4 | 66,1 | 68,6 | 15,0 | 8,0 | закрыто | нет | |
| 10. | 28,0 | 37,6 | 65,2 | 23,0 | 18,0 | закрыто | нет | |
| 11. | 25,0 | 30,0 | 72,2 | - | - | закрыто | нет | душно |
| 12. | 24,7 | 68,9 | 66,9 | 18,0 | -3,0 | открыто | да | дует |
| 13. | 18,9 | 34,5 | 47,4 | 15,6 | 3,2 | закрыто | нет | |
| 14. | 19,1 | 27,8 | 66,5 | 14,7 | -1,2 | закрыто | да | дует |

В табл. 5 представлены сформированные на основе нечеткой модели оценки состояния объектов потребления энергоресурсов выводы, представляющие собой рекомендуемые мероприятия по повышению эффективности потребления энергоресурсов. Среди них наиболее часто (более 70%) встречается мероприятие по улучшению прилегания окна, что говорит о том, что установка стеклопакетов в помещениях выполнена некачественно. В 60% помещений требуется установить системы вентиляции. Во многих помещениях (60%) наблюдается потребность в понижении температуры теплоносителя.

Таблица 5. Мероприятия по повышению эффективности потребления энергоресурсов

| Помещение | Мероприятия | Помещение | Мероприятия |
|-----------|--|-----------|---|
| 1. | Улучшение прилегания оконной рамы Прочистка отопительной системы Установка системы вентиляции | 8. | Улучшение прилегания оконной рамы Установка жалюзи Прочистка системы отопления Установка системы вентиляции Понижение температуры теплоносителя |
| 2. | Улучшение прилегания оконной рамы Установка системы вентиляции | 9. | Улучшение прилегания оконной рамы Понижение температуры теплоносителя |
| 3. | Улучшение прилегания оконной рамы Понижение температуры теплоносителя | 10. | Установка жалюзи Установка системы вентиляции Понижение температуры теплоносителя |
| 4. | Регулировка системы вентиляции Понижение температуры теплоносителя | 11. | Установка системы вентиляции Понижение температуры теплоносителя |
| 5. | Улучшение прилегания оконной рамы Закреть регулятор отопительного прибора Регулировка системы вентиляции | 12. | Улучшение прилегания оконной рамы Закреть регулятор отопительного прибора |
| 6. | Улучшение прилегания оконной рамы Установка системы вентиляции Понижение температуры теплоносителя | 13. | Улучшение прилегания оконной рамы Открыть регулятор отопительного прибора Прочистка отопительной системы установка системы вентиляции |
| 7. | Улучшение прилегания оконной рамы Установка системы вентиляции Понижение температуры теплоносителя | 14. | Улучшение прилегания оконной рамы Открыть регулятор отопительного прибора |

Совокупность рекомендуемых мероприятий можно разделить на две группы: низкозатратные (понижение температуры теплоносителя, открыть/закреть регулятор отопительного прибора и др.) и высокозатратные (улучшение прилегания оконной рамы, установка системы вентиляции или жалюзи). Низкозатратные мероприятия могут быть выполнены после очередного обследования и проведенного анализа. Таким образом, к следующему обследованию могут быть изменены входные измеряемые и лингвистические параметры, что, очевидно, в той или иной мере приведет к выводам, отличающимся от предыдущих. Постоянный мониторинг объектов с периодичностью, например, в один месяц, позволит не только управлять текущим состоянием системы, но и повысить уровень обоснованности рекомендаций по проведению высокозатратных мероприятий.

Заключение. На основе нечёткой логики построен алгоритм подбора энергосберегающих мероприятий. Проанализированы данные инструментального обследования и опроса экспертов и получен список рекомендаций для помещений учебных корпусов образовательного учреждения. Выборочная проверка показала соответствие полученных результатов экспертным рекомендациям. Разработан метод обобщения анализа данных инструментального обследования на случай ввода дополнительных параметров и правил тех же типов.

СПИСОК ЛИТЕРАТУРЫ

1. Алексеев В.А., Телегина М.В., Янников И.М. Применение методов нечеткой логики в задачах анализа экологических данных // Известия Южного федерального университета. Технические науки. 2009. Т. 101. Вып. 12. С. 142 – 149.
2. Алябьев В.Н., Горлов А.Н., Ларин О.М. Выбор энергосберегающих мероприятий в системах управления энергопотреблением // Известия Юго-Западного государственного университета. 2012. № 6 (45). С. 17 – 20.
3. Асламова Е.А., Аршинский Л.В. Методика агрегированной оценки защищенности работников от профессионального поражения на основе знаниевых технологий // Информационные и математические технологии в науке и управлении. 2017. № 4 (8). С. 39 – 51.
4. Кандауров А.В. Применение нечётких множеств для выбора электрооборудования автономных объектов и систем // Энергобезопасность и энергосбережение. 2014. № 6 . С. 23 – 25.
5. Пегат А. Нечеткое моделирование и управление. М.: Бином. Лаборатория знаний. 2009. 798 с.
6. Рутковская Д., Пилиньский М., Рутковский Л. Нейронные сети, генетические алгоритмы и нечеткие системы. М.: Телеком. 2008. 462 с.
7. Хан В.В., Деканова Н.П., Романова Т.А., Шараева С.А. Комплексный анализ эффективности энергосберегающих мероприятий для объектов социальной сферы Восточной Сибири на основе системного подхода // Известия вузов. Инвестиции. Строительство. Недвижимость. 2017. Т. 7. № 1. С. 84 – 93.
8. Штовба С.Д. Введение в теорию нечетких множеств и нечеткую логику. 2017. Режим доступа: <http://matlab.exponenta.ru/fuzzylogic/book1/index.php> (дата обращения 18.06.2017).

UDK 620.9:005.93:004.827

**FUZZY DECISION SUPPORT SYSTEM FOR ENERGY SAVING
IN EDUCATIONAL INSTITUTIONS**

Nina P. Dekanova

Dr., Professor, Professor, Irkutsk State Transport University
RF Federal Agency for Railway Transport 15, Chernyshevskij Str., 664074, Irkutsk, Russia,
e-mail: dekhan@yandex.ru

Polina V. Khan

Ph.D., Researcher, Melentiev Energy Systems Institute
Siberian Branch of the Russian Academy of Sciences
130, Lermontov Str., 664033, Irkutsk, Russia, e-mail: polinakhan@gmail.com

Veniamin V. Khan

Ph.D., Docent, National Research Irkutsk State Technical University (NR ISTU)
83, Lermontov Str., 664074, Irkutsk, Russia, e-mail: khan@istu.edu

Ekaterina A. Osipova

Power Engineer, NR ISTU, e-mail: Klepikova-katya@mail.ru

Valentina I. Bogdanova

Power Engineer, NR ISTU, e-mail: Valentina809Bogdanova@yandex.ru

Anna V. Stupina

Graduate student, Irkutsk State Transport University RF Federal Agency for Railway Transport
15, Chernyshevskij Str., 664074, Irkutsk, Russia, e-mail: njurca@mail.ru

Abstract. The article describes the development of a decision support system for choosing energy-saving measures for an educational institution. The initial data are classified according to the level of availability and form of presentation. The role of fuzzy information obtained through the collection of opinions of employees in the formation of the program of measures is indicated. On the example of the survey of heating systems, a formal description of the process of automatic generation of solutions to improve the quality of energy consumption through fuzzy implications is made, rules for decision making are developed and matrices of fuzzy relationships are constructed.

Keywords: decision support system; energy saving; heating system; fuzzy implication; fuzzy linguistic description; logical inference.

References

1. Alekseev V.A., Telegina M.V., Jannikov I.M. *Primenenie metodov nechetkoj logiki v zadachah analiza jekologicheskikh dannyh* [The application of the fuzzy logic methods in the tasks of analysis of environmental data] // *Izvestija Juzhnogo federal'nogo universiteta. Tehnicheskie nauki = Izvestiya SFedU. Engineering Sciences*. 2009. vol. 101. no. 12. Pp. 142 – 149. (in Russian).

2. Aljab'ev V.N., Gorlov A.N., Larin O.M. Vybor jenergosberegajushhijh meroprijatij v sistemah upravlenija jenergotreblenijem [The choice of energy saving measures in power management systems] // Izvestija Jugo-Zapadnogo gosudarstvennogo universitet = Proceedings of the Southwest State University. 2012. no. 6 (45). Pp. 17 – 20. (in Russian).
3. Aslamova E.A., Arshinskij L.V., Metodika agregirovannoj ocenki zashhishhennosti rabotnikov ot professional'nogo porazhenija na osnove znanievyh tehnologij [The technique of the aggregated estimation of protection of workers from professional defeat on the basis of knowledge technologies] // Informacionnye i matematicheskie tehnologii v nauke i upravlenii = Information and mathematical technologies in science and management. 2017. no. 4(8). Pp. 39 – 51. (in Russian).
4. Kandaurov A. V. Primenenie nechjotkih mnozhestv dlja vybora jelektrooborudovanija avtonomnyh ob'ektov i system [The use of fuzzy sets for selection of electrical equipment for autonomous objects and systems] // Energobezopasnost' i energosberezheniye = Energy Safety and Energy Economy . 2014. no. 6. Pp. 23 – 25. (in Russian).
5. Pegat A. Nechetkoe modelirovanie i upravlenie [Fuzzy modeling and control]. Moscow. Binom. Laboratorija znaniy. 2009. 798 p. (in Russian).
6. Rutkovskaja D., Pilin'skij M., Rutkovskij L. Nejronnye seti, geneticheskie algoritmy i nechetkie sistemy [Neural nets, genetic algorithms and fuzzy systems]. Moscow. Telekom. 2008. 462 p. (in Russian).
7. Khan V.V., Dekanova N.P., Romanova T.A., Sharaeva S.A. Kompleksnyj analiz jeffektivnosti jenergosberegajushhijh meroprijatij dlja ob'ektov social'noj sfery Vostochnoj Sibiri na osnove sistemnogo podhoda [A comprehensive analysis of the effectiveness of energy saving measures for social infrastructure in Eastern Siberia on the basis of system approach] // Izvestija vuzov. Investicii. Stroitel'stvo. Nedvizhimost' = Proceedings of Universities. Investment. Construction. Real estate. 2017. vol. 7. no. 1. Pp. 84 – 93. (in Russian).
8. Shtovba S.D. Vvedenie v teoriju nechetkih mnozhestv i nechetkiju logiku [Introduction to the theory of fuzzy sets and fuzzy logic]. 2017. Available at: <http://matlab.exponenta.ru/fuzzylogic/book1/index.php> (accessed 18.06.2017). (in Russian).