

## ЭНЕРГЕТИКА

УДК 517.977.1; 620.9.002.68

*К. В. Кетова*, доктор физико-математических наук, профессор;

*Е. В. Трушкова*, аспирант;

*Р. Ю. Кривенков*, аспирант

Ижевский государственный технический университет

### ПРИМЕНЕНИЕ КЛАСТЕРНОГО АНАЛИЗА ДЛЯ РЕШЕНИЯ ЗАДАЧИ ОПТИМАЛЬНОГО РАСПРЕДЕЛЕНИЯ ТОПЛИВНО-ЭНЕРГЕТИЧЕСКИХ РЕСУРСОВ\*

*Представлена постановка задачи кластеризации для региональной системы топливообеспечения и предложен алгоритм решения данной задачи. Кластерный анализ проведен на примере региональной системы теплоснабжения Удмуртской Республики.*

**Ключевые слова:** лесовырубка, деревопереработка, теплоисточники, топливообеспечение, оптимизация, кластерный анализ

В последнее время большое внимание уделяется поиску альтернативных источников энергии и разработке новых эффективных технологий получения топливно-энергетических ресурсов (ТЭР) из возобновляемого сырья.

Оценка энергетических запасов Удмуртской Республики (УР) показала, что в качестве альтернативного вида топлива целесообразно использовать переработанные древесные отходы. Энергетический потенциал древесных отходов составляет около 132 тыс. т у. т./год, что полностью покрывает потребность котельных УР, работающих не на природном газе, а на угле, мазуте, электроэнергии и пр. (чуть более 80 тыс. т у. т./год) [1].

Согласно Концепции долгосрочного социально-экономического развития Российской Федерации самым дешевым видом топлива в перспективе до 2020 года будет являться топливо, полученное из древесных отходов (щепа) [2].

Логистическая схема снабжения теплоисточников щепой предполагает наличие пунктов накопления отходов (ПНО) и пунктов подготовки топлива (ППТ). На предприятиях деревопереработки и лесозаготовки образуются древесные отходы, которые свозятся на ПНО, где проходят первичную переработку. Затем первично переработанные древесные отходы направляются на ППТ. На последнем этапе щепа транспортируется до потребителей, которыми выступают теплоисточники УР.

Для определения месторасположения ПНО и ППТ решается задача кластеризации. Исходными данными для проведения кластерного анализа выступает информация о местах расположения предприятий лесозаготовки и деревопереработки, а также информация о населенных пунктах с теплоисточниками, которые планируется перевести с традиционных видов топлива на щепу.

Суть кластерного анализа при определении мест расположения ППТ заключается в том, чтобы оптимальным образом объединить населенные пункты с теплоис-

---

© Кетова К. В., Трушкова Е. В., Кривенков Р. Ю., 2010

\* Работа выполнена в рамках Федеральной целевой программы «Научные и научно-педагогические кадры инновационной России» на 2009–2013 годы по направлениям «Новые и возобновляемые источники энергии» и «Производства топлив и энергии из органического сырья».

точниками в группы близко расположенных друг к другу объектов. В каждом кластере необходимо выделить один населенный пункт, в котором планируется расположить ППТ, при условии минимизации транспортных расходов на перевозку ТЭР с ППТ до теплоисточников.

Пусть  $H = \{h_i\}$  – множество населенных пунктов с теплоисточниками,  $i = \overline{1, M}$ ,  $M$  – количество рассматриваемых населенных пунктов;  $T^p = \{h_j^p\}$  – множество близкорасположенных друг к другу населенных пунктов ( $p$  – индекс кластера),  $p = \overline{1, K}$ ,  $K$  – количество кластеров,  $h_j^p$  –  $j$ -й населенный пункт, входящий в  $p$ -й кластер,  $j = \overline{1, n_p}$ ,  $n_p$  – количество населенных пунктов, входящих в  $p$ -й кластер.

Необходимо разбить множество населенных пунктов  $H = \{h_i\}$  на такие группы  $T^p = \{h_j^p\}$  близкорасположенных друг к другу объектов, чтобы общие затраты на перевозку ТЭР с ППТ до теплоисточников были минимальны:

$$Z = \sum_{p=1}^K \sum_{j=1}^{n_p} s(h_i^p, h_j^p) \rightarrow \min,$$

где  $h_i^p$  – населенный пункт, в котором планируется расположить ППТ;  $s_{ij} = s(h_i, h_j)$  – стоимость перевозки ТЭР от  $i$ -го до  $j$ -го населенного пункта:

$$s_{ij} = c_{ij}^l d_{ij}, \quad (1)$$

где  $c_{ij}^l$  – удельный тариф, стоимость перевозки ТЭР по дороге  $l$ -го типа. Удельный тариф (руб./км) на перевозку сырья включает в себя амортизационные затраты автотранспорта ( $a$ ), расходы на топливо ( $u^l$ ) и оплату труда ( $w^l$ ):

$$c^l = a + u^l + w^l,$$

причем  $a = \frac{P}{E_r}$  ( $E_r$  – эксплуатационный ресурс (км);  $P$  – стоимость автотран-

портного средства (руб.));  $w^l = \frac{w}{v^l}$  ( $w$  – почасовой тариф оплаты труда (руб./ч);

$v^l$  – скорость передвижения по дороге  $l$ -го типа (км/ч)).

Аналогично ставится задача кластеризации для определения мест расположения ПНО.

Общий алгоритм кластерного анализа для региональной распределенной системы теплоснабжения состоит из двух этапов: на первом этапе применяется иерархический кластерный анализ, на втором – метод  $k$ -средних. Иерархический кластерный анализ используется для определения оптимального количества кластеров [3, 4]. Метод  $k$ -средних применяется для распределения объектов по кластерам и определения оптимальных мест расположения ПНО и ППТ, которые выступают центрами данных кластеров [3, 5].



Методами кластерного анализа рассматриваемые котельные Дебесского района разбиты на три группы. Методом Ардалана в каждом кластере определен населенный пункт, в котором необходимо разместить ППТ. Аналогично определены количество и места расположения пунктов накопления древесных отходов на основе информации о зонах лесовырубки в районе.

Снабжение древесными видами топлива будет осуществляться с трех пунктов подготовки топлива, которые предполагается создать в д. Лесагурт, д. Старый Кыч и д. Заречная Медла. Котельные, которые будут снабжать ППТ, расположенный в д. Лесагурт, а также транспортные расходы на перевозку ТЭР приведены в табл. 1.

Таблица 1. Котельные, снабжаемые топливом с ППТ в д. Лесагурт

Населенный пункт	Отапливаемые объекты	Потребность в топливе, т у. т./год	Расстояние до ППТ, км	Транспортные расходы, руб./год
д. Большой Зетым	школа	69,10	10,22	8 716,27
д. Большой Зетым	детсад	23,00	10,22	2 901,22
д. Большой Зетым	ДК, библиотека	26,90	10,22	3 393,17
д. Варни	школа, детсад	42,20	3,95	2 096,50
д. Котегурт	школа, библиотека	106,00	19,19	28 438,74
д. Лесагурт	школа	26,90	0,00	0,00
д. Лесагурт	ДК, библиотека	26,90	0,00	0,00
д. Малая Чепца	детсад	30,70	6,26	2 559,15
д. Сюрногурт	детсад	82,20	11,68	11 261,40
д. Сюрногурт	котельная ЖКХ	211,20	11,68	28 934,40
д. Тольен	школа	76,80	7,35	6 636,29
д. Тольен	ДК, библиотека	76,80	7,35	6 636,29
д. Тольен	детсад	19,20	7,35	1 659,07
д. Турнес	школа, детсад	38,40	13,11	6 289,54

Суммарная потребность в топливе котельных, снабжаемых ППТ в д. Лесагурт, составляет 856 т у. т./год. Отдаленность котельных от ППТ не превосходит 20 км.

Котельные, которые будут снабжать ППТ, расположенный в д. Старый Кыч, а также транспортные расходы на перевозку ТЭР приведены в табл. 2.

Таблица 2. Котельные, снабжаемые топливом с ППТ в д. Старый Кыч

Населенный пункт	Отапливаемые объекты	Потребность в топливе, т у. т./год	Расстояние до ППТ, км	Транспортные расходы, руб./год
д. Верхний Четкер	школа	126,70	10,31	14 109,31
д. Верхний Четкер	ДК, библиотека	69,10	10,31	7 694,98
д. Нижний Шудзялуд	клуб	11,17	9,63	1 219,09
д. Старый Кыч	школа	49,90	0,00	0,00
д. Такагурт	школа	84,50	3,17	2 888,21
д. Уйвай	ЖКХ	197,40	16,55	40 974,32
с. Тыловой	больница	84,50	7,47	6 815,77

Суммарная потребность в топливе котельных, снабжаемых ППТ в д. Старый Кыч, составляет 623 т у. т./год. Отдаленность котельных от ППТ не превосходит 20 км.

Котельные, которые будет снабжать ППТ, расположенный в д. Заречная Медла, а также транспортные расходы на перевозку ТЭР приведены в табл. 3.

Таблица 3. Котельные, снабжаемые топливом с ППТ в д. Заречная Медла

Населенный пункт	Отапливаемые объекты	Потребность в топливе, т у. т./год	Расстояние до ППТ, км	Транспортные расходы, руб./год
д. Ариково	школа	61,40	10,24	65 36,03
д. Большая Кизня	школа	30,70	10,66	4 118,71
д. Большая Кизня	клуб	11,20	10,66	1 502,59
д. Заречная Медла	ЖКХ	365,60	0,00	0,00
д. Нижняя Пыхта	ЖКХ	281,90	15,80	45 538,13
д. Удмуртский Лем	школа, ДС, ФАП, ДК	94,50	6,05	7 194,29

Суммарная потребность в топливе котельных, снабжаемых ППТ в д. Заречная Медла, составляет 845 т у. т./год. Отдаленность котельных от ППТ не превосходит 20 км.

Результаты проведения кластерного анализа на примере Дебесского района УР представлены на рис. 2.

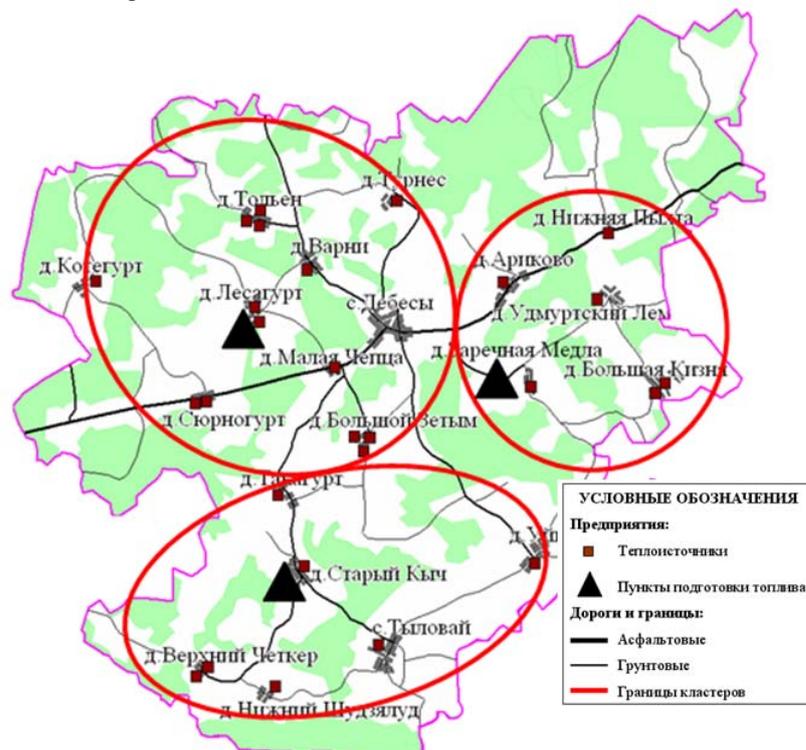


Рис. 2. Распределение теплосточников по кластерам на примере Дебесского района

В результате применения кластерного анализа для региональной распределенной системы топливообеспечения Удмуртской Республики были определены места расположения 94 пунктов накопления отходов и 24 пунктов подготовки топлива, которые будут снабжать топливом 297 теплоисточников (рис. 3).



Рис. 3. Схема расположения предприятий по производству ТЭР на территории УР

Таким образом, предложенный алгоритм кластерного анализа позволяет оптимизировать систему теплоснабжения УР и тем самым снизить затраты бюджетных средств на обеспечение топливом теплоисточников региона.

#### Список литературы

1. Преснухин В. К., Русяк И. Г., Королев С. А. Концепция Республиканской целевой программы «Снабжение населения, объектов социально-бытовой сферы в отдаленных населенных пунктах Удмуртской Республики местными видами топлива, альтернативными природному газу (2-й этап)» – Ижевск : Изд-во ИжГТУ, 2010. – 267 с.
2. Савельев В. А., Преснухин В. К., Русяк И. Г. Концепция развития топливно-энергетического комплекса Удмуртской Республики на 2003–2010 годы. – Ижевск : Изд-во ИжГТУ, 2002. – 260 с.
3. Олдендерфер М. С., Блэшифилд Р. К. Кластерный анализ // Факторный, дискриминантный и кластерный анализ. – М. : Финансы и статистика, 1989. – С. 139–214.
4. Шуметов В. Г., Шуметова Л. В. Кластерный анализ: подход с применением ЭВМ : учеб. пособие. – Орел : ОрелГТУ, 2001. – 119 с.
5. Arthur, D., Vassilvitskii, S. How slow is the  $k$ -means method? // Proceedings of the 22<sup>nd</sup> ACM Symposium on Computational Geometry, Sedona, Arizona, USA, June 5–7, 2006. ACM 2006, ISBN 1-59593-340-9. – Pp. 144–153.
6. Просветов Г. И. Математические методы в логистике: задачи и решения : учеб.-практ. пособие. – 2-е изд., доп. – М. : Альфа-Пресс, 2008. – 298 с.

\* \* \*

*K. V. Ketova*, Doctor of Technical Sciences, Professor, Izhevsk State Technical University  
*E. V. Trushkova*, Postgraduate Student, Izhevsk State Technical University  
*R. U. Krivenkov*, Postgraduate Student, Izhevsk State Technical University

#### **Application of Cluster Analysis to Solve the Problem of Energy Resources Optimal Allocation**

*The formulation of the problem of clustering for a regional fuel supply system and an algorithm for its solving is presented. The example of the cluster analysis for a regional supply system of the Udmurt Republic is given.*

**Keywords:** logging, wood processing, heat sources, fuel supply, optimization, cluster analysis

Получено 08.11.10