

ИССЛЕДОВАНИЕ СТРУКТУРНЫХ ЗАКОНОМЕРНОСТЕЙ РЕЖИМОВ ЭЛЕКТРОПОТРЕБЛЕНИЯ УЧАСТКОВ НЕФТЕПРОВОДА

Токочакова Н.В., к.т.н., Колесник Ю.Н., инж.

Задачи достоверной оценки энергетической эффективности технологического процесса транспорта нефти приобрели особую актуальность в связи с постоянно меняющейся конъюнктурой рынка и ужесточающимися требованиями к рациональному использованию топливно-энергетических ресурсов. Показателем эффективности работы электрооборудования насосных станций участков нефтепровода является удельный расход электроэнергии, расчет которого известными способами приводит к недопустимым погрешностям в современных условиях функционирования. Поэтому актуальны исследования, направленные на улучшение существующих методик оценки энергетической эффективности транспорта нефти.

Основным условием решения этой задачи является глубокий и всесторонний анализ закономерностей режимов электропотребления, то есть раскрытие причинно-следственного механизма, определяющего вариацию, уровень и динамику расходов электроэнергии. Поскольку для реальных массовых процессов характерна изменчивость и неповторимость комплекса условий, то реализуемые в них связи неизбежно носят вероятностный характер, качественные и количественные характеристики которых наилучшим образом учитываются путем статистического моделирования режимов электропотребления.

Анализ структуры суточных значений общего и удельного электропотребления и объемов перекачки нефти в двумерном пространстве признаков: суточные значения удельного и общего электропотребления, суточная перекачка нефти показал, что коэффициенты корреляции для различных участков нефтепровода за различные годы составил от 0,05 до 0,90 (рис.1, 2).

Из полученных графиков видно, что для достаточно малых диапазонов значений электропотребления обнаружен существенный разброс объемов перекачки нефти и наоборот. Это означает, что одному среднесуточному объему перекачки нефти соответствуют некоторый диапазон расхода электроэнергии.

Причинами такого разброса, в первую очередь, являются сезонные и технологические факторы (количество включенных агрегатов, их загрузка, давление на входе, выходе и др.). Это указывает на необходимость учета дополнительных технологических факторов и более глубокого изучения структуры указанных показателей, что позволит выделить базовые режимы для более точной оценки удельного расхода

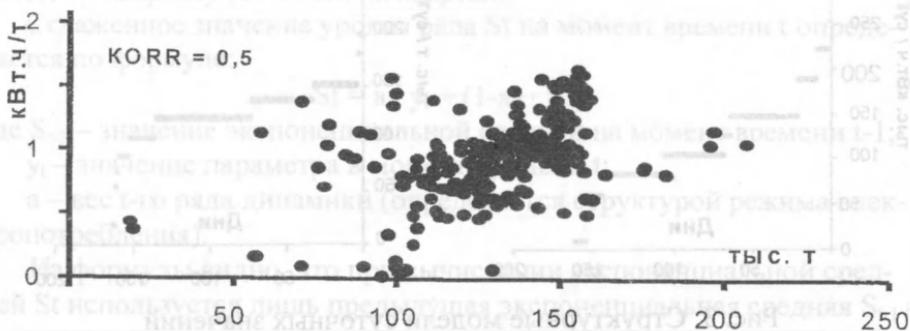


Рис. 1. Корреляционное поле точек зависимости суточного удельного электропотребления от нефтеперекачки

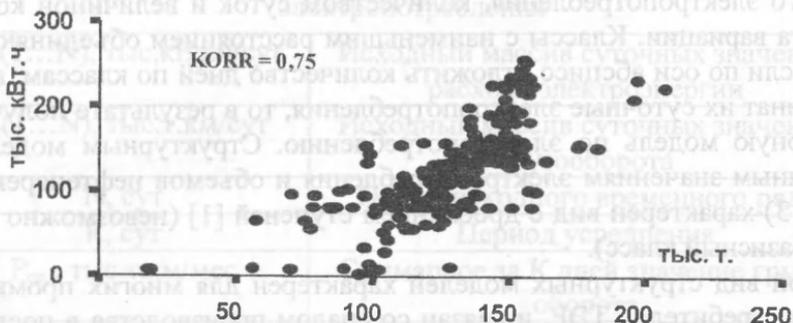


Рис. 2. Корреляционная модель зависимости суточного электропотребления от нефтеперекачки

электрической энергии.

Покажем принцип получения структуры на примере классификации суточных значений потребленной электроэнергии на полугодовом временном интервале (осенне-зимнем), основанный на теории распознавания образов (кластерный анализ) для одномерного ряда данных. Так, ближайшие значения электропотребления объединяются в один класс. Каждый шаг кластеризации сопровождается формированием матрицы расстояний между классами:

$$R_{K_j K_i} = \sqrt{(M_{K_j} - M_{K_i})^2}$$

а также определением внутриклассового коэффициента вариации группировки:

$$V = \left(\frac{\sigma}{M} \right) \cdot 100\%$$

где M_{K_j} , M_{K_i} – средние значения по классам K_j и K_i соответственно.

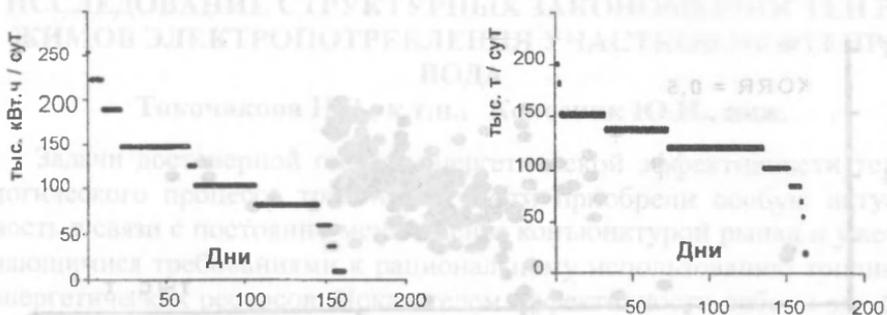


Рис. 3. Структурные модели суточных значений электропотребления и нефтеперекачки.

Таким образом, каждый класс характеризуется средней величиной суточного электропотребления, количеством суток и величиной коэффициента вариации. Классы с наименьшим расстоянием объединяются вновь. Если по оси абсцисс отложить количество дней по классам, а по оси ординат их суточные электропотребления, то в результате получим структурную модель по электропотреблению. Структурным моделям по суточным значениям электропотребления и объемов нефтеперекачки (рис. 3) характерен вид с дроблением ступеней [1] (невозможно выделить базисный класс).

Такой вид структурных моделей характерен для многих промышленных потребителей ТЭР, и связан со спадом производства в последнее время с одной стороны, с часто изменяющейся производственной программой с другой. При существующем многообразии режимов не представляется возможным однозначно определить значение удельного расхода электрической энергии от объемов перекачиваемой нефти. Благодаря тому, что отдельные участки нефтепровода оснащены современными системами автоматизированного сбора данных, предложен метод разработки удельных норм расхода электрической энергии с учетом постоянно изменяющейся технологической программы, основанный на анализе суточных показателей режимов: суточные потребления электроэнергии и грузообороты по участкам предприятия транспорта нефти "Дружба".

Для получения необходимых зависимостей $A_{мес} = f(P_{мес})$ предлагается применить метод статистического анализа соответствующих временных рядов. Метод основан на теории распознавания образов [2] и экспоненциальном сглаживании временных рядов [3] со смещением (табл. 1, рис. 4), и позволяет получить корреляционное поле точек зависимости среднемесячного электропотребления от грузооборота по

каждому кварталу (60 точек на квартал).

Сглаженное значение уровня ряда S_t на момент времени t определяется по формуле:

$$S_t = a \cdot y_t + (1-a) \cdot S_{t-1},$$

где S_{t-1} – значение экспоненциальной средней на момент времени $t-1$;

y_t – значение параметра в момент времени t ;

a – вес t -го ряда динамики (определяется структурой режима электропотребления).

Из формулы видно, что при вычислении экспоненциальной средней S_t используется лишь предыдущая экспоненциальная средняя S_{t-1} и результат последнего наблюдения y_t , а предыдущие уровни ряда забываются.

Таблица 1. Переменные алгоритма моделирования удельного электропотребления

$W_i(1...N)$, тыс.кВт.ч/сут	Исходный массив суточных значений расхода электроэнергии
$P_i(1...N)$, тыс.т.км/сут	Исходный массив суточных значений грузооборота
N , сут	Объем исходного временного ряда
K , сут	Период усреднения
$P_{срK}$, тыс.т.км/мес	Суммарное за K дней значение грузооборота
$W_{срK}$, тыс. кВт.ч/мес	Суммарное за K дней значение электропотребления
a , о.е.	Постоянная экспоненциального сглаживания
$W_{удK}$, кВт.ч/т.км	Месячное ($K=30$ сут.) значение уд. расхода электроэнергии

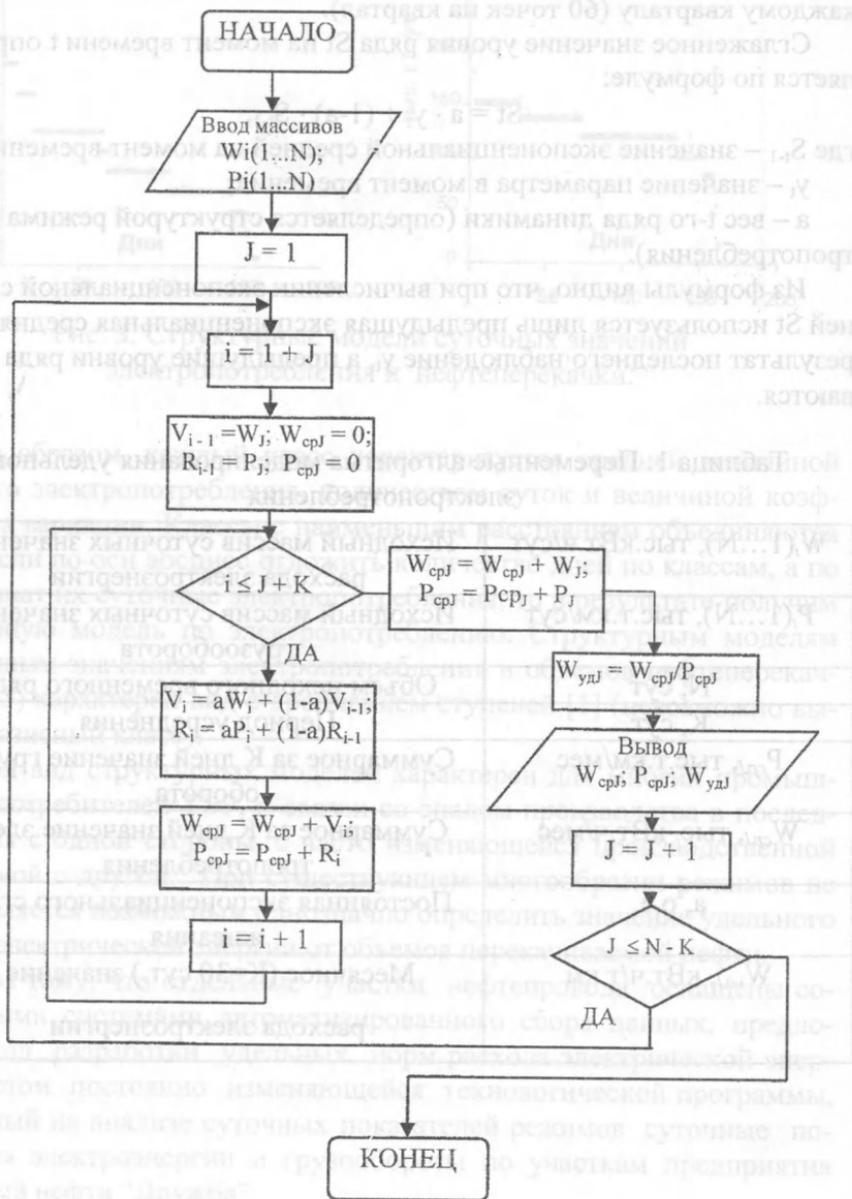


Рис. 4. Алгоритм определения зависимости усредненного удельного электропотребления от грузооборота

При этом установлено, что степень корреляции между указанными показателями в большинстве случаев высокая (рис. 5).

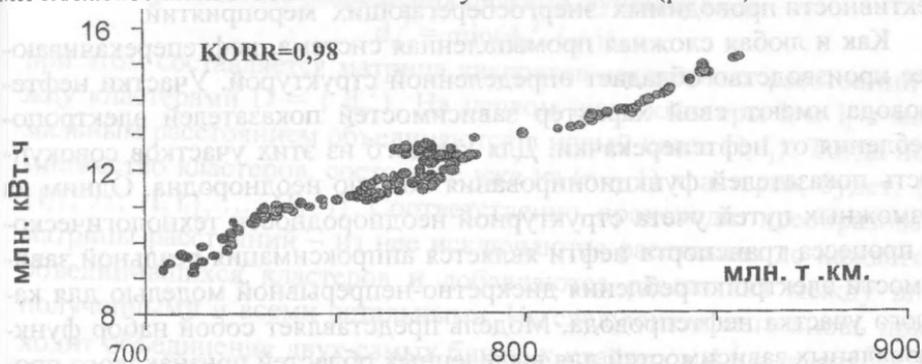


Рис. 5. Годовая корреляционная модель зависимости среднемесячного электропотребления от грузооборота одного из участков нефтепровода (N=365).

Месячные значения удельного потребления электрической энергии на единицу продукции (рис. 6), полученные на основе расчетов среднего электропотребления и объемов перекачиваемой нефти:

$$W_{уд i} = W_{мес i} / P_{мес i}$$

а также графические модели (рис.5, 6) могут быть использованы для анализа режимов электропотребления, а также для выявления потребителей, имеющих наибольший ресурс в области электросбережения (оценка проводится по характеру разброса точек). Сильный разброс точек относительно средней линии свидетельствует о низкой энергоэффективности или плохой управляемости процесса.

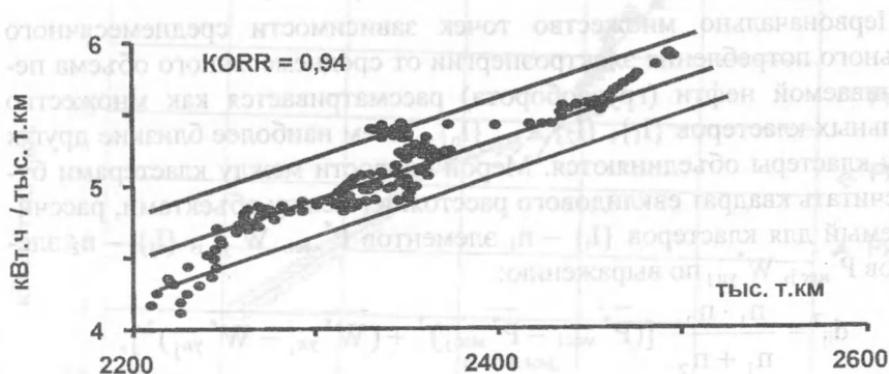


Рис. 6. Годовая регрессионная модель среднемесячного удельного электропотребления

Сравнение трендов полученных статистических рядов за соответствующие кварталы предыдущих лет позволяет проводить анализ эффективности проводимых энергосберегающих мероприятий.

Как и любая сложная промышленная система, нефтеперекачивающее производство обладает определенной структурой. Участки нефтепровода имеют свой характер зависимостей показателей электропотребления от нефтеперекачки. Для каждого из этих участков совокупность показателей функционирования обычно неоднородна. Одним из возможных путей учета структурной неоднородности технологического процесса транспорта нефти является аппроксимация реальной зависимости электропотребления дискретно-непрерывной моделью для каждого участка нефтепровода. Модель представляет собой набор функциональных зависимостей для выделенных областей признакового пространства, границы которых предлагается определять методом распознавания образов в двумерном пространстве признаков: грузооборот $P_{мес}$ и удельный расход электроэнергии $W_{уд}$.

В связи с тем, что показатели имеют разные единицы измерения, то для их соизмерения предварительно производится стандартизация относительно среднего квадратического отклонения:

$$P_{мес i}^* = \frac{P_{мес i} - \bar{P}_{мес}}{\sigma_{P_{мес}}}; \quad W_{уд i}^* = \frac{W_{уд i} - \bar{W}_{уд}}{\sigma_{W_{уд}}},$$

где: $\bar{P}_{мес} = \frac{1}{n} \sum_1^n P_{мес i}$; $\bar{W}_{уд} = \frac{1}{n} \sum_1^n W_{уд i}$;

$$\sigma_{P_{мес}} = \sqrt{\frac{1}{n-1} \sum_1^n (P_{мес i} - \bar{P}_{мес})^2}; \quad \sigma_{W_{уд}} = \sqrt{\frac{1}{n-1} \sum_1^n (W_{уд i} - \bar{W}_{уд})^2}.$$

Первоначально множество точек зависимости среднемесячного удельного потребления электроэнергии от среднемесячного объема перекачиваемой нефти (грузооборота) рассматривается как множество отдельных кластеров $\{I_1\}$, $\{I_2\}$, ..., $\{I_n\}$. Затем наиболее близкие друг к другу кластеры объединяются. Мерой близости между кластерами будем считать квадрат евклидова расстояния между объектами, рассчитываемый для кластеров $\{I_i\}$ - n_1 элементов $P_{мес i}^*$, $W_{уд i}^*$, $\{I_j\}$ - n_2 элементов $P_{мес j}^*$, $W_{уд j}^*$ по выражению:

$$d_{ij}^2 = \frac{n_1 \cdot n_2}{n_1 + n_2} \cdot [(P_{мес i}^* - P_{мес j}^*)^2 + (W_{уд i}^* - W_{уд j}^*)^2],$$

где: $\bar{P}_{мес i(j)}^* = \frac{1}{n_{1(2)}} \sum_1^{n_{1(2)}} P_{мес i(j)}^*$; $\bar{W}_{уд i(j)}^* = \frac{1}{n_{1(2)}} \sum_1^{n_{1(2)}} W_{уд i(j)}^*$.

Решением задачи кластерного анализа являются разбиения, полученные в результате разрешения целевой функции вида:

$$d_{ij}^2 = \min(d_{ij}^2, i \neq j),$$

при этом составляется матрица квадратов евклидовых расстояний между кластерами $D = \{d_{ij}^2\}$. На первом шаге кластеры I_i и I_j с минимальным расстоянием объединяются в новый класс $\{I_i, I_j\}$. Тогда новое множество кластеров, состоящее уже из $(n - 1)$ кластеров, будет: $\{I_1\}$, $\{I_2\}$, ..., $\{I_i, I_j\}$, ..., $\{I_{n-1}\}$. Соответственно, происходит преобразование матрицы расстояний – из нее исключаются расстояния до каждого из объединившихся кластеров и добавляются расстояния между вновь полученными и всеми остальными. На следующем шаге вновь происходит объединение двух самых близких кластеров $d_{ij}^2 = \min(d_{ij}^2, i \neq j)$, преобразование матрицы расстояний и т. д. Полученные в результате таких последовательных разбиений кластеры точек исходного ряда предлагается аппроксимировать соответствующей функцией методом наименьших квадратов с целью минимизации доверительного интервала удельного расхода электроэнергии внутри каждого из диапазонов грузооборота (рис. 7). Оценка аппроксимирующей способности уравнений регрессии внутри каждого из диапазонов грузооборотов проводилась по величине коэффициента детерминации R^2 . Для более достоверной оценки дифференцированных по объемам грузооборотов доверительных интервалов удельного электропотребления необходимы дополнительные исследования, связанные с факторным анализом параметров технологического процесса транспорта нефти.

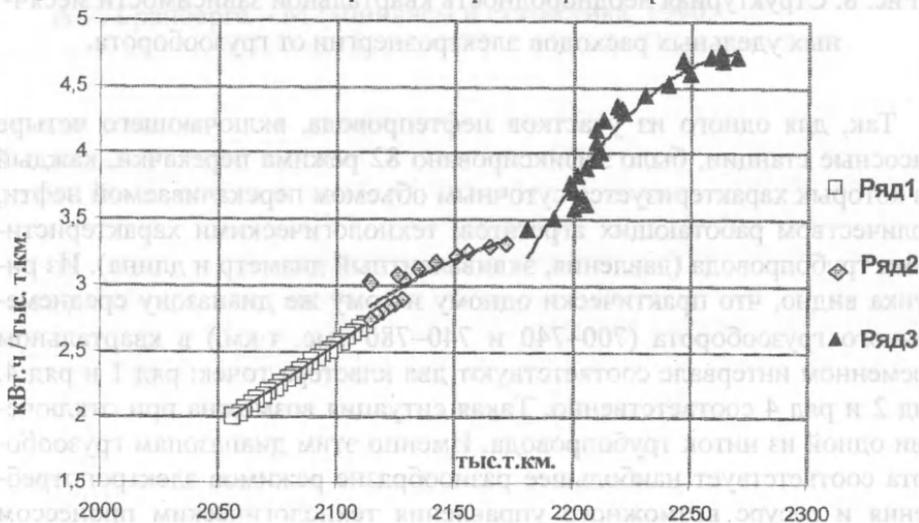


Рис.7. Квартальная дискретно-непрерывная модель месячных удельных расходов электроэнергии в зависимости от грузооборота.

Существующее многообразие режимов работы электрооборудования, обусловленное спецификой технологического процесса транспорта нефти, в некоторых случаях не позволяет однозначно определить диапазоны допустимых значений удельных расходов электрической энергии (рис. 8).

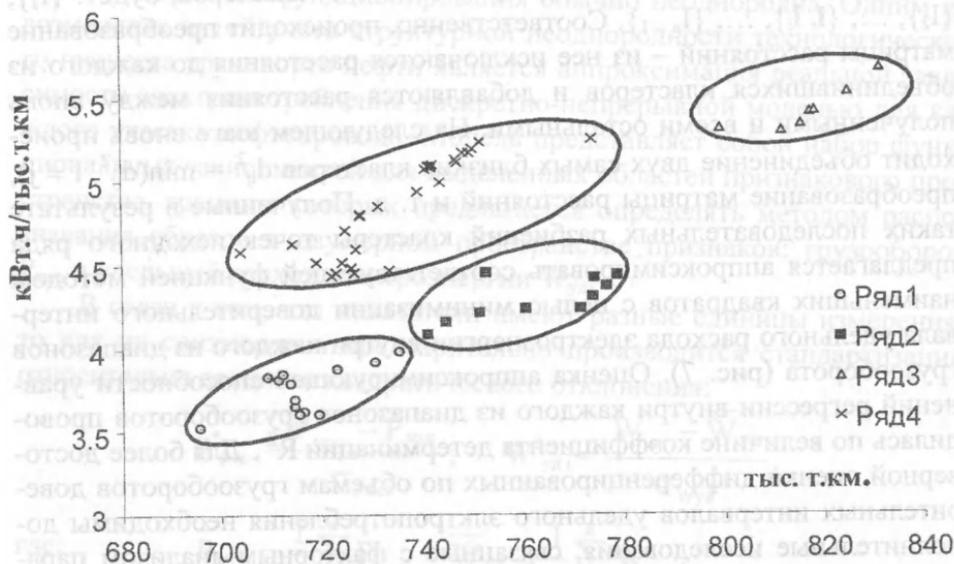


Рис. 8. Структурная неоднородность квартальной зависимости месячных удельных расходов электроэнергии от грузооборота.

Так, для одного из участков нефтепровода, включающего четыре насосные станции, было зафиксировано 82 режима перекачки, каждый из которых характеризуется суточным объемом перекачиваемой нефти, количеством работающих агрегатов, технологическими характеристиками трубопровода (давления, эквивалентный диаметр и длина). Из рисунка видно, что практически одному и тому же диапазону среднемесячного грузооборота (700–740 и 740–780 тыс. т.км.) в квартальном временном интервале соответствуют два кластера точек: ряд 1 и ряд 4, ряд 2 и ряд 4 соответственно. Такая ситуация возможна при отключении одной из ниток трубопровода. Именно этим диапазонам грузооборота соответствует наибольшее разнообразие режимов электропотребления и ресурс возможного управления технологическим процессом транспорта нефти, направленного в конечном счете на энергосбережение.

Выводы:

- предложен алгоритм исследования структурных закономерностей режимов электропотребления участков нефтепровода, позволяющий оценивать структуру режимов электропотребления, а также построить дискретно-непрерывные модели зависимости удельного электропотребления от влияющих факторов;
- выявлена структурная неоднородность квартальной зависимости месячных удельных расходов электроэнергии от грузооборотов участков нефтепровода, что указывает на разнообразие и нестабильность их режимов работы;
- нормирование удельных расходов ТЭР для таких потребителей целесообразно основывать на статистической обработке суточных данных, с учетом допустимого диапазона.

Литература

1. Токочакова Н. В, Токочаков В. И., Алферова Т. В. Структурное моделирование суточного электропотребления промышленных предприятий энергосистемы для быстрой оценки потенциала энергосбережения. – Мн.: Энергоэффективность, 2001, №2.
2. Мандель И.Д. Кластерный анализ - М.: Финансы и статистика, 1988.
3. Статистическое моделирование и прогнозирование. Под ред. А.Г. Гранберга. - М.: Финансы и статистика, 1990.