

НАДЁЖНОСТЬ И ЭНЕРГЕТИЧЕСКАЯ БЕЗОПАСНОСТЬ РОССИИ И УРАЛЬСКОГО ФЕДЕРАЛЬНОГО ОКРУГА

Л.Л. Богатырёв, С.Н.Шелюг

Уральский государственный технический университет – УПИ

Ключевой сферой, определяющей развитие и функционирование практически всех отраслей экономики, является энергетика. Любой перебой, любая недопоставка топливно-энергетических ресурсов (ТЭР) могут породить кризисные явления в любой из экономических сфер, что выльется в значительное снижение уровней экономической безопасности (ЭБ) территорий. В современном представлении энергетика рассматривается как совокупность энергопотребляющих и энергоснабжающих систем, которые представляются как неотъемлемые части всех сфер жизнедеятельности субъектов РФ [1,2]. Заметим, что основными сферами жизнедеятельности являются:

1. демографическая;
2. продовольственного обеспечения;
3. экологическая;
4. бюджетная и финансовая;
5. производственного (промышленного) потенциала;
6. научно-технического потенциала;
7. топливно-энергетического обеспечения;
8. занятости населения;
9. уровня жизни;
10. правопорядка.

Территориальные системы энергетики представляют собой многоуровневые объекты. При исследованиях таких сложных систем наиболее оправдано использовать системный подход, руководствуясь при этом рядом методологических принципов, суть которых заключается в следующем:

- рассмотрение объекта исследования как системы – единой совокупности взаимосвязанных элементов, выделенных из окружающей среды;
- внешняя среда – совокупность систем более высокого уровня, их взаимодействие – различные связи;
- комплексность исследования – учёт экономических, социальных, экологических и прочих связей;
- выявление через регрессионный анализ различных причинно-следственных и временных закономерностей;
- использование иерархии структуры (взаимодействие между подсистемами различных уровней), рациональное сочетание централизации (обеспечение единства объекта) и децентрализации (автономности подсистем);
- учёт неопределённости в информации; метод исследования должен быть адекватен изучаемому объекту (информации о нём);

Эти принципы должны стать основой при разработке методики качественного и количественного исследования надёжности сложных систем. Исходя из теории систем, любая многоцелевая система представляется в виде совокупностей составляющих её подсистем и многообразных связей между ними. Связи между объектами проявляются через выходные переменные, которые характеризуют состояния всей системы. Эти связи действуют через топологию, режимы, системы снабжения, структуру системы и пр. При этом под системой снабжения понимается система обеспечения материальными, трудовыми, финансовыми и прочими ресурсами. Например, Российская Федерация представляется в виде составляющих её семи федеральных округов; округ, в свою очередь, состоит из составляющих его субъектов федерации и т.д., в зависимости от уровня территориальной иерархии. Так, уральский федеральный округ (УрФО) состоит из шести субъектов федерации: Свердловской, Курганской, Челябинской и Тюменской областей, причём в Тюменской области выделяются два крупных субъекта федерации – Ханты-Мансийский и Ямало-Ненецкий автономные округа.

В экономической системе территориальных образований можно выделить ряд подсистем: производственную, финансовую, социальную и др.

В производственной сфере жизнедеятельности особую роль играет топливно-энергетический комплекс (ТЭК) вследствие его определяющего воздействия на все остальные сферы. В этом воздействии наибольшую важность имеют надёжность, живучесть и безопасность системы.

Надёжность системы энергетики можно определить как способность энергосистемы выполнять функцию бесперебойного снабжения потребителей энергоносителями (электроэнергией, топливом и пр.). Причём, понятие «надёжная система» предполагает, что при осуществлении системой своих функций не возникнут ситуации, опасность которых для людей и окружающей среды превышают определённую величину, при которой ослабевают или разрушаются связи между подсистемами (топливоснабжающих, электроснабжающих, ресурсо- и материалоснабжающих и пр.). Живучесть же

систем – их способность противостоять развитию нарушений, не допуская негативных последствий катастрофического характера, которые зачастую носят цепочный характер [1].

Недопущение развития возмущений с массовым нарушением питания потребителей эквивалентно недопущению некоторого предельного состояния, после которого велика вероятность необратимых последствий для системы и её способности выполнять заданные функции, так как разрушаются связи между составляющими её подсистемами.

Надёжность системы отражает её свойство выполнять всю совокупность заданных функций в необходимом объёме с соблюдением всех установленных нормативов [2]. С ослаблением связи между подсистемами надёжность системы снижается, о чём свидетельствует развитие российской экономики и энергетики в период 90-х годов (рис.1), т.е. с 1998г. она колебалась около значения 0,32 [3].

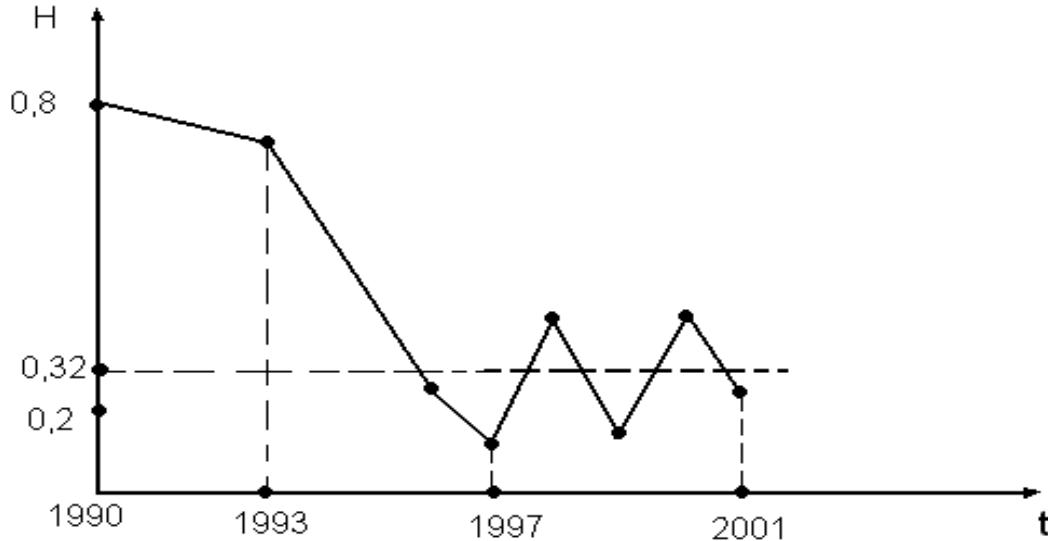


Рис.1. Зависимость надёжности системы (H) от времени (t)

За показатель надёжности принимается величина H, равная отношению числа связей в полученном графе (m) к связям в «полном» графе, имеющим n вершин [3], т.е.

$$H = \frac{2m}{n(n-1)}.$$

Обычно близость объектов i и j между собой определяется через критерий близости Танимото:

$$r_{i,j} = \frac{\rho_{\alpha\beta}}{\rho_{\alpha\alpha} + \rho_{\beta\beta} - \rho_{\alpha\beta}}; (i = \alpha; j = \beta),$$

где $\rho_{\alpha\beta}$ - число совпадающих единичных признаков для обеих строк i и j таблицы «объекты-признаки», когда признаки представлены в бинарном виде; $\rho_{\alpha\alpha}, \rho_{\beta\beta}$ - общее число единичных признаков в каждой строке, соответствующий объектам α и β .

Если i-я и j-я строки таблицы «объекты –признаки» полностью идентичны, то $r_{i,j} = 1$, т.е. имеем полное сходство субъектов [1]. Перевод числовых описаний объектов в бинарные производятся по простой схеме:

$$X_i \rightarrow Z_i \rightarrow X_i^*; \quad 1 \leq i \leq m,$$

где X_i - числовой код; Z_i - промежуточная переменная; X_i^* - бинарный код.

Для этого исходные переменные X_i измеряются в стандартизованных относительных единицах:

$$X_i^{отн} = \frac{2(X_i - X_{i\bar{\alpha}\bar{\alpha}})}{X_{i\max} - X_{i\min}};$$

$$\text{где } X_{i\bar{\alpha}\bar{\alpha}} = X_{i\min} + \frac{(X_{i\max} - X_{i\min})}{2}.$$

Значения промежуточных переменных вычисляются по формулам:

$$\begin{aligned} z_1 &= x_1 - 0.5(x_m + x_2); \\ z_i &= x_i - 0.5(x_{i+t} + x_{i-t}); \\ z_m &= x_m - 0.5(x_{m-1} + x_1). \end{aligned}$$

После этого анализируется знак полученных величин Z_i и устанавливается окончательное значение каждого бинарного кода:

$$x_i^* = \begin{cases} 1, & \text{если } z_i \geq 0; \\ 0 & - \text{ в противном случае.} \end{cases}$$

После порогового преобразования матрицы «близости» (при пороге, равном 0,5) получаем матрицу смежности графа. Путём перестановки строк и столбцов матрицы вдоль главной диагонали формируются отдельные блоки, соответствующие классам рассматриваемых объектов, т.е. выделяются объекты с сильными связями между собой, которые составляют отдельный класс.

Напомним, что матрица смежности для графа G равна $n = ||a_{ij}||$, где $a_{ij} = 1$, при наличии связи между вершинами графа i и j , и $a_{ij} = 0$ — в противном случае.

Структурная избыточность графа G , равная $R = \frac{1}{2} \left[\sum_{i=1}^n \sum_{j=1}^n a_{ij} \right] \frac{1}{n-1} - 1$, есть превышение

общего числа связей над минимально необходимым

$(n-1)$, где n – число вершин графа. Система с большой избыточностью R потенциально более надёжна [3,4].

Индикаторы энергетической безопасности (ЭнБ) так же, как и экономической безопасности группируются по отдельным блокам, которые отражают различные аспекты деятельности систем энергетики территорий [3].

Здесь в качестве примера проведём ситуационный анализ индикативных показателей надёжности топливо- и энергоснабжения России, где обстановка более благоприятная, чем ЭБ страны в целом [3]. При классификации уровней надёжности приняты четыре основные градации: высокий (В), приемлемый (ПР), недостаточный (НЕД) и низкий (НИЗ).

Формирование индикативных показателей надёжности систем энергетики (СЭ) территорий регионального уровня осуществляется по семи индикативным блокам, включающих ряд индикативных показателей (ИП) [1,3]:

1. Балансовой надёжности систем электроэнергетики (3 ИП).
2. Балансовой надёжности систем топливоснабжения (4 ИП).
3. Структурной и режимной надёжности систем электроэнергетики (4 ИП).
4. Живучести систем энергетики (3 ИП).
5. Надёжности и работоспособности основных производственных фондов (ОПФ) систем энергетики (4 ИП).
6. Финансово-экономических показателей (5 ИП).
7. В качестве седьмого блока может рассматриваться блок энергосбережения и энергоэффективности [3], включающий энергоёмкость ВРП, удельный расход топлива на производство электроэнергии и относительную величину потерь электроэнергии.

Заметим, что в блок финансовой надёжности систем электроэнергии входят такие индикативные показатели, как доля собственных источников в балансе электроэнергии на территории (%), отношение располагаемой мощности электростанций к максимальной электрической нагрузке потребителей (%), отношение суммы располагаемой мощности электростанций и пропускной способности межсистемных связей к максимальной электрической нагрузке потребителей (%). Пороговые же значения для уровней надёжности высокий, приемлемый, недостаточный и низкий для принятых индикативных показателей взяты соответственно (85, 75, 65, 55); (115, 100, 85, 70); (250, 220, 190, 160). Подобным образом поступаем со всеми остальными индикативными показателями [1].

Среди федеральных округов (ФО) на основе современного состояния в Центральном, Северо-Западном и Приволжском округах значения показателей надёжности по первому блоку оценивались как приемлемые (ПР); в Южном, Уральском и Дальневосточном округах – как недостаточные (НЕД); а в Сибирском – как низкие (НИЗ) (табл. 1).

Таблица 1

Результаты оценки балансовой надёжности систем
электроэнергетики и топливообеспечения

	Системы электроэнергетики	Системы топливообеспечения
--	---------------------------	----------------------------

Федеральный округ	уровень показателя	кол-во территорий (субъектов РФ) с уровнем показателя недостаточный и низкий		уровень показателя	кол-во территорий (субъектов РФ) с уровнем показателя недостаточный и низкий	
		шт.	%		шт.	%
Центральный	ПР	7	38,9	НЕД	17	94,4
Северо-западный	ПР	5	50	ПР	9	90
Южный	НЕД	7	58,3	В	9	75
Приволжский	ПР	5	35,7	ПР	10	71,4
Уральский	НЕД	1	25	НЕД	3	75
Сибирский	НИЗ	5	41,7	В	9	75
Дальневосточный	НЕД	2	22,2	НИЗ	8	88,9
ВСЕГО		32	40,5		65	82,3

Подобным образом составим таблицы 2 и 3 – по блокам структурной и режимной надёжности и живучести систем энергетики, а также по блокам надёжности и работоспособности основных производственных фондов и финансово – экономических показателей.

Таблица 2

Результаты оценки по блокам структурной и режимной надёжности и живучести систем энергетики

Федеральный округ	Блок структурной и режимной надёжности			Блок живучести систем энергетики		
	уровень показателя	кол-во территорий (субъектов РФ) с уровнем показателя недостаточный и низкий		уровень показателя	кол-во территорий (субъектов РФ) с уровнем показателя недостаточный и низкий	
		шт.	%		шт.	%
Центральный	В	8	44,4	НЕД	17	94,4
Северо-западный	ПР	8	80	ПР	6	60
Южный	ПР	11	91,7	НИЗ	11	91,7
Приволжский	ПР	8	57,1	ПР	10	71,4
Уральский	В	1	25	В	0	0
Сибирский	НЕД	8	66,7	В	6	50
Дальневосточный	ПР	3	33,3	ПР	5	55,6
ВСЕГО		47	59,5		55	69,6

Таблица 3

Результаты оценки по блокам надёжности и работоспособности ОПФ систем энергетики и финансово-экономических показателей

Федеральный округ	Блок надёжности и работоспособности ОПФ			Блок финансово-экономических показателей		
	уровень показателя	кол-во территорий (субъектов РФ) с уровнем показателя недостаточный и низкий		уровень показателя	кол-во территорий (субъектов РФ) с уровнем показателя недостаточный и низкий	
		шт.	%		шт.	%
Центральный	НЕД	18	100	НИЗ	13	72,2
Северо-западный	НЕД	10	100	НИЗ	4	40

Южный	НЕД	12	100	НИЗ	8	80
Приволжский	НЕД	13	92,8	НИЗ	9	64,3
Уральский	НЕД	4	100	НИЗ	3	75
Сибирский	НЕД	12	100	НИЗ	9	81,8
Дальневосточный	НЕД	7	77,8	НИЗ	8	100
ВСЕГО		76	86		54	71,96

Результаты оценки надёжности топливно- и энергосбережения территорий и живучести их систем энергетики по современному состоянию представлены в табл. 4.

Таблица 4

Оценка надёжности топливно- и энергосбережения
территорий и живучести их систем энергетики

	уровень показателя	количество территорий (субъектов РФ) с недостаточным и низким уровнем показателя		
		шт.	%	всего субъектов
Центральный	НЕД	18	100	18
Северо-западный	НЕД	10	100	10
Южный	НЕД	12	100	12
Приволжский	НЕД	12	85,7	14
Уральский	НЕД	3	75	4
Сибирский	НЕД	12	100	12
Дальневосточный	НЕД	8	88,9	9
ВСЕГО		75	94,9	79

В начале XXI века показатели надёжности и живучести систем энергетики территорий всех регионов России оценивались как недостаточные. Хотя общая качественная оценка всех округов получалась одинаковой, но между ними выявляются заметные различия. Так, больше всего территорий с низким уровнем надёжности в Южном и Центральном округах. Их число достигает 83%. Во всей России не было ни одной территории с высоким уровне всех показателей, в то время как субъектов РФ с низким уровнем было 53 (67,1%).

За рассматриваемые три последних года существенных изменений в качественных оценках надёжности субъектов РФ не происходило. Они отмечаются лишь в 16 субъектах РФ: 10 из них – благоприятные, 4 – неблагоприятные, остальные носили колебательный характер. Неблагоприятные тенденции проявлялись в Волгоградской и Ростовской областях Южного ФО, Челябинской и Мурманской областях [1].

Наиболее тяжёлое положение сложилось в ряде территорий Южного округа, которые входят в десятку самых ненадёжных в России. Думается, что неблагоприятным фактором, обусловившим возникновение этой ситуации, явилась чеченская война.

В то же время необходимо выделить территории, которые имели приемлемый уровень показателей надёжности. Это республика Башкортостан и Самарская область в Приволжском округе, Хабаровский край – в Дальневосточном и Тюменская область – в Уральском округе. Причиной снижения уровней показателей надёжности в федеральных округах явились низкие показатели финансово-экономического блока, по которому лишь Приволжский ФО характеризуется приемлемым уровнем индикаторов.

Выполнение оценки индикативных показателей надёжности и живучести систем энергетики территорий позволяют выделить наиболее слабые места и наибольшие угрозы для каждой территории и разработать действенные меры по повышению уровня их надёжности. Последнее будет способствовать подъёму уровня их выживания и возможности противостояния различным катаклизмам. Если проанализировать ситуационное состояние территорий Уральского Федерального округа по энергетической безопасности за последнее время, то можно заметить, что только Ханты-Мансийский автономный округ и Тюменская область находятся в критической стадии предкризиса, а остальные – в угрожающей стадии кризиса (за исключением Курганской области, находящейся в чрезвычайной стадии кризиса). Об этом же говорят красноречиво и данные таблицы 5, полученные

на основе обработки результатов сводной таблицы по блокам энергетической безопасности территорий УрФО по данным 2003 года.

Тюменская область и Ханты-Мансийский АО, находящиеся в предкризисном состоянии, «вытянули» УрФО в целом, который характеризуется предкризисным состоянием.

За период 1999 – 2003 гг. ухудшение ситуации произошло только в Челябинской и Курганской областях. Во всех же других территориях наблюдались только положительные изменения (особенно в Тюменской области и Ханты-Мансийском автономном округе). Подытоживая результаты расчётов энергетической безопасности территорий УрФО в 1999 – 2003 гг., можно заметить, что

1. Наиболее сильной угрозой ЭНБ для ряда территорий УрФО (Курганская, Свердловская, Челябинская области) является практически полное отсутствие собственных источников добычи и производства котельно-печного и моторного топлива.
2. Из-за явно заниженных и искусственно сдерживаемых цен на энергоресурсы финансовая эффективность работы предприятий энергетики крайне низка, что сильно сдерживает их развитие. Необходимо осуществлять переход на рыночные механизмы формирования цен на топливно-энергетические ресурсы.
3. Крайне остра ситуация с инвестициями в энергетику территорий УрФО. За последнее десятилетие наблюдается практически полное отсутствие вводов новых мощностей, что привело к значительному моральному и физическому старению энергетического оборудования (40 – 50 лет) и повышенной аварийности, удлинению сроков и количества его ремонтных простоев, частому ограничению потребителей. Поэтому сегодня крайне остро встал вопрос о значительных финансовых вливаниях в электроэнергетику территорий УрФО, а иначе она может стать «тормозом» начавшегося экономического роста.
4. В целом по округу зафиксирована нормальная обстановка с обеспеченностью электрической и тепловой энергией (хотя на отдельных его территориях и муниципальных образованиях ситуация продолжает сохранять высокую степень остроты: низки уровни потребления энергоресурсов, наблюдаются ограничения электро- и теплоснабжения, задерживается начало отопительного сезона и т.д.). Главная причина такой ситуации видится в аварийном состоянии электро- и теплосетей и несвоевременные расчёты муниципальных организаций за поставленные энергоресурсы.

Рассмотрим более подробно вопрос оценки надёжности Уральского энергетического объединения, так как схемная и режимная надёжность представляют собой один из главных блоков энергетической безопасности. Известно, что наиболее развитые системообразующие сети и сильные межсистемные связи будут оказывать более сильное воздействие на уровень надёжности функционирования объединённой энергосистемы.

В ОЭС Урала к таким системам относятся Тюменская и Свердловская энергосистемы.

Тюменская энергосистема – наиболее развитая в техническом отношении система с меньшим, чем в среднем по ОЭС, износом оборудования электростанций. Вопрос топливоснабжения станций этой системы не является острым, так как на территории области находятся самые богатые в России разрабатываемые месторождения газа. Огромные пространства Тюменской области в сочетании с малым количеством населённых пунктов задали специфику Тюменской энергосистемы – системы с протяжёнными ЛЭП высокого и сверхвысокого напряжения, составляющие более 30% от длины ВЛ ОЭС Урала [3].

Тюменская энергосистема, имеющая крупнейшие в Европе электростанции, является избыточной по производству электрической энергии и поставляет ее в дефицитные энергосистемы – Курганскую и Челябинскую. Свердловская ОЭС является сопоставимой по установленной мощности Тюменской энергосистеме.

Другие системы, входящие в Уральское энергообъединение (Башкирская, Оренбургская, Пермская и Челябинская), это энергосистемы с развитой структурой, большой суммарной мощностью электростанций, но с производственным потенциалом, недостаточным для определённого влияния на уровень надёжности всей ОЭС Урала.

К резко дефицитным энергосистемам следует отнести Кировскую, Курганскую и Удмуртскую энергосистемы, сальдо-перетоки электроэнергии у которых сопоставимы с объёмами собственного производства (или даже меньше). Большая зависимость от внешних поставок электроэнергии ставит надёжность функционирования этих систем в зависимость от состояния энергосистем и ОЭС в целом.

Определим теперь средневзвешенную оценку регионов УрФО $O_{рег}$ (табл. 5):

$$O_{рег} = \frac{1}{K - g} \sum_{i=1}^{k-g} NO_i,$$

где K – общее количество индикативных показателей и блоков; g – количество индикативных показателей и блоков, по которым нет данных; NO_i – нормализованная оценка (фактическая

оценка индикатора, отнесённая к кризисному пороговому уровню по индикатору) степени кризисности по i-му индикатору.

Результаты расчётов средневзвешенной оценки территорий УрФО представлены в табл. 5.

Иначе говоря, в самом худшем положении по энергетической безопасности находятся Челябинская и Курганская области, а в самом лучшем – Тюменская область и Ханты-Мансийский автономный округ. Как уже указывалось ранее, Курганская и Челябинская энергосистемы являются дефицитными, получающими электрическую энергию от Тюменской энергосистемы.

Уровень развития этих двух регионов сильно зависит от региона- «донора». Недопоставка электрической энергии из Тюменской энергосистемы поставит Курганскую и Челябинскую области на порог коллапса, т.е. энергетического бедствия (краха).

Результаты таблицы 5 являются отличным подтверждением основных положений, представленных в данной статье.

Основной экономический парадокс состоит в том, что при изменении уровня экономической безопасности уровень энергетической безопасности может не меняться, что объясняется большой инерционностью процессов в энергетике. Кроме того, электроэнергия производится с помощью электрооборудования, у которого «давно» закончился срок службы.

Таблица 5

Общий анализ нормализованных отношений (НО)
субъектов УрФО в 2003 г.

№ п/п	Наименование территорий и значения (k-g)	Сумма нормализованных отношений $\sum_{i=1}^{(k-g)} NO_i$	Средневзвешенная оценка O_{peg}	Место территорий УрФО по мере возрастания оценки O_{peg}
1.	УрФО hg = 0 K=34 (k - g) = 34	16,243	0,478	-
2.	Курганская область hg = 7 (k - g) = 27	29,928	1,108	5
3.	Свердловская область hg = 6 (k - g) = 28	18,613	0,665	4
4.	Тюменская область hg = 1 (k - g) = 33	10,212	0,309	1
5.	Ханты-Мансийский АО hg = 1 (k - g) = 33	15,158	0,459	2
6.	Ямало-Ненецкий АО hg = 1 (k - g) = 33	21,059	0,638	3
7.	Челябинская область hg = 1 (k - g) = 33	62,675	1,899	6

Интересно заметить, что результаты объединения субъектов УрФО на основании значений показателей энергетической безопасности дают одни и те же результаты (табл. 6).

Таблица 6

Результаты объединения субъектов УрФО на основе значений нормализованных отношений.

На основе статистических данных		На основе данных таблицы 5	
Интервал значения показателя	Классы и их объекты	Интервал значения показателя	Классы и их объекты
0,601÷0,826	(4,5) (Тюменская область и Ханты-Мансийский АО)	0,309÷0,459	(4,5) (Тюменская область и Ханты-Мансийский АО)

1,207÷1,296	(3,6) (Свердловская область и Ямало- Ненецкий АО)	0,638÷0,665	(6,3) (Свердловская область и Ямало- Ненецкий АО)
1,527÷1,585	(7,2) (Челябинская и Курганская области)	1,108÷1,899	(2,7) (Челябинская и Курганская области)

Последнее свидетельствует об адекватности рассматриваемых методов. Причём между классами объектов имеется достаточно большой интервал, что способствует чёткому разделению объектов Уральского федерального округа по энергетической безопасности.

Литература.

1. Надёжность топливо- и энергоснабжения и живучесть систем энергетики регионов России / Под научной редакцией Н.И. Воропая, А.И. Татаркина; Богатырёв Л.Л., Бочегов А.В., Воропай Н.И. и др. – Екатеринбург: Изд-во Урал. ун-та, 2003. – 392 с.
2. Надёжность систем энергетики: достижения, проблемы, перспективы / Г.Ф. Ковалёв, Е.В. Сеннова, М.Б. Чельцов и др. Под редакцией Н.И. Воропая. – Новосибирск: Наука, Сиб. издат. Фирма РАН, 1999. – 434 с.
3. Моделирование состояния и прогнозирование развития региональных экономических и энергетических систем / Под ред. А.И. Татаркина, А.А. Макарова; Альбрехт Э.Г., Богатырёв Л.Л., Бочегов А.В. и др. – М.: ЗАО «Издательство «Экономика», 2004. – 462 с.
4. Денисов А.А., Колесников Д.Н. Теория больших систем управления. – Л.: Энергоиздат. Ленингр. отд-ние. 1982. – 288 с.