

Т.С. ГНУНИ, Л.В. САФАРЯН

**МЕТОДИКА ОПРЕДЕЛЕНИЯ ИНТЕГРАЛЬНЫХ ПОКАЗАТЕЛЕЙ
ЗАГРЯЗНЕНИЯ ОКРУЖАЮЩЕЙ СРЕДЫ, ДИФФЕРЕНЦИРОВАННЫХ ПО
УЗЛАМ НАГРУЗКИ СЛОЖНОЙ ЭНЕРГОСИСТЕМЫ**

На основе результатов структурного анализа потокораспределения в электрической системе предложен метод определения интегральных показателей загрязнения окружающей среды, дифференцированных по узлам нагрузки сложной энергосистемы. Рассмотрен численный пример для гипотетической энергосистемы.

Ключевые слова: структурный анализ, активная мощность, интегральный показатель загрязнения окружающей среды, потокораспределение.

Следствием удовлетворения экономических, социальных, культурных и других потребностей современной цивилизации является антропогенное воздействие на окружающую среду и возникновение проблемы экологической безопасности [1]. В настоящее время в мировой практике используется ряд методов и подходов к оценке эколого-экономического ущерба, под которым понимается определение в денежном эквиваленте негативных изменений в окружающей среде, а также последствий таких изменений [2]. В соответствии с этими подходами в ходе оценки экологической безопасности на локальном уровне особое значение придается оценке ресурсопотребления предприятий. С точки зрения экологической безопасности предприятий, обычно рассматриваются следующие ресурсы:

- экологические — вода и кислород;
- технологические — топливно-энергетические ресурсы (природный газ, нефть, мазут, уголь, электроэнергия и т.п.).

Основные недостатки системы расчета ущербов связаны с трудностями оценки стоимостных показателей потери биологических компонентов окружающей среды, а также сложностью сбора информации для оценки ущербов аналитическими методами. Для преодоления указанных недостатков при оценке экологической опасности промышленных предприятий приходится использовать показатели ущербов, рассчитанные эмпирическим методом на базе удельных показателей [3]. Однако эти показатели, например удельное ресурсопотребление, не всегда в полной мере отражают структуру используемых в технологическом процессе ресурсов. Более того, современные подходы не ограничиваются оценкой экологических ущербов от использования тех или иных технологий, а рассматривают также ущербы, обусловленные технологическими процессами по производству, сооружению, вводу в эксплуатацию этих технологий. Так, известно [4], что при

В качестве параметра, характеризующего степень загрязнения окружающей среды от каждой электростанции, воспользуемся интегральным показателем антропогенного воздействия, который представляет собой линейную свертку нормированных по N -балльной шкале значений частных показателей загрязнения и рассчитывается по формуле [2]

$$K_i = \sum_{j=1}^J w_i^j \cdot \tilde{k}_i^j, \quad (5)$$

где K_i , $i = \overline{1, m}$ - интегральный показатель антропогенного воздействия на окружающую среду от i -й электростанции; j - индекс частного комплексного показателя загрязнения окружающей среды; $\tilde{k}_i^j = \frac{k^j - k_{\min}^j}{k_{\max}^j - k_{\min}^j} \cdot N$, $i = \overline{1, m}$ - значение j -го нормированного по N -балльной шкале частного комплексного показателя загрязнения; w^j - весовой коэффициент j -го комплексного показателя, удовлетворяющий условию $w^j \geq 0$, $\sum_{j=1}^J w^j = 1$.

При расчете интегрального показателя основной проблемой является выбор весовых коэффициентов, которые, как правило, устанавливаются путем экспертных оценок. Для исключения возможного субъективизма используются методы структуризации и классификации показателей по их значимости.

Отметим, что в качестве частных комплексных показателей загрязнения окружающей среды, как правило, используют различные индексы, учитывающие:

- степень загрязнения атмосферного воздуха бензопиреном, взвешенными веществами, оксидом углерода, диоксидом серы, диоксидом азота, сероводородами и др.;
- степень загрязнения воды по содержанию в ней фтора, кальция, натрия, сульфатов, железа, пригодности выживания рыб и др.;
- степень загрязнения почвы по содержанию в ней ртути, хрома, свинца, цинка, никеля, магния и др.;
- состояние лесных ресурсов и лесопользования;
- состояние фауны и изменения генофонда животных;
- состояние экосистемы и т.п.

С учетом принятых обозначений определим значения интегральных показателей K'_j , $j = \overline{1, n}$, обусловленных режимами электропотребления в каждом из узлов потребления.

На основе структурного анализа потокораспределения (рис. 2) запишем

Рассмотрим численный расчет на примере гипотетической электрической системы, схема замещения которой в виде ориентированного графа (ветви графа ориентированы по направлению перетока активной мощности в ней) представлена на рис. 3.

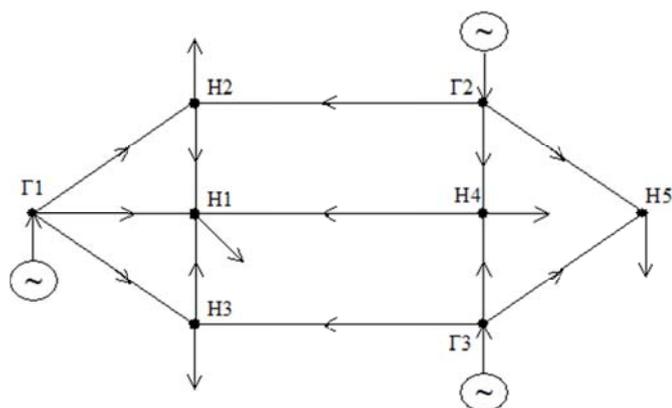


Рис. 3. Ориентированный граф схемы замещения гипотетической электрической системы

Исходная информация и результаты расчета установившегося режима электрической системы приведены в табл. 1 и 2, где R , X – активное и реактивное сопротивления ветви (Ω); $P_{\text{начало}}$, $P_{\text{конец}}$ – перетоки активной мощности ветви ($MВт$); ΔP – потери активной мощности ветви ($MВт$); I – ток ветви ($кА$); P , Q – активные и реактивные узловые мощности ($MВт$, $MВАр$); U , φ – модуль и аргумент узлового напряжения ($кВ$, $град$).

Таблица 1

Исходные данные и результаты расчета режима по узлам

Узел	P	Q	U	φ
Г1	115,31	82,6	115	0
Г2	150	50	116,64	3,48
Г3	100	30	112,79	1,50
Н1	50	20	108,34	-1,41
Н2	60	25	109,01	-1,49
Н3	80	40	108,72	-0,93
Н4	70	30	107,65	-0,60
Н5	90	30	109,07	0,01

Таблица 2

Исходные данные и результаты расчета режима по ветвям

Ветвь		R	X	P _{начало}	P _{конец}	ΔP	I
Г1	Н1	9,89	14,02	40,50	38,74	1,76	0,421
Г1	Н2	9,82	18,07	30,06	29,00	1,06	0,326
Г1	Н3	7,77	10,67	44,75	42,81	1,94	0,493
Г2	Н2	17,37	37,63	33,71	32,04	1,67	0,297
Г2	Н4	14,00	22,00	51,22	48,24	2,98	0,461
Г2	Н5	8,00	15,00	65,07	62,19	2,88	0,600
Г3	Н3	8,58	13,48	43,27	41,96	1,31	0,389
Г3	Н4	11,00	21,00	28,18	27,34	0,84	0,276
Г3	Н5	9,65	14,62	28,55	27,81	0,74	0,270
Н1	Н2	11,11	19,04	1,04	1,00	0,04	0,034
Н1	Н3	13,37	17,16	4,78	4,73	0,05	0,045
Н1	Н4	9,00	19,00	5,58	5,52	0,06	0,080

Результаты расчетов структурного анализа потокораспределения (P_{ij} , $i = \overline{1,3}$, $j = \overline{1,5}$) представлены в табл. 3, где элементы первого столбца и первой строки являются активными мощностями соответственно выработки электростанций и потребления потребителей.

Таблица 3

Результаты расчетов структурного анализа потокораспределения

		Н1	Н2	Н3	Н4	Н5
		50	60	80	70	90
Г1	115,31	41,61	28,51	40,40	0	0
Г2	150	4,05	31,49	0	44,68	62,19
Г3	100	4,34	0	39,60	25,32	27,81

Потери активной мощности ΔP_{ij} , вызванные перетоками P_{ij} , $i = \overline{1,3}$, $j = \overline{1,5}$, представлены в табл. 4.

Таблица 4

Потери активной мощности ΔP_{ij}

	Н1	Н2	Н3	Н4	Н5	Σ
Г1	1,93	1,03	1,83	0	0	4,79
Г2	0,30	1,65	0	2,76	2,88	7,59
Г3	0,18	0	1,23	0,78	0,74	2,93
Σ	2,41	2,68	3,06	3,54	3,62	15,31

Значения коэффициентов α_{ij} , $i = \overline{1,3}$, $j = \overline{1,5}$ (9) представлены в табл. 5.

Таблица 5

Коэффициенты α_{ij} , $i = \overline{1,3}$, $j = \overline{1,5}$

α	H1	H2	H3	H4	H5
G1	0,871	0,492	0,528	0	0
G2	0,087	0,552	0	0,678	0,723
G3	0,090	0	0,510	0,373	0,317

В табл. 6 приведены нормативные значения комплексных показателей загрязнения атмосферы, почвы и воды [6], а в табл. 7 – рассчитанные по формуле (5) нормативные значения нормированных по 10-балльной шкале комплексных и интегрального показателей загрязнения. Выбор весовых коэффициентов осуществлен на основе простейшего эгалитарного подхода, при котором для всех показателей используются равные весовые коэффициенты.

Таблица 6

Нормативные значения комплексных и интегрального показателей загрязнения окружающей среды

Показатель	Усл. обозн.	Низкое		Среднее		Высокое		Опасное		Критическое более
		от	до	от	до	от	до	от	до	
Индекс загрязнения атмосферы	ИЗА	0	5	5	7	7	14	14	21	21
Индекс загрязнения почвы	Z _c	0	16	16	32	32	64	64	128	128
Индекс загрязнения воды	ИЗВ	1	2,5	2,5	4	4	6	6	10	10

Поскольку расчет комплексных показателей загрязнения окружающей среды не является предметом настоящей статьи и представляет собой отдельную задачу, основанную на использовании указанных выше аналитических и эмпирических методов, то в рассматриваемом примере принято, что значения показателей загрязнения окружающей среды для каждой из электростанций определены и приведены в табл. 8.

Таблица 7

Нормативные значения нормированных показателей загрязнения окружающей среды

Нормированный показатель	Усл. обозн.	Низкое		Среднее		Высокое		Опасное		Критическое более
		от	до	от	до	от	до	от	до	
Индекс загрязнения атмосферы	ИЗА	0	2,4	2,4	3,3	3,3	6,7	6,7	10	10,0
Индекс загрязнения почвы	Z_c	0	1,3	1,3	2,5	2,5	5,0	5,0	10	10,0
Индекс загрязнения воды	ИЗВ	0	1,7	1,7	3,3	3,3	5,6	5,6	10	10,0
Интегральный	К	0	1,8	1,8	3,1	3,1	5,7	5,7	10	10,0

Примечание. Чем больше значение показателя, тем выше экологический ущерб окружающей среды.

Таблица 8

Значения показателей загрязнения окружающей среды от каждой из электростанций

Показатель	Узлы генерации					
	1		2		3	
	Значение показателя	Нормированное значение показателя	Значение показателя	Нормированное значение показателя	Значение показателя	Нормированное значение показателя
Индекс загрязнения атмосферы	12,5	5,95	0	0	9,8	4,67
Индекс загрязнения почвы	29,7	2,32	2,2	0,17	14,8	1,16
Индекс загрязнения воды	2,8	2,00	3,8	3,11	2,4	1,56
Интегральный		3,42		1,09		2,46

Имея значения K_i , $i = \overline{1,3}$, по (10) определим K'_j , $j = \overline{1,5}$:

$$\begin{bmatrix} K'_1 \\ K'_2 \\ K'_3 \\ K'_4 \\ K'_5 \end{bmatrix} = \begin{bmatrix} 0,871 & 0,087 & 0,090 \\ 0,492 & 0,552 & 0 \\ 0,528 & 0 & 0,510 \\ 0 & 0,678 & 0,373 \\ 0 & 0,723 & 0,317 \end{bmatrix} \cdot \begin{bmatrix} 3,42 \\ 1,09 \\ 2,46 \end{bmatrix} = \begin{bmatrix} 3,30 \\ 2,29 \\ 3,06 \\ 1,66 \\ 1,57 \end{bmatrix}. \quad (14)$$

Таким образом, значения элементов матрицы-столбца (14) представляют собой интегральные показатели загрязнения окружающей природной среды от генерирующих станций, дифференцированные по узлам нагрузки. Если узлами нагрузки являются промышленные потребители, то, с точки зрения произведенной для покрытия спроса электрической энергии, используемой в технологических процессах, наибольший ущерб окружающей среде наносит предприятие, расположенное в узле 1, а наименьшее – в узле 4. Дезагрегированные по комплексным показателям загрязнения окружающей среды значения интегральных показателей приведены в табл. 9.

Таблица 9

Значения нормированных интегральных и комплексных показателей загрязнения окружающей среды от генерирующих станций, дифференцированных по узлам нагрузки

Нормированный показатель	Узлы нагрузки				
	1	2	3	4	5
Интегральный	3,30	2,29	3,06	1,66	1,57
Индекс загрязнения атмосферы	5,60	2,93	5,52	1,74	1,48
Индекс загрязнения почвы	2,14	1,24	1,81	0,55	0,49
Индекс загрязнения воды	2,15	2,70	1,85	2,69	2,74

Анализ приведенных в табл. 9 показателей позволяет прийти к заключению, что если текущий уровень спроса в узлах нагрузки не оказывает существенного влияния на уровни загрязнения со стороны генерирующих станций почвы и воды, то с точки зрения загрязнения атмосферы, наиболее неблагоприятное воздействие на структуру генерации оказывают значения нагрузок в узлах 1 и 3.

Выводы

1. Предложена методика, позволяющая корректно учитывать одну из составляющих общей экологической безопасности предприятия – экологический ущерб, обусловленный производством топливно-энергетических ресурсов, необходимых для покрытия текущего спроса в узле нагрузки.
2. Приведен пример расчета для гипотетической электрической системы.
3. Предложенная методика после соответствующих преобразований может быть использована для определения дифференцированных по узлам нагрузок интегральных показателей загрязнения окружающей природной среды в системах газо- и теплоснабжения.

СПИСОК ЛИТЕРАТУРЫ

1. **Михайлов Л.А.** Концепции современного естествознания / Под редакцией Л. А. Михайлова. - СПб.: Изд-во "Питер", 2008. -336 с.
2. **Бакуменко Л.П., Коротков П.А.** Интегральная оценка качества и степени экологической устойчивости окружающей среды региона // Прикладная эконометрика. - 2008. - № 1(9). С. 73-92.
3. **Жибинова К.В.** Экономические основы экологии: Электронный учебно-методический комплекс. http://www.kgau.ru/distance/ur_4/ekology/cont/index.html
4. Introduction to Clean Energy Project Analysis / RET Screen International. - Canada. (www.retscreen.net)
5. **Сафарян В.С.** Структурный анализ потоков и потерь активной мощности в электрических цепях // Изв. НАН РА и ГИУА. Сер. ТН. - 2001. - Т. 54, № 1. - С. 52-57.
6. **Ламтюгин В.А.** Нормирование качества окружающей среды: Методические указания к практическому занятию по дисциплине "Экология". -Ульяновск: Изд-во УлГТУ, 2010. - 39 с.

ЗАО "НИИ Энергетики". Материал поступил в редакцию 10.07.2012.

S.U. ԳՆՈՒՆԻ, Լ.Վ. ՍԱՖԱՐՅԱՆ

ԲԱՐԴ ԷՆԵՐԳԱՀԱՄԱԿԱՐԳԻ ԲԵՌԱՅԻՆ ՀԱՆԳՈՒՅՑՆԵՐՈՎ ԴԻՖԵՐԵՆՑՎԱԾ ՇՐՋԱԿԱ ՄԻՋԱՎԱՅՐԻ ԱՂՏՈՏՄԱՆ ԻՆՏԵԳՐԱԼԱՅԻՆ ՑՈՒՑԱՆԻՇՆԵՐԻ ՈՐՈՇՄԱՆ ՄԵԹՈԴԻԿԱ

Էլեկտրական համակարգի հոսքաբաշխման կառուցվածքային վերլուծության արդյունքների հիման վրա առաջարկվում է բարդ էներգահամակարգի բեռային հանգույցներով դիֆերենցված շրջակա միջավայրի աղտոտվածության ինտեգրալային ցուցանիշների որոշման մեթոդիկա: Դիտարկված է թվային օրինակ վարկածային էներգահամակարգի համար:

Առանցքային բառեր. կառուցվածքային վերլուծություն, ակտիվ հզորություն, շրջակա միջավայրի աղտոտվածության ինտեգրալային ցուցանիշ, հոսքաբաշխում:

T.S. GNUNI, L.V. SAFARYAN

A METHOD TO DEFINE THE ENVIRONMENTAL POLLUTION OF INTEGRATED INDICATORS DIFFERENTIATED AT LOAD NODES OF A COMPLEX POWER SYSTEM

On the basis of flow distribution structural analysis results in an electric system, a method to a define the integrated indicators of environmental pollution differentiated at load nodes of complex power system is offered. A digital example for a hypothetical power system is reviewed.

Keywords: structural analysis, active power, integrated indicator of environmental pollution, flow distribution.