

### ГЛАВА 3. АНАЛИЗ ЭФФЕКТИВНОСТИ РАБОТЫ ЭНЕРГОСИСТЕМЫ С УЧЁТОМ СПРОСА ЕЁ ПРОДУКЦИИ.

#### 3.1. Постановка вопроса.

Как известно, стоимость производства тепло- и электроэнергии и их тарифы основаны на общей рыночной платформе единой и замкнутой цепи составных элементов этой продукции. Таким образом, гармоничное сочетание основных требований при оптимизации комплекса Энергоисточник–Потребитель может быть выполнено на основании модельных исследований, т. е. путём описания основных элементов этой цепи с помощью математических формул, позволяющих производить соответствующие расчёты на компьютере.

Минимизация денежных затрат – это одна из важнейших проблем, которые приходится решать в процессе тепло- и электроснабжения региона, т. е. при работе системы Энергоисточник-Потребитель. Решение таких задач целесообразно выполнять с помощью специально разработанных математических моделей, в которых с определённой степенью точности воспроизводятся и замыкаются основные топливные и энергетические балансы, включая денежные средства, при производстве тепло- и электроэнергии. В связи с этим был разработан комплекс программных средств, позволяющих решать эти задачи при комбинированном производстве на ТЭЦ и по энергосистеме в целом: файлы ТЭЦ4atb, ТЭЦ4aB, ТКП9, ТКП10 и др. Ниже в порядке иллюстрации даны фрагменты (Рис. 3.1a и Рис. 3.1б ) из рабочего файла ТКП9, представляющего собой математическую модель энергосистемы, состоящую из групп ТЭЦ, КЭС, котельных и подстанций для приёма или передачи покупной электроэнергии.

Ввиду большого разнообразия энергоисточников с отдельной и комбинированной выработкой тепло- и электроэнергии, весьма актуально стоят вопросы по выявлению критериев их подобия (глава 2), определяющих способности и эффективности производимой ими продукции. Такая постановка вопроса позволяет выявить и увязать между собой множество факторов (аргументов), определяющих процессы оптимизации в условиях рыночной экономики. Материалы исследования, изложенные ниже, представляют собой первые шаги такой оптимизации с учётом рыночной стоимости тепло- и электроэнергии.

#### 3.2. Модель комплекса:

##### Энергоисточник – Потребитель.

Рассмотрим энергосистему (инд. с), включающую k энергоисточников и обеспечивающую тепло- и электроэнергией ( $Q_c$  и  $\mathcal{E}_c$ ) r потребителей:

$$\left. \begin{aligned} Q_c &= \sum_{j=1}^k Q_j = \sum_{i=1}^r Q_i, \\ \mathcal{E}_c &= \sum_{j=1}^k \mathcal{E}_j = \sum_{i=1}^r \mathcal{E}_i. \end{aligned} \right\} \quad (3.1)$$

Нетрадиционный метод анализа технико - экономических показателей энергоисточников и энергосистемы в целом с учётом покупной электроэнергии.

от А1 =	100,0	100,0	127,8	155,6	183,3	211,1	238,9	266,7	294,4	322,2	350,0
до А1 =	350,0	Удал. из нак. Постр. графиков по аргументам А1 - А7									Удал. из буф.
Перекл. на систему единиц			СОХРАН				ГРАФИКИ				
Обозн.	ТЕХ	СИ	Кэ,г.п	Обозн.	А1	А2	А3	А4	А5	А6	А7
Э	МВт*ч	ГДж	1	Э	Q	Этэц ≤ Э	Ψ <sub>max</sub>	W	Э <sub>пок</sub>	Т <sub>п</sub>	
Q	Гкал	ГДж	1	Реж. 1.	300	400	150	0,980	0,400	90,0	52000,0
Т <sub>п</sub>	р/(кВт*ч)	руб/ГДж	1	Реж. 2	2800	3300	1700	0,950	0,516	60,0	63000,0
δ <sub>L</sub> = 100*ΔL / L =	600	%	Разм.	ГДж	ГДж	ГДж	-	-	ГДж	руб/ГДж	
Обозн.	L*10 <sup>-3</sup>	ΔL*10 <sup>-3</sup>	'L	∂L / ∂A	22,69	8,96	0,44	-1988,5	-25	29,31	0,09
Реж. 1.	11165	67044,8	15949,9	Δ <sub>A</sub> L	56726,3	25997,0	683,69	59,65	-2,91	-879,3	990,00
Реж. 2.	78210		12821,3	δ(∂L / ∂A)	0,063	0,025	0,001	-5,554	-0,070	0,082	0,000
Разм.	тыс. руб	руб/ГДж	δ(Δ <sub>A</sub> L)	66,019	30,256	0,796	0,069	-0,003	-1,023	1,152	
Обозн.	V <sub>сум</sub>	ΔV <sub>сум</sub>	b <sub>сум</sub>	∂V / ∂A	96,56	38,15	1,88	-8461,5	-107	-96,56	0
Реж. 1.	27596	270123	45,2	Δ <sub>A</sub> V	241388	110626	2909,3	253,8	-12,4	2896,7	0
Реж. 2.	297719		49,3	δ(∂V / ∂A)	0,063	0,025	0,001	-5,559	-0,070	-0,063	0
Разм.	кг (кг/ч)	кг/ГДж	δ(Δ <sub>A</sub> V)	67,274	30,831	0,811	0,071	-0,003	0,807	0	
δ <sub>V</sub> = 100*ΔV / V =	978,87	%	Полный факторный анализ				Примечание: Рассматривая об-				
Обозн.	Ц <sub>T</sub>	'Э <sub>сн</sub>	'Э <sub>тсн</sub>	'Q <sub>сн</sub>	'Q <sub>тсн</sub>	η <sub>бр</sub>	η <sub>тп</sub>	η <sub>м</sub>	η <sub>г</sub>	η <sub>тоi</sub>	0
Реж. 1.	235,0	0,0518	0,0256	0,0040	0,0160	0,9320	0,9750	0,9800	0,9800	0,4259	0
Реж. 2.	250,0	0,0400	0,0332	0,0030	0,0110	0,9370	0,9800	0,9830	0,9850	0,4210	0
Разм.	руб/кг	-	-	-	-	-	-	-	-	-	0
∂L / ∂A	28	2709,6	1415,2	3242,6	3529,3	-6921,0	-6617,3	-2936,1	-2930,1	-3399,4	0
Δ <sub>A</sub> L	414	-32,0	10,8	-3,2	-17,6	-34,6	-33,1	-8,8	-14,7	16,5	0
δ(∂L / ∂A)	0,08	7,57	3,95	9,06	9,86	-19,33	-18,48	-8,20	-8,18	-9,49	0
δ(Δ <sub>A</sub> L)	0,48	-0,04	0,01	0,00	-0,02	-0,04	-0,04	-0,01	-0,02	0,02	0
∂V / ∂A	0	11530	6022,2	13798	15018	-29451	-28159	-12494	-12469	-14466	0
Δ <sub>A</sub> V	0	-136,1	45,8	-13,8	-75,1	-147,3	-140,8	-37,5	-62,3	70,3	0
δ(∂V / ∂A)	0	7,58	3,96	9,07	9,87	-19,35	-18,50	-8,21	-8,19	-9,50	0
δ(Δ <sub>A</sub> V)	0	-0,04	0,01	0,00	-0,02	-0,04	-0,04	-0,01	-0,02	0,02	0
объёмы производства Э и Q как мощности, т. е. Э (МВт) и Q (Гкал / ч или МВт), получаем часс											
Обозн.	Q <sub>y</sub>	'Ψ	Ψ	A, Реж.1	0,43	B, Реж.1	∑∂V / ∂A	A, Реж.1	0,43	L, Реж.1	∑∂L / ∂A
Реж. 1.	0,0293	1,067	0,980	A, Реж.2	0,42	B+Δ <sub>A</sub> V	152209	A, Реж.2	0,42	L+Δ <sub>A</sub> L	35803
Реж. 2.	0,0293	1,001	0,950	∂V / ∂A	0	27596	∑Δ <sub>A</sub> V	∂L / ∂A	0	11165,0	85924
Разм.	ГДж/кг	-	-	Δ <sub>A</sub> V	0	27596	358815	Δ <sub>A</sub> L	0,0	11165,0	85924
вые показатели, в частности, расходы топлива в кг / ч, денежные затраты L в тыс. руб. / ч и. т											
Обозн.	Э <sub>кэс</sub>	Q <sub>тэц</sub>	Q <sub>кот</sub>	Э <sub>тэц+кэс</sub>	b <sub>кэс</sub>	b <sub>тэц</sub>	b <sub>э</sub>	b <sub>тэ</sub>	b <sub>кот</sub>	'Э <sub>тэц</sub>	'Э <sub>кэс</sub>
Реж. 1.	60,0	367,5	32,5	210,0	96,6	39,7	42,6	38,6	38,1	0,500	0,200
Реж. 2.	1040,0	3130,4	169,6	2740,0	94,8	39,9	42,9	38,3	37,6	0,607	0,371
Разм.	ГДж	ГДж	ГДж	ГДж	кг / ГДж	кг / ГДж	кг / ГДж	кг / ГДж	кг / ГДж	-	-
T <sub>п</sub> = T <sub>реж1</sub> = 52000,0 руб/ГДж = 52000,0 руб / ГДж											
Обозн.	'Э <sub>пок</sub>	'Q <sub>тэц</sub>	'Q <sub>кот</sub>	q <sub>к</sub>	q <sub>т</sub>	W	W <sub>гр</sub>				
Реж. 1.	0,300	0,919	0,081	2,445	2102,3	1,041	895,3	0,400	465,2	0,003	3,151
Реж. 2.	0,021	0,949	0,051	2,453	2109,3	1,033	888,0	0,516	600,0	0,002	2,362
Разм.	-	-	-	кк/(кВт*ч)	-	кк/(кВт*ч)	-	кВт*ч / Гк	-	кВт*ч / Гк	
T <sub>п</sub> = T <sub>реж2</sub> = 63000,0 руб/ГДж = 63000,0 руб / ГДж											
Обозн.	m	V <sub>тэц</sub>	V <sub>кэс</sub>	V <sub>кот</sub>	V <sub>пок</sub>	V <sub>сум</sub>	V <sub>э/с</sub>	L <sub>мин</sub> 10 <sup>-3</sup>	T <sub>п</sub> Ψ <sub>мин</sub>	Э <sub>тф</sub>	
Реж. 1.	0,0266	20562	5793	1239,8	19915	27596	475/с	7407,6	10251,6	147,0	
Реж. 2.	0,0269	192763	98586	6370,5	15120	297719	312839	75093,0	11054,8	1615,0	
Разм.	ГДж/кг	кг (кг/ч)	кг (кг/ч)	кг (кг/ч)	кг (кг/ч)	кг (кг/ч)	кг (кг/ч)	тыс.руб	руб/ГДж	ГДж	
Обозн.	T <sub>э</sub> <sup>тэц</sup>	T <sub>э</sub> <sup>кэс</sup>	T <sub>э</sub> <sup>тэц</sup>	T <sub>э</sub> <sup>кот</sup>	T <sub>э</sub> <sup>эс</sup>	T <sub>э</sub> <sup>эс</sup>					
Реж. 1.	36,04	10010	81,69	22690,5	37945,2	9063,07	37532,5	8964,5	37911,7	90,52	25143,1
Реж. 2.	38,57	10714,4	85,31	23698,5	40092	9575,81	39318	9391,0	40052,2	59,97	16657,5
Разм.	р/(кВт*ч)	руб/ГДж	р/(кВт*ч)	руб/ГДж	руб/Гкал	руб/ГДж	руб/Гкал	руб/ГДж	руб/Гкал	р/(кВт*ч)	руб/ГДж
Удельные показатели											
Относит. знач. расх. топлива: 'V <sub>тэц,кэс,кот</sub> = V <sub>тэц,кэс,кот</sub> / V <sub>сум</sub>			Объект	ТЭЦ			КЭС		РК		
Обозн.	'V <sub>тэц</sub>	'V <sub>кэс</sub>	'V <sub>кот</sub>	Разм.	кг / ГДж	г/(кВт*ч)	кг / Гкал	кг / ГДж	г/(кВт*ч)	кг / ГДж	кг / Гкал
Реж. 1.	0,74514	0,20994	0,0449	b <sub>тэц</sub>	39,7	143,0	166,4	-	-	-	-
Реж. 2.	0,64747	0,33114	0,0214	b <sub>э,кэс</sub>	39,9	143,7	167,1	-	-	-	-
Разм.	-	-	-	b <sub>э,кэс</sub>	42,6	153,3	178,3	96,6	347,6	-	-
Табл. ввода исх. данных по значениям СН в сист. ТЕХ.				b <sub>тэ,кот</sub>	42,9	154,3	179,4	94,8	341,3	-	-
				b <sub>тэ,кот</sub>	38,6	138,8	161,5	-	-	38,1	159,7
				b <sub>тэ,кот</sub>	38,3	137,9	160,4	-	-	37,6	157,3
Ввод данных в сист. ТЕХ:			Результат в сист. СИ				Установить связь				
Обозн.	'Э <sub>сн</sub>	'Э <sub>тсн</sub>	q <sub>сн</sub> <sup>т</sup>	q <sub>сн</sub> <sup>к</sup>	'Э <sub>сн</sub>	'Э <sub>тсн</sub>	'Q <sub>сн</sub>	'Q <sub>тсн</sub>	K <sub>э</sub> = 3,6 ГДж / МВт*ч		
Реж. 1.	12,000	25,000	1,400	5,000	0,1435	0,0527	0,0073	0,0827	K <sub>к</sub> = 4,1868 ГДж / Гкал		
Реж. 2.	12,000	25,000	1,400	5,000	0,1418	0,0396	0,0099	0,0924	K <sub>п</sub> = 277,8 кВт*ч / ГДж		
Разм.	%	кВтч/Гк	%	%	K <sub>сн</sub> <sup>э</sup> = 3,6		K <sub>сн</sub> <sup>к</sup> = 4,1868		Разр. д.т.н. Байрашевский Б.А.		

Рис. 3.1а. Фрагмент из файла ТКП9.

Нетрадиционный метод анализа технико - экономических показателей энергоисточников и энергосистемы в целом с учётом покупной электроэнергии.

Факт. анализ изм. **денеж.** затрат энергосист. на основании модифицир. расчётной формулы:

$$L = \text{Ц}_T * [b_{\text{ТЭЦ}} * (\text{Э}_{\text{ТЭЦ}} + Q_{\text{ТЭЦ}}) + b_{\text{КЭС}} * \text{Э}_{\text{КЭС}} + b_{\text{КОТ}} * Q_{\text{КОТ}}] + T_{\text{П}} * \text{Э}_{\text{ПОК}}, \quad L_1 * 10^{-3} = 11165,0 \quad L_2 * 10^{-3} = 78209,8 \text{ тыс.руб.}$$

Аргум.	$\text{Э}_{\text{ТЭЦ}}$	$\text{Э}_{\text{КЭС}}$	$\text{Э}_{\text{ПОК}}$	$Q_{\text{ТЭЦ}}$	$Q_{\text{КОТ}}$	$b_{\text{ТЭЦ}}$	$b_{\text{КЭС}}$	$b_{\text{КОТ}}$	$\text{Ц}_T$	$T_{\text{П}}$	Модуль
$\partial L / \partial A$	9338	22691	52000	9338	8964	121613	14100	7638	27596	90	$\Sigma \partial L / \partial A$
$\Delta_A L$	14473201	22236692	-1560000	25798792	1228956	20903	-24837	-4452	413933	990000	$\Sigma \Delta_A L$
$\delta(\partial L / \partial A)$	3,4	8,3	19,0	3,4	3,3	44,5	5,2	2,8	10,1	0,0	273366
$\delta(\Delta_A L)$	21.682124	33.312515	-2.337017	38.648852	1.8410836	0.0313151	-0.037209	-0.00667	0.6201086	1.4831068	66751768

Факт. анализ изм. **топл.** затрат энергосист. на основании модифицир. расчётной формулы:

$$V_{\text{СУМ}} = (L - T_{\text{П}} * \text{Э}_{\text{ПОК}}) * \text{Ц}_T^{-1} = b_{\text{ТЭЦ}} * (\text{Э}_{\text{ТЭЦ}} + Q_{\text{ТЭЦ}}) + b_{\text{КЭС}} * \text{Э}_{\text{КЭС}} + b_{\text{КОТ}} * Q_{\text{КОТ}}$$

Аргум..	$\text{Э}_{\text{ТЭЦ}}$	$\text{Э}_{\text{КЭС}}$	$Q_{\text{ТЭЦ}}$	$Q_{\text{КОТ}}$	$b_{\text{ТЭЦ}}$	$b_{\text{КЭС}}$	$b_{\text{КОТ}}$	Модуль	Сумм. расход топлива:
$\partial V / \partial A$	40	97	40	38	518	60	33	$\Sigma \partial V / \partial A$	в режиме 1
$\Delta_A V$	61588,09	94624,223	109782,09	5229,5993	88,950514	-105,6908	-18,94493	$\Sigma \Delta_A V$	$V_{\text{СУМ1}} = 27596$ кг (кг/ч)
$\delta(\partial V / \partial A)$	4,8	11,7	4,8	4,6	62,8	7,3	3,9	824	в режиме 2
$\delta(\Delta_A V)$	22,689595	34,860397	40,444691	1,9266305	0,03	-0,038937	-0,006979	271438	$V_{\text{СУМ2}} = 297719$ кг (кг/ч)

Показатели электро- ( $\Omega_3$ ), тепло- ( $\Omega_q$ ) и энергоэф- фективностей ( $\Omega_{3q}$ ) энергоисточников:  $\Omega_{3q} = \Omega_3 + \Omega_q$ , где  $\Omega_3 = \text{Э}^2 / [B * Q_V * (\text{Э} + Q)]$  и  $\Omega_q = Q^2 / [B * Q_V * (\text{Э} + Q)]$ .

Энерг.	Аргументы			Показ. эффективности		
ТЭЦ	$\text{Э}_{\text{ТЭЦ}}$	$Q_{\text{ТЭЦ}}$	$V_{\text{ТЭЦ}}$	$\Omega_3^{\text{ТЭЦ}}$	$\Omega_q^{\text{ТЭЦ}}$	$\Omega_{3q}^{\text{ТЭЦ}}$
Реж. 1.	150	367,5	20562	0,072	0,433	0,505
Реж. 2.	1700	3130,4	192763	0,106	0,359	0,465
КЭС	$\text{Э}_{\text{КЭС}}$	-	$V_{\text{КЭС}}$	$\Omega_3^{\text{КЭС}}$	$\Omega_q^{\text{КЭС}}$	$\Omega_{3q}^{\text{КЭС}}$
Реж. 1.	60,0	-	5793	0,353	-	0,353
Реж. 2.	1040,0	-	98586	0,360	-	0,360
КОТ	-	$Q_{\text{КОТ}}$	$V_{\text{КОТ}}$	$\Omega_3^{\text{КОТ}}$	$\Omega_q^{\text{КОТ}}$	$\Omega_{3q}^{\text{КОТ}}$
Реж. 1.	-	32,5	1239,8	-	0,894	0,894
Реж. 2.	-	169,6	6370,5	-	0,908	0,908
СУММ	$\text{Э}_{\text{ТЭЦ} + \text{КЭС}}$	$Q$	$V_{\text{СУМ}}$	$\Omega_3^{\text{СУМ}}$	$\Omega_q^{\text{СУМ}}$	$\Omega_{3q}^{\text{СУМ}}$
Реж. 1.	210,0	400	27596	0,089	0,324	0,414
Реж. 2.	2740,0	3300	297719	0,142	0,207	0,349
ПОК	$\text{Э}_{\text{ПОК}}$	-	$V_{\text{ПОК}}$	$\Omega_3^{\text{ПОК}}$	$\Omega_q^{\text{ПОК}}$	$\Omega_{3q}^{\text{ПОК}}$
Реж. 1.	90,0	-	19914,9	0,154	-	0,154
Реж. 2.	60,0	-	15120	0,135	-	0,135
Э / С	$\text{Э}$	$Q$	$V_{\text{Э/С}}$	$\Omega_3^{\text{Э/С}}$	$\Omega_q^{\text{Э/С}}$	$\Omega_{3q}^{\text{Э/С}}$
Реж. 1.	300	400	47510	0,092	0,164	0,256
Реж. 2.	2800	3300	312839	0,140	0,195	0,335



Факт. анализ измен. показ.  $\Omega_3$ ,  $\Omega_q$  и  $\Omega_{3q}$  по мере перех. от реж. 1 к реж. 2.

Энерго-источ.	Аргум. А	Элементы анализа по аргументам Э, Q, V.									
		$\partial \Omega_3 / \partial A$	$\partial \Omega_q / \partial A$	$\Delta_A \Omega_3$	$\Delta_A \Omega_q$	$\delta(\partial \Omega_3 / \partial A)$	$\delta(\partial \Omega_q / \partial A)$	$\Delta \Omega_3$	$\delta(\Delta_A \Omega_3)$	$\Delta \Omega_q$	$\delta(\Delta_A \Omega_q)$
ТЭЦ	$\text{Э}_{\text{ТЭЦ}}$	0,00082	-0,00084	1,27484	-1,29698	85,20	-35,19	0,034	56,31	-0,074	-14,22
	$Q_{\text{ТЭЦ}}$	-0,00014	0,00152	-0,38516	4,19917	-14,44	63,92		-17,01		46,03
	$V_{\text{ТЭЦ}}$	0,00000	-0,00002	-0,60414	-3,62637	-0,36	-0,89		-26,68		-39,75
	Модуль	0,00097	0,00238	2,26414	9,12252	/100 /	/100 /	/100 /	/100 /	/100 /	
КЭС	$\text{Э}_{\text{КЭС}}$	0,00589	-	0,00	-	98,97	-	0,007	0,01	-	-
	$V_{\text{КЭС}}$	-0,00006	-	-0,06	-	-1,03	-		-99,99		-
	Модуль	0,00595	-	0,06	-	/100 /	-		/100 /		-
КОТ	$Q_{\text{КОТ}}$	-	0,02752	-	3,77272	-	97,45	-	-	0,014	5289,98
	$V_{\text{КОТ}}$	-	-0,00072	-	-3,70140	-	-2,55		-		-5189,98
	Модуль	-	0,02824	-	0,07132	-	/100 /		-		/100 /
СУММ	$\text{Э}_{\text{ТЭЦ} + \text{КЭС}}$	0,00070	-0,00053	1,78298	-1,34501	82,47	-32,55	0,053	57,84	-0,118	-17,51
	$Q$	-0,00015	0,00109	-0,42493	3,16051	-17,15	66,73		-13,78		41,15
	$V_{\text{СУМ}}$	0,00000	-0,00001	-0,87494	-3,17437	-0,38	-0,72		-28,38		-41,33
	Модуль	0,00085	0,00163	3,08285	7,67989	/100 /	/100 /		/100 /		/100 /
ПОК	$\text{Э}_{\text{ПОК}}$	0,00171	-	-0,05	-	99,55	-	-0,019	-58,06	-	-
	$V_{\text{ПОК}}$	-0,00001	-	0,04	-	-0,45	-		41,94		-
	Модуль	0,00172	-	0,09	-	/100 /	-		/100 /		-
Э / С	$\text{Э}$	0,00048	-0,00023	1,20907	-0,58622	78,32	-28,45	0,048	57,38	0,031	-18,30
	$Q$	-0,00013	0,00059	-0,38251	1,70003	-21,36	71,13		-18,15		53,08
	$V_{\text{Э/С}}$	0,00000	0,00000	-0,51563	-0,91667	-0,31	-0,42		-24,47		-28,62
	Модуль	0,00062	0,00082	2,10721	3,20292	/100 /	/100 /		/100 /		/100 /

Рис. 3.16. Фрагмент из файла ТКП9.

Считаем, что энергосистема представляет собой единое устройство с комбинированной выработкой тепло- и электроэнергии в целом. Экономичность такого энергоисточника определяется величиной соотношения объемов производства, т. е.  $Q\mathcal{E}^{-1}$ . Каждый  $i$ -й потребитель питаемый этим энергоисточником (включая потери тепло- и электроэнергии в сетях) характеризуется величиной потребления этого комплекса в пределах  $0 \leq Q_i \mathcal{E}_i^{-1} \leq \infty$ , где

$$\sum_{i=1}^r Q_i = Q_c, \quad \sum_{i=1}^r \mathcal{E}_i = \mathcal{E}_c. \quad Q_c \text{ и } \mathcal{E}_c - \text{ суммарные отпуска тепло- и электроэнергии от энергосистемы.}$$

Таким образом, соотношения  $Q_i \mathcal{E}_i^{-1}$  определяют величину долевого участия каждого  $i$ -го потребителя в формировании общей тенденции роста или уменьшения нагрузки и экономичности энергоисточника, т. е. в данном случае, энергосистемы в целом.

В связи с такой постановкой вопроса введём понятие адекватных удельных расходов топлива  $b_i = b_i^{\text{ад}}$  на единицу продукции  $(Q_i + \mathcal{E}_i)$ , воспринимаемой каждым  $i$ -ым потребителем. Из этого следует, что удельные показатели  $b_i = b_i^{\text{ад}}$  для каждого  $i$ -го потребителя разные, т. к. адекватны комплексу  $Q_i \mathcal{E}_i^{-1}$  и отличаются от средних удельных расходов топлива по энергосистеме. Величину  $b_i$  легко разделить на две традиционные топливные составляющие в полном соответствии с конъюнктурой рыночных цен [21]: на удельный расход топлива по отпуску электроэнергии ( $b_{\mathcal{E}i}$ ) и на удельный расход топлива по отпуску теплоты ( $b_{T\mathcal{E}i}$ ).

Известно, что в ряде случаев КЭС отпускает теплоту за счет частичного использования регенеративных отборов или РОУ. Поэтому совместный комплекс ТЭЦ+КЭС рассматриваем как энергоисточник с комбинированной выработкой тепло- и электроэнергии  $Q_{Tj}$  и  $\mathcal{E}_{Tj}$  со всеми характерными для него свойствами. В качестве отдельных объемов производства принимаем отпуск теплоты от котельной  $Q_{kj}$  и покупную электроэнергию  $\mathcal{E}_{пj}$ . В связи с этим энергоисточник  $j$  рассматриваем как энергоснабжающую организацию по выдаче одновременно и комбинированных  $(Q_{Tj}, \mathcal{E}_{Tj})$  и отдельных  $(Q_{kj}, \mathcal{E}_{пj})$  объемов производства тепло- и электроэнергии в количестве:

$$\left. \begin{aligned} Q_j &= Q_{Tj} + Q_{kj}, \\ \mathcal{E}_{Tj} &= \mathcal{E}_{T\mathcal{E}j} + \mathcal{E}_{K\mathcal{E}j}, \\ \mathcal{E}_j &= \mathcal{E}_{Tj} + \mathcal{E}_{пj}. \end{aligned} \right\} \quad (3.2)$$

Аналогичным образом выразим теплофикационный отпуск электроэнергии в системе:

$$\mathcal{E}_{\text{тфс}} = \sum_{j=1}^k \mathcal{E}_{\text{тф}j}. \quad (3.3)$$

АДР6	Сох.Мод.1	Сох.Мод.2	Сох.Мод.3	Сох.Мод.4	Сох.Мод.5	Сох.Мод.6						
а	Вос. Мод.1	Вос. Мод.2	Вос. Мод.3	Вос. Мод.4	Вос. Мод.5	Вос. Мод.6						
Реж.1	от $P_j =$	40,0	40,0	37,8	35,6	33,3	31,1	28,9	26,7	24,4	22,2	20,0
	до $P_j =$	20,0	0	0,0	0,00	0,000	Сохр.	ГРАФ.	Уд. из нак.	Уд. из буф.		
Реж.2	от $P_j =$	40,0	40,0	40,0	40,0	40,0	40,0	40,0	40,0	40,0	40,0	40,0
	до $P_j =$	40,0	0	0,0	0,00	0,000	Сохр.	ГРАФ.	Уд. из нак.	Уд. из буф.		
<b>ПРИМЕЧ. Определение топливных затрат энергосистемы, адекватных</b>												
Реж.1	ДА	$\mathcal{E}_{Tj}, \mathcal{E}_{Pj}, P_{пот}^э$		<b>нагрузкам каждого потребителя в отдельности.</b>								
	ДА	$Q_{Tj}, Q_{kj}, P_{пот}^q$		<b>1. Исходные данные по энергоисточникам j,</b>								
Реж.2	ДА	$\mathcal{E}_{Tj}, \mathcal{E}_{Pj}, P_{пот}^q$		<b>включающим в себя группы ТЭЦ, КЭС, котельные и</b>								
	ДА	$Q_{Tj}, Q_{kj}, P_{пот}^q$		<b>подстанции по реализации покупной электроэнергии.</b>								
Вкл.: $j_{пот} = 1$		Реж.1	1	0	0	0	0	0	0	0	0	0
Откл.: $j_{пот} = 0$		Реж.2	1	0	0	0	0	0	0	0	0	0
Обозн.	Автом.	Разм.	j	1	2	3	4	5	6	7	8	9
$V_{Tj}$	1	т	Реж.1	20,00	40,00	40,00	40,00	40,00	40,00	40,00	40,00	40,00
	2		Реж.2	20,00	40,00	40,00	40,00	40,00	40,00	40,00	40,00	40,00
$V_{kj}$	1	т	Реж.1	80,00	80,00	80,00	80,00	80,00	80,00	80,00	80,00	80,00
	2		Реж.2	80,00	80,00	80,00	80,00	80,00	80,00	80,00	80,00	80,00
$\mathcal{E}_{Pj}$	1	ГДж	Реж.1	60,0	60,0	60,0	60,0	60,0	60,0	60,0	60,0	60,0
	2		Реж.2	60,0	60,0	60,0	60,0	60,0	60,0	60,0	60,0	60,0
$\mathcal{E}_{Tj}$	1	ГДж	Реж.1	200,0	200,0	200,0	200,0	200,0	200,0	200,0	200,0	200,0
	2		Реж.2	200,0	200,0	200,0	200,0	200,0	200,0	200,0	200,0	200,0
$\mathcal{E}_{Tфj}$	1	ГДж	Реж.1	150,0	150,0	150,0	150,0	150,0	150,0	150,0	150,0	150,0
	2		Реж.2	150,0	150,0	150,0	150,0	150,0	150,0	150,0	150,0	150,0
$Q_{kj}$	1	ГДж	Реж.1	200,0	200,0	200,0	200,0	200,0	200,0	200,0	200,0	200,0
	2		Реж.2	200,0	200,0	200,0	200,0	200,0	200,0	200,0	200,0	200,0
$Q_{Tj}$	1	ГДж	Реж.1	800,0	800,0	800,0	800,0	800,0	800,0	800,0	800,0	800,0
	2		Реж.2	800,0	800,0	800,0	800,0	800,0	800,0	800,0	800,0	800,0
$C_{Tj}$	1	руб/кг	Реж.1	232,0	232,0	232,0	232,0	232,0	232,0	232,0	232,0	232,0
	2		Реж.2	232,0	232,0	232,0	232,0	232,0	232,0	232,0	232,0	232,0
$T_{Pj}$	1	руб/ГДж	Реж.1	53000	53000	53000	53000	53000	53000	53000	53000	53000
	2		Реж.2	53000	53000	53000	53000	53000	53000	53000	53000	53000
$\mathcal{E}_{сн}^э$	1	ГДж	Реж.1	20,00	20,00	20,00	20,00	20,00	20,00	20,00	20,00	20,00
	2		Реж.2	20,00	20,00	20,00	20,00	20,00	20,00	20,00	20,00	20,00
$\mathcal{E}_{сн}^тj$	1	ГДж	Реж.1	10,00	10,00	10,00	10,00	10,00	10,00	10,00	10,00	10,00
	2		Реж.2	10,00	10,00	10,00	10,00	10,00	10,00	10,00	10,00	10,00
$Q_{сн}^э$	1	ГДж	Реж.1	10,00	10,00	10,00	10,00	10,00	10,00	10,00	10,00	10,00
	2		Реж.2	10,00	10,00	10,00	10,00	10,00	10,00	10,00	10,00	10,00
$Q_{сн}^тj$	1	ГДж	Реж.1	5,00	5,00	5,00	5,00	5,00	5,00	5,00	5,00	5,00
	2		Реж.2	5,00	5,00	5,00	5,00	5,00	5,00	5,00	5,00	5,00
$q_{Tj}$	1	-	Реж.1	1,03	1,03	1,03	1,03	1,03	1,03	1,03	1,03	1,03
	2		Реж.2	1,03	1,03	1,03	1,03	1,03	1,03	1,03	1,03	1,03
$\eta_j^{бр} \eta_j^{тп}$	1	-	Реж.1	0,92	0,90	0,90	0,90	0,90	0,90	0,90	0,90	0,90
	2		Реж.2	0,92	0,90	0,90	0,90	0,90	0,90	0,90	0,90	0,90
$V_{Pj}$		т	Реж. 1.	13,71	13,71	13,71	13,71	13,71	13,71	13,71	13,71	13,71
			Реж. 2.	13,71	13,71	13,71	13,71	13,71	13,71	13,71	13,71	13,71
$Q_y$		ГДж/кг	Реж.1	0,0293	0,0293	0,0293	0,0293	0,0293	0,0293	0,0293	0,0293	0,0293
			Реж.2	0,0293	0,0293	0,0293	0,0293	0,0293	0,0293	0,0293	0,0293	0,0293

Рис. 3.2а. Фрагмент из файла АДР6.

АДР6  
б  
2. Результаты расчётов исследуемых показателей по энергосистеме в целом.  
Рассматривается энергосистема, включающая в себя группы ТЭЦ, КЭС,  
Примечание: котельных и подстанций, принимающих покупную электроэнергию.

$$V_{TC} = V_{TЭЦ} + V_{КЭС}; \quad V_{ТПС} = V_{TC} + V_{ПС}; \quad V_C = V_{TC} + V_{КС} + V_{ПС} = V_{TЭЦ} + V_{КЭС} + V_{КС} + V_{ПС}$$

$$V_{ПС} = \sum \Pi_{TC} \cdot \Pi_{TC}^{-1}; \quad \mathcal{E}_{TC} = \mathcal{E}_{TЭЦ} + \mathcal{E}_{КЭС}; \quad \mathcal{E}_C = \mathcal{E}_{TC} + \mathcal{E}_{ПС} = \mathcal{E}_{TЭЦ} + \mathcal{E}_{КЭС} + \mathcal{E}_{ПС} = \sum \mathcal{E}_i^Y + \mathcal{E}_i^H + \Delta \mathcal{E}_C$$

$$Q_C = Q_{TЭЦ} + Q_{КЭС} + Q_{КС} = Q_{TC} + Q_{КС} = \sum Q_i^Y + Q_i^H + \Delta Q_C; \quad \Psi_C = \mathcal{E}_{ТФс} / \mathcal{E}_C; \quad W_C = \mathcal{E}_{ТФс} / Q_C;$$

Обозн.	1	1	1	1									
Обозн.	$T_{Э}$	$T_{TЭ}$	$T_{ЭН}$	$P_{пот}^3$	$P_{пот}^q$	$\Pi_{Yч}^3$	$\Pi_{Yч}^q$	$\mathcal{E}_C$	$Q_C$	$\mathcal{E}_{ТФс}$	$\mathcal{E}_{ТС}$	$\mathcal{E}_{ПС}$	
Реж. 1.	31,0	8,6	13,2	5,0	10,0	81,0	87,2	260,0	1000	150	200	60	
Реж. 2.	31,0	8,6	13,2	5,0	10,0	81,0	87,2	260,0	1000	150	200	60	
Разм.	тр/ГДж	тр/ГДж	тр/ГДж	%	%	%	%	ГДж	ГДж	ГДж	ГДж	ГДж	
Обозн.	2	2		2	2								
Обозн.	$\sum \mathcal{E}_i^Y$	$\sum Q_i^Y$	$\mathcal{E}_i^H$	$Q_i^H$	$Q_{ТС}$	$Q_{КС}$	$V_{ТС}$	$V_{КС}$	$V_{ПС}$	$V_{ТКС}$	$V_{ТПС}$	$V_C$	
Реж. 1.	200,0	785	47,0	115	800	200	20	80,0	13,707	100,0	33,707	113,7	
Реж. 2.	200,0	785	47	115	800	200	20	80,0	13,707	100,0	33,707	113,7	
Разм.	ГДж	ГДж	ГДж	ГДж	ГДж	ГДж	т	т	т	т	т	т	
Обозн.	$\Delta Q_{пот}$	$\Delta \mathcal{E}_{пот}$	$\Pi_{ЭН}$	$\Pi_{Э}$	$\Pi_{TЭ}$	$\Pi_{TC}$	$\Pi_{ПС}$	$\Psi_C$	$W_C$		$q_{КС}$		
Реж. 1.	100	13	16,7	8,1	8,6	232	53000	0,5769	0,15	174,5	15,313	13167	
Реж. 2.	100	13	16,7	8,1	8,6	232	53000	0,5769	0,15	174,5	15,313	13167	
Разм.	ГДж	ГДж	Млн.руб	Млн.руб	Млн.руб	руб/кг	руб/ГДж	-	-	кВтч/Гк	-	кк/(кВтч)	
Обозн.	$q_{ТС}$		$q_C$		$\eta_{с}^{бр}$	$\eta_{с}^{тп}$	$m_C$	$\mathcal{E}_{сн}^{эс}$	$\mathcal{E}_{сн}^{тс}$	$q_{сн}^{эс}$	$q_{сн}^{тс}$	$C_{3с}^q$	$C_{4с}^3$
Реж. 1.	1,03	885,64	7,073	6081,6	0,92	0,027	0,0769	0,0385	0,01	0,005	1,015	1,1154	
Реж. 2.	1,03	885,64	7,073	6081,6	0,92	0,027	0,0769	0,0385	0,01	0,005	1,015	1,1154	
Разм.	-	кк/(кВтч)	-	кк/(кВтч)	-	ГДж / кг	-	-	-	-	-	-	-
Обозн.	$b_C$			$b_C^3$			$b_C^{T3}$			$b_{ТС}$			
Реж. 1.	90	325	378	284	1022	1189	40	144	167	20	72,0	83,7	
Реж. 2.	90	325	378	284	1022	1189	40	144	167	20	72,0	83,7	
Разм.	кг / ГДж	г/(кВт*ч)	кг / Гкал	кг / ГДж	г/(кВт*ч)	кг / Гкал	кг / ГДж	г/(кВт*ч)	кг / Гкал	кг / ГДж	г/(кВт*ч)	кг / Гкал	
Обозн.	$b_{КС}^3$			$b_{ТС}^3$			$b_{КС}$			$b_{ПС}$			
Реж. 1.	612	2202	2561	41	148	172	400	1440	1675	228	822,41	956,47	
Реж. 2.	612	2202	2561	41	148	172	400	1440	1675	228	822,41	956,47	
Разм.	кг / ГДж	г/(кВт*ч)	кг / Гкал	кг / ГДж	г/(кВт*ч)	кг / Гкал	кг / ГДж	г/(кВт*ч)	кг / Гкал	кг / ГДж	г/(кВт*ч)	кг / Гкал	
Обозн.	$\eta_C$	$\Omega_{э}^c$	$\Omega_q^c$	$\Omega_{эq}^c$	$\beta_{э/эq}^{\Omega c}$	$\beta_{q/эq}^{\Omega c}$	$\mathcal{E}_{сн}^{эс}$	$\mathcal{E}_{сн}^{тс}$	$Q_{сн}^{эс}$	$Q_{сн}^{тс}$	$\Phi_{э}^c$	$\Phi_q^c$	
Реж. 1.	0,378	0,016	0,238	0,254	0,063	0,937	20	10	10	5	0,020	1,154	
Реж. 2.	0,378	0,016	0,238	0,254	0,063	0,937	20	10	10	5	0,020	1,154	
Разм.	-	-	-	-	-	-	ГДж	ГДж	ГДж	ГДж	-	-	
Обозн.	$\Phi_{эq}^c$	$\beta_{э/эq}^{\Phi c}$	$\beta_{q/эq}^{\Phi c}$	$\beta_{\Omega/\Phi}^{эс}$	$\beta_{\Omega/\Phi}^{тс}$	$\beta_{\Omega/\Phi}^{эс/тс}$	Гран.	Реж.1		Реж.2			
Реж. 1.	1,174	0,017	0,983	0,794	0,206	0,216	$\infty$	ДА	$\mathcal{E}_{Тj}$	$\mathcal{E}_{Пj}$	$P_{пот}^3$	$P_{пот}^q$	
Реж. 2.	1,174	0,017	0,983	0,794	0,206	0,216	$\infty$	ДА	$Q_{Тj}$	$Q_{Кj}$	$P_{пот}^3$	$P_{пот}^q$	
Разм.	-	-	-	-	-	-	-	ДА	$Q_{Тj}$	$Q_{Кj}$	$P_{пот}^3$	$P_{пот}^q$	

Рис. 3.2б. Фрагмент из файла АДР6.

Удельную выработку электроэнергии на тепловом потреблении и ее долю от общего отпуска в системе определим так:

$$\left. \begin{aligned} W_C &= \mathcal{E}_{ТФс} Q_C^{-1}, \\ \Psi_C &= \mathcal{E}_{ТФс} \mathcal{E}_C^{-1}. \end{aligned} \right\} \quad (3.4)$$

Суммарный расход топлива, потребляемый энергосистемой, представим в виде трех составляющих:

$$V_C = V_{ТС} + V_{КС} + V_{ПС}, \quad (3.5)$$

где  $V_{ТС}$  - суммарный расход топлива в энергосистеме на ТЭЦ и КЭС;

$V_{КС}$  - суммарный расход топлива на котельные, т.е.

$$\left. \begin{aligned} B_{\text{тс}} &= \sum_{j=1}^{\kappa} B_{\text{тj}} = B_{\text{тэц}} + B_{\text{кэс}}, \\ B_{\text{кс}} &= \sum_{j=1}^{\kappa} B_{\text{кj}}, \end{aligned} \right\} \quad (3.6)$$

где  $B_{\text{пс}}$  – затраты топлива, эквивалентные величине покупной электроэнергии  $\mathcal{E}_{\text{пj}}$  (в расчете на каждый  $j$ -й энергоисточник) стоимостью  $T_{\text{пj}}$  и цене на топливо  $\mathcal{C}_{\text{тj}}$ , т. е.

$$B_{\text{пс}} = \sum_{j=1}^{\kappa} \mathcal{E}_{\text{пj}} T_{\text{пj}} \mathcal{C}_{\text{тj}}^{-1} = \mathcal{E}_{\text{п}} T_{\text{п}} \mathcal{C}_{\text{т}}^{-1}. \quad (3.8)$$

Удельный расход теплоты из учета выработки электроэнергии по комбинированному циклу в целом по энергосистеме выразим так [21]:

$$q_{\text{с}} = \frac{B_{\text{с}} m_{\text{с}} - Q_{\text{с}} C_{3\text{с}}}{\mathcal{E}_{\text{с}} C_{4\text{с}}} = q_{\text{кс}} (1 - \Psi_{\text{с}}) + \Psi_{\text{с}} q_{\text{тс}}, \quad (3.9)$$

где в соответствии с материалами, изложенными в разделе 2, 3:

$$\left. \begin{aligned} C_{3\text{с}} &= 1 + \bar{Q}_{\text{снс}}^{\mathcal{E}} + \bar{Q}_{\text{снс}}^{\text{T}}, \\ C_{4\text{с}} &= 1 + \bar{\mathcal{E}}_{\text{снс}}^{\mathcal{E}} + \bar{\mathcal{E}}_{\text{снс}}^{\text{T}}, \end{aligned} \right\} \quad (3.10)$$

$$\left. \begin{aligned} \bar{Q}_{\text{снс}}^{\mathcal{E}, \text{T}} &= \left( \sum_{j=1}^{\kappa} Q_j \bar{Q}_{\text{снj}}^{\mathcal{E}, \text{T}} \right) \left( \sum_{j=1}^{\kappa} Q_j \right)^{-1}, \\ \bar{\mathcal{E}}_{\text{снс}}^{\mathcal{E}, \text{T}} &= \left( \sum_{j=1}^{\kappa} \mathcal{E}_j \bar{\mathcal{E}}_{\text{снj}}^{\mathcal{E}, \text{T}} \right) \left( \sum_{j=1}^{\kappa} \mathcal{E}_j \right)^{-1}, \end{aligned} \right\} \quad (3.11)$$

$$q_{\text{тс}} = \left( \sum_{j=1}^{\kappa} q_{\text{тj}} \mathcal{E}_{\text{тфj}} \right) \left( \sum_{j=1}^{\kappa} \mathcal{E}_{\text{тфj}} \right)^{-1}, \quad (3.12)$$

$$Q_{\text{с}} = Q_{\text{тс}} + Q_{\text{кс}} = \sum_{j=1}^{\kappa} Q_{\text{тj}} + \sum_{j=1}^{\kappa} Q_{\text{кj}}, \quad (3.13)$$

$$\mathcal{E}_{\text{с}} = \mathcal{E}_{\text{тс}} + \mathcal{E}_{\text{пс}} = \sum_{j=1}^{\kappa} \mathcal{E}_{\text{тj}} + \sum_{j=1}^{\kappa} \mathcal{E}_{\text{пj}}, \quad (3.14)$$

Дальнейшие показатели энергосистемы, в частности, удельные расходы топлива  $b_{\text{с}}^{\mathcal{E}} = b_{\mathcal{E}}$ ,  $b_{\text{с}}^{\text{TЭ}} = b_{\text{тэц}}$ ,  $b_{\text{с}} = b_{\text{тэц}}$  и  $m = m_{\text{с}} = Q_{\text{у}} \eta_{\text{бр}}^{\text{с}} \eta_{\text{тп}}^{\text{с}}$  также определим на основании результатов исследования, выполненных в разделе 2.3. Применительно к данной задаче согласно (2.81), (2.82) и (2.75) с учетом (2.71), (3.9) имеем:

$$b_{\text{с}}^{\mathcal{E}} = m_{\text{с}}^{-1} [(1 + \bar{\mathcal{E}}_{\text{снс}}^{\mathcal{E}}) q_{\text{с}} + \Psi_{\text{с}} W_{\text{с}}^{-1} \bar{Q}_{\text{сн}}^{\mathcal{E}}], \quad (3.15)$$

$$b_{\text{с}}^{\text{TЭ}} = m_{\text{с}}^{-1} (1 + \bar{Q}_{\text{снс}}^{\text{T}} + \Psi_{\text{с}}^{-1} W_{\text{с}} \bar{\mathcal{E}}_{\text{снс}}^{\text{T}}) q_{\text{с}}, \quad (3.16)$$

$$b_{\text{с}} = m_{\text{с}}^{-1} (1 + \Psi_{\text{с}} W_{\text{с}}^{-1})^{-1} (q_{\text{с}} C_{4\text{с}} + \Psi_{\text{с}} W_{\text{с}}^{-1} C_{3\text{с}}), \quad (3.17)$$

$$B_c = b_c(\mathcal{E}_c + Q_c) = b_c^{\mathfrak{g}} \mathcal{E}_c + b_c^{\text{тэ}} Q_c. \quad (3.18)$$

На основании совместного решения системы (3.15) – (3.18), имея в виду, что  $Q_c \mathcal{E}_c^{-1} = \Psi_c W_c^{-1}$  и, полагая, что с некоторым приближением  $b_c^{\mathfrak{g}} / b_c^{\text{тэ}} \approx q_c$ , получаем квадратное уравнение относительно  $q_c$ :

$$q_c^2 A_1 + q_c A_2 + A_3 = 0, \quad (3.19)$$

где

$$\begin{aligned} A_1 &= \Psi_c^{-1} W_c \bar{\mathcal{E}}_{\text{снс}}^{\text{т}}, \\ A_2 &= -\bar{\mathcal{E}}_{\text{снс}}^{\mathfrak{g}} + Q_{\text{снс}}^{\text{т}}, \\ A_3 &= -\Psi_c W_c^{-1} \bar{Q}_{\text{снс}}^{\mathfrak{g}}. \end{aligned}$$

Окончательно определяем:

$$q_c = -0,5A_2 / A_1 + [(0,5A_2 / A_1)^2 - A_3 / A_1]^{0,5}. \quad (3.20)$$

Соответственно в предельных режимах, когда  $\Psi_c = 0$ , т. е.  $\mathcal{E}_{\text{тфс}} = 0$ , имеем:

$$q_{\text{кс}} = (q_c - \Psi_c q_{\text{тс}}) / (1 - \Psi_c), \quad (3.21)$$

$$\lim_{\Psi \rightarrow 0} b_c^{\mathfrak{g}} = b_{\text{кс}}^{\mathfrak{g}} = q_{\text{кс}} m_c^{-1} (1 + \bar{\mathcal{E}}_{\text{снс}}^{\mathfrak{g}}), \quad (3.22)$$

$$\lim_{\Psi \rightarrow 0} b_c^{\text{тэ}} = \infty, \quad (3.23)$$

$$\lim_{\Psi \rightarrow 0} b_c = m_c^{-1} q_{\text{кс}} C_{4c}. \quad (3.24)$$

В теплофикационном режиме работы энергосистемы, когда  $\Psi_c = 1$ :

$$\lim_{\Psi \rightarrow 0} b_c^{\mathfrak{g}} = b_{\text{тс}}^{\mathfrak{g}} = m_c^{-1} [q_{\text{тс}} (1 + \bar{\mathcal{E}}_{\text{снс}}^{\mathfrak{g}}) + W_c^{-1} \bar{Q}_{\text{снс}}^{\mathfrak{g}}], \quad (3.25)$$

$$\lim_{\Psi \rightarrow 0} b_c^{\text{тэ}} = m_c^{-1} (1 + \bar{Q}_{\text{снс}}^{\text{т}} + W_c \bar{\mathcal{E}}_{\text{снс}}^{\text{т}} q_{\text{т}}), \quad (3.26)$$

$$\lim_{\Psi \rightarrow 0} b_c = m_c^{-1} (1 + W_c^{-1})^{-1} (q_{\text{тс}} C_{4c} + W_c^{-1} C_{3c}). \quad (3.27)$$

Показатель  $W_c$  является основной величиной, которая объединяет всех потребителей с энергосистемой. Вычисляемый по формуле (3.4), он характеризует степень ценности тепловых отборов (по всем энергоисточникам энергосистемы в целом), на которых произведена выработка электроэнергии. В связи с этим с позиций  $i$ -го потребителя оценка его остается прежней:  $W_i = W_c$ . На основании сравнительного анализа соотношения  $Q_i \mathcal{E}_i^{-1} > < W_c^{-1}$  определяем основное уравнение теплофикации  $Q_i \mathcal{E}_i^{-1} = \Psi_i W_c^{-1}$ . При этом:

а) если  $Q_i \mathcal{E}_i^{-1} \geq W_c^{-1}$ , тогда  $\Psi_i = 1$ , а условное потребление теплоты  $Q_{\text{тi}}$ , соответствующее работе энергоисточника с показателем  $\Psi_i = 1$ , равно  $Q_{\text{тi}} = \mathcal{E}_i W_c^{-1}$ ; оставшееся потребление теплоты  $Q_{\text{ки}} = Q_i - Q_{\text{тi}}$  отождествляется с теплотой, генерируемой районной котельной;

б) если  $Q_i \mathcal{E}_i^{-1} \leq W_c^{-1}$ , тогда  $\Psi_i = Q_i W_c \mathcal{E}_i^{-1} \leq 1$ ;  $Q_{\text{тi}} = Q_i$ ,  $Q_{\text{ки}} = 0$ .

По аналогии с формулой (3.9) удельный расход теплоты  $q_{ci}$ , формируемый энергосистемой из учета показателей  $\Psi_i$  по каждому потребителю, равен:

$$q_{ci} = q_{kc}(1 - \Psi_i) + \Psi_i q_{тс}. \quad (3.28)$$

В соответствии с этим удельный расход топлива  $b_{тci}$  на производство той части тепло- и электроэнергии  $(Q_{тi}, \mathcal{E}_i)$ , которая из учета соответствующего показателя  $\Psi_i$  воспринимается потребителем как «комбинированная», выразим так [21]:

$$b_{тci} = m_c^{-1} (1 + \Psi_i W_c^{-1})^{-1} (q_{ci} C_{4c} + \Psi_i W_c^{-1} C_{3c}). \quad (3.29)$$

Удельный расход топлива на обеспечение оставшейся части теплоты  $Q_{ки} = Q_i - Q_{тi}$ , воспринимаемой потребителем, выразим из учета выработки ее в котельной:

$$b_{кci} = \left( \sum_{j=1}^k B_{kj} \right) \left( \sum_{j=1}^k Q_{kj} \right)^{-1} = b_{кc}. \quad (3.30)$$

В итоге суммарный абсолютный расход топлива на основании такого анализа равен:

$$B_i = B_{тci} + B_{кci} = b_{тci} (\mathcal{E}_i + Q_{тi}) + b_{кc} Q_{ки}. \quad (3.31)$$

Согласно формуле (3.18) между показателями энергосистемы и потребителей (включая потери в тепло- и электросетях) должно соблюдаться равенство:

$$B_c = b_c (\mathcal{E}_c + Q_c) = \sum_{i=1}^r b_i (\mathcal{E}_i + Q_i) = \sum_{i=1}^r B_i. \quad (3.32)$$

Из учёта условия (3.1) следует, что равенство (3.32) возможно в двух случаях:

а) либо при  $b_i = b_c$ , где соответственно

$$\sum_{i=1}^r B_i = b_c \sum_{i=1}^r (\mathcal{E}_i + Q_i) = b_c \left( \sum_{i=1}^r \mathcal{E}_i + \sum_{i=1}^r Q_i \right); \quad (3.33)$$

б) либо при  $b_i = b_i^{ад} > < b_c$ , где соответственно

$$\sum_{i=1}^r B_i^{ад} = \sum_{i=1}^r b_i^{ад} (\mathcal{E}_i + Q_i). \quad (3.34)$$

Здесь  $b_i^{ад}$  — величина удельного потребления топлива  $i$ -ым потребителем, адекватная его нагрузкам  $Q_i$  и  $\mathcal{E}_i$  при аналогичном значении  $W_i = W_c$ . Тогда из учёта того, что  $Q_i \mathcal{E}_i^{-1} = \Psi_i W_i^{-1}$  и  $Q_c \mathcal{E}_c^{-1} = \Psi_c W_c^{-1}$ , следует  $\Psi_i = \Psi_c$ , причём, имеет место неравенство:  $B_i \geq B_i^{ад}$ .

Последовательность представленных рассуждений не исключает неравенства  $B_c \geq \sum_{i=1}^r B_i$ . Как было отмечено выше, это вызвано различиями меж-

АДР6 3. Исходные данные по нагрузкам ( $\mathcal{E}_i^y, Q_i^y$ ) учётных потребителей (или установленных групп потребителей) тепло- и электроэнергии в из энергосистемы. Потребление энергии неучётными потребителями вычисляется из уравнений баланса:  $\mathcal{E}_i^h = \mathcal{E}_c - \Sigma \mathcal{E}_i^y - \Delta \mathcal{Q}_{пот}$  и  $Q_i^h = Q_c - \Sigma Q_i^y - \Delta Q_{пот}$ . При выполнении расчётов использован нетрадиционный метод анализа ТЭП. Здесь же представлены контрольные показатели в комплексе "энергосистема-потребитель", в частности, балансы по топливу ( $B, T$ ) и денежным затратам ( $\Pi, F$  млн руб):

Гисторг.		Топливо-энергетический баланс										Суммарная стоимость топлива					Контр. откл.		
СОХР. сГ1	Реж. 1.	$(\mathcal{E}_c + Q_c) b_c$	113,7	$\mathcal{E}_c b_c^3$	73,8	$Q_c b_c^{T3}$	39,9	$\mathcal{E}_c b_c^3 + Q_c b_c^{T3}$	113,7	$F_{3H}$	26	$F_3$	17	$F_{T3}$	9	$\Delta \Pi_{i3}$	0,00		
	Реж. 2.	$Q_c) b_c$	113,7		73,8		39,9		113,7		26		17		9		0,00		
СОХР. сГ2	Реж. 1.	$\Sigma(\mathcal{E}_i + Q_i) b_i^{ад}$	113,7	$\Sigma \mathcal{E}_i b_i^{ад}$	73,8	$\Sigma Q_i b_i^{ад}$	39,9	$\Sigma \mathcal{E}_i b_i^{ад} + \Sigma Q_i b_i^{ад}$	113,7	$\Sigma F_{i3H}^{ад}$	26	$\Sigma F_{i3}^{ад}$	17	$\Sigma F_{iT3}^{ад}$	9	$\Delta \Pi_{iT3}$	0,00		
	Реж. 2.	$Q_i) b_i^{ад}$	113,7		73,8		39,9		113,7		26		17		9		0,00		
Контрольные показатели (балансы по топливу и денежным затратам на оплату тепло- и электроэнергии) по энергосистеме:																			
Реж. 1.	$\Sigma B_{ci} \neq B_c$	$B_c$	113,7	$B_3$	73,8	$B_{T3}$	39,9	$B_3 + B_{T3}$	113,7	$\Pi_{3H}$	16,7	$\Pi_3$	8,1	$\Pi_{T3}$	8,6	Не	Поте-		
Реж. 2.			113,7		73,8		39,9		113,7		16,7		8,1		8,6	учёт-	ри		
Контрольные показатели (балансы по топливу и денежным затратам на оплату тепло- и электроэнергии) по потребителям:																			
Реж. 1.	$\Sigma B_{ci} =$	178,3	$\Sigma B_i^{ад}$	113,7	$\Sigma B_{i3}^{ад}$	73,8	$\Sigma B_{iT3}^{ад}$	39,9	$\Sigma B_{i3}^{ад} + \Sigma B_{iT3}^{ад}$	113,7	$\Sigma \Pi_{i3H}^{ад}$	16,7	$\Sigma \Pi_{i3}^{ад}$	8,1	$\Sigma \Pi_{iT3}^{ад}$	8,6	Поте-		
Реж. 2.		178,3		113,7		73,8		39,9		113,7		16,7		8,1	8,6	ри			
Сох.Мод.7	Автом.	Вос. Мод.7	Порядковые номера (i) учётных потребителей																
	$\infty$	i	1	2	3	4	5	6	7	8	9	10	11	12	13	14	15	16	17
$\mathcal{E}_i^y$	ГДж	Реж1	20	15	35	40	20	50	0	20	0	5	20	20	15	3	20	47,0	13,0
		Реж2	20	15	35	40	20	50	0	20	0	5	20	20	15	3	20	47,0	13,0
$Q_i^y$	ГДж	Реж1	25	180	220	0	80	170	50	60	20	50	30	80	5	80	10	115	100,0
		Реж2	25	180	220	0	80	170	50	60	20	50	30	80	5	80	10	115	100,0
$\infty$ Включение ( $i_{пот} = 1$ ) и отключение учётных ( $i_{пот} = 0$ ) потребителей. Неучётные потребители фиксируются автоматически																			
Сох.Мод.8	Реж.1	1	1	1	1	1	1	1	1	0	0	0	0	0	0	0	0	Не уч.	Потер.
Вос. Мод.8	Реж.2	1	1	1	1	1	1	1	1	0	0	0	0	0	0	0	0	потр.	в сет.
Обозн., Разм.	i	1	2	3	4	5	6	7	8	9	10	11	12	13	14	15	16	17	
$\mathcal{E}_i$	ГДж	Реж.1	20,00	15,00	35,00	40,00	20,00	50,00	0,00	20,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	47	13
		Реж.2	20,00	15,00	35,00	40,00	20,00	50,00	0,00	20,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	47	13
$Q_i$	ГДж	Реж.1	25,0	180,0	220,0	0,0	80,0	170,0	50,0	60,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	115	100
		Реж.2	25,0	180,0	220,0	0,0	80,0	170,0	50,0	60,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	115	100
$Q_i \mathcal{E}_i^{-1}$	-	Реж. 1.	1,25	12,00	6,29	0,00	4,00	3,40	$\infty$	3,00	$\infty$	$\infty$	$\infty$	$\infty$	$\infty$	$\infty$	$\infty$	2,45	7,69
		Реж. 2.	1,25	12,00	6,29	0,00	4,00	3,40	$\infty$	3,00	$\infty$	$\infty$	$\infty$	$\infty$	$\infty$	$\infty$	$\infty$	2,45	7,69
$\Psi_i^h$	-	Реж.1	0,19	1,80	0,94	0,0	0,6	0,5	$\infty$	0,5	$\infty$	$\infty$	$\infty$	$\infty$	$\infty$	$\infty$	$\infty$	0,4	1,2
		Реж.2	0,19	1,80	0,9	0,0	0,6	0,5	$\infty$	0,5	$\infty$	$\infty$	$\infty$	$\infty$	$\infty$	$\infty$	$\infty$	0,4	1,2
$\Psi_i^T$	-	Реж.1	0,188	1,000	0,943	0,000	0,600	0,510	1,000	0,450	0,000	0,000	0,000	0,000	0,000	0,000	0,000	0,367	1,000
		Реж.2	0,188	1,000	0,943	0,000	0,600	0,510	1,000	0,450	0,000	0,000	0,000	0,000	0,000	0,000	0,000	0,367	1,000
$q_{ci}^T$	-	Реж.1	12,6	1,0	1,8	15,3	6,7	8,0	1,030	8,9	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	10,1	1,0
		Реж.2	12,6	1,0	1,8	15,3	6,7	8,0	1,030	8,9	0,000	0,000	0,000	0,000	0,000	0,000	0,000	10,1	1,030
$Q_{ci}$	ГДж	Реж.1	25,0	100,0	220,0	0,0	80,0	170,0	0,0	60,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	115,0	86,7
		Реж.2	25,0	100,0	220,0	0,0	80,0	170,0	0,0	60,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	115,0	86,7
$Q_{ki}$	ГДж	Реж.1	0,0	80,0	0,0	0,0	0,0	0,0	50,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0	13,3
		Реж.2	0,0	80,0	0,0	0,0	0,0	0,0	50,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0	13,3

Рис. 3.2в. Фрагмент из файла АДР6.

ду показателями  $\Psi_c$  и  $\Psi_i$ . Показатель  $\Psi_c$  характеризует величину теплофикационной выработки по отношению к суммарной электроэнергии (с учетом покупной и от КЭС) по энергосистеме в целом, а показатели  $\Psi_i$  предусматривают условия, при которых потреблённая электроэнергия выработана по комбинированному теплофикационному циклу:  $\Psi_i < 1$ . В случае  $\Psi_i \geq 1$ , «недостаток» теплоты, необходимой i-му потребителю, компенсируется «работой» виртуальной котельной. Очевидно, что в целях сведения баланса предлагаемая модель системы «Энергоисточник – Потребитель» предусматривает наличие так называемой адекватной величины расхода топлива  $B_i^{ад}$ , при ко-

тором указанное выше неравенство  $B_c \geq \sum_{i=1}^r B_i$  сменится равенством

$B_c = \sum_{i=1}^r B_i^{ад}$  и определится соотношение  $Q_i \mathcal{E}_i^{-1} = \Psi_i^{ад} W_c^{-1}$ . Тогда удельный

расход топлива в среднем по энергосистеме с объемами производства  $Q_c$ ,  $\mathcal{E}_c$  запишем так:

$$b_c = \frac{B_c}{Q_c + \mathcal{E}_c} = \frac{\sum_{i=1}^r B_i^{\text{ад}}}{\sum_{i=1}^r (Q_i + \mathcal{E}_i)} = \frac{\sum_{i=1}^r b_i^{\text{ад}} (Q_i + \mathcal{E}_i)}{\sum_{i=1}^r (Q_i + \mathcal{E}_i)}, \quad (3.35)$$

где  $B_i^{\text{ад}}$  – часть абсолютного расхода топлива, затрачиваемая энергосистемой с удельным расходом  $b_i^{\text{ад}}$  для обеспечения тепловой ( $Q_i$ ) и электрической ( $\mathcal{E}_i$ ) нагрузок  $i$ -го потребителя.

В дальнейшем показатели  $B_i^{\text{ад}}$  и  $b_i^{\text{ад}}$  будем называть адекватными нагрузкам  $Q_i$ ,  $\mathcal{E}_i$  и определять по методике, изложенной в разделе и 2.3.

Тепло- и электропотери в сетях рассматриваем как результат адекватных нагрузок условных «не санкционированных» потребителей.

Руководствуясь условиями пропорциональности сопоставляемых величин  $B_i$  и  $B_i^{\text{ад}}$ , определяем:

$$B_i^{\text{ад}} = B_i B_c \left( \sum_{i=1}^r B_i \right)^{-1}. \quad (3.36)$$

Соответствующий адекватный удельный расход топлива энергосистемой на обеспечение тепло- и электроэнергией каждого  $i$ -го потребителя равен:

$$b_i^{\text{ад}} = B_i^{\text{ад}} (Q_i + \mathcal{E}_i)^{-1}, \quad (3.37)$$

а в среднем по всем потребителям  $i = 1 \div r$ , очевидно,

$$b_c = B_c (Q_c + \mathcal{E}_c)^{-1} \leq b_i^{\text{ад}}. \quad (3.38)$$

Основываясь на показателях  $\Psi_i^{\text{ад}} = Q_i \mathcal{E}_i^{-1} W_c$  и  $\Psi_c = Q_c \mathcal{E}_c^{-1} W_c$ , имеем полную аналогию между удельными расходами топлива  $b_c$ ,  $b_c^{\text{э}}$ ,  $b_c^{\text{тэ}}$  по энергосистеме и адекватными значениями удельных расходов топлива по каждому  $i$ -му потребителю. В связи с этим, используя принцип пропорциональности, рассмотрим один из вариантов разделения показателя  $b_i^{\text{ад}}$  на составляющие по электро- и теплоэнергии  $b_{i\text{э}}^{\text{ад}}$  и  $b_{i\text{тэ}}^{\text{ад}}$ :

$$\frac{b_{i\text{э}}^{\text{ад}}}{B_i^{\text{ад}}} = \frac{b_c^{\text{э}} \mathcal{E}_c}{B_c \mathcal{E}_i}; \quad b_{i\text{э}}^{\text{ад}} = b_c^{\text{э}} \frac{B_i^{\text{ад}} \mathcal{E}_c}{B_c \mathcal{E}_i} \quad (3.39)$$

На основании уравнения топливно-энергетического баланса имеем:

$$b_{i\text{тэ}}^{\text{ад}} = [b_i^{\text{ад}} (\mathcal{E}_i + Q_i) - b_{i\text{э}}^{\text{ад}} \mathcal{E}_i] Q_i^{-1}. \quad (3.40)$$

Путем соответствующего анализа (в том числе и путем численных расчетов по запрограммированным формулам на компьютере) можно убедиться, что по балансам топлива на электро- и теплоэнергию имеют место такие неравенства:

$$\sum_{i=1}^r (b_{i9}^{ад} \Theta_i) \neq b_c^9 \Theta_c, \quad (3.41)$$

$$\sum_{i=1}^r (b_{i79}^{ад} Q_i) \neq b_c^{79} Q_c, \quad (3.42)$$

но, тем не менее, по суммарным значениям топлива:

$$\sum_{i=1}^r (b_{i9}^{ад} \Theta_i) + \sum_{i=1}^r (b_{i79}^{ад} Q_i) = \sum_{i=1}^r b_i^{ад} (\Theta_i + Q_i) = b_c^9 \Theta_c + b_c^{79} Q_c = b_c (\Theta_c + Q_c). \quad (3.43)$$

Выражения (3.41) – (3.43) свидетельствуют о том, что принцип введения адекватных удельных расходов топлива не противоречит законам сохранения. Кроме того, как уже отмечалось, этот принцип позволяет поощрять потребителей, формирующих экономичный теплофикационный режим работы энергосистемы. Это поощрение можно выразить, например, путем введения соответствующих адекватных значений тарифов за потребленную тепло- и электроэнергию.

Изучение ряда вопросов, касающихся адекватных удельных расходов топлива и их влияние на формирование тарифов было выполнено с помощью программного средства (АДР6), позволяющего выполнять ряд целевых расчетов и исследований запрограммированной модели комплекса «Энергосистема – Потребители» при разных постановках задач. В качестве исходных данных (по аналогии с программными файлами ТКП9, ТКП10) здесь используются отчётные (или измеряемые) показатели по расходам топлива, отпуску тепло- и электроэнергии (включая покупную), расходам энергии на собственные нужды и данные по КПД каждого из источников  $j$ , входящих в состав энергосистемы. Осреднение исходных данных для энергосистемы по всем  $j$  – ым энергоисточникам выполняется общеизвестными методами. Три фрагмента (Рис. 3.2а; 3.2б и 3.2в) из программного файла АДР6 показаны ниже.

#### ВЫВОДЫ И РЕКОМЕНДАЦИИ.

Разработан вариант математической модели комплекса «Энергоисточник – Потребитель», позволяющей исследовать эффективность технологического процесса передачи и потребления тепло- и электроэнергии в заданном регионе. Введены понятия адекватных удельных расходов топлива, влияющих на эффективность работы энергосистемы в целом.

1. Разработаны функциональные зависимости, позволяющие определять степень участия каждого потребителя на формирование удельных расходов топлива энергоисточника (энергосистемы).

2. Адекватные значения удельных расходов топлива со стороны потребителей следует рассматривать как факторы, определяющие характеристику исследуемого комплекса в пределах Энергоисточник – Тепло- и Электросети – Потребитель.

3. Показано, что с помощью примерных моделей ТЭЦ и энергосистемы в целом открываются широкие возможности организации оперативного контроля за оптимизацией режимов работы оборудования энергоисточников при минимизации денежных затрат.

### 3.3. Альтернативные методы оценки эффективности топливоиспользования на ТЭЦ и в объединениях.

Создание собственных энергоисточников на ряде предприятий, оснащённых, например, высокоэффективными котлами с низкими удельными расходами топлива на отпуск теплоты повлекли за собой серьёзную опасность разрушения основных фондов действующих мощностей Белорусской энергосистемы [37]. Реакция большой энергетики на проявление этого «синдрома» была однозначной и направленной на его нейтрализацию [23, 24]. Вспомнили, что в отличие от КПД ТЭЦ  $[\eta_{\text{ТЭЦ}} = (b_{\text{ТЭЦ}} Q_y)^{-1}]$  отдельные значения удельных расходов топлива на отпуск тепло- и электроэнергии  $(b_{\text{ТЭ}}, b_{\text{Э}})$  при её комбинированном производстве представляют собой далеко не определённые, а виртуальные понятия [6]. Вспомнили и о политико-экономическом обосновании [19] директивного утверждения количественного соотношения этих показателей, связанных между собой известными уравнениями топливно-энергетического баланса:

$$\left. \begin{aligned} V &= b_{\text{ЭХ}} \text{Э} + b_{\text{ТЭХ}} Q = b_{\text{Э}}^{\text{ф}} \text{Э} + b_{\text{ТЭ}}^{\text{ф}} Q = \\ &= b_{\text{Э}}^{\text{ЭК}} \text{Э} + b_{\text{ТЭ}}^{\text{ЭК}} Q = V_{\text{ЭХ}} + V_{\text{ТЭХ}} = b_{\text{ТЭЦ}} (\text{Э} + Q), \end{aligned} \right\} \quad (3.44)$$

где  $Q$ ,  $\text{Э}$  – объёмы производства тепло- и электроэнергии;  $b_{\text{ТЭ}}^{\text{ф}}$ ,  $b_{\text{ТЭ}}^{\text{ЭК}}$ ,  $b_{\text{ТЭХ}}$  и  $b_{\text{Э}}^{\text{ф}}$ ,  $b_{\text{Э}}^{\text{ЭК}} = b_{\text{Э}}^{\text{зам}}$ ,  $b_{\text{ЭХ}}$  – удельные расходы топлива на отпуск упомянутых объёмов, отвечающие физическому (инд. ф), экономическому (инд. эк, зам) и произвольному (инд. х) принципам распределения топливных затрат  $V_{\text{ЭХ}}$ ,  $V_{\text{ТЭХ}}$ ;  $b_{\text{ТЭЦ}}$  – удельный расход топлива на суммарный отпуск продукции.

Вспомнили [23] и о том, что согласно формуле (3.44) при постоянстве показателей  $V$ ,  $\text{Э}$  и  $Q$  значения удельных расходов топлива (за исключением  $b_{\text{ТЭЦ}} = \text{const}$ ) могут быть разными, т. е.  $b_{\text{ТЭ}}^{\text{ф}} \neq b_{\text{ТЭ}}^{\text{ЭК}} \neq b_{\text{ТЭХ}}$  и  $b_{\text{Э}}^{\text{ф}} \neq b_{\text{Э}}^{\text{ЭК}} \neq b_{\text{ЭХ}}$ . Соответственно на основании (3.44) определяется формула по вычислению так называемого экономического показателя  $b_{\text{ТЭ}}^{\text{ЭК}}$ :

$$b_{\text{ТЭ}}^{\text{ЭК}} = b_{\text{ТЭ}}^{\text{ф}} - \text{Э} (b_{\text{Э}}^{\text{зам}} - b_{\text{Э}}^{\text{ф}}) Q^{-1} = [b_{\text{ТЭЦ}} (\text{Э} + Q) - b_{\text{Э}}^{\text{зам}} \text{Э}] Q^{-1}. \quad (3.45)$$

Как уже отмечалось, в пределах топливно-энергетического баланса любое соотношение показателей  $b_{\text{ЭХ}}/b_{\text{ТЭХ}}$  при комбинированном производстве тепло- и электроэнергии никоим образом [6, 21] не вступает в противоречие законами сохранения. Следовательно, не нарушая законов природы, полагаясь только на сугубо директивные методы, можно установить любую желаемую (назовём её «конкурентоспособной») величину удельного расхода топлива на отпуск теплоты  $b_{\text{ТЭХ}} = b_{\text{ТЭ}}^{\text{ЭК}}$  за счёт адекватного изменения показателя  $b_{\text{ЭХ}} = b_{\text{Э}}^{\text{зам}}$  на отпуск электроэнергии. Именно это свойство упомянутого баланса положено в основу инструкции [24] Минэнерго РБ, определяющей так называемые «экономические» значения удельных расходов топлива

$b_{\text{ЭХ}} = b_{\text{Э}}^{\text{зам}}$  и  $b_{\text{ТЭХ}} = b_{\text{ТЭ}}^{\text{ЭК}}$ . Последние, по мнению разработчиков этой инструкции, оказываются оптимальными и допустимыми для обоснования соответствующих тарифов. Метод разделения, при котором соотношение показателей  $b_{\text{Э}}^{\text{зам}} / b_{\text{ТЭ}}^{\text{ЭК}} \neq q$  в отличие от физического ( $b_{\text{Э}} / b_{\text{ТЭ}} \approx q$ ) был назван «экономическим», а составляющие  $b_{\text{Э}}^{\text{зам}}$  и  $b_{\text{ТЭ}}^{\text{ЭК}}$  – замыкающим удельным расходом топлива на отпуск электроэнергии и соответственно «экономическим» удельным расходом топлива на отпуск теплоты;  $q$  – удельный расход теплоты на отпуск электроэнергии.

Таким образом, совершенно очевидно, что показатель  $b_{\text{ТЭ}}^{\text{ЭК}}$  «придуман» для того, чтобы обоснованно понизить себестоимость теплоэнергии за счёт адекватного роста  $b_{\text{Э}}^{\text{зам}}$ , а значит и соответствующего повышения себестоимости электроэнергии, т. е. этим самым как бы оправдать и аргументировать изменения соответствующих тарифов на тепло- и электроэнергию. Феномен введения в механизм тарифообразования показателей  $b_{\text{Э}}^{\text{зам}}$  и  $b_{\text{ТЭ}}^{\text{ЭК}}$  – это отчаянная и, безусловно, временная попытка энергетиков реабилитировать давний промах экономистов [35], не корректно увязавших в своё время себестоимости тепло- и электроэнергии на ТЭЦ с удельными расходами топлива.

Следует заметить, что разработчики [23] экономических показателей  $b_{\text{Э}}^{\text{зам}}$  и  $b_{\text{ТЭ}}^{\text{ЭК}}$  так увлеклись свойствами последних, что даже возвели их в ранг «единых» «критериев», используя в качестве основы для процветания авантюрных околонучных направлений в области экономики энергетики. В частности, в работе [23] по этому поводу утверждается следующее: *«Существенным преимуществом экономического метода и критерия  $b_{\text{ТЭ}}^{\text{ЭК}}$  является то, что он является единым показателем системной эффективности ТЭЦ, в то время как в других методах необходимо оперировать двумя показателями – значениями удельных расходов топлива на отпуск теплоты и электроэнергии. Поэтому при использовании в качестве критерия оптимизации режимов ТЭЦ и энергосистемы величины  $b_{\text{ТЭ}}^{\text{ЭК}}$  практически исключается влияние погрешностей распределения топливных затрат на ТЭЦ между видами производимой энергии».*

Такое утверждение является ошибочным по следующим причинам:

- во-первых, согласно формуле (3.45) показатель  $b_{\text{ТЭ}}^{\text{ЭК}}$  при постоянном значении  $b_{\text{Э}}^{\text{зам}}$  является линейной функцией от  $b_{\text{ТЭЦ}}$ , т. е.  $b_{\text{ТЭ}}^{\text{ЭК}} = f(b_{\text{ТЭЦ}})$ . Следовательно, выражаясь терминологией авторов работы [23], именно показатель  $b_{\text{ТЭЦ}}$  «является единым показателем системной эффективности ТЭЦ» со всеми вытекающими из этого последствиями;

- во-вторых, показатель  $b_{\text{ТЭ}}^{\text{ЭК}}$  вносит значительно больше погрешностей

при его расчётах хотя бы потому, что  $b_{ТЭЦ} = B / (\Theta_0 + Q_0) = f / (B, \Theta_0, Q_0)$ , т. е.  $b_{ТЭЦ}$  является функцией трёх независимых аргументов, в то время как показатель  $b_{ТЭ}^{\text{ЭК}} = f / (B, \Theta_0, Q_0, b_{ТЭ}^{\text{Ф}}, b_{Э}^{\text{Ф}}, b_{Э}^{\text{Зам}})$  согласно рекомендуемой [23] расчётной формуле (3.45) является функцией шести аргументов.

Далее в работе [23] утверждается, что «...для обеспечения должной заинтересованности ТЭЦ в снижении критерия  $b_Q^{\text{ЭК}} = b_{ТЭ}^{\text{ЭК}}$  его следует использовать в системе премирования персонала станций». По поводу такой концепции следует заметить, что согласно той же рекомендуемой формуле (3.45) снижение  $b_{ТЭ}^{\text{ЭК}}$  при  $b_{Э}^{\text{Зам}} \Theta = \text{const}$  обусловлено снижением показателя  $b_{ТЭЦ}$ , т.е. и в данном случае «...система премирования персонала...» также сводится к анализу  $b_{ТЭЦ}$ . Вместе с тем следует иметь в виду, что господствующая в настоящее время конъюнктура по загрузке ТЭЦ оставляет очень малую сферу влияния эксплуатационного персонала на повышение показателя  $b_{ТЭЦ}$ . Это хорошо знают эксплуатационники и легко объясняется анализом его расчётной формулы [21]:

$$b_{ТЭЦ} = B(\Theta + Q)^{-1} = (\eta_{ТЭЦ} Q_y)^{-1} = (\eta_{бр} \eta_{ТП} Q_y)^{-1} \left( 1 + \Psi W^{-1} \right)^{-1} \left\{ [q_k(1 - \Psi) + \Psi q_T] (1 + \varepsilon_{сн}^{\text{Э}} + \varepsilon_{сн}^{\text{Т}}) + \Psi W^{-1} (1 + \varepsilon_{сн}^{\text{Э}} + \varepsilon_{сн}^{\text{Т}}) \right\} = f(\Psi, W, \eta_{бр}, \eta_{ТП}, \varepsilon_{сн}^{\text{Э,Т}}, q_{сн}^{\text{Э,Т}}, \eta_M, \eta_{Г}, \eta_t, \eta_{oi}), \quad (3.46)$$

где:  $\eta_{бр}, \eta_{ТП}, \eta_{ТЭЦ}$  – КПД брутто котлов, теплового потока и ТЭЦ в целом;  $Q_y$  – теплотворная способность условного топлива,  $Q_y = 7000$  ккал/кг =  $29,31 \cdot 10^{-3}$  ГДж/кг;  $\Psi = \Theta_{ТФ} / \Theta$  – доля теплофикационной выработки электроэнергии  $\Theta_{ТФ}$ ;  $W = \Theta_{ТФ} / Q$  – удельная выработка электроэнергии на тепловом потреблении  $Q$ , в результате чего следует, что:  $\Psi W^{-1} = Q \Theta^{-1}$ ;  $\varepsilon_{сн}^{\text{Э,Т}} = \varepsilon_{сн}^{\text{Э,Т}} / \Theta$  и  $q_{сн}^{\text{Э,Т}} = Q_{сн}^{\text{Э,Т}} / Q$  – относительные значения расходов электроэнергии и теплоты на собственные нужды по отпуску объёмов производства  $\Theta$  и  $Q$ ;  $q_k, q_T$  – удельные расходы теплоты на производство электроэнергии по конденсационному и теплофикационному циклам турбоустановки, т.е.  $q_k = (\eta_M, \eta_{Г}, \eta_t, \eta_{oi})^{-1}$ ,  $q_T = (\eta_M, \eta_{Г})^{-1}$ ;  $\eta_M, \eta_{Г}, \eta_t, \eta_{oi}$  – КПД механический, генератора, термического цикла и политропного процесса расширения пара в турбине.

Согласно формуле (3.46), показатель  $b_{ТЭЦ}$  является функцией 10-и независимых аргументов. Изменение двух из них –  $\Psi$  и  $W$  (назовём их режимными факторами) создаёт тенденцию к отклонению показателя  $b_{ТЭЦ}$  (от его базового значения) на величину  $b_{ТЭЦ}^{\text{реж}}$ . Изменение показателей  $\Psi$  и  $W$  в большей мере зависит от указаний диспетчерской службы и влияние на них

эксплуатационного персонала не существенно. Значения остальных 8-и показателей, характеризующих техническое состояние оборудования, подвластны эксплуатационному персоналу и влияют на аналогичные отклонения

$\Delta b_{\text{ТЭЦ}}^{\text{тех}}$ . В результате итоговое отклонение показателя экономичности ТЭЦ в целом равно сумме:  $\Delta b_{\text{ТЭЦ}} = \Delta b_{\text{ТЭЦ}}^{\text{реж}} + \Delta b_{\text{ТЭЦ}}^{\text{тех}}$ .

На основании изложенного следует, что в плане стимулирования, оценку действий эксплуатационного персонала следует производить не по величине отклонения  $\Delta b_{\text{ТЭ}}^{\text{ЭК}} = f(\Delta b_{\text{ТЭЦ}})$  согласно формуле (3.45), как это рекомендуют авторы работы [23], а по отклонению  $\Delta b_{\text{ТЭЦ}}^{\text{тех}}$ , определяемому на основании формулы (3.46).

Феномен бесконечного множества, т. е. многовариантности соотношений показателей  $b_{\text{ЭХ}}/b_{\text{ТЭХ}}$  во «вселенной» ТЭП ТЭЦ подробно проанализирован в работах [8, 21]. Некоторые из этих вариантов рассмотрены в порядке примеров. Там же подчёркивается, что показатели  $b_{\text{Э}}^{\text{зам}}$  и  $b_{\text{ТЭ}}^{\text{ЭК}}$  являются результатом частного случая в этом бесконечном множестве. Согласно недавним работам [42 – 44] усилия в поисках «истинных» [45] соотношений  $b_{\text{ЭХ}}/b_{\text{ТЭХ}}$  в спектре этого множества продолжают расти. В частности известные на сегодняшний день методы разделения топлива на составляющие  $b_{\text{ЭХ}}/b_{\text{ТЭХ}}$  в полной мере отвечают методу нетрадиционного анализа в свете выполненных работ [8, 21]. К сожалению, выражаясь словами одного из наших коллег [41], эти методы «...то ли по незнанию, то ли сознательно...» не воспринимаются и не используются в кругах энергетиков и по сей день.

На основании нетрадиционного метода анализа, изложенного в разделе 2.5 и имея в виду, что  $\Psi W^{-1} = Q \Theta^{-1}$ , определяем:

1. Физический метод [36, 21]:

$$b_{\text{ЭХ}}/b_{\text{ТЭХ}} = [q(1 + \Theta_{\text{СН}}^{\text{Э}}) + q_{\text{СН}}^{\text{Э}} Q \Theta^{-1}] [1 + q_{\text{СН}}^{\text{Т}} + q_{\text{Э}}^{\text{Т}} Q \Theta^{-1}]^{-1} \approx q;$$

2. Нормативный метод [36, 21]:

$$b_{\text{ЭХ}}/b_{\text{ТЭХ}} = b_{\text{Э}}^{\text{P}}/b_{\text{ТЭ}}^{\text{P}};$$

3. Пропорциональный метод [36, 38, 21], согласно которому  $\alpha_{\text{ЭЭ}} = \Theta/(\Theta + Q)$ ,  $\alpha_{\text{ТЭ}} = k_{\text{ТЭ}} = Q/(\Theta + Q)$ ,  $k_{\text{ЭЭ}} = 1 - k_{\text{ТЭ}}$ :

$$b_{\text{ЭХ}}/b_{\text{ТЭХ}} = k_{\text{ЭЭ}}/k_{\text{ТЭ}} = (2\Psi + W)\Psi^{-1} = Q^{-1}\Theta + 2 = \alpha_{\text{ЭЭ}}/\alpha_{\text{ТЭ}} + 2,$$

или

$$b_{\text{ЭХ}} - b_{\text{ТЭХ}} = b_{\text{ТЭЦ}};$$

4. Экономический метод [23, 24, 36, 21]:

$$\begin{aligned} b_{\text{ЭХ}}/b_{\text{ТЭХ}} &= b_{\text{Э}}^{\text{зам}}/b_{\text{ТЭ}}^{\text{ЭК}} = b_{\text{Э}}^{\text{зам}} \Psi [b_{\text{ТЭЦ}}(\Psi + W) - b_{\text{Э}}^{\text{зам}} W]^{-1} = \\ &= [b_{\text{ТЭЦ}}(b_{\text{Э}}^{\text{зам}})^{-1}(1 + Q^{-1}\Theta) - Q^{-1}\Theta]^{-1}; \end{aligned}$$

5. Равномерный метод [36, 21]:

$$b_{\text{ЭХ}}/b_{\text{ТЭХ}} = 1, \text{ т. е. } b_{\text{ЭХ}} = b_{\text{ТЭХ}} = b_{\text{ТЭЦ}} .$$

Как видно, руководствуясь методом общего анализа [8, 21], перечень соотношений  $b_{\text{ЭХ}}/b_{\text{ТЭХ}}$  может пополняться до бесконечности.

Преимущества комбинированной выработки тепло- и электроэнергии в сравнении с отдельной уже давно доказаны и аналитически и на практике. Поэтому попытки авторов работ [36, 39] продублировать это доказательство на базе экономического [39] или пропорционального [36] методов попросту излишни. Впрочем, также излишни и демонстрации разных вариантов распределения топлива  $b_{\text{ЭХ}}/b_{\text{ТЭХ}}$  (в поисках «истины») без обоснования конечной цели их применения. Если авторы работы [23] в своих «*единых критериях*»  $b_{\text{Э}}^{\text{зам}}$  и  $b_{\text{ТЭ}}^{\text{ЭК}}$  усматривают некую «панацею», то что же пытаются найти и видят в модифицированных вариантах перераспределения  $b_{\text{ЭХ}}$  и  $b_{\text{ТЭХ}}$  более серьёзные исследователи [36, 38 – 40]? Ответ на этот вопрос даёт автор работы [41], убеждая нас в том, что при всей своей «...*условности отнесения топливных затрат на каждый вид энергии...*» существует именно такое перераспределение  $b_{\text{ЭХ}}/b_{\text{ТЭХ}}$ , при котором «...*оба вида энергии на ТЭЦ... выгодно покупать потребителю*». При поиске этой «истины» нельзя забывать и о выгоде, точнее о необходимой прибыли ТЭЦ. Здесь имеется в виду задача об оптимальных значениях тарифов на тепло- и электроэнергию с учётом реалий сегодняшнего дня и граничных условий, удовлетворяющих и Покупателя и Продавца.

Судя по публикациям многих авторов работ по данной тематике, существует, в сущности, два метода анализа технико-экономических показателей: энергетический и эксергетический. Оба метода ни в чем не противоречат законам сохранения, законам термодинамики. В каждом из них распределение топлива на две составляющие может быть основано на множестве принципов, один из которых (в энергетическом методе), мы именуем «физическим». В связи с этим в порядке дискуссии следует заметить, что такой термин, как «физический метод», которым именуют традиционный принцип разделения топлива, далеко не корректен. Точнее это энергетический метод разделения топлива на две составляющие, предусматривающий в идеальном случае понятие «физического эквивалента»  $q^0 = 860 \text{ ккал}/(\text{кВт} \cdot \text{ч})$ . В идеальном случае, т. е. в случае пренебрежения расходами тепло- и электроэнергии на собственные нужды (раздел 2.3), как это следует из формул (2.79), (2.80) и (2.86)  $B_{\text{Э}} m = q \text{ Э}_0$  и  $B_{\text{ТЭ}} m = Q_0$ , т. е.  $b_{\text{Э}}/b_{\text{ТЭ}} = q = q^0 = 860 \text{ ккал}/(\text{кВт} \cdot \text{ч})$ . Возможно именно поэтому в одной из инструкций [24] об упомянутом «физическом методе» записано так: : «*Физический метод, при котором расход топлива на отпущенную тепловую энергию устанавливается равным его тепловому физическому эквиваленту, а на электроэнергию относится оставшаяся часть суммарного расхода топлива на производство обоих видов энергии, применяется для определения исходных данных, используемых при расчетах по методу распределения затрат топлива, регламентируемому настоящей*

*Инструкцией и для анализа топливоиспользования на ТЭС и в Белорусской энергосистеме». Здесь под термином «расход топлива» имеется в виду понятие о массе вещества. Он не соизмерим и не может быть «равным его тепловому физическому эквиваленту». Последний представляет собой размерный коэффициент, увязывающий физическую адекватность между тепловой энергией (ккал) и электрической (кВтч): 860 ккал = 1 кВтч. В идеальном случае КПД процесса преобразования тепловой энергии в электрическую равен 1, т. е. удельный расход теплоты  $q$  на турбину равен 860 ккал/(кВтч). В «физическом методе...» удельный расход топлива  $b_{\text{э}}$  на отпуск электроэнергии определяется в основном величиной показателя  $q$ , который в реальных условиях больше 860 ккал/(кВтч), т. е.  $q > 860$  ккал/(кВтч). Причём, фактор «перераспределения» топлива не влияет на величину последнего. Во всех случаях этого «перераспределения» величина удельного расхода теплоты  $q$  остаётся неизменной. Из этого следует, что сам термин «физический метод» далеко не безупречен. Тогда возникает вопрос, каким же всё-таки свойством наделён этот традиционный метод, который почему-то называли «физическим»? Ответ на этот вопрос можно получить из анализа расчётной формулы (2.61), приведенной в разделе 2.3 и описывающей соотношения между показателями  $b_{\text{эХ}}$  и  $b_{\text{тэХ}}$  при разных вариантах «перераспределения».*

В случае «физического» (инд. «ф») метода, как уже было отмечено, в формуле (2.61)  $\alpha_q = 0$ ,  $\alpha_{\text{сн}}^{\text{э}} = 1$ ,  $\alpha_{\text{сн}}^{\text{т}} = 0$ ,  $\beta_{\text{э}} = 1$ ,  $\beta_{\text{сн}}^{\text{э}} = 1$ ,  $\beta_{\text{сн}}^{\text{т}} = 0$  (индекс «х» опускаем) и она, согласно также формуле (2.86), принимает вид:

$$\frac{b_{\text{э}}^{\text{ф}}}{b_{\text{тэ}}^{\text{ф}}} = \left[ \frac{Q_{\text{сн}}^{\text{э}}}{\mathcal{E}_0} + q \left( 1 + \frac{\mathcal{E}_{\text{сн}}^{\text{э}}}{\mathcal{E}_0} \right) \right] \cdot \left[ \frac{q \mathcal{E}_{\text{сн}}^{\text{т}}}{Q_0} + 1 + \frac{Q_{\text{сн}}^{\text{т}}}{Q_0} \right]^{-1} \approx q \quad (3.47)$$

Значения собственных нужд  $Q_{\text{сн}}^{\text{э,т}} = q_{\text{сн}}^{\text{э,т}}$  и  $\mathcal{E}_{\text{сн}}^{\text{э,т}} = \mathcal{e}_{\text{сн}}^{\text{э,т}}$  энергоисточника, как правило, значительно меньше соответствующих объёмов производства  $Q_0$  и  $\mathcal{E}_0$ . Поэтому, пренебрегая расходами тепло- и электроэнергии на собственные нужды, согласно формуле (3.47) в случае «физического» метода имеем:

$$b_{\text{э}}^{\text{ф}} / b_{\text{тэ}}^{\text{ф}} = q \quad (3.48)$$

Из анализа формулы (3.47) следует такой же вывод, как и из анализа формул (2.79), (2.80): наибольшая зависимость от теплофикационной выработки электроэнергии, т. е.  $b_{\text{э}}^{\text{ф}} / b_{\text{тэ}}^{\text{ф}} = f(q) = f(\Psi) = f(\mathcal{E}_{\text{тф}})$ .

Так почему же всё-таки именно традиционный метод «распределения» согласно формулам (3.47) и (3.48) называли «физическим»? По этому поводу можно строить только догадки за исключением уверенности в полном несоответствии между «формой» и «содержанием» исследуемого вопроса.

Феномен разделения суммарного расхода топлива  $B$  на составляющие  $B_{\text{э}}$  и  $B_{\text{тэ}}$  не имеет строгой научной регламентации. Отвечая тем или иным

P1Ex Расч.1 Расч.2 Расч.3 Расч.4 Расч.5

Нетрадиционный анализ технико - экономических показателей энергоисточника (типа ТЭЦ) с комбинированной выработкой тепло- и электроэнергии в зависимости от удельного расхода  $W = \dot{Q}_o / Q_o$  и доли  $\Psi = \dot{Q}_o / \dot{Q}_o$  отпуска электроэнергия на тепловом потреблении.

Реж. 1	$\Psi, W$	1,000	0,900	0,800	0,700	0,600	0,500	0,400	0,300	0,200	0,100	
от $\Psi, W =$	1,0	Расчёт исследуемых показателей по мере изменения $\Psi$ и $W$ в реж. 1										
до $\Psi, W =$	0,1	ГРАФИК	$\Psi$	Сохранить	Удал. из нак.	Удал. из буф.	W					
Реж. 2	$\Psi, W$	1,000	0,900	0,800	0,700	0,600	0,500	0,400	0,300	0,200	0,100	
от $\Psi, W =$	1,0	Расчёт исследуемых показателей по мере изменения $\Psi$ и $W$ в реж. 2										
до $\Psi, W =$	0,1	ГРАФИК	$\Psi$	Сохранить	Удал. из нак.	Удал. из буф.	W					

1. Исх. данные и рез. расчётов при "физическом" методе распределения топлива.

Обозн.	$\Psi$	$\eta_{бр}$	$\eta_{тп}$	$\eta_t$	$\eta_{oi}$	$\eta_m$	$\eta_r$	' $\dot{Q}'_{сн}$	' $\dot{Q}'_{сн}$	' $Q'_{сн}$	' $Q'_{сн}$
Реж. 1	0,100	0,92	0,97	0,48	0,85	0,985	0,985	0,0500	0,0500	0,0200	0,0200
Реж. 2	0,100	0,92	0,97	0,48	0,85	0,985	0,985	0,0500	0,0500	0,0200	0,0200
Разм.	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-
Обозн.	$W$	$Q_y$		$q_{т} = (\eta_m \eta_r)^{-1}$		$q_k = (\eta_m \eta_r \eta_{oi})^{-1}$		$q$		$\eta_{тэц}$	
Реж. 1	0,500	581,5	7000	0,0293	1,031	886,2	2,526	2172,1	2,377	2043,5	0,379
Реж. 2	0,500	581,5	7000	0,0293	1,031	886,2	2,526	2172,1	2,377	2043,5	0,379
Разм.	-	кВтч/Гк	ккал/кг	ГДж/кг	-	кк/(кВтч)	-	кк/(кВтч)	-	кк/(кВтч)	-
Обозн.	$m = Q_y \cdot \eta_{бр} \cdot \eta_{тп}$	$b_{тэц}$			$b^{\Phi}_{\dot{Q}}$			$b^{\Phi}_{тэ}$			
Реж. 1	0,0262	6246,8	89,9	323,7	376,5	95,57	344,0	400,1	61,7	222,2	258,4
Реж. 2	0,0262	6246,8	89,9	323,7	376,5	95,6	344,0	400,1	61,7	222,2	258,4
Разм.	ГДж/кг	ккал/кг	кг/ГДж	г/(кВтч)	кг/Гкал	кг / ГДж	г/(кВтч)	кг/Гкал	кг/ГДж	г/(кВтч)	кг/Гкал
Обозн.	$\Omega_{\dot{Q}}$	$\Omega_{\dot{Q}}$	$\Omega_{\dot{Q}}$	$\beta^{\Omega}_{\dot{Q}}$	$\beta^{\Omega}_{\dot{Q}}$	$\beta^{\Omega}_{\dot{Q}}$	$\beta^{\Omega}_{\dot{Q}}$	$\beta^{\Omega}_{\dot{Q}}$	$b_{тэ}^{кот}$		
Реж. 1	0,263	0,011	0,274	0,962	0,038	0,167	0,833	0,172	39,0	140,4	163,28
Реж. 2	0,263	0,011	0,274	0,962	0,038	0,2	0,833	0,172	39,0	140,4	163,28
Разм.	-	-	-	-	-	-	-	-	кг/ГДж	г/(кВтч)	кг/Гкал
Обозн.	$\Phi_{\dot{Q}}$	$\Phi_{\dot{Q}}$	$\Phi_{\dot{Q}}$	$\beta^{\Phi}_{\dot{Q}}$	$\beta^{\Phi}_{\dot{Q}}$	$W^{\Phi}_{гp}$		Гран.	$b_{тэ}^{кот пр}$		
Реж. 1	1,581	0,013	1,6	0,992	0,008	0,0127	14,8	$\infty$	40,9	147,3	171,29
Реж. 2	1,6	0,013	1,6	0,992	0,008	0,0127	14,8	$\infty$	40,9	147,3	171,29
Разм.	-	-	-	-	-	-	кВтч/Гк	-	кг / ГДж	г/(кВтч)	кг/Гкал
Обозн.	$\eta_{\dot{Q}}$	$\eta_{тэ}$	$B^{\Phi}_{\dot{Q}}/B^{\Phi}_{тэ}$	$Q_o / \dot{Q}_o$	$\dot{Q}_o / Q_o$	$b^{\Phi}_k$		$b^{\Phi}_T$			
Реж. 1	0,316	0,063	7,742	0,200	5,0	101,4	365,1	424,6	42,908	154,5	154,5
Реж. 2	0,316	0,063	7,742	0,200	5,0	101,4	365,1	424,6	42,908	154,5	154,5
Разм.	-	-	-	-	-	кг/ГДж	г/(кВтч)	кг/Гкал	кг/ГДж	г/(кВтч)	кг/Гкал

2. Исх. данные и результаты расчётов при разных (инд"х") методах распредел. топлива

Обозн.	$\alpha_{\dot{Q}}$	$\alpha^T_{сн}$	$\alpha^{\dot{Q}}_{сн}$	$\beta_{\dot{Q}}$	$\beta^T_{сн}$	$\beta^{\dot{Q}}_{сн}$	$C^X_1$	$C^X_2$	$C_3$	$C_4$	$A^X_1$
Реж. 1	1,0	0,0	1,0	0,0	0,0	1,0	1,020	1,050	1,040	1,100	0,204
Реж. 2	1,0	0,0	1,0	0,0	0,0	1,0	1,020	1,050	1,040	1,100	0,204
Разм.	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-
Обозн.	$A^X_2$	$A^X_3$	$A^X_4$	$b_{\dot{Q}}$			$b_{тэx}$			$W^X_{гp}$	
Реж. 1	0,05	0,02	5,25	12,343	44,4	51,7	477,8	1720,2	2000,6	13,641	15864
Реж. 2	0,05	0,02	5,25	12,343	44,4	51,7	477,8	1720,2	2000,6	13,641	15864
Разм.	-	-	-	кг/ГДж	г/(кВтч)	кг/Гкал	кг/ГДж	г/(кВтч)	кг/Гкал	-	кВтч/Гк

Примечание 2а. Вариант утилизации отработавшего пара.

Обозн.	$b^{YT}_{\dot{Q}}$			$b^{YT}_{тэ}$			$W^{YT}_{гp}$		$C^{YT}_1$	$A^{YT}_2$
Реж. 1	103,21	371,6	432,1	23,5	84,5	98,3	0,650	755,4	1,02	1,05
Реж. 2	103,21	371,6	432,1	23	85	98	0,650	755,4	1,02	1,05
Разм.	кг / ГДж	г/(кВтч)	кг/Гкал	кг/ГДж	г/(кВтч)	кг/Гкал	-	кВтч/Гк	-	-

Примечание 2б. Экономический принцип.

Обозн.	$b^{ЭК}_{\dot{Q}}$			$b^{ЭК}_{тэx}$			$\gamma_p$	$W^{ЭК}_{гp}$		$C^{ЭК}_1$	$A^{ЭК}_2$
Реж. 1	4,83	17,4	20,2	515,4	1855,5	2157,9	1,0	13,641	15864	1,02	0,05
Реж. 2	4,83	17,4	20,2	515	1855	2158	1,0	13,641	15864	1,02	0,05
Разм.	кг/ГДж	г/(кВтч)	кг/Гкал	кг/ГДж	г/(кВтч)	кг/Гкал	-	-	кВтч/Гк	-	-

Примечание 2в. Технологический принцип.

Обозн.	$b^T_{\dot{Q}}$			$b^T_{тэ}$			$n$	$W^T_{гp}$		$C^T_1$	$A^T_2$
Реж. 1	106,0	381,7	443,9	9,5	34,1	39,7	0,5	13,641	15864	1,02	0,05
Реж. 2	106,0	381,7	443,9	9,5	34,1	39,7	0,5	13,641	15864	1,02	0,05
Разм.	кг/ГДж	г/(кВтч)	кг/Гкал	кг/ГДж	г/(кВтч)	кг/Гкал	-	-	кВтч/Гк	-	-

Примечание 2г. Пропорциональный метод.

Обозн.	$b^{пр}_{\dot{Q}}$			$b^{пр}_{тэx}$			$W^{пр}_{гp}$		$C^{пр}_1$	$A^{пр}_2$
Реж. 1	104,9	377,7	439,3	15,0	54,0	62,8	13,641	15864	1,02	0,05
Реж. 2	104,9	377,7	439,3	15,0	54,0	62,8	13,641	15864	1,02	0,05
Разм.	кг/ГДж	г/(кВтч)	кг/Гкал	кг/ГДж	г/(кВтч)	кг/Гкал	-	кВтч/Гк	-	-

Рис. 3.3. Фрагмент из файла P1Ex.

технологическим принципам, он не исключает любой альтернативы [19, 42] и обречён на многовариантность.

На основании материалов, изложенных в данном разделе и в разделе 2.3, разработан специальный файл (P1Ex), позволяющий более детально изучить особенности нетрадиционного метода анализа ТЭП ТЭЦ. Программа позволяет обрабатывать ряд показателей из традиционной системы отчётности, производить соответствующие расчёты и представлять их для анализа в виде таблиц и графиков. Общий вид основного рабочего листа в файле P1Ex показан ниже.

Далее рассмотрим результаты некоторых примерных расчётов, выполненных с помощью программного файла P1Ex (рис. 3.3).

### 3.3.1. Вариант утилизации отработавшего пара.

В порядке сопоставления рассмотрим очередной принцип «распределения», в котором топливо, рассматриваемое как «топливо  $V_3$  на отпуск электроэнергии  $\mathcal{E}_0$ », учитывает также отпуск теплоты  $Q_0$ , производимой отборным паром. Тогда на основании изложенного (раздел 2.3) в уравнениях (2.54), (2.55) принимаем следующие значения коэффициентов пропорциональности:  $\alpha_q = 1$ ,  $\alpha_{\text{CH}}^{\mathcal{E}} = 1$ ,  $\alpha_{\text{CH}}^T = 0$ ,  $\beta_3 = 1$ ,  $\beta_{\text{CH}}^{\mathcal{E}} = 1$ ,  $\beta_{\text{CH}}^T = 0$ . В результате уравнения (2.54), (2.55) принимают вид:

$$V_3 m = \bar{V}_3 m = Q_0 + Q_{\text{CH}}^{\mathcal{E}} + q(\mathcal{E}_0 + \mathcal{E}_{\text{CH}}^{\mathcal{E}}), \quad (3.49)$$

$$V_{\text{ТЭ}} m = \bar{V}_{\text{ТЭ}} m = Q_{\text{CH}}^T + \mathcal{E}_{\text{CH}}^T q. \quad (3.50)$$

В соответствии с этим расчетные формулы по определению удельных расходов топлива  $\bar{b}_3 = \bar{V}_3 / \mathcal{E}_0$  и  $\bar{b}_{\text{ТЭ}} = \bar{V}_{\text{ТЭ}} / Q_0$  представим путем сравнения их с аналогичными традиционными значениями  $b_3$  и  $b_{\text{ТЭ}}$ :

$$\bar{b}_3 = b_3 + m^{-1} \Psi W^{-1} = b_3 + m^{-1} Q_0 \mathcal{E}_0^{-1}, \quad (3.51)$$

$$\bar{b}_{\text{ТЭ}} = b_{\text{ТЭ}} - m^{-1}. \quad (3.52)$$

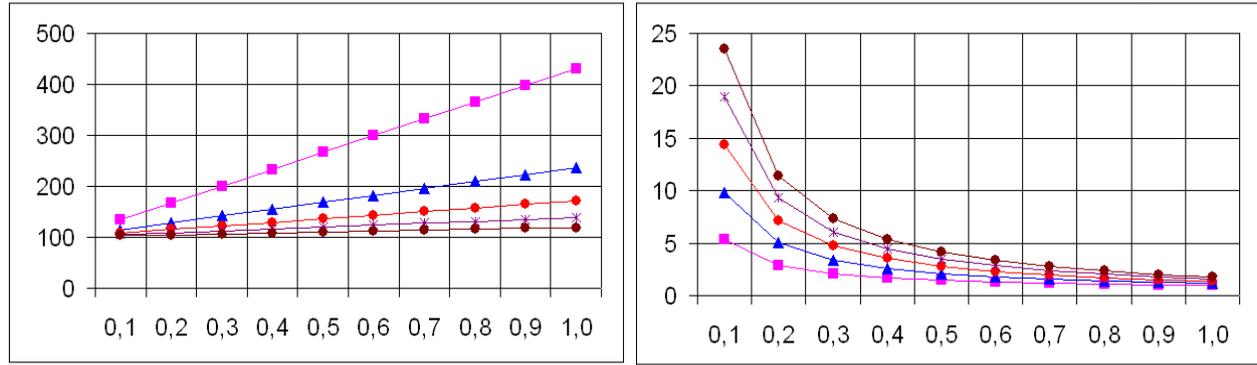
Из формул (3.51), (3.52) следует, что по сравнению с традиционным «физическим методом» удельный расход топлива на отпуск электроэнергии согласно данному принципу резко возрастает, а удельный расход топлива на отпуск теплоэнергии существенно снижается. Это подобно методу разделения топлива [23, 24], основанного на введении показателя  $b_3^{\text{зам}}$ , эквивалентного удельному расходу «замещающей КЭС». В данном случае  $b_3^{\text{зам}}$  вполне адекватен показателю  $\bar{b}_3$ , вычисляемому по формуле (3.51).

Аналогичным образом на основании общей формулы (2.78) из раздела 2.3 получаем взаимосвязь между соответствующими показателями предельных значений  $\bar{W}_{\text{Гр}}$  и  $W_{\text{Гр}}$ :

$$\bar{W}_{\text{Гр}} = (1 + \bar{Q}_{\text{CH}}^{\mathcal{E}})(1 + \bar{\mathcal{E}}_{\text{CH}}^{\mathcal{E}})^{-1}(q_{\text{К}} - q_{\text{Т}})^{-1} = W_{\text{Гр}}(1 + \bar{Q}_{\text{CH}}^{\mathcal{E}})(\bar{Q}_{\text{CH}}^{\mathcal{E}})^{-1}. \quad (3.53)$$

Примерные распределения показателей  $\bar{b}_3 = b_3^{\text{УТ}}$  и  $\bar{b}_{\text{ТЭ}} = b_{\text{ТЭ}}^{\text{УТ}}$  в диапа-

Удельные расходы топлива:  $f(\psi, W)$ . Метод утилизации отработавшего пара предусматривает условия:  $\alpha_q = 1$ ;  $\alpha_{сн}^3 = 1$ ;  $\alpha_{сн}^T = 0$ ;  $\beta_3 = 1$ ;  $\beta_{сн}^3 = 1$ ;  $\beta_{сн}^T = 0$ ;  $W_{гД}^{УТ} = 0,6496$



Обозн.	Разм.	W / $\Psi$	0,100	0,200	0,300	0,400	0,500	0,600	0,700	0,800	0,900	1,000
$b_{\Psi}^{УТ}$	кг/ГДж	0,1	134,4	167,4	200,4	233,4	266,4	299,4	332,4	365,4	398,4	431,4
	кг/ГДж	0,2	114,9	128,4	141,9	155,4	168,9	182,4	195,9	209,4	222,9	236,4
	кг/ГДж	0,3	108,4	115,4	122,4	129,4	136,4	143,4	150,4	157,4	164,4	171,4
	кг/ГДж	0,4	105,2	108,9	112,7	116,4	120,1	123,9	127,6	131,4	135,1	138,9
	кг/ГДж	0,5	103,2	105,0	106,8	108,6	110,4	112,2	114,0	115,8	117,6	119,4
$b_{T_3}^{УТ}$	кг/ГДж	0,1	5,3	2,9	2,1	1,7	1,4	1,3	1,2	1,1	1,0	1,0
	кг/ГДж	0,2	9,9	5,0	3,4	2,6	2,1	1,8	1,6	1,4	1,3	1,2
	кг/ГДж	0,3	14,4	7,2	4,7	3,5	2,8	2,3	2,0	1,7	1,5	1,4
	кг/ГДж	0,4	18,9	9,3	6,1	4,5	3,5	2,8	2,4	2,0	1,8	1,6
	кг/ГДж	0,5	23,5	11,4	7,4	5,4	4,2	3,4	2,8	2,4	2,0	1,7

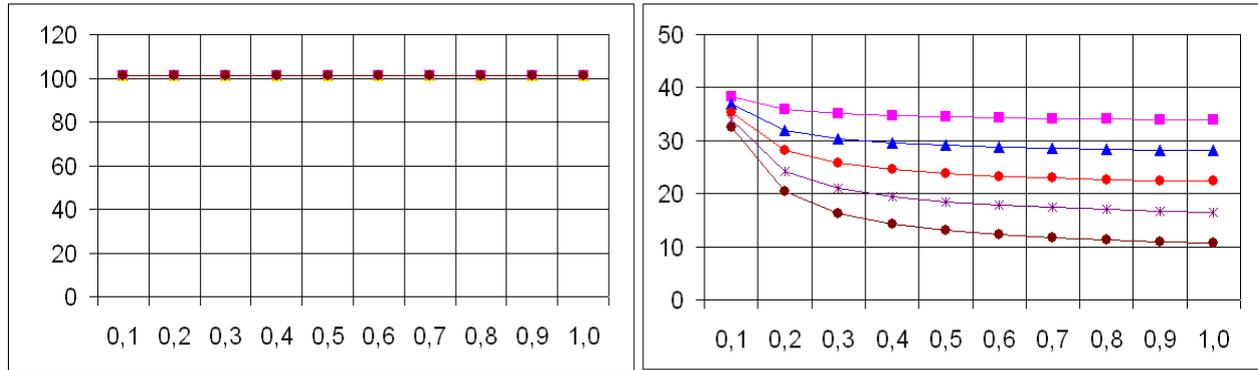
Рис. 3.4. (Р1Ех).Изменение удельных расходов топлива в диапазоне  $\Psi = 0,1 - 1,0$  при  $W = 0,1$ ;  $W = 0,2$ ;  $W = 0,3$ ;  $W = 0,4$ ;  $W = 0,5$ .

в зоне  $\Psi = 0 - 1$  для нескольких значений  $W = 0,1$ ;  $W = 0,2$ ;  $W = 0,3$ ;  $W = 0,4$  и  $W = 0,5$  показаны на рис.3.4. Расчеты выполнены на основании исходных данных, приведенных в разделе 2.3. Согласно (3.53),  $\bar{W}_{гД} = 0,65$  ГДж/ГДж = 755,4 кВт·ч/Гкал, что выходит за рамки реальных возможностей энергоисточников типа ТЭЦ [11], но вполне допустимо для теплофикационных установок когенерационного типа.

### 3.3.2. Экономический принцип.

Ввиду невозможности строгого и научного обоснованного распределения топлива на две составляющие  $B_3$  и  $B_{T_3}$  экономический принцип в условиях рыночной экономики оказывается основополагающим [19, 42, 43]. При этом следует заметить, что рассмотренные выше два принципа распределения топлива (как традиционный, так и по варианту утилизации) основаны на постоянстве коэффициентов пропорциональности  $\alpha_{q,сн}^{\text{э,т}}$  и  $\beta_{\text{э,сн}}^{\text{э,т}}$ , входящих в балансовые уравнения (2.54), (2.55). Экономический принцип исключает эти закономерности. Один из его вариантов (в порядке примера) заключается в условии постоянства удельного расхода топлива  $b_{\text{эж}}$  независимо от доли выработки электроэнергии на тепловом потреблении и равенстве его значению  $\gamma_p b_{\text{кх}}$  при  $\Psi = 0$ , т.е. значению удельного расхода топлива в конденсационном режиме работы энергоисточника, кратного произвольной величине коэффициента  $\gamma_p$ . Величина последнего устанавливается из учета конъюнктуры

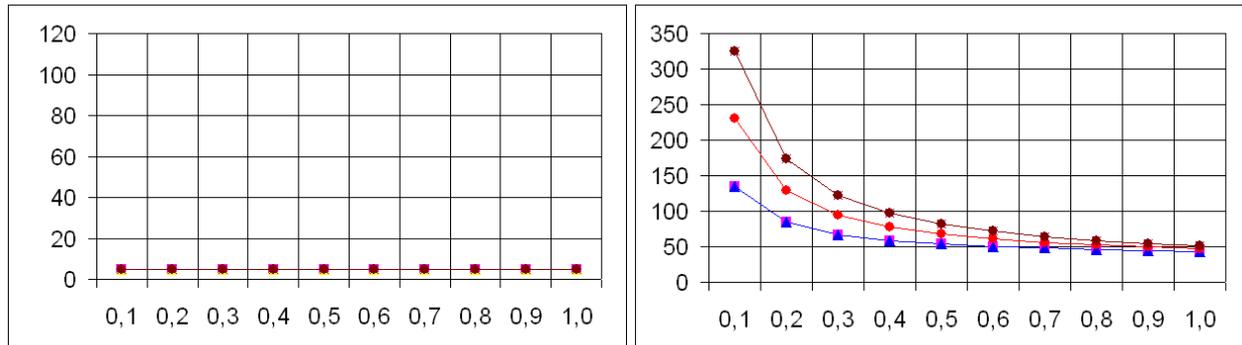
Уд. расходы топлива:  $f(\psi, W)$ . Экономический метод:  $\gamma_p > 0$  - любое число;  $W_{ГД}^{ЭК} = 0,013$   
 $0 \leq \alpha_q \leq 1$ ;  $0 \leq \alpha_{сн}^3 \leq 1$ ;  $0 \leq \alpha_{сн}^T \leq 1$ ;  $0 \leq \beta_3 \leq 1$ ;  $0 \leq \beta_{сн}^3 \leq 1$ ;  $0 \leq \beta_{сн}^T \leq 1$ . Здесь:  $\gamma_p = 1$   
 $\alpha_q = 0$        $\alpha_{сн}^T = 1$        $\alpha_{сн}^3 = 0$        $\beta_3 = 1$        $\beta_{сн}^T = 1$        $\beta_{сн}^3 = 0$



Обозн.	Разм.	W / $\Psi$	0,100	0,200	0,300	0,400	0,500	0,600	0,700	0,800	0,900	1,000
$b_{ЭК}^{ЭК}$	кг/ГДж	0,1	101,4	101,4	101,4	101,4	101,4	101,4	101,4	101,4	101,4	101,4
	кг/ГДж	0,2	101,4	101,4	101,4	101,4	101,4	101,4	101,4	101,4	101,4	101,4
	кг/ГДж	0,3	101,4	101,4	101,4	101,4	101,4	101,4	101,4	101,4	101,4	101,4
	кг/ГДж	0,4	101,4	101,4	101,4	101,4	101,4	101,4	101,4	101,4	101,4	101,4
	кг/ГДж	0,5	101,4	101,4	101,4	101,4	101,4	101,4	101,4	101,4	101,4	101,4
$b_{ТЭК}^{ЭК}$	кг/ГДж	0,1	38,3	35,9	35,1	34,7	34,4	34,3	34,2	34,1	34,0	34,0
	кг/ГДж	0,2	36,8	32,0	30,4	29,6	29,1	28,8	28,6	28,4	28,3	28,2
	кг/ГДж	0,3	35,4	28,1	25,7	24,5	23,8	23,3	23,0	22,7	22,5	22,3
	кг/ГДж	0,4	33,9	24,3	21,0	19,4	18,5	17,8	17,4	17,0	16,8	16,5
	кг/ГДж	0,5	32,5	20,4	16,4	14,4	13,1	12,3	11,8	11,3	11,0	10,7

Рис. 3.5а. (P1Ex).Изменение удельных расходов топлива в диапазоне  $\Psi = 0,1 - 1,0$  при  $W = 0,1$ ;  $W = 0,2$ ;  $W = 0,3$ ;  $W = 0,4$ ;  $W = 0,5$ .

Уд. расходы топлива:  $f(\psi, W)$ . Экономический метод:  $\gamma_p > 0$  - любое число;  $W_{ГД}^{ЭК} = 13,641$   
 $0 \leq \alpha_q \leq 1$ ;  $0 \leq \alpha_{сн}^3 \leq 1$ ;  $0 \leq \alpha_{сн}^T \leq 1$ ;  $0 \leq \beta_3 \leq 1$ ;  $0 \leq \beta_{сн}^3 \leq 1$ ;  $0 \leq \beta_{сн}^T \leq 1$ . Здесь:  $\gamma_p = 1$   
 $\alpha_q = 1$        $\alpha_{сн}^T = 0$        $\alpha_{сн}^3 = 1$        $\beta_3 = 0$        $\beta_{сн}^T = 0$        $\beta_{сн}^3 = 1$



Обозн.	Разм.	W / $\Psi$	0,100	0,200	0,300	0,400	0,500	0,600	0,700	0,800	0,900	1,000
$b_{ЭК}^{ЭК}$	кг/ГДж	0,1	4,8	4,8	4,8	4,8	4,8	4,8	4,8	4,8	4,8	4,8
	кг/ГДж	0,2	4,8	4,8	4,8	4,8	4,8	4,8	4,8	4,8	4,8	4,8
	кг/ГДж	0,3	4,8	4,8	4,8	4,8	4,8	4,8	4,8	4,8	4,8	4,8
	кг/ГДж	0,4	4,8	4,8	4,8	4,8	4,8	4,8	4,8	4,8	4,8	4,8
	кг/ГДж	0,5	4,8	4,8	4,8	4,8	4,8	4,8	4,8	4,8	4,8	4,8
$b_{ТЭК}^{ЭК}$	кг/ГДж	0,1	134,9	84,2	67,3	58,8	53,8	50,4	48,0	46,2	44,7	43,6
	кг/ГДж	0,2	134,9	84,2	67,3	58,8	53,8	50,4	48,0	46,2	44,7	43,6
	кг/ГДж	0,3	230,0	128,6	94,8	77,9	67,8	61,0	56,2	52,5	49,7	47,5
	кг/ГДж	0,4	325,1	173,0	122,3	97,0	81,7	71,6	64,4	58,9	54,7	51,3
	кг/ГДж	0,5	325,1	173,0	122,3	97,0	81,7	71,6	64,4	58,9	54,7	51,3

Рис. 3.5б. (P1Ex).Изменение удельных расходов топлива в диапазоне  $\Psi = 0,1 - 1,0$  при  $W = 0,1$ ;  $W = 0,2$ ;  $W = 0,3$ ;  $W = 0,4$ ;  $W = 0,5$ .

рынка. В соответствии с этим можем записать:

$$b_{\text{ЭХ}} \text{Э}_0 + b_{\text{ТЭХ}} Q_0 = \gamma_p b_{\text{КХ}} \text{Э}_0 + b_{\text{ТЭХ}}^{\text{ЭК}} Q_0 = b_{\text{ТЭЦ}} (\text{Э}_0 + Q_0). \quad (3.54)$$

С помощью формул (2.69), (2.72) и (2.73) на основании (3.54) получаем общее выражение для расчёта удельных расходов топлива по отпуску теплоты, основанных на «экономическом принципе» разделения суммарных топливных затрат:

$$b_{\text{ТЭХ}}^{\text{ЭК}} = m^{-1} \left\{ C_3 + \Psi^{-1} W [qC_4 - (C_4 - C_2) \gamma_p q_{\text{К}}] \right\} \quad (3.55)$$

Примерные распределения показателей  $\gamma_p b_{\text{КХ}} = \gamma b_{\text{К}} = b_{\text{Э}}^{\text{ЭК}} = \text{const}$  и  $b_{\text{ТЭХ}}^{\text{ЭК}} = b_{\text{ТЭ}}^{\text{ЭК}}$  приведены на рис. 3.5а, 3.5б и выполнены на основании формулы (3.55) в двух случаях: при значениях коэффициентов  $\alpha_q = 0$ ,  $\alpha_{\text{СН}}^{\text{Э}} = 1$ ,

$\alpha_{\text{СН}}^{\text{Т}} = 0$ ,  $\beta_{\text{Э}} = 1$ ,  $\beta_{\text{СН}}^{\text{Э}} = 1$ ,  $\beta_{\text{СН}}^{\text{Т}} = 0$  (рис. 3.5а), отвечающих «физическому методу», и при произвольно установленных значениях (рис. 3.5б)  $\alpha_q = 1$ ,

$\alpha_{\text{СН}}^{\text{Э}} = 0$ ,  $\alpha_{\text{СН}}^{\text{Т}} = 1$ ,  $\beta_{\text{Э}} = 0$ ,  $\beta_{\text{СН}}^{\text{Э}} = 0$ ,  $\beta_{\text{СН}}^{\text{Т}} = 1$ .

### 3.3.3. Пропорциональный метод

На рис. 3.6 приведены результаты аналогичных расчётов, выполненных на основании разделения топлива по так называемому [36, 39] «пропорциональному методу», в котором соблюдается условие:  $b_{\text{ТЭЦ}} = b_{\text{ЭХ}} - b_{\text{ТЭХ}}$ . С помощью формул (2.75), (2.81), (2.82) устанавливаем, что данное условие  $b_{\text{ТЭЦ}} = b_{\text{ЭХ}} - b_{\text{ТЭХ}} = (2\Psi + \Psi)/\Psi$  не зависит от значений коэффициентов пропорциональности  $\alpha_q$ ,  $\alpha_{\text{СН}}^{\text{Э}}$ ,  $\alpha_{\text{СН}}^{\text{Т}}$ ,  $\beta_{\text{Э}}$ ,  $\beta_{\text{СН}}^{\text{Э}}$ ,  $\beta_{\text{СН}}^{\text{Т}}$  за исключением показателя  $W_{\text{ГР}}^{\text{ПР}} = W_{\text{ГР}}$ , вычисляемого по формуле (2.78).

### 3.3.4. Унификация показателей.

Подобие технологических процессов при комбинированном производстве тепло- и электроэнергии на разных энергоисточниках позволяет сделать оценку их тепло- и электроспособностей [8, 44, 45] по величине определенного критерия, представляющего собой функцию основных независимых переменных в исследуемом энергоисточнике, а именно: затрат топлива и величины объемов производства. На основании теории размерности и  $\pi$ -теоремы [46] упомянутый критерий (назовем его критерием теплоспособности) представим в виде:

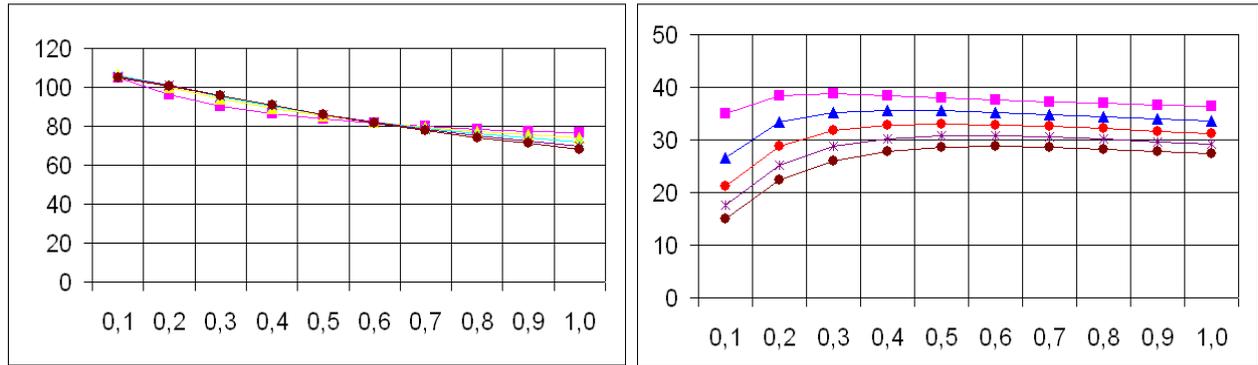
$$\Phi_q = \frac{Q_0^2}{BQ_y \text{Э}_0} = \frac{Q_0 \Psi}{BQ_y W}, \quad (3.56)$$

С учётом балансовых уравнений (2.52), (2.53) в разделе 2.3 и зависимости  $\Psi W^{-1} = Q_0 \text{Э}_0^{-1}$ , уравнение (3.56) представим как функцию от  $\eta_{\text{ТЭЦ}}$  в таком виде:

$$\Phi_q = \eta_{\text{ТЭЦ}} \Psi W^{-1} (1 + \Psi^{-1} W)^{-1}. \quad (3.57)$$

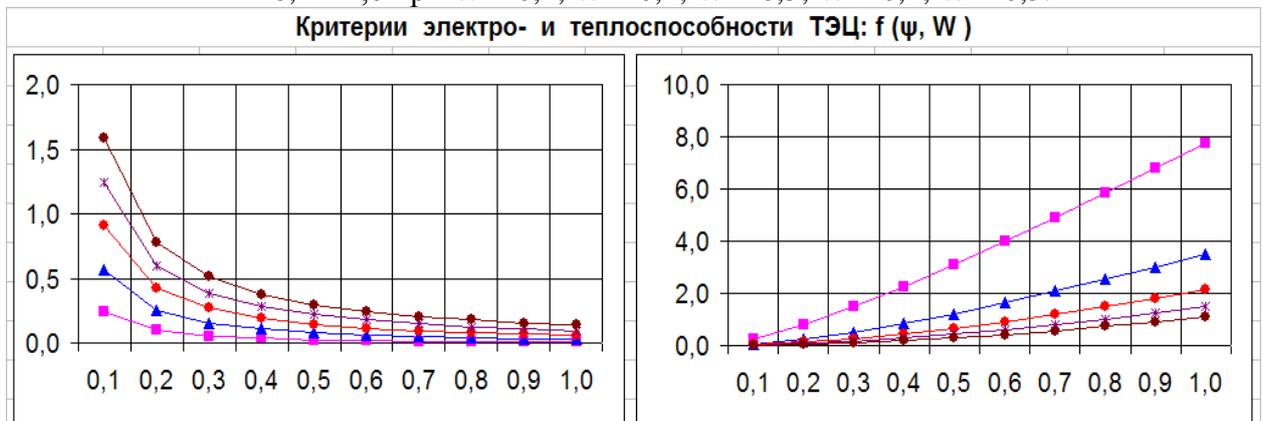
Аналогичную оценку «электроспособности»  $\Phi_{\text{Э}}$  энергоисточника с

Уд. расходы топлива:  $f(\psi, W)$ . Пропорциональный метод метод:  $b_{ТЭЦ} = b_{ЭХ} - b_{ТЭХ}$ ;  $W^{np}_{ГД} = 0,0127$   
 $0 \leq \alpha_q \leq 1$ ;  $0 \leq \alpha^3_{ch} \leq 1$ ;  $0 \leq \alpha^T_{ch} \leq 1$ ;  $0 \leq \beta_3 \leq 1$ ;  $0 \leq \beta^3_{ch} \leq 1$ ;  $0 \leq \beta^T_{ch} \leq 1$ . В данном примере:  
 $\alpha_q = 0$        $\alpha^T_{ch} = 1$        $\alpha^3_{ch} = 0$        $\beta_3 = 1$        $\beta^T_{ch} = 1$        $\beta^3_{ch} = 0$



Обозн.	Разм.	W / $\Psi$	0,100	0,200	0,300	0,400	0,500	0,600	0,700	0,800	0,900	1,000
$b^{np}_{ЭХ}$	кг/ГДж	0,1	104,8	96,2	90,4	86,5	83,6	81,5	79,8	78,5	77,4	76,5
	кг/ГДж	0,2	106,5	100,1	94,1	89,2	85,3	82,2	79,6	77,4	75,6	74,0
	кг/ГДж	0,3	106,1	100,9	95,4	90,3	86,0	82,2	79,1	76,3	73,9	71,8
	кг/ГДж	0,4	105,5	100,9	95,7	90,6	86,1	82,0	78,4	75,3	72,4	69,9
	кг/ГДж	0,5	104,9	100,6	95,6	90,6	85,9	81,6	77,8	74,3	71,1	68,3
$b^{np}_{ТЭХ}$	кг/ГДж	0,1	34,9	38,5	38,8	38,4	38,0	37,6	37,2	36,9	36,7	36,4
	кг/ГДж	0,2	26,6	33,4	35,3	35,7	35,6	35,2	34,8	34,4	34,0	33,6
	кг/ГДж	0,3	21,2	28,8	31,8	32,8	33,1	32,9	32,6	32,1	31,7	31,2
	кг/ГДж	0,4	17,6	25,2	28,7	30,2	30,7	30,8	30,5	30,1	29,6	29,1
	кг/ГДж	0,5	15,0	22,4	26,1	27,9	28,6	28,8	28,7	28,3	27,8	27,3

Рис. 3.6.(P1Ex). Изменение удельных расходов топлива в диапазоне  $\Psi = 0,1 - 1,0$  при  $W = 0,1$ ;  $W = 0,2$ ;  $W = 0,3$ ;  $W = 0,4$ ;  $W = 0,5$ .



**Критерии электро- и теплоспособности ТЭЦ:  $f(\psi, W)$**

Обозн.	Разм.	W / $\Psi$	0,100	0,200	0,300	0,400	0,500	0,600	0,700	0,800	0,900	1,000
$\Phi_3$	-	0,1	0,244	0,099	0,055	0,036	0,025	0,019	0,014	0,011	0,009	0,008
	-	0,2	0,569	0,256	0,155	0,106	0,078	0,061	0,048	0,040	0,033	0,028
	-	0,3	0,904	0,426	0,268	0,191	0,145	0,115	0,094	0,079	0,067	0,058
	-	0,4	1,242	0,601	0,388	0,282	0,219	0,177	0,148	0,126	0,109	0,096
	-	0,5	1,581	0,778	0,511	0,378	0,298	0,245	0,207	0,178	0,156	0,139
$\Phi_q$	-	0,1	0,24	0,79	1,49	2,27	3,12	4,00	4,91	5,84	6,78	7,74
	-	0,2	0,07	0,26	0,52	0,85	1,22	1,64	2,08	2,54	3,02	3,52
	-	0,3	0,03	0,13	0,27	0,45	0,67	0,92	1,20	1,50	1,82	2,16
	-	0,4	0,02	0,08	0,16	0,28	0,43	0,60	0,79	1,01	1,24	1,49
	-	0,5	0,01	0,05	0,11	0,19	0,30	0,42	0,57	0,73	0,91	1,11

Рис. 3.7. (P1Ex). Изменение критериев  $\Phi_3$  и  $\Phi_q$  в диапазоне  $\Psi = 0,1 - 1,0$  при  $W = 0,1$ ;  $W = 0,2$ ;  $W = 0,3$ ;  $W = 0,4$ ;  $W = 0,5$ .

комбинированной выработкой тепло- и электроэнергии на основании той же теории размерностей выразим в сравнении с величиной  $\Phi_q$  согласно (3.56):

$$\Phi_{\varepsilon} = \frac{\varepsilon_0^2}{BQ_y Q_0} = \Phi_q \frac{\varepsilon_0^3}{Q_0^3} = \Phi_q \Psi^{-3} W^3 = \eta_{\text{ТЭЦ}} \Psi^{-1} W (1 + \Psi W^{-1})^{-1}, \quad (3.58)$$

где на основании (3.56) и с помощью формул (2.52), (2.53), (2.75) критерий  $\Phi_q$  выразим так:

$$\left. \begin{aligned} \Phi_q &= \frac{\Psi^2 W^{-2}}{Q_y (b_{\varepsilon X} + \Psi W^{-1} b_{\text{ТЭЦ}})} = \frac{\Psi^2 W^{-2} \eta_{\text{ТЭЦ}}}{1 + \Psi W^{-1}} = \\ &= \eta_{\text{бр}} \eta_{\text{ТП}} \Psi^2 W^{-2} \left\{ [q_K (1 - \Psi) + \Psi q_T] C_4 + \Psi W^{-1} C_3 \right\}^{-1} \end{aligned} \right\} (3.59)$$

Суммарную тепло- и электроспособность энергоисточника, т. е. его энергоспособность  $\Phi_{\text{эq}}$ , представим как сумму:  $\Phi_{\text{эq}} = \Phi_{\varepsilon} + \Phi_q$ :

$$\left. \begin{aligned} \Phi_{\text{эq}} &= \eta_{\text{ТЭЦ}} (\varepsilon_0^2 + Q_0^2 - \varepsilon_0 Q_0) \varepsilon_0^{-1} Q_0^{-1} = \\ &= \eta_{\text{ТЭЦ}} \Psi^{-1} W (1 + \Psi^3 W^{-3}) (1 + \Psi W^{-1})^{-1} = \\ &= \eta_{\text{бр}} \eta_{\text{ТП}} \Psi^{-1} W (1 + \Psi^3 W^{-3}) \left\{ [q_K (1 - \Psi) + \Psi q_T] C_4 + \Psi W^{-1} C_3 \right\}^{-1} \end{aligned} \right\} (3.60)$$

В результате анализа (3.58) – (3.60) следует, что в предельных случаях

$$\lim_{\Psi \rightarrow 0} \Phi_q = 0, \quad \lim_{\Psi \rightarrow 0} \Phi_{\varepsilon} = \infty, \quad \lim_{\Psi \rightarrow 0} \Phi_{\text{эq}} = \infty, \quad (3.61a)$$

$$\lim_{\Psi \rightarrow 1} \Phi_q = \eta_{\text{бр}} \eta_{\text{ТП}} W^{-2} P, \quad \lim_{\Psi \rightarrow 1} \Phi_{\varepsilon} = \eta_{\text{бр}} \eta_{\text{ТП}} W P, \quad (3.61b)$$

$$\lim_{\Psi \rightarrow 1} \Phi_{\text{эq}} = \eta_{\text{бр}} \eta_{\text{ТП}} W (1 + W^{-3}) P, \quad (3.61в)$$

где

$$P = (q_T C_4 + W^{-1} C_3)^{-1}.$$

В отличие от  $\Phi_q$  и  $\Phi_{\varepsilon}$  суммарные показатели  $\Phi_{\text{эq}}$  имеют экстремумы (в частности, минимумы в диапазоне  $\Psi = 0 - 1$ ) при некоторых значениях  $\Psi = \Psi_M$ .

Анализ формулы (3.60) позволяет получить уравнение, определяющее экстремальные значения  $\Psi_M$ :

$$\Psi_M^4 K_1 K_3 + 2 \Psi_M^3 K_1 K_4 - 2 \Psi_M K_2 K_3 - K_2 K_4 = 0, \quad (3.62)$$

где

$$K_1 = W^{-2} \eta_{\text{бр}} \eta_{\text{ТП}}$$

$$K_2 = W \eta_{\text{бр}} \eta_{\text{ТП}}$$

$$K_3 = W^{-1} C_3 - (q_K - q_T) C_4,$$

$$K_4 = q_K C_4.$$

На основании тех же исходных данных из раздела 2.3 в результате решения уравнения (3.62) и последующего определения значений  $\Phi_{\text{эq}}^{\min}$  из уравнения (3.60) получаем (рис. 3.9): при  $W=0,01$   $\Psi_M=0,00895$ ,  $\Phi_{\text{эq}}^{\min}=0,444$ ; при  $W=0,2$   $\Psi_M=0,1715$ ,  $\Phi_{\text{эq}}^{\min}=0,4819$ ; при  $W=0,4$   $\Psi_M=0,3295$ ,  $\Phi_{\text{эq}}^{\min}=0,5279$ .

При оценках тепло- и электроспособностей энергоисточников целесообразно использовать относительные значения показателей  $\Phi_q$  и  $\Phi_{\text{э}}$ , представляя их в виде отношений к показателю  $\Phi_{\text{эq}}$ . Тогда на основании (3.59), (3.60) определяем:

$$\left. \begin{aligned} \sigma_{q/\text{эq}}^{\Phi} &= \Phi_q / \Phi_{\text{эq}} = Q_0^3 (\mathcal{E}_0^3 + Q_0^3)^{-1} = (1 + \Psi^{-3} W^3)^{-1}, \\ \sigma_{\text{э}/\text{эq}}^{\Phi} &= \Phi_{\text{э}} / \Phi_{\text{эq}} = \mathcal{E}_0^3 (\mathcal{E}_0^3 + Q_0^3)^{-1} = (1 + \Psi^3 W^{-3})^{-1}. \end{aligned} \right\} \quad (3.63)$$

В результате анализа (3.63) следует, что

$$\left. \begin{aligned} \lim_{\Psi \rightarrow 0} \sigma_{q/\text{эq}}^{\Phi} &= 0, & \lim_{\Psi \rightarrow 1} \sigma_{q/\text{эq}}^{\Phi} &= (1 + W^3)^{-1}, \\ \lim_{\Psi \rightarrow 0} \sigma_{\text{э}/\text{эq}}^{\Phi} &= 1, & \lim_{\Psi \rightarrow 1} \sigma_{\text{э}/\text{эq}}^{\Phi} &= (1 + W^{-3})^{-1}. \end{aligned} \right\} \quad (3.64)$$

В отличие от рассмотренных критериев тепло- ( $\Phi_q$ ), электро- ( $\Phi_{\text{э}}$ ) и энергоспособностей ( $\Phi_{\text{эq}}$ ) введём аналогичные понятия электро-, тепло- и энергоэффективностей:  $\Omega_{\text{э}}$ ,  $\Omega_q$  и  $\Omega_{\text{эq}} = \Omega_{\text{э}} + \Omega_q$ . На основании теории размерностей запишем:

$$\Omega_{\text{э}} = \mathcal{E}_0^2 [BQ_y (\mathcal{E}_0 + Q_0)]^{-1} = \mathcal{E}_0^2 \eta_{\text{тэц}} (\mathcal{E}_0 + Q_0)^{-2} = \eta_{\text{тэц}} (1 + \Psi W^{-1})^{-2}, \quad (3.65)$$

$$\Omega_q = Q_0^2 [BQ_y (\mathcal{E}_0 + Q_0)]^{-1} = Q_0^2 \eta_{\text{тэц}} (\mathcal{E}_0 + Q_0)^{-2} = \eta_{\text{тэц}} (1 + \Psi^{-1} W)^{-2}, \quad (3.66)$$

$$\left. \begin{aligned} \Omega_{\text{эq}} &= \Omega_{\text{э}} + \Omega_q = (\mathcal{E}_0^2 + Q_0^2) [BQ_y (\mathcal{E}_0 + Q_0)^{-2}] = \\ &= \eta_{\text{тэц}} (\mathcal{E}_0^2 + Q_0^2) (\mathcal{E}_0 + Q_0)^{-2} = \\ &= \eta_{\text{тэц}} (1 + \Psi^2 W^{-2}) (1 + \Psi W^{-1})^{-2}, \end{aligned} \right\} \quad (3.67)$$

где  $\eta_{\text{тэц}}$  и удельный расход топлива  $b_{\text{тэц}}$  на суммарный отпуск  $\mathcal{E}_0$  и  $Q_0$  вычисляются по формуле (2.75) из главы 2.

Предельные значения  $\Omega_{\text{э}}$  и  $\Omega_q$  при  $\Psi = 0$ ,  $\Psi = 1$  и  $W > 0$  определим на основании (3.65), (3.66) с учётом формул (2.75), (2.78) и того, что  $m = Q_y \eta_{\text{бр}} \eta_{\text{тп}}$ :

$$\lim_{\Psi \rightarrow 0} \eta_{\text{тэц}} = Q_y^{-1} \lim_{\Psi \rightarrow 0} b_{\text{тэц}}^{-1} = Q_y^{-1} m q_{\text{к}}^{-1} C_4^{-1} = \eta_{\text{бр}} \eta_{\text{тп}} q_{\text{к}}^{-1} C_4^{-1} = \eta_{\text{кэс}};$$

$$\lim_{\Psi \rightarrow 0} \Omega_{\text{э}} = (1 + \Psi W^{-1})^{-2} \lim_{\Psi \rightarrow 0} \eta_{\text{тэц}} = \eta_{\text{кэс}};$$

$$\lim_{\Psi \rightarrow 0} \Omega_q = (1 + \Psi^{-1}W)^{-2} \lim_{\Psi \rightarrow 0} \eta_{ТЭЦ} = 0;$$

$$\lim_{\Psi \rightarrow 1} \eta_{ТЭЦ} = Q_y^{-1} \lim_{\Psi \rightarrow 1} b_{ТЭЦ}^{-1} = Q_y^{-1} m (1 + W^{-1})(q_T C_4 + W^{-1}C_3)^{-1} =$$

$$= \eta_{\text{бп}} \eta_{\text{ТП}} (1 + W^{-1})(q_T C_4 + W^{-1}C_3)^{-1};$$

$$\lim_{\Psi \rightarrow 1} \Omega_{\text{э}} = \eta_{\text{бп}} \eta_{\text{ТП}} (1 + W^{-1})^{-1} (q_T C_4 + W^{-1}C_3)^{-1};$$

$$\lim_{\Psi \rightarrow 1} \Omega_q = \eta_{\text{бп}} \eta_{\text{ТП}} W^{-1} (1 + W)^{-1} (q_T C_4 + W^{-1}C_3)^{-1}.$$

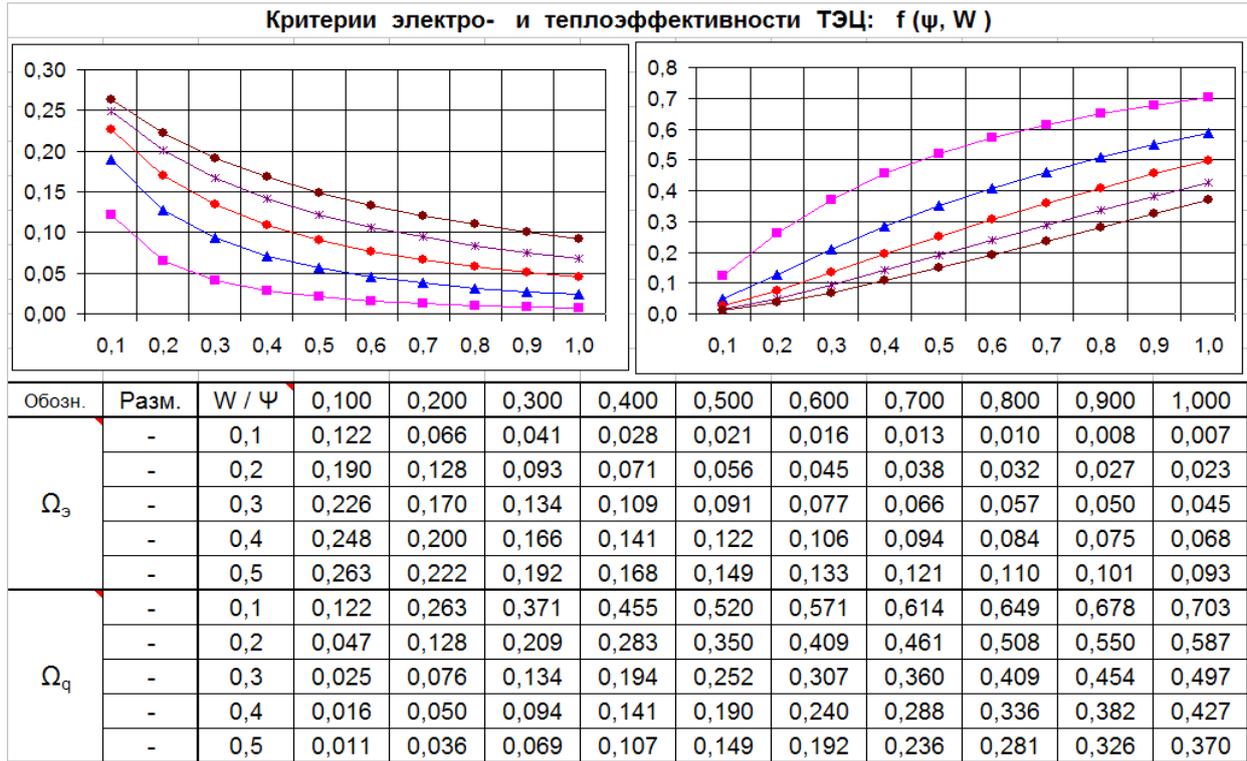


Рис. 3.8. (Р1Ех). Изменение критериев  $\Omega_3$  и  $\Omega_q$  в диапазоне  $\Psi = 0,1 - 1,0$  при  $W = 0,1; W = 0,2; W = 0,3; W = 0,4; W = 0,5$ .

В дальнейшем критерии эффективности  $\Omega_q$  и  $\Omega_3$  из учёта соотношения [21]  $QЭ^{-1} = \Psi W^{-1}$  также целесообразно представлять в виде их относительных величин в сравнении со значением  $\Omega_{\text{эq}}$ , т. е.

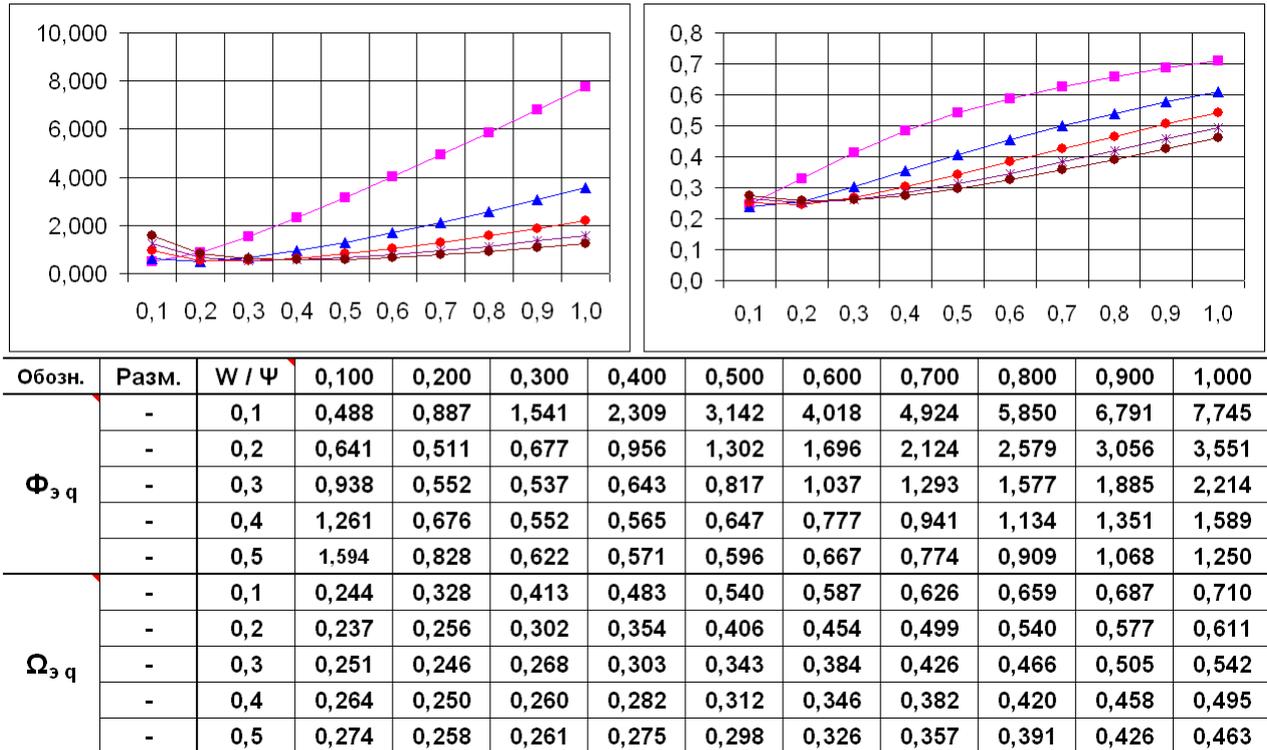
$$\delta_{q/\text{эq}}^{\Omega} = \Omega_q / \Omega_{\text{эq}} = Q_0^2 (\mathcal{E}_0^2 + Q_0^2)^{-1} = (1 + \Psi^{-2} W^2)^{-1}, \quad (3.68)$$

$$\delta_{\text{э}/\text{эq}}^{\Omega} = \Omega_3 / \Omega_{\text{эq}} = \mathcal{E}_0^2 (\mathcal{E}_0^2 + Q_0^2)^{-1} = (1 + \Psi^2 W^{-2})^{-1}. \quad (3.69)$$

Соответственно

$$\lim_{\Psi \rightarrow 0} \delta_{q/\text{эq}}^{\Omega} = 0, \quad \lim_{\Psi \rightarrow 1} \delta_{q/\text{эq}}^{\Omega} = (1 + W^2)^{-1},$$

$$\lim_{\Psi \rightarrow 0} \delta_{\text{э}/\text{эq}}^{\Omega} = 1, \quad \lim_{\Psi \rightarrow 1} \delta_{\text{э}/\text{эq}}^{\Omega} = (1 + W^{-2})^{-1}.$$

Критерии энергоспособности и энергоэффективности ТЭЦ:  $f(\psi, W)$ Рис. 3.9. (P1Ex). Изменение критериев  $\Phi_{эq}$  и  $\Omega_{эq}$  в диапазоне  $\Psi = 0,1 - 1,0$  при  $W = 0,1; W = 0,2; W = 0,3; W = 0,4; W = 0,5$ .

Практический интерес представляют собой показатели, характеризующие степени использования располагаемых тепло- ( $\sigma_{\Omega/\Phi}^q$ ), электро- ( $\sigma_{\Omega/\Phi}^э$ ) и энергоспособностей ( $\sigma_{\Omega/\Phi}^{эq}$ ) энергоисточников:

$$\sigma_{\Omega/\Phi}^q = \Omega_q / \Phi_q = \mathcal{E}_o (\mathcal{E}_o + Q_o)^{-1} = (1 + \Psi W^{-1})^{-1} \leq 1, \quad (3.70)$$

$$\sigma_{\Omega/\Phi}^э = \Omega_э / \Phi_э = Q_o (\mathcal{E}_o + Q_o)^{-1} = (1 + \Psi^{-1} W)^{-1} \leq 1, \quad (3.71)$$

$$\sigma_{\Omega/\Phi}^{эq} = \Omega_{эq} / \Phi_{эq} = \mathcal{E}_o Q_o (\mathcal{E}_o^2 + Q_o^2) (\mathcal{E}_o + Q_o)^{-1} (\mathcal{E}_o^3 + Q_o^3)^{-1} = \left. \begin{aligned} &= (1 + \Psi^2 W^{-2}) (1 + \Psi^{-1} W)^{-1} (1 + \Psi^3 W^{-3})^{-1} \leq 1. \end{aligned} \right\} (3.72)$$

Соответственно:

$$\lim_{\Psi \rightarrow 0} \bar{\sigma}_{\Omega/\Phi}^q = 1, \quad \lim_{\Psi \rightarrow 0} \bar{\sigma}_{\Omega/\Phi}^э = 0, \quad \lim_{\Psi \rightarrow 0} \bar{\sigma}_{\Omega/\Phi}^{эq} = 0;$$

$$\lim_{\Psi \rightarrow 1} \bar{\sigma}_{\Omega/\Phi}^q = (1 + W^{-1})^{-1}, \quad \lim_{\Psi \rightarrow 1} \bar{\sigma}_{\Omega/\Phi}^э = (1 + W)^{-1};$$

$$\lim_{\Psi \rightarrow 1} \bar{\sigma}_{\Omega/\Phi}^{эq} = (1 + W^{-2}) (1 + W)^{-1} (1 + W^{-3})^{-1}.$$

Результаты примерных значений показателей  $\Phi_q, \Phi_э, \Phi_{эq}, \Omega_э, \Omega_q, \Omega_{эq}, \bar{\sigma}_{q/эq}^{\Phi}, \bar{\sigma}_{э/эq}^{\Phi}, \bar{\sigma}_{э/эq}^{\Omega}, \bar{\sigma}_{q/эq}^{\Omega}, \sigma_{\Omega/\Phi}^q, \sigma_{\Omega/\Phi}^э$  и  $\sigma_{\Omega/\Phi}^{эq}$  в диапазоне от  $\Psi = 0,1$  до  $\Psi = 1$  при  $W = 0,1; W = 0,2; W = 0,3; W = 0,4$  и  $W = 0,5$  показаны на рис. 3.7 – 3.12.

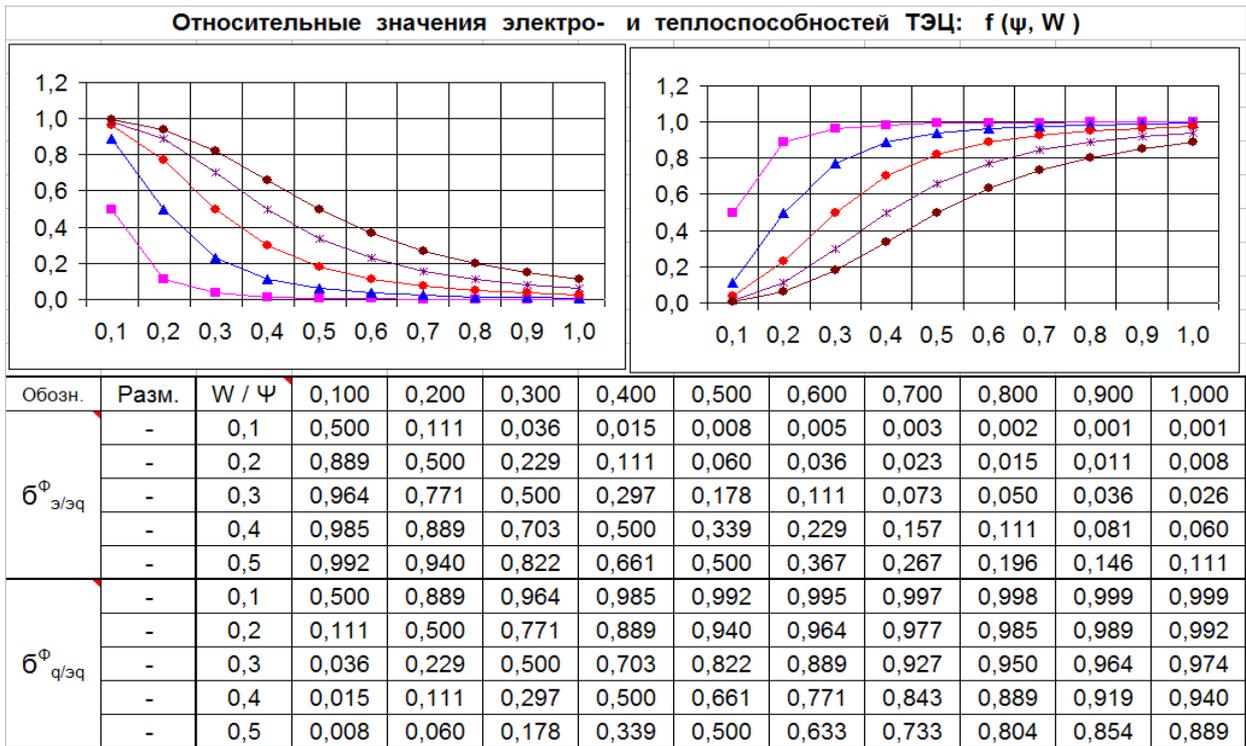


Рис. 3.10. (P1Ex).Изменение показателей  $b_{\text{эл/эq}}^{\Phi}$  и  $b_{\text{q/эq}}^{\Phi}$  в диапазоне  $\Psi = 0,1 - 1,0$  при  $W = 0,1; W = 0,2; W = 0,3; W = 0,4; W = 0,5.$ (P1Ex).

### 3.3.5. Технологический принцип.

Разделение топлива по данному принципу осуществляется на основании следующего условия:

$$\frac{b_{\text{эл}}^{\Gamma}}{b_{\text{ТЭ}}^{\Gamma}} = \left( \frac{\Phi_{\text{эл}}}{\Phi_{\text{q}}} \right)^n = \left( \frac{\overline{\Phi}_{\text{эл}}}{\overline{\Phi}_{\text{q}}} \right)^n = (\Psi^{-3}W^3)^n = X^{-3n}, \quad (3.73)$$

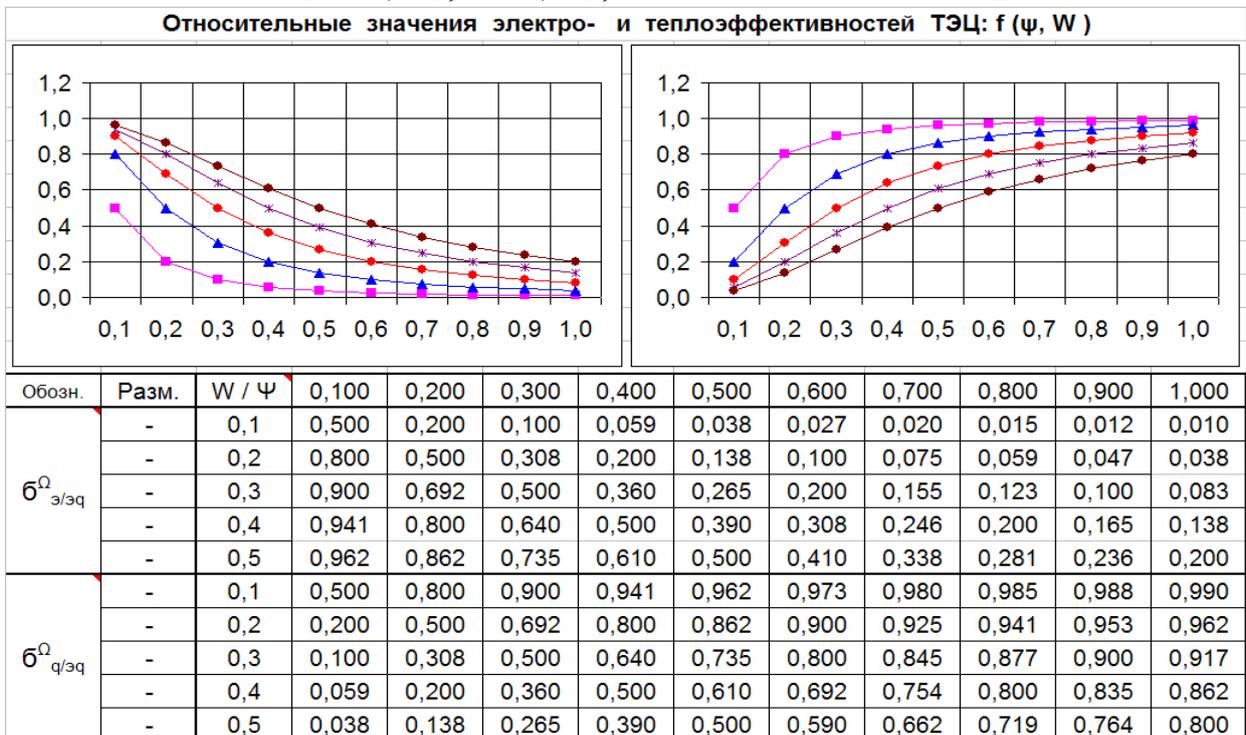


Рис. 3.11. (P1Ex).Изменение показателей  $b_{\text{эл/эq}}^{\Omega}$  и  $b_{\text{q/эq}}^{\Omega}$  в диапазоне  $\Psi = 0,1 - 1,0$  при  $W = 0,1; W = 0,2; W = 0,3; W = 0,4; W = 0,5.$

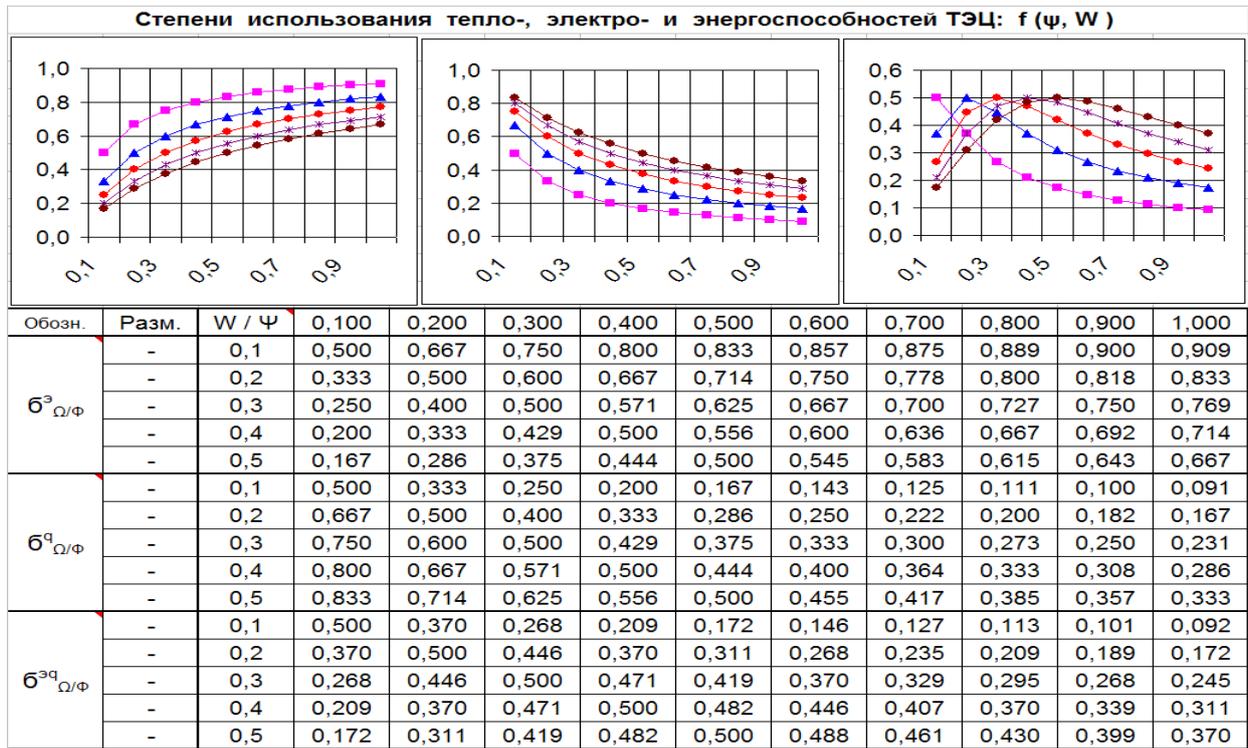


Рис. 3.12. (P1Ex). Изменение показателей  $b^3_{\Omega/\Phi}$  и  $b^q_{\Omega/\Phi}$   $b^{3q}_{\Omega/\Phi}$  в диапазоне  $\Psi = 0,1 - 1,0$  при  $W = 0,1; W = 0,2; W = 0,3; W = 0,4; W = 0,5$ .

где  $X = \Psi^{-1}W$ ,  $n$  – коэффициент, определяемый конъюнктурой рынка в период сбыта тепло- и электроэнергии.

На основании (3.73) с учетом результатов анализа, изложенных в разделе 2.3, определяем:

$$b_3^T = (qC_4 + XC_3)(1 + X^{3n+1})^{-1} m^{-1}, \quad (3.74)$$

$$b_{T3}^T = b_3^T X^{3n}, \quad (3.75)$$

Примерные распределения кривых  $b_3^T$  и  $b_{T3}^T$ , вычисленных по формулам (3.74), (3.75) при  $n = 1$ , показаны на рис. 3.13. Значение коэффициента  $n$  может быть как положительным ( $n > 0$ ), так и отрицательным ( $n < 0$ ). В случае  $n = 0$   $b_3^T = b_{T3}^T$ .

На основании анализа (3.74), (3.75) получаем уравнения с неизвестными  $\Psi = \Psi_3$  и  $\Psi = \Psi_{T3}$ , при которых соответствующие значения  $b_3^T$  и  $b_{T3}^T$  в диапазоне  $\Psi = 0 - 1$  оказываются экстремальными:

$$\Psi_3^{3n+1} K_{13} + \Psi_3^{3n} K_{23} + K_{33} = 0, \quad (3.76)$$

$$\Psi_{T3}^{3n+1} K_{1T} + \Psi_{T3} K_{2T} + K_{3T} = 0, \quad (3.77)$$

где

$$K_{13} = W^{-3n-1} 3n [C_3 W^{-1} - C_4 (q_k - q_T)],$$

$$K_{23} = W^{-3n-1} q_k C_4 (3n + 1),$$

$$K_{33} = -C_3 W^{-1} + C_4 (q_k - q_T),$$

$$K_{1T} = W^{-3n-1} C_4 q_k,$$

$$K_{2T} = -(3n + 1) [C_3 W^{-1} - C_4 (q_K - q_T)],$$

$$K_{3T} = -3n C_4 q_K.$$

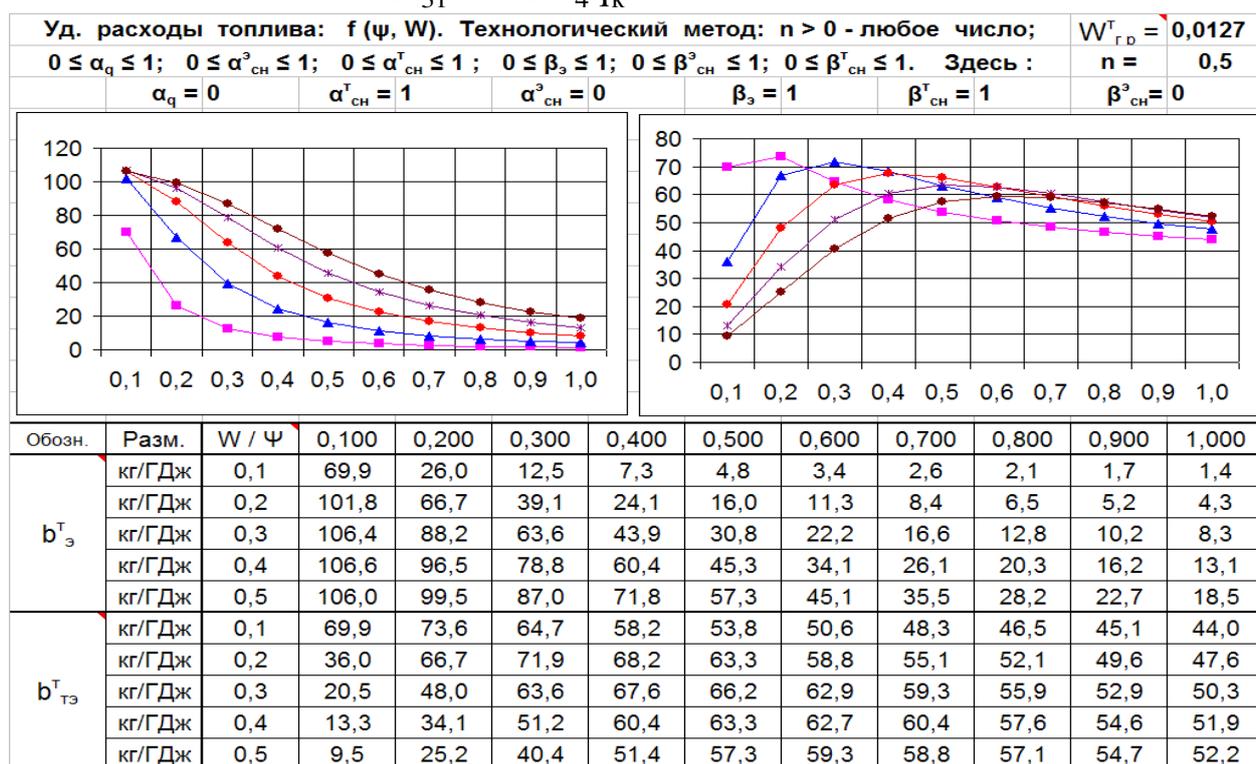


Рис. 3.13. (P1Ex). Изменение удельных расходов топлива в диапазоне  $\Psi = 0,1 - 1,0$  при  $W = 0,1$ ;  $W = 0,2$ ;  $W = 0,3$ ;  $W = 0,4$ ;  $W = 0,5$ .

Введение критериев подобия технологических и тарифообразовательных процессов при комбинированном производстве тепло- и электроэнергии позволит разработать соответствующие характеристики и показатели эффективности комплекса «Энергоисточник – Потребитель» в целом. Как видно, применительно к ТЭЦ эти критерии представляют собой функции основных независимых переменных в исследуемом энергоисточнике, а именно: суммарных затрат топлива  $W$  и объемов производства  $\mathcal{E}$  и  $Q$ . Это означает, что основные усилия следует направить на исследование комплекса «Энергоисточник – Потребитель» с использованием соответствующих критериальных уравнений, приведенных выше.

Серьезные сомнения вызывает сама основа, т. е. сам фундамент, на котором зиждется система тарифообразования комбинированных объемов тепло- и электроэнергии. В отличие от котельных и КЭС виртуальные свойства [21, 38] удельных расходов топлива  $b_{TЭХ}$  и  $b_{ЭХ}$  на ТЭЦ вызывают сомнения относительно правомерности их существования и отдельного использования в системе тарифообразования вообще. Этого нельзя сказать об удельном расходе топлива  $b_{TЭЦ}$  на суммарную продукцию  $Q + \mathcal{E}$ . Как видно, котельная, КЭС и ТЭЦ производят три разных вида продукции [35, 47, 48]:  $Q$ ,  $\mathcal{E}$  и  $(\mathcal{E} + Q)$ , а следовательно должны иметь и три вида тарифов, адекватных удельным расходам топлива на котельной ( $b_{TЭ}$ ), КЭС ( $b_{Э}$ ) и ТЭЦ ( $b_{TЭЦ}$ ). В отличие от котельной и КЭС продукция ТЭЦ имеет ещё дополнительный «сертификат»,

т. е. характеризуется специфическими показателями комбинированной выработки  $\Psi$  и  $W$ .

Факт влияния (в разной степени) каждого потребителя на суммарные показатели ТЭЦ  $\Psi$  и  $W$ , т. е. на показатель  $b_{ТЭЦ}$ , к сожалению, не принимается во внимание [48] соответствующими кругами при формировании дифференцированных тарифов на тепло- и электроэнергию. Эта особенность потребителей ТЭЦ отмечается также в работах [35, 36]. В частности, автор работы [35] по поводу формирования и значимости показателя  $b_{ТЭЦ}$  высказывается так: «...каждый житель, потребляющий тепло отработанного пара ТЭЦ, является самым выгодным потребителем, который обеспечивает 28-50% топлива не только для себя но, и для других потребителей электроэнергии, не потребляющих тепло от ТЭЦ». Судя по всему, такого же мнения придерживаются и авторы работы [36], с сомнением вопрошая (имея в виду показатели ТЭЦ  $b_{ЭХ}$  и  $b_{ТЭХ}$ ): «...для чего нужны удельные расходы топлива?».

Тенденция [38 – 43] к выявлению нового («истинного») соотношения показателей  $b_{ЭХ}/b_{ТЭХ}$ , напоминает упорные поиски «философского камня». В противовес этой тенденции предлагается альтернативная позиция [8, 9, 49]: изучение и выявление автомодельных свойств технологических процессов энергетического оборудования, его взаимосвязей с потребителями на основании прозрачного механизма тарифообразования.

Введение критериев подобия технологических и тарифообразовательных процессов при комбинированном производстве тепло- и электроэнергии позволит разработать соответствующие характеристики и показатели эффективности комплекса «Энергоисточник – Потребитель» в целом. В частности, применительно к ТЭЦ эти критерии представляют собой функции основных независимых переменных в исследуемом энергоисточнике, а именно: суммарных затрат топлива  $B$  и объемов производства  $\mathcal{E}$  и  $Q$ . Это означает, что основные усилия следует направить на исследование комплекса «Энергоисточник – Потребитель» с использованием соответствующих критериальных уравнений. На основании теории размерности, как уже было изложено, упомянутые критерии уже разработаны. В порядке сопоставления представим их в зависимости от  $\eta_{ТЭЦ}$  в таком виде [48, 49]:

- критерии теплоспособности и теплоэффективности

$$\Phi_q = \eta_{ТЭЦ} \Psi W^{-1} (1 + \Psi^{-1} W)^{-1} = \eta_{ТЭЦ} Q \mathcal{E}^{-1} (1 + Q^{-1} \mathcal{E})^{-1},$$

$$\Omega_q = \eta_{ТЭЦ} (1 + \Psi^{-1} W)^{-2} = \eta_{ТЭЦ} (1 + Q^{-1} \mathcal{E})^{-2};$$

- критерии электроспособности и электроэффективности

$$\Phi_{\mathcal{E}} = \eta_{ТЭЦ} \Psi^{-1} W (1 + \Psi W^{-1})^{-1} = \eta_{ТЭЦ} Q^{-1} \mathcal{E} (1 + Q \mathcal{E}^{-1})^{-1},$$

$$\Omega_{\mathcal{E}} = \eta_{ТЭЦ} (1 + \Psi W^{-1})^{-2} = \eta_{ТЭЦ} (1 + Q \mathcal{E}^{-1})^{-2};$$

- критерии энергоспособности и энергоэффективности

$$\Phi_{\varepsilon q} = \Phi_{\varepsilon} + \Phi_q = \eta_{\text{ТЭЦ}} Q^{-1} \varepsilon (1 + Q^3 \varepsilon^{-3}) (1 + Q \varepsilon^{-1})^{-1},$$

$$\Omega_{\varepsilon q} = \Omega_{\varepsilon} + \Omega_q = \eta_{\text{ТЭЦ}} (1 + Q^2 \varepsilon^{-2}) (1 + Q \varepsilon^{-1})^{-2}.$$

Игнорирование тенденций к изучению такого направления в экономике энергетики надолго затормозит технический прогресс в этой области народного хозяйства, довольствуясь той реформой, которая уже сделана, т. е. основанной на разработанных виртуальных показателях  $b_{\varepsilon}^{\text{зам}}$  и  $b_{\text{ТЭ}}^{\text{ЭК}}$ .

Практический опыт показывает, что при всей своей декоративной привлекательности упомянутая реформа [24] обоснования тарифов не перспективна, она носит временный и тупиковый характер по причинам, указанным выше. Очень скоро (если не уже) она станет серьёзным препятствием на пути дальнейшего развития гармоничной связи между тарифами (тем более на внешнем рынке) и удельными расходами топлива на энергоисточниках. Причина проста: она усугубляет пропасть между тарифами на реально потребляемую тепло- и электроэнергию и их виртуальными аналогами – себестоимостями на ТЭЦ. Вектор тарифообразования на рынке должен быть направлен в сторону себестоимости тепло- и электроэнергии [45, 47, 48], а не наоборот, как это выглядит сейчас.

Кстати, о рынке. В условиях монопольного производства тепло- и электроэнергии, объединённого единой энергосистемой (а иначе нельзя), рынок как таковой для потребителя не существует. Его ещё нужно создать и нужно ли? Это отдельная тема для исследования. В настоящее время понятие рынка для потребителя тепло- и электроэнергии сводится только к одной альтернативе – к созданию своего собственного энергоисточника. Поэтому в данных условиях процессы тарифообразования должны удовлетворять потребности и Потребителя и Энергоисточника одновременно. Действующая сейчас модель комплекса «Энергоисточник – Потребитель» «страдает» отсутствием регулируемых обратных связей. Введение их [36, 47] позволит разработать прозрачную систему тарифообразования, основанную на объективных критериях тепло-, электро-, энергоэффективностей и энергоспособностей каждого энергоисточника и потребителя в отдельности. Последующее изучение автоматических процессов ценообразования необходимо для решения и оптимизации ряда народнохозяйственных задач, связанных как с производством энергии, так и с её потреблением. Такая задача разрешима и должна быть направлена на выявлении связей между свойствами отдельных энергоисточников и свойствами его потребителей, увязанных между собой критериями подобия. Необходимость её выполнения уже назрела. Судя по всему, такого же мнения придерживаются и наши коллеги [36], которые утверждают: *«Иными словами, ценообразование на ТЭ является первичным, а определение удельного расхода топлива – производным, вторичным... В первую очередь должна решаться задача формирования цен на ТЭ и ЭЭ (тарифной политики), и лишь затем – определяться удельные расходы топлива».*

### 3.3.6. Анализ исходных данных.

Можно заметить, что в нетрадиционном методе анализа отсутствуют такие показатели [14], как расходы электроэнергии на собственные нужды котлов, то же – турбоагрегатов. Нет таких разделений, как удельные расходы электроэнергии на собственные нужды по выработке электроэнергии (%), то же по отпуску теплоты (кВт·ч/Гкал). Нет необходимости при каждом расчете определять коэффициент отнесения затрат топлива котлами на производство электроэнергии и т.д.

Таким образом, изложенные выше материалы исследования позволяют определить обобщенные технико-экономические показатели (ТЭП) энергоисточника  $q$ ,  $b_{\text{э}}$ ,  $b_{\text{тэ}}$ ,  $b_{\text{тэц}}$ ,  $\eta_{\text{тэц}}$  и его тепло- и электроспособности  $\Phi_q$  и  $\Phi_{\text{э}}$  на основании формул (2.53), (2.56), (2.58), (2.59), (2.75), (3.56), (3.58). Исходными данными в этих случаях являются: объемы производства  $\mathcal{E}_0$  и  $Q_0$ ; расходы тепло- и электроэнергии на собственные нужды  $Q_{\text{сн}}^{\text{э,т}}$ ,  $\mathcal{E}_{\text{сн}}^{\text{э,т}}$ ; КПД брутто котлов  $\eta_{\text{бр}}$  и теплового потока  $\eta_{\text{тп}}$ ; суммарный расход топлива  $W$ . Обобщенные показатели  $\Psi$ ,  $W$ ,  $q_{\text{к}}$ ,  $q_{\text{т}}$  могут определяться путем соответствующих расчетов [22, 50] из учёта того, что,  $q_{\text{к}} = (\eta_{\text{т}} \eta_{\text{oi}} \eta_{\text{м}} \eta_{\text{г}})^{-1}$ ,  $q_{\text{т}} = (\eta_{\text{м}} \eta_{\text{г}})^{-1}$ . Тогда на основании формул (2.56), (2.71) показатель  $\Psi$  определяется как функция остальных исходных данных:

$$\Psi = \frac{q_{\text{к}} - q}{q_{\text{к}} - q_{\text{т}}} = (q_{\text{к}} - q_{\text{т}})^{-1} \left[ q_{\text{к}} - \frac{BQ_y \eta_{\text{бр}} \eta_{\text{тп}} - Q_0 (1 + \bar{Q}_{\text{сн}}^{\text{э}} + \bar{Q}_{\text{сн}}^{\text{т}})}{\mathcal{E}_0 (1 + \bar{\mathcal{E}}_{\text{сн}}^{\text{э}} + \bar{\mathcal{E}}_{\text{сн}}^{\text{т}})} \right], \quad (3.78)$$

а величина  $W$  так:

$$W = \Psi \mathcal{E}_0 Q_0^{-1} \quad (3.79)$$

Показатель  $q_{\text{к}}$  можно определять также путем организации систематической обработки результатов анализа двух сопоставимых режимов работы энергоисточника при  $W_1 \approx W_2 = W = \text{const}$ . В соответствии с этим на основании формулы (2.69) и формул (2.75), (2.71) получаем:

$$q_{\text{к}} = \frac{q_2 L_2 R_1 - q_1 L_1 R_2}{L_2 R_1 - L_1 R_2}, \quad (3.80)$$

где для режимов 1 и 2 соответственно:

$$R_{1,2} = b_{\text{тэц}1,2} m_{1,2} - q_{1,2} C_{41,2},$$

$$L_{1,2} = b_{\text{тэц}1,2} m_{1,2} - C_{31,2},$$

$$m_{1,2} = Q_y \eta_{\text{бр}1,2} \eta_{1,2},$$

$$C_{31,2} = 1 + \bar{Q}_{\text{сн}1,2}^{\text{э}} + \bar{Q}_{\text{сн}1,2}^{\text{т}},$$

$$C_{41,2} = 1 + \bar{\mathcal{E}}_{\text{сн}1,2}^{\text{э}} + \bar{\mathcal{E}}_{\text{сн}1,2}^{\text{т}}.$$

Значения  $\Psi$  и  $W$  определяются по формулам (3.78), (3.79).

**ВЫВОДЫ И РЕКОМЕНДАЦИИ.**

Показано, что в основе определения удельных расходов топлива на энергоисточниках с комбинированным производством тепло- и электроэнергии лежат сугубо условные принципы. В порядке примеров рассмотрены три из них, которые по своей сути являются ключевыми и принципиально различными. Разработаны критерии оценок тепло-, электро-, энергоспособностей и энергоэффективностей энергоисточников. Определены общие тенденции освоения данного метода оценок ТЭП на практике.

Материалы исследования рекомендуются для соответствующей ориентации специалистов, занимающимся разработкой гибкой системы тарифообразования тепло- и электроэнергии в условиях рынка. В связи с этим рассмотрены вопросы, касающиеся основ формирования тарифов на тепло- и электроэнергию, воспроизводимую комбинированным способом на ТЭЦ. На основании результатов соответствующего анализа утверждается, что метод формирования тарифов, основанный на разделении топливных затрат носит «однобокий» и временный характер в интересах Энергоисточника, т. е. Поставщика тепло- и электроэнергии. В порядке альтернативы предлагается разработать другой метод, основанный на изучении свойств и автоматических процессов тарифообразования в пределах комплекса «Энергоисточник – Потребитель» с соблюдением условий взаимовыгоды и «Покупателя» и «Поставщика».

1. Определены рабочие формулы и даны основные направления по дальнейшей реализации нетрадиционного метода анализа ТЭП в условиях производства.

2. Разработаны критерии оценок тепло-, электро-, энергоспособностей и энергоэффективностей энергоисточников с комбинированной выработкой одноимённой продукции.

3. В порядке альтернативы рассмотрены три (ключевые по своему содержанию и направлениям) варианты разделения топлива на две составляющие. Два из них (варианты разделения по экономическому и технологическому принципам) могут быть положены в основу разработки гибкой системы тарифов на тепло- и электроэнергию.

4. Следует признать нецелесообразными дальнейшие поиски «оптимальных» соотношений виртуальных показателей  $b_{\text{ЭХ}} / b_{\text{ТЭХ}}$  на ТЭЦ и заменить их реальными показателями  $b_{\text{ТЭЦ}}$ ,  $\Psi$  и  $W$ .

5. Обоснована необходимость в разработках критериев подобия ряда технологических процессов в комплексе Энергоисточник – Потребитель и определения функций в системе их взаимодействия.

### **3.4. Влияние загрузки потребителей на систему формирования индивидуальных тарифов.**

Опыт показывает, что монополярная система ценообразования на энергоносители имеет ряд недостатков, в результате которых многие энергоёмкие производства вынуждены создавать у себя собственные источники тепло- и электроэнергии. Это усугубляет и без того нарастающую тенденцию ухудшения экономических показателей в отраслях, ТЭЦ и котельных.

Дальнейшее развитие таких противоположных тенденций в вопросах топливоиспользования со стороны промышленных предприятий и энергосистем недопустимо, т. к. это усугубляет процесс удорожания себестоимости продукции на предприятиях с одной стороны, и разрушает основные фонды энерговооруженности РБ, созданных десятилетиями, с другой. Анализ сложившейся ситуации в вопросах топливоиспользования [42, 43] приводит к необходимости изыскания новых форм взаимоотношений между потребителями и поставщиками тепло- и электроэнергии, основанных на принципах сотрудничества и взаимной выгоды. Это укрепит технико-экономические позиции обеих сторон по отношению к внешнему рынку.

Тарифообразование в энергетической отрасли это сложный и многоступенчатый процесс государственного масштаба, который постоянно совершенствуется с учётом реалий сегодняшнего дня. В течение многих десятилетий и в настоящее время принято считать, что тарифы на тепло- и электроэнергию (в среднем по энергосистеме равные  $T_{ТЭ}$  и  $T_э$ ) прямо пропорциональны себестоимостям отпускаемых объёмов тепло- и электроэнергии. До потребителей они доводятся, как определённые константы с учётом ряда льготных и прочих коэффициентов. Затраты денежных средств  $П_c$  энергосистемы, выдаваемой объёмы тепло- и электроэнергии в количестве  $Э_c$  и  $Q_c$ , компенсируются за счёт реализации её продукции у потребителей, исходя из расчёта:  $П_c = T_э Э_c + T_{ТЭ} Q_c$ . С позиций Энергосистемы все Потребители для неё равны независимо от сформированных ими структур ( $Э_i / Q_i$ ) потребляемой тепло- и электроэнергии. Автор одной работы [35] по этому поводу высказывается так: *«Существующая система формирования тарифов основана на социальном уравнивании тарифов на электрическую и тепловую энергии для всех потребителей – вне зависимости от того, способствуют ли они или нет снижению затрат при производстве тепловой и электрической энергии».*

Действующая в настоящее время система тарифообразования в энергетической отрасли предусматривает доминирующее влияние на неё удельных расходов топлива по энергосистеме в целом. В связи с этим энергосистема принимает все меры по обеспечению их достойного уровня, способствующего устойчивой рентабельности энергетического производства [25 – 27]. Тем не менее следует отметить, что общий объём тепловой и электрической загрузки оборудования энергосистемы формируется Потребителем, а Энергосистема решает вопросы, связанные с оптимизацией режимов своего производства. В основном это выражается в виде реальных мероприятий по организации теплофикационных режимов работы оборудования, его состава и... путём выполнения соответствующих расчётов [28] по своеобразной «корректировке» удельных расходов топлива на базе экономического метода перераспределения топливных затрат на отпущенную тепло- и электроэнергию. Причём, потребитель в этих мероприятиях играет пассивную роль и значения соответствующих тарифов доводятся до него в директивном порядке. В связи

с этим уместно задаться вопросом [9, 47, 48]: в какой мере любой  $i$  – ый потребитель реально (в порядке обратной связи) оказывает влияние на структуру и формирование теплофикационного режима работы энергосистемы, т. е. способствует её оптимальной загрузке или наоборот ? Каким образом эту долю участия его вклада в это мероприятие можно измерить и соответственно стимулировать ? Следуя традиционным аналогам, принятым в энергетике на сегодняшний день, показателями такого вклада каждого  $i$  – ого потребителя следует считать виртуальные удельные расходы топлива  $b_{i\mathcal{E}}^{ад}$  и  $b_{iT\mathcal{E}}^{ад}$ , отлич-

ные от средних по энергосистеме  $b_c^{\mathcal{E}}$  и  $b_c^{T\mathcal{E}}$ , но адекватные принимаемым объёмам тепло- и электроэнергии  $\mathcal{E}_i$  и  $Q_i$ . В отличие от «экономических» показателей назовём их «адекватными» оценками топливных затрат каждого  $i$  – го потребителя в области тарифообразования. Как видно, имеется ещё одна дополнительная «степень свободы» в механизме формирования тарифов, основанная на их индивидуализации. Причём, с появлением индивидуальных тарифов  $T_{iT\mathcal{E}}^{ад}$  и  $T_{i\mathcal{E}}^{ад}$  (адекватных удельным расходам  $b_{i\mathcal{E}}^{ад}$  и  $b_{iT\mathcal{E}}^{ад}$ ), средние значения их по энергосистеме  $T_{T\mathcal{E}}$  и  $T_{\mathcal{E}}$  сохраняются без измене-

ния. Происходит перераспределение денежных средств лишь между потребителями по такому принципу: тот, у которого адекватные удельные расходы  $b_{i\mathcal{E}}^{ад}$  и  $b_{iT\mathcal{E}}^{ад}$  больше, соответственно больше выплачивает денежных средств

$\Pi_{i\mathcal{E}}^{ад} = T_{i\mathcal{E}}^{ад} \mathcal{E}_i$  и  $\Pi_{iT\mathcal{E}}^{ад} = T_{iT\mathcal{E}}^{ад} Q_i$  за использованную энергию  $\mathcal{E}_i$  и  $Q_i$  и на-

оборот. При этом баланс денежных ( $\Pi_c$ ) и топливных ( $V_c$ ) затрат по энерго-

системе не меняется:  $\Pi_c = T_{\mathcal{E}} \mathcal{E}_c + T_{T\mathcal{E}} Q_c = \sum T_{i\mathcal{E}}^{ад} \mathcal{E}_i + \sum T_{iT\mathcal{E}}^{ад} Q_i = \sum \Pi_{i\mathcal{E}}^{ад} +$

$\sum \Pi_{iT\mathcal{E}}^{ад}$ ;  $\sum V_c = b_c^{\mathcal{E}} \mathcal{E}_c + b_c^{T\mathcal{E}} Q_c = \sum (b_{i\mathcal{E}}^{ад} \mathcal{E}_i) + \sum (b_{iT\mathcal{E}}^{ад} Q_i)$ .

Проблема индивидуализации тарифов на тепло- и электроэнергию не нова, она решается и по сей день разными способами. Предлагаемый вариант решения этой задачи на базе адекватных удельных расходов топлива практически не ущемляет интересов энергосистемы. Более того, своими потенциальными возможностями он способствует повышению экономичности энергосистемы в целом за счёт проявления заинтересованности потребителей в упорядочении своих тепловых  $Q_i$  и электрических  $\mathcal{E}_i$  нагрузок. Поэтому по мере заинтересованности компетентного круга специалистов в области тарифной политики государства такое предложение может найти свою достойную нишу в системе тарифообразования. В перспективе не исключается и такой итог, когда по мере своей адаптации метод оценки участия потребителей в формировании индивидуальных тарифов окажется основополагающим. Во всяком случае, целью данной работы является разработка теоретических основ для развития упомянутого метода и примерная демонстрация его практического эффекта.

Полагаем, что рассматриваемая энергосистема включает в свой состав энергоисточники типа ТЭЦ, КЭС, котельные и другие устройства, отпускающие в сеть суммарные объёмы тепло- и электроэнергии в количествах:

$$Q_c = Q_{ТЭЦ} + Q_{КЭС} + Q_{КС} = \sum Q_i^Y + Q_i^H + \Delta Q_{Пот}, \quad (3.81)$$

$$\mathcal{E}_c = \mathcal{E}_{ТЭЦ} + \mathcal{E}_{КЭС} + \mathcal{E}_{ПС} = \sum Q_i^Y + \mathcal{E}_i^H + \Delta \mathcal{E}_{Пот}, \quad (3.82)$$

где  $Q_{КС}$  и  $\mathcal{E}_{ПС}$  – суммарная нагрузка котельных и покупная электроэнергия;  $\sum Q_i^Y$ ,  $Q_i^H$  и  $\sum \mathcal{E}_i^Y + \mathcal{E}_i^H$  – суммарные тепловые и электрические нагрузки учётных и не учётных потребителей тепло- и электроэнергии;  $\Delta Q_{Пот}$  и  $\Delta \mathcal{E}_{Пот}$  – потери энергии в тепло- и электросетях.

Суммарное потребление топлива энергосистемой представим в виде:

$$B_c = B_{ТЭЦ} + B_{КЭС} + B_{КС} + B_{ПС}, \quad (3.83)$$

где  $B_{КС}$  и  $B_{ПС}$  – затраты топлива в котельных и виртуальный расход топлива, эквивалентный (согласно его цене  $\Pi_T$ ), стоимости покупной электроэнергии

$$T_{П}: B_{ПС} = \mathcal{E}_{ПС} T_{П} \Pi_T^{-1}.$$

Наличие в энергосистеме энергоисточников с суммарной теплофикационной выработкой  $\mathcal{E}_{Тфс}$  позволяет ввести такие обобщённые (традиционные) понятия, как доля отпуска электроэнергии на тепловом потреблении  $\Psi_c = \mathcal{E}_{Тфс} / \mathcal{E}_c$  и удельный отпуск электроэнергии на тепловом потреблении  $W_c = \mathcal{E}_{Тфс} / Q_c$ . В результате имеем взаимосвязь:  $\Psi_c / W_c = Q_c / \mathcal{E}_c$ . В данном случае показатель  $W_c$  характеризует обобщённый уровень ценности теплофикационного отпуска электроэнергии по энергосистеме в целом с охватом энергоисточников типа котельных и покупной электроэнергии. Рассматривая в аналогичной интерпретации объёмы потребления тепло- и электроэнергии  $Q_i$  и  $\mathcal{E}_i$  со стороны потребителя и сохраняя для него показатель  $W_i = W_c$ , можем считать, что применительно к каждому ( $i$  – му) из них свойственна зависимость:  $\Psi_i^И = Q_i \mathcal{E}_i^{-1} W_c \geq \leq 1$ . Показатель  $\Psi_i^И$  в данном случае играет роль индикатора, определяющего условную структуру потребляемой теплоты, состоящей из двух составляющих:  $Q_i = Q_{Ti}^{\max} + Q_{Ki}$ . Показатель  $Q_{Ti}^{\max}$  аналогичен тепловой нагрузке некоторой примерной ТЭЦ при  $\Psi_{ТЭЦ} = 1$ , а показатель  $Q_{Ki}$  аналогичен избыточной тепловой нагрузке пиковых котельных. В частности, имеется в виду, что по аналогии с ТЭЦ в случае  $\Psi_i^И \leq 1$ , виртуальный показатель «теплофикационного» потребления  $\Psi_i^Т = \Psi_i^И = Q_i \mathcal{E}_i^{-1} W_c \leq 1$ . Тогда следует считать, что у потребителя  $Q_i \leq Q_{Ti}^{\max}$  и имеется ещё дополнительная возможность увеличить потребляемую им теплоэнер-

гию до уровня  $\Psi_i^И = 1$ , т. е. до уровня  $Q_i = Q_{Ti} = Q_{Ti}^{\max}$ . В случае  $\Psi_i^И \geq 1$  виртуальный показатель «теплофикационного» потребления принимается равным  $\Psi_i^T = 1$ . Соответственно устанавливается баланс с учётом аналога теплотребления  $Q_{ki}$  от котельных:  $Q_i = Q_{Ti}^{\max} + Q_{ki}$ , т. е. при  $\Psi_i^T = 1$   $Q_{Ti}^{\max} W_c \mathcal{E}_i^{-1} = 1$ . Тогда аналог теплотребления от котельных вычисляется так:  $Q_{ki} = Q_i - \mathcal{E}_i W_c^{-1}$ .

Таким образом, с помощью показателя  $\Psi_i^И = Q_i \mathcal{E}_i^{-1} W_c \geq \leq 1$  распознаётся структурная составляющая тепловой ( $Q_i = Q_{Ti}^{\max} + Q_{ki}$ ) загрузки любого  $i$ -го потребителя в «теплофикационном» режиме и определяется для него значение  $\Psi_i^T \leq 1$ . Далее, при сохранении свойственных энергосистеме показателей  $W_i = W_c$  и относительных значений затрат тепло- и электроэнергии на «собственные нужды» потребителя, вычисляются [48] так называемые адекватные значения удельных расходов топлива, формирующие суммарную загрузку энергосистемы: по электроэнергии –  $b_{i\mathcal{E}}^{\text{ад}}$ , по теплоте –  $b_{iT\mathcal{E}}^{\text{ад}}$  и в целом согласно суммарной нагрузке –  $b_i^{\text{ад}}$ . Руководствуясь принципом пропорциональности, адекватные значения тарифов на электро- и теплоэнергию определим так:

$$T_{i\mathcal{E}}^{\text{ад}} = T_{\mathcal{E}} b_{i\mathcal{E}}^{\text{ад}} / b_c^{\mathcal{E}}, \quad (3.84)$$

$$T_{iT\mathcal{E}}^{\text{ад}} = T_{T\mathcal{E}} b_{iT\mathcal{E}}^{\text{ад}} / b_c^{T\mathcal{E}}, \quad (3.85)$$

где  $b_c^{\mathcal{E}}$  и  $b_c^{T\mathcal{E}}$  удельные расходы топлива на отпуск объёмов производства  $\mathcal{E}_c$  и  $Q_c$  в энергосистеме [21]:

$$b_c^{\mathcal{E}} = m_c^{-1} [(1 + \mathcal{e}_{\text{сн}}^{\mathcal{E}}) q_c + Q_c \mathcal{E}_c^{-1}], \quad (3.86)$$

$$b_c^{T\mathcal{E}} = [b_c (\mathcal{E}_c + Q_c) - b_c^{\mathcal{E}} \mathcal{E}_c] Q_c^{-1} = m_c^{-1} (1 + q_{\text{сн}}^T + q_c \mathcal{e}_{\text{сн}}^T \mathcal{E}_c Q_c^{-1}), \quad (3.87)$$

где  $m_c$  – комплекс, определяющий КПД котлов и, так называемых, внутрисканционных потерь с тепловыми потоками, т.е.  $m_c = Q_y \eta^{\text{бр}} \eta^{\text{тп}}$ ;  $q_{\text{сн}}^T, \mathcal{e}_{\text{сн}}^T$  – относительные значения расходов теплоты  $q_{\text{сн}}^T = Q_{\text{сн}}^T / Q_c$  и электроэнергии  $\mathcal{e}_{\text{сн}}^{\mathcal{E}} = \mathcal{E}_{\text{сн}}^{\mathcal{E}} / \mathcal{E}_c$ ,  $\mathcal{e}_{\text{сн}}^T = \mathcal{E}_{\text{сн}}^T / \mathcal{E}_c$  на собственные нужды по отпуску теплоты (т) и электроэнергии (э);  $b_c$  – средний удельный расход топлива на суммарный отпуск продукции  $\mathcal{E}_c$  и  $Q_c$  в энергосистеме:

$$b_c = W_c (\mathcal{E}_c + Q_c)^{-1}. \quad (3.88)$$

Эффект от внедрения метода расчёта адекватных удельных расходов топлива и соответствующего использования индивидуальных тарифов для каждого  $i$  – го потребителя определяется разностями:

$$\Delta \Pi_{i\text{Э}} = \mathcal{E}_i (T_{i\text{Э}}^{\text{аД}} - T_{\text{Э}}) \geq \leq 0, \quad (3.89)$$

$$\Delta \Pi_{i\text{ТЭ}} = Q_i (T_{i\text{ТЭ}}^{\text{аД}} - T_{\text{ТЭ}}) \geq \leq 0, \quad (3.90)$$

$$\Delta \Pi_{i\text{ЭН}} = \Delta \Pi_{i\text{Э}} + \Delta \Pi_{i\text{ТЭ}} \geq \leq 0. \quad (3.91)$$

Отрицательные значения показателей (3.89) – (3.91) свидетельствуют о том, что данные потребители путём организации структур своих нагрузок ( $\mathcal{E}_i / Q_i$ ) способствуют формированию теплофикационных режимов, т. е. росту показателя  $\Psi_c$  для энергосистемы. В случае их положительных значений – наоборот, они создают тенденцию к снижению показателя  $\Psi_c$ . В целом по энергосистеме соблюдается условие:  $\Sigma \Delta \Pi_{i\text{Э}} = 0$ ,  $\Sigma \Delta \Pi_{i\text{ТЭ}} = 0$ ,  $\Sigma \Delta \Pi_{i\text{ЭН}} = 0$ , т. е. упомянутый эффект в виде «льготной» оплаты за тепло- и электроэнергию для одних потребителей образуется за счёт «ужесточения» оплаты других. Такое перераспределение денежных средств между потребителями, как уже отмечалось, не влияет на денежные затраты энергосистемы в целом.

Ниже приведём основные расчётные формулы [8, 21, 45], необходимые для разработки соответствующего программного средства по расчёту и анализу результатов использования системы тарифообразования, основанной на адекватных значениях удельных расходов топлива.

Средний по энергосистеме удельный расход теплоты по теплофикационному циклу определяем так:

$$q_{\text{Тс}} = \Sigma (q_{\text{Т}j} \mathcal{E}_{\text{Тф}j}) (\Sigma \mathcal{E}_{\text{Тф}j})^{-1}, \quad (3.92)$$

где соответствующие показатели  $q_{\text{Т}j}$  и отпуск электроэнергии по теплофикационному циклу для каждого  $j$  – го энергоисточника рассматриваем в качестве исходных данных.

В дальнейшем все показатели, относящиеся к энергосистеме, отмечены индексом «с», а относящиеся к потребителям – индексом «i». Средний по энергосистеме удельный расход теплоты по отпуску тепло- и электроэнергии равен:

$$q_c = [b_c m_c + Q_c \mathcal{E}_c^{-1} (b_c m_c - C_{3c}^q)] (C_{4c}^{\mathcal{E}})^{-1} \quad (3.93)$$

В уравнении (3.93) показатели  $C_{3c}^q = 1 + q_{\text{сн}}^{\mathcal{E}} + q_{\text{сн}}^{\text{Т}}$  и  $C_{4c}^{\mathcal{E}} = 1 + \mathcal{E}_{\text{сн}}^{\mathcal{E}} + \mathcal{E}_{\text{сн}}^{\text{Т}}$  характеризуют относительные значения расходов тепло- и электроэнергии на собственные нужды энергосистемы;  $q_{\text{сн}}^{\mathcal{E}} = Q_{\text{сн}}^{\mathcal{E}} / Q_c$ .

Применительно к той части теплоты  $Q_{\text{Т}i}$   $i$  – го потребителя, которая воспринимается им как аналоговая теплофикационная нагрузка, отвечающая

показателям  $\Psi_i$  и  $W_i = W_c$ , т. е.  $Q_{Ti} = Q_i - Q_{Ki}$ , удельный расход топлива на её отпуск вычислим так:

$$q_{ci}^T = q_{kc}(1 - \Psi_i^T) + \Psi_i^T q_{Tc}, \quad (3.94)$$

где  $q_{kc}$  – удельный расход теплоты по конденсационному циклу:

$$q_{kc} = (q_c - \Psi_c q_{Tc})(1 - \Psi_c) \quad (3.95)$$

В отличие от показателя  $q_{ci}^T$ , вычисляемого по формуле (3.94), удельный расход теплоты по отношению к режиму потребителя с отпуском теплоты  $Q_i$  вычисляется иначе:

$$q_{ci}^{ад} = [b_i^{ад} m_c(1 + Q_i \mathcal{E}_i^{-1}) - C_{3c}^q Q_i \mathcal{E}_i^{-1}] (C_{4c}^э)^{-1}. \quad (3.96)$$

Формируемый потребителем виртуальный расход топлива равен:

$$B_{ci} = b_{ci}^{ТЭЦ} (\mathcal{E}_i + Q_{Ti}) + b_{kc} Q_{Ki}, \quad (3.97)$$

где  $b_{kc}$  – средний по энергосистеме удельный расход топлива на отпуск теплоты от котельных:

$$b_{kc} = \Sigma B_{kj} (\Sigma Q_{kj})^{-1}, \quad (3.98)$$

Абсолютный расход топлива, определяющий объёмы потребления энергии  $\mathcal{E}_i$  и  $Q_i$ :

$$B_i^{ад} = B_{ci} B_c (\Sigma B_{ci})^{-1} = b_{iэ}^{ад} \mathcal{E}_i + b_{iTэ}^{ад} Q_i. \quad (3.99)$$

Средний адекватный удельный расход топлива:

$$b_i^{ад} = B_i^{ад} (\mathcal{E}_i + Q_i)^{-1}. \quad (3.100)$$

Адекватные удельные расходы топлива на отпуск электроэнергии и теплоты выразим так:

$$b_{iэ}^{ад} = m_c^{-1} [(1 + \mathcal{E}_{сн}^э) q_{ci}^{ад} + Q_i \mathcal{E}_i^{-1} q_{сн}^э], \quad (3.101)$$

$$b_{iTэ}^{ад} = [b_i^{ад} (\mathcal{E}_i + Q_i) - b_{iэ}^{ад} \mathcal{E}_i] Q_i^{-1} = m_c^{-1} (1 + q_{сн}^T + q_{ci}^{ад} Q_i \mathcal{E}_i^{-1} \mathcal{E}_{сн}^T). \quad (3.102)$$

Адекватные значения тарифов и стоимости использованной электро- и теплоэнергии вычисляются с помощью формул (3.84), (3.85). Соответственно  $\Pi_{iэ}^{ад} = T_{iэ}^{ад} \mathcal{E}_i$  и  $\Pi_{iTэ}^{ад} = T_{iTэ}^{ад} Q_i$ .

Важное значение имеют расчёты показателей при граничных условиях  $\mathcal{E}_i = 0$  и  $Q_i = 0$ . В частности, по удельным расходам топлива:

$$\lim_{\mathcal{E}_i \rightarrow 0} b_i^{ад} = b_{kc} B_c (\Sigma B_{ci})^{-1}, \quad (3.103)$$

$$\lim_{Q_i \rightarrow 0} b_i^{ад} = B_c (\Sigma B_{ci})^{-1} m_c^{-1} q_{kc} C_{4c}^э, \quad (3.104)$$

$$\lim_{\mathcal{E}_i \rightarrow 0} b_{iэ}^{ад} = \infty, \quad (3.105)$$

$$\lim_{Q_i \rightarrow 0} b_{i\vartheta}^{\text{ад}} = m_c^{-1} (1 + \vartheta_{\text{сн}}^{\vartheta}) B_c (\Sigma B_{\text{сi}})^{-1} q_{\text{кс}}, \quad (3.106)$$

$$\lim_{\vartheta_i \rightarrow 0} b_{i\text{т}\vartheta}^{\text{ад}} = \lim_{\vartheta_i \rightarrow 0} b_i^{\text{ад}} - m_c^{-1} [(1 + \vartheta_{\text{сн}}^{\vartheta}) (C_{4\text{с}}^{\vartheta})^{-1} (m_c \lim_{\vartheta_i \rightarrow 0} b_i^{\text{ад}} - C_{3\text{с}}^q) + q_{\text{сн}}^{\vartheta}], \quad (3.107)$$

$$\lim_{Q_i \rightarrow 0} b_{i\text{т}\vartheta}^{\text{ад}} = \infty. \quad (3.108)$$

Соответственно по тарифам:

$$\lim_{\vartheta_i \rightarrow 0} T_{i\vartheta}^{\text{ад}} = \infty, \quad (3.109)$$

$$\lim_{Q_i \rightarrow 0} T_{i\vartheta}^{\text{ад}} = T_{\vartheta} (b_{\text{с}}^{\vartheta})^{-1} \lim_{Q_i \rightarrow 0} b_{i\vartheta}^{\text{ад}}, \quad (3.110)$$

$$\lim_{\vartheta_i \rightarrow 0} T_{i\text{т}\vartheta}^{\text{ад}} = T_{\text{т}\vartheta} (b_{\text{с}}^{\text{т}\vartheta})^{-1} \lim_{\vartheta_i \rightarrow 0} b_{i\text{т}\vartheta}^{\text{ад}}, \quad (3.111)$$

$$\lim_{Q_i \rightarrow 0} T_{i\text{т}\vartheta}^{\text{ад}} = \infty. \quad (3.112)$$

По оплате за использованную электро- и теплоэнергию:

$$\left. \begin{aligned} \lim_{\vartheta_i \rightarrow 0} \Pi_{i\vartheta}^{\text{ад}} &= T_{\vartheta} Q_i m_c^{-1} (b_{\text{с}}^{\vartheta})^{-1} [q_{\text{сн}}^{\vartheta} + \\ &+ (C_{4\text{с}}^{\vartheta})^{-1} (1 + \vartheta_{\text{сн}}^{\vartheta}) (m_c \lim_{\vartheta_i \rightarrow 0} b_i^{\text{ад}} - C_{3\text{с}}^q)], \end{aligned} \right\} \quad (3.113)$$

$$\lim_{Q_i \rightarrow 0} \Pi_{i\vartheta}^{\text{ад}} = \vartheta_i \lim_{Q_i \rightarrow 0} T_{i\vartheta}^{\text{ад}}, \quad (3.114)$$

$$\lim_{\vartheta_i \rightarrow 0} \Pi_{i\text{т}\vartheta}^{\text{ад}} = Q_i \lim_{\vartheta_i \rightarrow 0} T_{i\text{т}\vartheta}^{\text{ад}}, \quad (3.115)$$

$$\lim_{Q_i \rightarrow 0} \Pi_{i\text{т}\vartheta}^{\text{ад}} = T_{\text{т}\vartheta} (b_{\text{с}}^{\text{т}\vartheta})^{-1} \lim_{Q_i \rightarrow 0} B_{i\text{т}\vartheta}^{\text{ад}}, \quad (3.116)$$

где

$$\lim_{Q_i \rightarrow 0} B_{i\text{т}\vartheta}^{\text{ад}} = \vartheta_i B_c (\Sigma B_{\text{сi}})^{-1} m_c^{-1} q_{\text{кс}} \vartheta_{\text{сн}}^{\text{т}}. \quad (3.117)$$

Имея в виду [21], что адекватное значение КПД топливоиспользования потребителем  $\eta_i^{\text{ад}} = (b_i^{\text{ад}} Q_y)^{-1}$ ,

$$\lim_{\vartheta_i \rightarrow 0} \eta_i^{\text{ад}} = Q_y^{-1} (\lim_{\vartheta_i \rightarrow 0} b_i^{\text{ад}})^{-1}, \quad (3.118)$$

$$\lim_{Q_i \rightarrow 0} \eta_i^{\text{ад}} = Q_y^{-1} (\lim_{Q_i \rightarrow 0} b_i^{\text{ад}})^{-1}. \quad (3.119)$$

Предельные значения критериев электро- и теплоэффективностей и соответственно электро- и теплоспособностей [8, 9, 45] определяются так:

$$\lim_{\vartheta_i \rightarrow 0} \Omega_{\vartheta}^i = 0; \quad \lim_{\vartheta_i \rightarrow 0} \Phi_{\vartheta}^i = 0, \quad (3.120)$$

$$\lim_{\vartheta_i \rightarrow 0} \Omega_q^i = \lim_{\vartheta_i \rightarrow 0} \eta_i^{\text{ад}}; \quad \lim_{\vartheta_i \rightarrow 0} \Phi_q^i = \infty, \quad (3.121)$$

$$\lim_{Q_i \rightarrow 0} \Omega_{\mathfrak{z}}^i = \lim_{Q_i \rightarrow 0} \eta_i^{\text{ад}}; \quad \lim_{Q_i \rightarrow 0} \Phi_{\mathfrak{z}}^i = \infty, \quad (3.122)$$

$$\lim_{Q_i \rightarrow 0} \Omega_{\mathfrak{q}}^i = 0; \quad \lim_{Q_i \rightarrow 0} \Phi_{\mathfrak{q}}^i = 0. \quad (3.123)$$

Следует обратить внимание на одну особенность метода. В случае, когда потребитель не принимает электроэнергию, т. е.  $\mathfrak{z}_i = 0$ , но принимает теплоту ( $Q_i > 0$ ), плата за пользование электроэнергией сохраняется в количестве, определяемом формулой (3.113). Как видно, в данном случае с учётом формулы (3.109) имеет место предел произведения:  $\lim_{\mathfrak{z}_i \rightarrow 0} T_{i\mathfrak{z}}^{\text{ад}} \mathfrak{z}_i = \infty \cdot 0 =$

$\lim_{\mathfrak{z}_i \rightarrow 0} \Pi_{i\mathfrak{z}}^{\text{ад}} > 0$ . Аналогичный факт наблюдается и в случае, когда потребитель принимает от энергосистемы только одну электроэнергию, т. е.  $\mathfrak{z}_i > 0$  при  $Q_i = 0$ . Согласно формулам (3.112), (3.116)  $\lim_{Q_i \rightarrow 0} T_{iT\mathfrak{z}}^{\text{ад}} Q_i = \infty \cdot 0 =$

$= \lim_{Q_i \rightarrow 0} \Pi_{iT\mathfrak{z}}^{\text{ад}} > 0$ . В физическом смысле это не парадокс. Потребитель в этих случаях «выплачивает» энергосистеме адекватную стоимость её затрат на собственные нужды энергоисточников, которые задействованы в энергосистеме независимо от нагрузок потребителей.

По мере изучения особенностей и отличий комбинированного производства тепло- и электроэнергии на ТЭЦ от её отдельного производства на КЭС и котельных [21, 35, 45] всё больше утверждается мнение о том, что каждый из трёх упомянутых энергоисточников отпускает свой специфический вид продукции, а именно: КЭС – электроэнергию  $\mathfrak{z}_c$ , котельная – теплоту  $Q_c$ , а ТЭЦ – комплекс –  $(\mathfrak{z}_c + Q_c)$  с характерными для него и изменяющимися свойствами, определяемыми показателями  $\Psi_c / W_c = Q_c / \mathfrak{z}_c$ . В реальной действительности существующих технологий спрос на комбинированный комплекс продукции  $(\mathfrak{z}_c + Q_c)$  в отличие от спроса на составляющие его отдельные виды  $\mathfrak{z}_c$  и  $Q_c$  отсутствует. Соответственно отсутствует и необходимость в формировании комплексного тарифа  $T_{\mathfrak{z}H} = f[(\mathfrak{z}_i + Q_i)]$  в сферах потребления, несмотря на существующую взаимосвязь:

$$T_{\mathfrak{z}H}(\mathfrak{z}_c + Q_c) = (T_{\mathfrak{z}} \mathfrak{z}_c + T_{T\mathfrak{z}} Q_c). \quad (3.124)$$

Именно это обстоятельство сказывается при попытке увязать между собой денежные затраты на суммарную энергию со стороны энергоисточника (ТЭЦ) и потребителей. В частности, следуя аналогиям по определению тарифов  $T_{i\mathfrak{z}}^{\text{ад}}$  и  $T_{iT\mathfrak{z}}^{\text{ад}}$  согласно формулам (3.84), (3.85), можно записать, что для каждого  $i$  – го потребителя  $T_{i\mathfrak{z}H} = T_{\mathfrak{z}H} b_i^{\text{ад}} b_c^{-1}$ . Вследствие того, что для конкретного  $i$  – го потребителя комплексной продукции  $\mathfrak{z}_i / Q_i \neq \mathfrak{z}_c / Q_c$ , соответственно имеет место неравенство:

$$T_{iЭН} (\mathcal{E}_i + Q_i) \neq T_{iЭ}^{ад} \mathcal{E}_i + T_{iTЭ}^{ад} Q_i . \quad (3.125)$$

В целом по комплексу «Энергоисточник – Потребитель» из учёта балансов абсолютных и относительных значений суммарной потребляемой энергии имеет место равенство  $\Sigma \mathcal{E}_i / \Sigma Q_i = \mathcal{E}_c / Q_c$ . В соответствии с этим в отличие от неравенства (3.125):

$$\Sigma T_{iЭН} (\mathcal{E}_i + Q_i) = \Sigma T_{iЭ}^{ад} \mathcal{E}_i + \Sigma T_{iTЭ}^{ад} Q_i . \quad (3.126)$$

Формулы (3.124) – (3.126) подтверждают факт реального существования трёх видов продукции –  $\mathcal{E}_c(\mathcal{E}_i)$ ,  $Q_c(Q_i)$  и  $[\mathcal{E}_c(\mathcal{E}_i) + Q_c(Q_i)]$ , отпускаемых энергоисточниками типа КЭС, котельные и ТЭЦ. В настоящее время трудно сказать каким образом этот феномен окажет влияние на дальнейшее развитие механизма тарифообразования. Автор одной из работ [35] по этому поводу высказывается более определённо: «*Рыночные отношения в теплоэнергетике региона необходимо основывать для трех видов энергетической продукции на ТЭЦ: а) комбинированной теплоэлектрэнергии, б) конденсационной электроэнергии, и с) тепловой энергии*». Рассуждая о значимости удельных расходов топлива при оценках эффективности теплофикации и пытаясь выйти из «тупиковой» ситуации, автор статьи [35] наряду с электрической ( $\mathcal{E}_c$ ) и тепловой ( $Q_c$ ) видами энергий от ТЭЦ предлагает ввести ещё, так сказать, «виртуальное» понятие о третьем виде энергии, представляющем собой единый комплекс ( $\mathcal{E}_c + Q_c$ ). Состав его ( $\mathcal{E}_c / Q_c$ ), по мнению автора, меняется в зависимости от показателя  $W_c$ . И это действительно так. Но...здесь уместно обратиться к приведенной выше известной функции  $W_c = \mathcal{E}_c Q_c^{-1} \Psi_c$ . Последняя, в сущности, и характеризует этот «нововводимый» автором третий «вид энергии», т. е. комплекс ( $\mathcal{E}_c + Q_c$ ). Таким образом последний, именуемый автором статьи [35] термином «теплоэнергия» (но с другим подтекстом), уже существует и вводить его дополнительно нет необходимости. Очевидно, имеется некий другой выход из «тупиковой» ситуации, о которой говорит автор статьи [35] при оценке эффективности теплофикации, и его следует искать.

В таблицах 3.1, 3.2 даны выкопировки из выходных табуляграмм, файла АДР6, выполненных на основании примерных расчётов модели комплекса, включающего  $i = 1 - 10$  потребителей, один из которых  $i = 9$  является не учётным, а другой –  $i = 10$  – не санкционированным потребителем, т. е. это потери энергии в тепло- и электросетях. Расчёты выполнены по формулам (3.101), (3.102), (3.100), (3.84), (3.85), (3.89) – (3.91) и др. для двух наиболее характерных режимов работы энергосистем: в таблице 3.1 – при теплофикационной выработке  $\mathcal{E}_{Тфс} > 0$  и соответствующих показателях  $\Psi_c = 0,577$  и  $W_c = 0,150$ ; в таблице 3.2 – при отсутствии теплофикационной выработки, т. е.  $\mathcal{E}_{Тфс} = 0$ ,  $\Psi_c = 0$  и  $W_c = 0$ . Показатели энергосистемы  $b_c^Э$ ,  $b_c^{ТЭ}$ ,  $b_c$ ,  $T_Э$  и

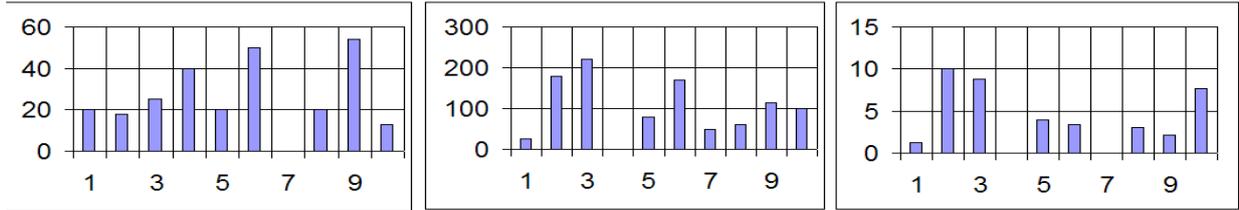
$T_{ТЭ}$  для всех потребителей одинаковы. В сравнении с адекватными выплатами потребителей  $\Pi_{iЭ}^{ад} = T_{iЭ}^{ад} \mathcal{E}_i$  и  $\Pi_{iTЭ}^{ад} = T_{iTЭ}^{ад} Q_i$  выплаты денежных средств по тарифным ставкам энергосистемы равны  $\Pi_{iЭ}^c = T_{Э} \mathcal{E}_i$  и  $\Pi_{iTЭ}^c = T_{ТЭ} Q_i$ .

Программой АДР6 предусмотрена возможность исследовать ряд показателей ТЭП по мере того, как изменяются определяющие их аргументы и, в частности, объёмы потребления тепло- и электроэнергии. На рис. 3.14, 3.15 приведены фрагменты из результатов расчёта такого комплекса, в котором имеются три условных потребителя от энергосистемы:  $i = 1$ ,  $i = 2$  и  $i = 16$ .

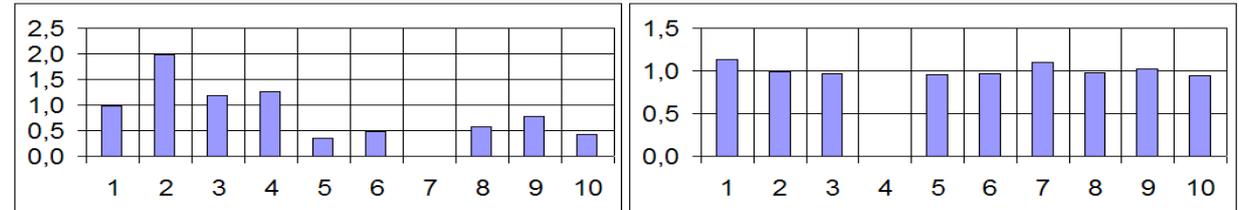
Расчёт выполнен при условии, что нагрузка энергосистемы постоянна, но происходит передача электрической ( $\mathcal{E}_i$  на рис. 3.14) или тепловой ( $Q_i$  на рис. 3.15) нагрузок от потребителя  $i = 1$  к потребителю  $i = 16$ . Тепловая и электрическая нагрузки потребителя  $i = 2$  остаются постоянными.

Таблица 3.1.(АДР6).

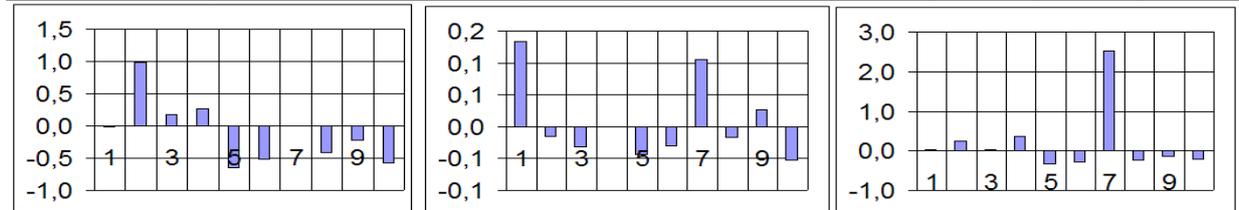
Результаты примерных расчётов. По энергосистеме:  $\Psi_c = 0,577$   $W_c = 0,150$   
 Учётные потребители  $i = 1 - 8$ ; не учётные потребители -  $i = 9$ ; потери в сетях -  $i = 10$ .



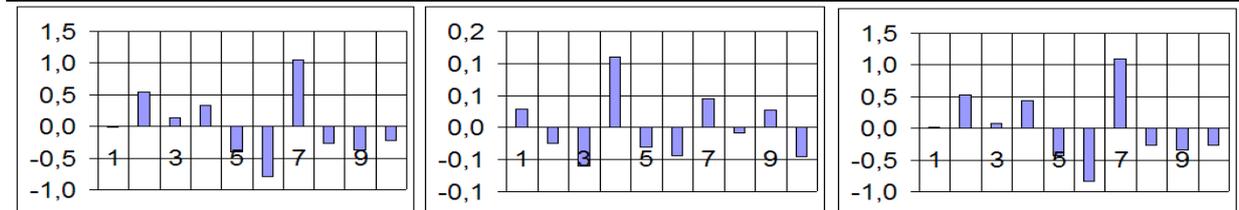
Обозн.	Разм.	1	2	3	4	5	6	7	8	9	10
$\mathcal{E}_i$	ГДЖ	20,0	18,0	25,0	40,0	20,0	50,0	0,0	20,0	54,0	13,0
$Q_i$	ГДЖ	25,0	180,0	220,0	0,0	80,0	170,0	50,0	60,0	115,0	100,0
$Q_i / \mathcal{E}_i$		1,3	10,0	8,8	0,0	4,0	3,4	$\infty$	3,0	2,1	7,7



Обозн.	1	2	3	4	5	6	7	8	9	10
$T_{i\mathcal{E}}^{ад} / T_{\mathcal{E}}$	0,981	1,984	1,177	1,267	0,352	0,490	$\infty$	0,581	0,780	0,432
$T_{iТЭ}^{ад} / T_{ТЭ}$	1,133	0,984	0,968	$\infty$	0,956	0,971	1,105	0,983	1,027	0,948



Обозн.	1	2	3	4	5	6	7	8	9	10
$\Delta P_{i\mathcal{E}} / P_{i\mathcal{E}}^c$	-0,019	0,984	0,177	0,267	-0,648	-0,510	$\infty$	-0,419	-0,220	-0,568
$\Delta P_{iТЭ} / P_{iТЭ}^c$	0,133	-0,016	-0,032	$\infty$	-0,044	-0,029	0,105	-0,017	0,027	-0,052
$\Delta P_{iЭН} / P_{iЭН}^c$	0,020	0,249	0,029	0,356	-0,330	-0,277	2,533	-0,236	-0,128	-0,217

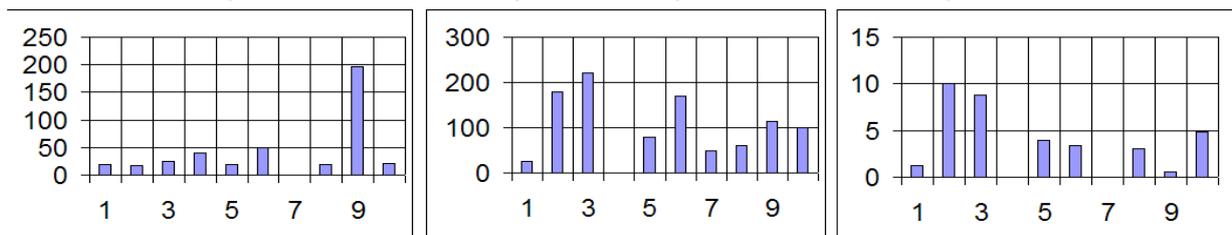


Обозн.	Разм.	1	2	3	4	5	6	7	8	9	10
$\Delta P_{i\mathcal{E}}$	Млн.руб	-0,012	0,549	0,137	0,331	-0,402	-0,791	1,044	-0,260	-0,368	-0,229
$\Delta P_{iТЭ}$	Млн.руб	0,029	-0,024	-0,061	0,111	-0,030	-0,043	0,045	-0,009	0,027	-0,045
$\Delta P_{iЭН}$	Млн.руб	0,017	0,525	0,076	0,442	-0,432	-0,834	1,089	-0,268	-0,342	-0,273

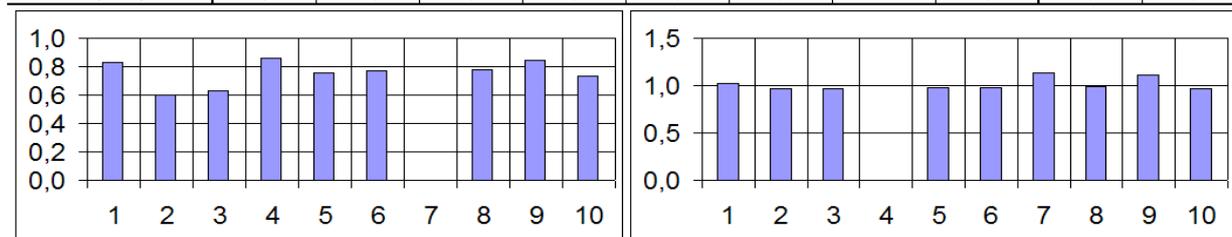
Характер изменения показателей, приведенных на рис. 3.14, 3.15, даёт общее представление о сути предлагаемой реформации действующего механизма тарифообразования и расчёта денежных выплат за использованную энергию. Как видно, влияние принципа «адекватности» удельных расходов топлива сказывается как при наличии теплофикационной выработки в энергосистеме (рис. 3.14,  $\mathcal{E}_{Тфс} > 0$ ), так и при её отсутствии (рис. 3.15,  $\mathcal{E}_{Тфс} = 0$ ). Этот факт отчётливо наблюдается при сопоставлении гистограмм по распре-

Таблица 3.2.(АДР6).

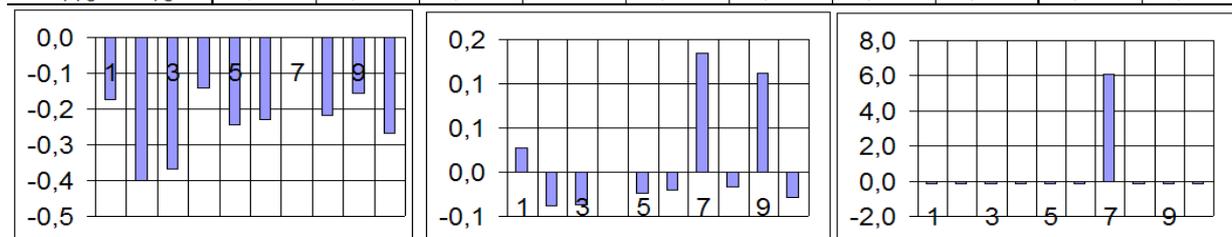
Результаты примерных расчётов. По энергосистеме:  $\Psi_c = 0,000$   $W_c = 0,000$   
 Учётные потребители  $i = 1 - 8$ ; не учётные потребители -  $i = 9$ ; потери в сетях -  $i = 10$ .



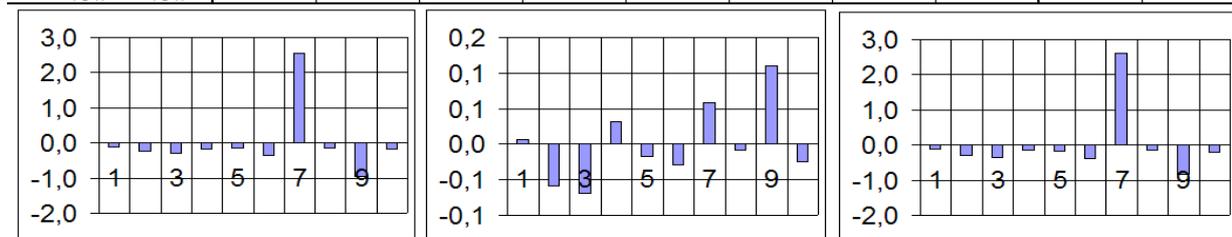
Обозн.	Разм.	1	2	3	4	5	6	7	8	9	10
$\Xi_i$	ГДж	20,0	18,0	25,0	40,0	20,0	50,0	0,0	20,0	196,5	20,5
$Q_i$	ГДж	25,0	180,0	220,0	0,0	80,0	170,0	50,0	60,0	115,0	100,0
$Q_i / \Xi_i$		1,3	10,0	8,8	0,0	4,0	3,4	$\infty$	3,0	0,6	4,9



Обозн.	1	2	3	4	5	6	7	8	9	10
$T_{i\Xi}^{ад} / T_{\Xi}$	0,826	0,601	0,632	0,858	0,755	0,771	$\infty$	0,781	0,843	0,733
$T_{iT\Xi}^{ад} / T_{T\Xi}$	1,027	0,962	0,963	$\infty$	0,976	0,980	1,135	0,984	1,112	0,972



Обозн.	1	2	3	4	5	6	7	8	9	10
$\Delta\Pi_{i\Xi} / \Pi_{i\Xi}^c$	-0,174	-0,399	-0,368	-0,142	-0,245	-0,229	$\infty$	-0,219	-0,157	-0,267
$\Delta\Pi_{iT\Xi} / \Pi_{iT\Xi}^c$	0,027	-0,038	-0,037	$\infty$	-0,024	-0,020	0,135	-0,016	0,112	-0,028
$\Delta\Pi_{i\Xi H} / \Pi_{i\Xi H}^c$	-0,122	-0,134	-0,133	-0,116	-0,129	-0,128	6,085	-0,127	-0,119	-0,130



Обозн.	Разм.	1	2	3	4	5	6	7	8	9	10
$\Delta\Pi_{i\Xi}$	Млн.руб	-0,108	-0,223	-0,285	-0,176	-0,152	-0,355	2,558	-0,136	-0,955	-0,170
$\Delta\Pi_{iT\Xi}$	Млн.руб	0,006	-0,059	-0,070	0,032	-0,017	-0,029	0,058	-0,008	0,111	-0,024
$\Delta\Pi_{i\Xi H}$	Млн.руб	-0,102	-0,281	-0,355	-0,144	-0,168	-0,384	2,616	-0,144	-0,844	-0,194

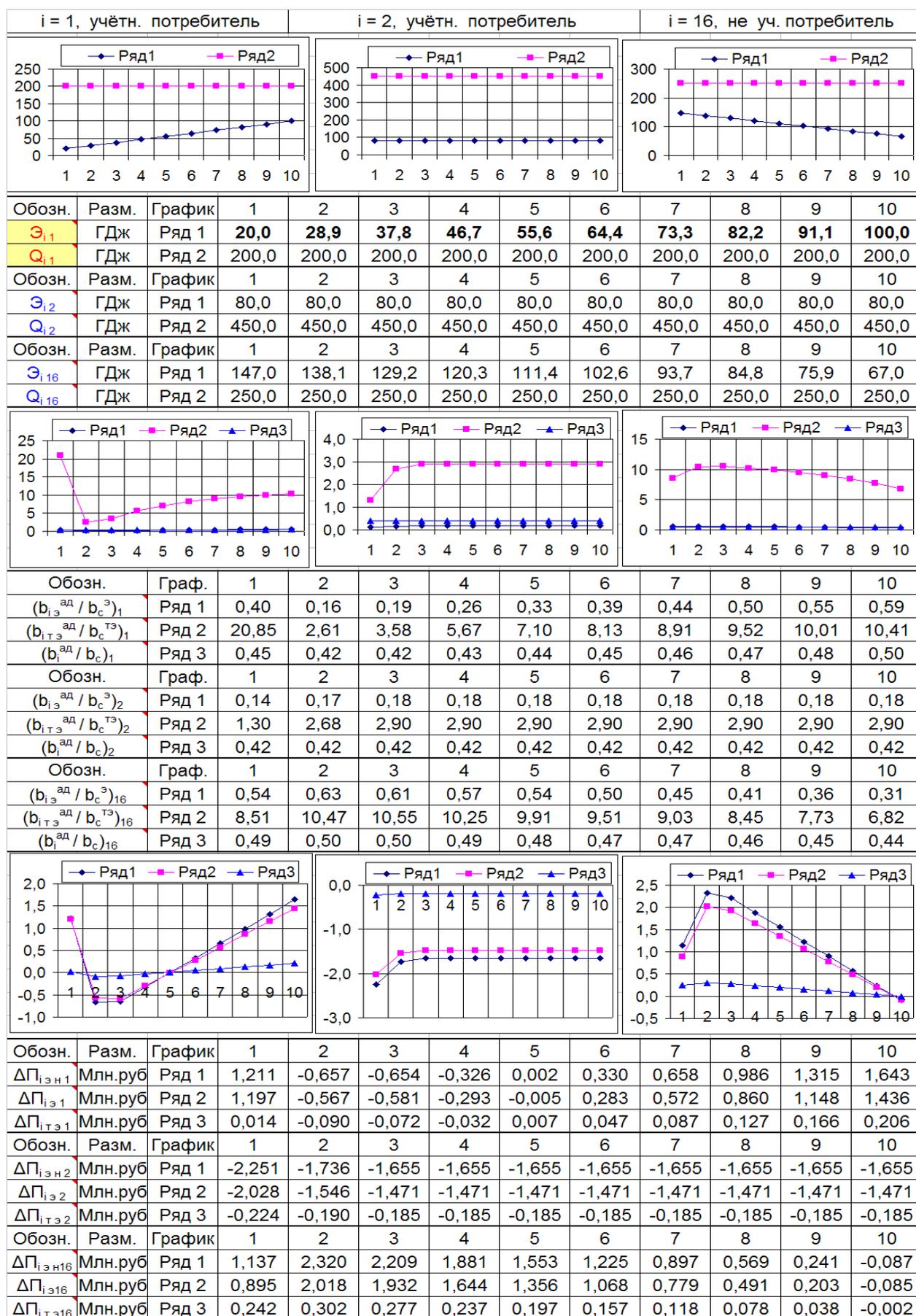


Рис. 3.14. (АДР6).Изменения адекватных удельных расходов топлива и денежных затрат по мере перераспределения электрических нагрузок между потребителями  $i = 1$  и  $i = 16$  при постоянной нагрузке потребителя  $i = 2$ .

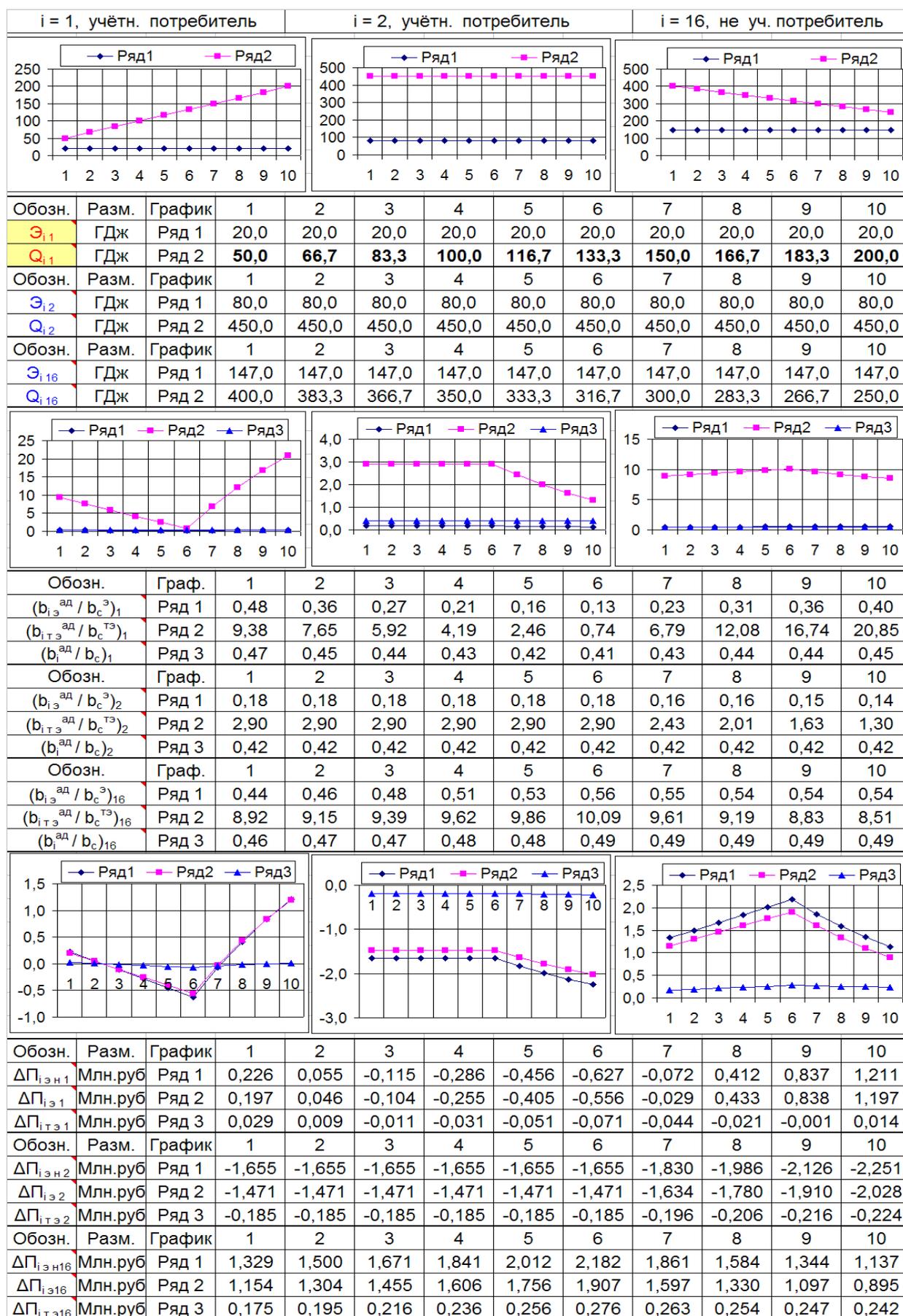


Рис. 3.15. (АДР6).Изменения адекватных удельных расходов топлива и денежных затрат по мере перераспределения тепловых нагрузок между потребителями  $i = 1$  и  $i = 16$  при постоянной нагрузке потребителя  $i = 2$ .

делению показателей  $\Delta\Pi_{iЭ}$ ,  $\Delta\Pi_{iТЭ}$  и  $\Delta\Pi_{iЭН}$  на тех же рис 3.14, 3.15. Он существенен и актуален также и для ближайшего будущего, когда в силу сложившихся обстоятельств, связанных с предстоящим вводом в эксплуатацию атомной станции, роль теплофикации в большой энергетике значительно снизится.

Информация, приведенная на рис. 3.14, 3.15, далеко не в полной мере отражает все исследуемые показатели и возможности соответствующего программного средства. Многофункциональные зависимости адекватных показателей индивидуальных выплат от потребителей затрудняют наличие их чёткой и однозначной связи со структурой потребляемой энергии  $Q_i/\mathcal{E}_i$ . То же можно констатировать и о влиянии перераспределения нагрузок между потребителями. Тем более трудно адаптировать чёткую, обоснованную физическим смыслом связь между исследуемыми показателями потребителей и режимом работы энергосистемы. Нужны серьёзные исследования в области этой тематики и изыскания реальных путей слияния этого метода оценки тарифов на тепло- и электроэнергию с существующей системой тарифообразования. Как видно, первые шаги в этом направлении уже сделаны и могут быть продолжены с помощью упомянутых программных файлов P1Ex и АДР6.

#### ВЫВОДЫ И РЕКОМЕНДАЦИИ.

Вряд ли можно утверждать, что существующая на сегодняшний день система формирования тарифов на тепло- и электроэнергию является самой оптимальной. Тарифы, основанные на интересах энергосистемы, как одно- и многоставочные и, в частности, основанные на «экономическом методе» распределения топливных затрат, на основе организации перекрёстного субсидирования влекут за собой множество ограничений и трудностей по их реализации. Анализ существующего положения вещей в этой области экономики энергетике позволяет прийти к выводу, что вся эта «тарифная надстройка», прикрываемая социально-экономическими процессами в стране, буквально ничто в сравнении с рыночной экономикой, основанной на законах сохранения: деньги – топливо – энергия – деньги.

Каждый потребитель в силу необходимости потребляет определённые объёмы электроэнергии и теплоты. В некотором виртуальном понимании он подобен своего рода ТЭЦ с обратными знаками объёмов производства. Соотношение и абсолютные значения этих двух видов энергии позволяют определить степень участия, т. е. величину «вклада» каждого потребителя на формирование теплофикационного режима энергоисточника в целом. Полагая (это и следует осуществить), что тарифы на тепло - и электроэнергию учитывают степень этого «вклада», заинтересованность потребителей в формировании теплофикационного режима энергоисточника ожидается как существенная помощь при решении вопросов рационального использования энергоресурсов в целом.

В настоящее время энергоснабжающая организация не анализирует и не оценивает ожидаемую эффективность этих «вкладов» и с точки зрения

своих ведомственных интересов. В результате не используются потенциальные возможности реализации дополнительной прибыли на основе экономического стимулирования каждого (группы потребителей) в отдельности.

1. Результаты выполненных исследований показывают, что потребитель во многом сам может повлиять на уровень доводимых до него тарифов путём организации соответствующей структуры ( $\mathcal{E}_i / Q_i$ ) потребляемой им тепло- и электроэнергии.

2. Метод адекватной оценки влияния каждого потребителя в принципе не нарушает установленный режим работы энергосистемы, но вместе с этим он может быть использован и в её интересах.

3. Выполненные исследования показывают, что принцип индивидуализации и адекватности тарифов и денежных выплат за использованную тепло- и электроэнергию не ограничивается только теплофикационным режимом энергосистемы. Он проявляет аналогичные свойства и при отсутствии теплофикационной выработки.

4. Материалы исследования рекомендуются для разработки целенаправленных программных средств по дальнейшему изучению этого вопроса на фоне существующей системы тарифообразования.

### **3.5. Оптимизация нагрузок на энергоисточниках в условиях одновременной реализации покупной электроэнергии.**

Актуальные вопросы экономии энергоресурсов тесно связаны с денежными затратами как на покупку топлива для местных энергоисточников, так и на оплату покупной электроэнергии из внешних энергосистем. Исходим из того, что каждый энергоисточник обеспечивает отпуск тепло- и электроэнергии в количестве  $Q$  и  $\mathcal{E}$  для удовлетворения потребностей своего региона. Указанные объемы производства представляют собой сумму четырех составляющих: двух от ТЭЦ –  $Q_T, \mathcal{E}_T$ , одной от пиковой котельной –  $Q_K$  и одной в виде покупной электроэнергии –  $\mathcal{E}_П$ , т. е.

$$Q = Q_T + Q_K, \quad (3.127)$$

$$\mathcal{E} = \mathcal{E}_T + \mathcal{E}_П. \quad (3.128)$$

Суммарные денежные затраты энергоснабжающей организации, в ведении которой находится энергоисточник, можно выразить так:

$$L = \Omega - \sum \Pi_{\text{ЭТК}} = \Pi_T [b_{\text{ТЭЦ}} (\mathcal{E}_T + Q_T) + b_{\text{кот}} Q_K] + T_{\text{П}} \mathcal{E}_П, \quad (3.129)$$

где  $\sum \Pi_{\text{ЭТК}}$  – условно-постоянные затраты денежных средств на зарплату, ремонт и амортизацию оборудования и пр.;  $\Pi_T, T_{\text{П}}$  – цены условного топлива и покупной электроэнергии, руб/(кг у.т.), руб/ГДж;  $b_{\text{кот}}, b_{\text{ТЭЦ}}$  – удельные расходы топлива при работе пиковой (районный) котельный по отпуску теплоты  $Q_K$  и от ТЭЦ по отпуску суммарной продукции  $\mathcal{E}_T$  и  $Q_T$ .

Связь между объемами производства  $\mathcal{E}$  и  $Q$  в зоне энергоисточника и показателями  $\Psi$  и  $W$ , характеризующими технико-экономический уровень комбинированной выработки тепло- и электроэнергии на ТЭЦ [24], определим так:

$$\Psi W^{-1} = (Q - Q_K)(\Theta - \Theta_{\Pi})^{-1}. \quad (3.130)$$

В пределах региона объемы производства  $Q$  и  $\Theta$  являются постоянными. Независимыми переменными оказываются нагрузки  $Q_K$  и  $\Theta_{\Pi}$ , определяющие параметр  $\Psi$ . Совместное решение уравнений (3.127) – (3.130) с учётом (2.75) в разделе 2.3 позволяет определить общие выражения для расчета суммарных денежных затрат  $L$ , представленных в виде трех модифицированных функций:

$$\left. \begin{aligned} L &= f_1(Q_K, \Theta_{\Pi}) = \Pi_T [(Q - Q_K)W\Pi_1 + b_{\text{кот}}Q + \Theta_{\Pi}(T_{\Pi}\Pi_T^{-1} - \Pi_2) + \Theta\Pi_2] = \\ &= f_2(\Psi, \Theta_{\Pi}) = \Pi_T [(\Theta - \Theta_{\Pi})\Psi\Pi_1 + \Theta_{\Pi}(T_{\Pi}\Pi_T^{-1} - \Pi_2) + b_{\text{кот}}Q + \Theta\Pi_2] = \\ &= f_3(\Psi, Q_K) = \Pi_T \{ (Q - Q_K)W[\Pi_1 - \Psi^{-1}(T_{\Pi}\Pi_T^{-1} - \Pi_2)] + \Theta T_{\Pi}\Pi_T^{-1} + b_{\text{кот}}Q \}, \end{aligned} \right\} (3.131)$$

где в качестве констант (раздел 2.3) следует считать

$$\Pi_1 = W^{-1}(m^{-1}C_3 - b_{\text{кот}}) - m^{-1}C_4(q_K - q_T), \quad (3.132)$$

$$\Pi_2 = m^{-1}q_K C_4 > 0. \quad (3.133)$$

В выражении (3.132)

$$b_{\text{кот}} = \eta_{\text{н}}^{-1}Q_{\text{у}}^{-1} = \eta_{\text{бр}}^{-1}\eta_{\text{тп}}^{-1}Q_{\text{у}}^{-1}C_3^{-1} = m^{-1}C_3^{-1}. \quad (3.134)$$

Соответственно, согласно (3.132)

$$\Pi_1 = m^{-1}[W^{-1}(C_3 - C_3^{-1}) - C_4(q_K - q_T)] \leq 0. \quad (3.135)$$

Проанализируем тенденцию изменения суммарных затрат  $L$  на основании (3.131) при условии, что  $Q$  и  $\Theta$  являются постоянными, а составляющие их слагаемые, согласно (3.127), (3.128), меняются в допустимых пределах:

$$\left. \begin{aligned} 0 &\leq Q_T \leq Q_{T \max}, \\ 0 &\leq Q_K, \\ 0 &\leq \Theta_T \leq \Theta_{T \max}, \\ 0 &\leq \Theta_{\Pi}. \end{aligned} \right\} (3.136)$$

На основании (3.131) имеем:

в диапазоне  $0 \leq \Theta_{\Pi} = \text{const} \leq \Theta$  при  $\Pi_1 < 0$

$$\frac{\partial L}{\partial Q_K} = \frac{\partial f_1(Q_K, \Theta_{\Pi})}{\partial Q_K} = -\Pi_T W \Pi_1 \geq 0, \quad (3.137)$$

$$\frac{\partial L}{\partial \Psi} = \frac{\partial f_2(\Psi, \Theta_{\Pi})}{\partial \Psi} = \Pi_T \Pi_1 (\Theta - \Theta_{\Pi}) \leq 0; \quad (3.138)$$

в диапазоне  $0 \leq Q_K = \text{const} \leq Q$

$$\frac{\partial L}{\partial \Psi} = \frac{\partial f_3(\Psi, Q_K)}{\partial \Psi} = \Pi_T W \Psi^{-2} (Q - Q_K) (T_{\Pi} \Pi_T^{-1} - \Pi_2) >> 0, \quad (3.139)$$

$$\frac{\partial L}{\partial \Theta_{\Pi}} = \frac{\partial f_1(Q_K, \Theta_{\Pi})}{\partial \Theta_{\Pi}} = T_{\Pi} \Pi_T^{-1} - \Pi_2 >> 0; \quad (3.140)$$

в диапазоне  $0 \leq \Psi = \text{const} \leq \Psi_{\max}$

$$\frac{\partial L}{\partial \mathcal{E}_{\Pi}} = \frac{\partial f_2(\Psi, \mathcal{E}_{\Pi})}{\partial \mathcal{E}_{\Pi}} = \mathcal{C}_{\Gamma} \left( \Gamma_{\Pi} \mathcal{C}_{\Gamma}^{-1} - \Psi \Pi_1 - \Pi_2 \right) > < 0, \quad (3.141)$$

$$\frac{\partial L}{\partial Q_{\kappa}} = \frac{\partial f_3(\Psi, Q_{\kappa})}{\partial Q_{\kappa}} = \mathcal{C}_{\Gamma} W \Psi^{-1} \left( \Gamma_{\Pi} \mathcal{C}_{\Gamma}^{-1} - \Psi \Pi_1 - \Pi_2 \right) > < 0. \quad (3.142)$$

Функции (3.137) - (3.142) позволяют проанализировать характер изменения затрат  $L$  от показателей  $\Psi$ ,  $\mathcal{E}_{\Pi}$ ,  $Q_{\kappa}$ . В частности, согласно (3.137), (3.138), при  $\mathcal{E}_{\Pi} = \text{const}$  частичная передача тепловой нагрузки  $Q_{\Gamma}$  от ТЭЦ на котельные ( $Q_{\kappa}$ ) за счет снижения показателей  $\Psi$  приведет к однозначному увеличению затрат  $L$ .

На основании (3.142) при  $\partial L / \partial Q_{\kappa} = 0$  определяем значение

$$\Psi = \Psi_{\text{пр}} = \Pi_1^{-1} \left( \Gamma_{\Pi} \mathcal{C}_{\Gamma}^{-1} - \Pi_2 \right), \quad (3.143)$$

за пределами которого производные (3.141), (3.142) меняют свой знак. Согласно (3.131), т.е.  $L = f_3(\Psi, Q_{\kappa})$ , определяем соответствующие предельные значения суммарных затрат  $L = L_{\text{пр}}$ :

$$L_{\text{пр}} = \mathcal{E} T_{\Pi} + b_{\text{кот}} Q \mathcal{C}_{\Gamma}. \quad (3.144)$$

Из анализа (3.139), (3.140) при  $Q_{\kappa} = \text{const}$  и  $\Pi_2 > 0$   $T_{\Pi} = T_{\Pi \Psi} = \mathcal{C}_{\Gamma} \Pi_2$ . При этом  $\partial L / \partial \Psi = 0$  и  $\partial L / \partial \mathcal{E}_{\Pi} = 0$ . В таком случае, очевидно, что при  $T_{\Pi} = T_{\Pi \Psi}$   $\partial L / \partial \Psi \leq 0$  и  $\partial L / \partial \mathcal{E}_{\Pi} \leq 0$ . Здесь рост доли выработки электроэнергии  $\Psi$  на тепловом потреблении на ТЭЦ за счет частичного роста  $\mathcal{E}_{\Gamma}$  и снижения  $\mathcal{E}_{\Pi}$  приводит к снижению затрат  $L$ . Наоборот, при  $Q_{\kappa} = \text{const}$  и  $T_{\Pi} \geq T_{\Pi \Psi}$   $\partial L / \partial \Psi \geq 0$  и  $\partial L / \partial \mathcal{E}_{\Pi} \geq 0$  имеет место аналогичный случай роста затрат  $L$ .

Сопоставляя между собой производные (3.141), (3.142) при  $\Psi = \text{const}$ , определяем прямо пропорциональную однозначную взаимосвязь:

$$\partial Q_{\kappa} / \partial \mathcal{E}_{\Pi} = \Psi W^{-1} \geq 0. \quad (3.145)$$

При этом:

в диапазоне  $0 \leq \Psi \leq \Psi_{\text{пр}}$

$$\partial L / \partial \mathcal{E}_{\Pi} \leq 0, \quad \partial L / \partial Q_{\kappa} \leq 0, \quad (3.146)$$

т. е. с ростом покупной электроэнергии  $\mathcal{E}_{\Pi}$  и нагрузки котельных  $Q_{\kappa}$  затраты  $L$  уменьшаются и достигают минимума при  $\Psi = \Psi_{\text{пр}}$ ;

в диапазоне  $\Psi_{\text{пр}} \leq \Psi \leq \Psi_{\text{max}}$

$$\partial L / \partial \mathcal{E}_{\Pi} \geq 0, \quad \partial L / \partial Q_{\kappa} \geq 0, \quad (3.147)$$

т. е. затраты  $L$  возрастают и достигают максимума при  $\Psi = \Psi_{\text{max}} \rightarrow 1$ .

Уравнения (3.14), (3.142) позволяют также определить оптимальную стоимость покупной электроэнергии, за пределами которой производные  $\partial L / \partial \mathcal{E}_{\Pi}$  и  $\partial L / \partial Q_{\kappa}$  меняют свои знаки, т. е. определяют целесообразность роста или снижения соответствующих показателей  $Q_{\kappa}$  и  $\mathcal{E}_{\Pi}$  в отношении

суммарных затрат  $L$ . В конечном итоге на основании (3.141), (3.142) определяем:

$$\begin{aligned} \text{в случае } T_{\Pi} \leq T_{\Pi\text{э}} = C_T(\Psi\Pi_1 + \Pi_2) \\ \partial L/\partial \mathcal{E}_{\Pi} \leq 0, \quad \partial L/\partial Q_K \leq 0; \end{aligned} \quad (3.148)$$

$$\begin{aligned} \text{в случае } T_{\Pi} \geq T_{\Pi\text{э}} = C_T(\Psi\Pi_1 + \Pi_2) \\ \partial L/\partial \mathcal{E}_{\Pi} \geq 0, \quad \partial L/\partial Q_K \geq 0. \end{aligned} \quad (3.149)$$

Приведенный анализ лежит в основе оптимизации каждого энергоисточника в отдельности и энергосистемы в целом. Очевидно, что увеличивать покупную электроэнергию  $\mathcal{E}_{\Pi}$  и нагрузку котельных  $Q_K$  за счет снижения показателя  $\Psi$  выгодно лишь в пределах  $0 \leq \Psi \leq \Psi_{\text{пр}}$ . Дальнейшее увеличение показателей  $\mathcal{E}_{\Pi}$  и  $Q_K$  оказывается не выгодным при значениях  $\Psi$  в диапазоне  $\Psi_{\text{пр}} \leq \Psi \leq \Psi_{\text{max}}$ .

По величине соотношений между нагрузками  $Q\mathcal{E}^{-1} \gg \Psi_{\text{max}}W^{-1}$  и цене покупной электроэнергии  $T_{\Pi} \gg T_{\Pi\text{э}} = C_T(\Psi\Pi_1 + \Pi_2)$ , руководствуясь условиями (3.137) – (3.142), регионы и их энергоисточники следует разделять на три категории, характерные признаки которых приведены в таблице 3.3. Здесь же указаны оптимальные значения нагрузок  $Q_K^{\text{опт}}$  и  $\mathcal{E}_{\Pi}^{\text{опт}}$ , представленные как результаты первого этапа оптимизация объемов производства, которые следует распределить по энергоисточникам.

К первой категории относятся регионы, которые обеспечиваются работой только одних ТЭЦ. Ко второй – работой ТЭЦ и районных котельных совместно. К третьей – работой только котельных и путем реализации покупной электроэнергии. Согласно (3.130) и данным в таблице 3.3, величина минимальных денежных затрат на энергоисточниках по категориям 1, 2, 3 соответственно равна:

$$L_1 = L_{1\text{min}} = C_T Q \{ W[\Pi_1 - \Psi_{\text{max}}^{-1}(T_{\Pi} C_T^{-1} - \Pi_2)] + b_{\text{кот}} \} + \mathcal{E} T_{\Pi}, \quad (3.150)$$

$$L_2 = L_{2\text{min}} = C_T [\mathcal{E}(\Psi_{\text{max}}\Pi_1 + \Pi_2) + b_{\text{кот}} Q], \quad (3.151)$$

$$L_3 = L_{3\text{min}} = \mathcal{E} T_{\Pi} + C_T b_{\text{кот}} Q. \quad (3.152)$$

Таблица 3.3. Признаки категоричности энергоисточников и оптимальные распределения нагрузок  $Q_K^{\text{опт}}$  и  $\mathcal{E}_{\Pi}^{\text{опт}}$  в каждом из них.

$T_{\Pi} \geq T_{\Pi\text{э}} = C_T(\Psi\Pi_1 + \Pi_2)$		$T_{\Pi} \leq T_{\Pi\text{э}}$
$Q\mathcal{E}^{-1} \leq \Psi_{\text{max}}W^{-1}$	$Q\mathcal{E}^{-1} \geq \Psi_{\text{max}}W^{-1}$	$Q\mathcal{E}^{-1} \leq \Psi_{\text{max}}W^{-1}$
1-я категория	2-я категория	3-я категория
$Q_K^{\text{опт}} = 0$ $\mathcal{E}_{\Pi}^{\text{опт}} = \mathcal{E} - Q\Psi_{\text{max}}^{-1}W$	$Q_K^{\text{опт}} = Q - \mathcal{E}\Psi_{\text{max}}W^{-1}$ $\mathcal{E}_{\Pi}^{\text{опт}} = 0$	$Q_K^{\text{опт}} = 0$ $\mathcal{E}_{\Pi}^{\text{опт}} = \mathcal{E}$

Уравнения (3.150) – (3.152) могут быть положены в основу дальнейшего анализа при вычислении оптимальных распределений электрических нагрузок между энергоисточниками в разных регионах. Независимой переменной, определяющей денежные затраты  $L$  в регионе, является величина электроэнергии  $\mathcal{E}$ , в то время как тепловые нагрузки  $Q = Q_T + Q_K = \text{const}$  определены его потребностями и постоянны. Следующий этап оптимизации сводит-

ся к распределению электрических нагрузок между энергоисточниками. В качестве критериев, определяющих целесообразность перераспределения электрических нагрузок, следует считать значения полных производных  $dL/d\mathcal{E}$ , полученных на основании зависимостей (3.150) – (3.152) по категориям:

для энергоисточников 1-й и 3-й категорий при  $Q = \text{const}$

$$dL_{1,3}/d\mathcal{E} = T_{п1,3}; \quad (3.153)$$

для энергоисточников 2-й категории

$$dL_2/d\mathcal{E} = T_{п2} = \zeta_T (\Psi \Pi_1 + \Pi_2). \quad (3.154)$$

Полные производные (3.153), (3.154) позволяют определить направление перетока электрической нагрузки  $\Delta\mathcal{E}$ : от «а» на «б» или наоборот.

Величина оптимальной нагрузки  $\Delta\mathcal{E}^{\text{опт}}$ , которую можно передать от одного энергоисточника на другой, лимитируется условиями:

$$\left. \begin{aligned} dL_{a,b}/d\mathcal{E} &\geq dL_{b,a}/d\mathcal{E}, \\ 0 \leq \Delta\mathcal{E}^{\text{опт}} &\leq \mathcal{E}_{тб,та}^{\text{max}} - \mathcal{E}_{тб,та}, \end{aligned} \right\} \quad (3.155)$$

где  $\mathcal{E}_{тб,та}^{\text{max}}$  – максимально допустимая электрическая нагрузка энергоисточника «б» или «а» по теплофикационному циклу, т. е. при  $\Psi = \Psi^{\text{max}}$ .

В частности, очевидно, что при  $dL_a/d\mathcal{E} > dL_b/d\mathcal{E}$ , нагрузку  $\Delta\mathcal{E}$  следует переводить с энергоисточника «а» на энергоисточник «б» и наоборот.

С другой стороны, величина  $\Delta\mathcal{E}^{\text{опт}}$  ограничивается реальными пределами возрастания  $Q_{тб,та} = Q_{б,а} - Q_{кб,ка}$  до уровня, при котором  $Q_{кб,ка} = 0$ .

Положим, что энергоисточник «б» может взять на себя нагрузку  $\Delta\mathcal{E}^{\text{опт}}$ , которая позволит разгрузить до  $Q_{кб} = 0$  районную котельную в этом регионе, т. е. прежнюю тепловую нагрузку котельной, равную  $Q_{кб}^{\text{опт}}$ , компенсировать за счет теплофикационной выработки электроэнергии:

$$\left. \begin{aligned} \mathcal{E}_{тб}^{\text{max}} - \mathcal{E}_{тб} &\geq \Delta\mathcal{E}^{\text{опт}} = Q_{кб}^{\text{опт}} \Psi_{\text{max б}}^{-1} W_{б} = \\ &= (Q_{б} - \Psi_{\text{max б}} W_{б}^{-1} \mathcal{E}_{б}) \Psi_{\text{max б}}^{-1} W_{б} = \\ &= Q_{б} \Psi_{\text{max б}}^{-1} W_{б} - \mathcal{E}_{б} \end{aligned} \right\} \quad (3.156)$$

В результате электрическая нагрузка на энергоисточнике «б» при  $\mathcal{E}'_{пб} = 0$  и  $\Psi_{\text{max б}} = \text{const}$  станет равной:

$$\mathcal{E}'_{б} = \mathcal{E}_{б} + \Delta\mathcal{E}^{\text{опт}} = Q_{б} \Psi_{\text{max б}}^{-1} W_{б}, \quad (3.157)$$

а тепловая нагрузка районной котельной –  $Q'_{кб} = 0$ .

Снижение электрической нагрузки в регионе «а» на величину  $\Delta\mathcal{E}$  осуществится за счет уменьшения прежде всего покупной электроэнергии до

$\mathcal{E}'_{\text{ПЭ}} = 0$  и частично теплофикационной выработки на величину  $\Delta\mathcal{E}_{\text{та}} = \Delta\mathcal{E} - \mathcal{E}_{\text{па}}^{\text{опт}} = \Delta\mathcal{E} - \mathcal{E}_a + \Psi_{\text{max a}}^{-1} W_a Q_a$ .

Электрическая нагрузка энергоисточника «а» при  $\mathcal{E}'_{\text{ПЭ}} = 0$  станет равной:

$$\mathcal{E}'_a = \mathcal{E}_a - \Delta\mathcal{E} = \mathcal{E}_a + \mathcal{E}_b - Q_b \Psi_{\text{max б}}^{-1} W_b, \quad (3.158)$$

а тепловая нагрузка районной котельной в этом регионе:

$$Q'_{\text{ка}} = \Delta\mathcal{E}_{\text{та}} \Psi_{\text{max a}}^{-1} W_a^{-1} = Q_a + (Q_b \Psi_{\text{max б}}^{-1} W_b - \mathcal{E}_a - \mathcal{E}_b) \Psi_{\text{max a}}^{-1} W_a^{-1}. \quad (3.159)$$

Экономический эффект в результате оптимизации каждого энергоисточника или энергосистемы («а» и «б») и оптимального перераспределения электрических нагрузок между ними соответственно определим так:

$$\left. \begin{aligned} \Delta L_{a,b} &= L_{a,b} - L_{a,b}^{\text{опт}}, \\ \delta_{a,b} &= \Delta L_{a,b} 100 / L_{a,b}, \% \end{aligned} \right\} \quad (3.160)$$

$$\left. \begin{aligned} \Delta L_{\text{ЭН}} &= (L_a + L_b) - (L_a^{\text{опт}} + L_b^{\text{опт}}), \\ \delta_{\text{ЭН}} &= \Delta L_{\text{ЭН}} 100 / (L_a + L_b), \% \end{aligned} \right\} \quad (3.161)$$

Результаты примерных расчётов по формулам (3.127) – (3.161) приведены в таблице 2, приведенной в опубликованной работе [34]. Она даёт достаточное представление о численных значениях анализируемых показателей по мере передачи электрической нагрузки от энергосистемы «а» на энергосистему «б». Разработанные на основании изложенных результатов исследования файлы ТКП8, ТКП9 и др. носят исследовательский и прикладной характер. Они позволяют исследовать также некоторые закономерности изменения ТЭП, денежных ( $L$ ) и топливных ( $V_{\text{сум}}$ ) затрат энергосистемы по мере изменения режимов её работы и качественного состава входящих в неё энергоисточников. Кроме фактора теплофикации здесь большую роль играет стоимость топлива и покупной электроэнергии. На рис. 3.16а показано влияние изменения электрической нагрузки ТЭЦ без поступления покупной электроэнергии в энергосистему, т. е. при  $\mathcal{E}_{\text{пок}} = 0$ . На рис. 3.16б – тот же характер изменения режима работы ТЭЦ в энергосистеме, но при постоянном поступлении покупной электроэнергии в энергосистему:  $\mathcal{E}_{\text{пок}} = 90$  ГДж. На рис. 3.16в показано влияние изменения объёмов покупной электроэнергии в диапазоне  $\mathcal{E}_{\text{пок}} = 0 - 100$  ГДж. На рис. 3.16г – влияние тепловой нагрузки  $Q$  энергосистемы.

Результаты приведенного анализа свидетельствуют о неоднозначности характера изменений показателей ТЭП и, прежде всего, денежных затрат энергосистемы от определяющих аргументов. Как следует из данных на рис. 3.16а, 3.16г, имеют место также минимальные значения денежных затрат  $L$  при одновременном постоянстве объёмов производства тепло- и электроэнергии, что представляет практический интерес.

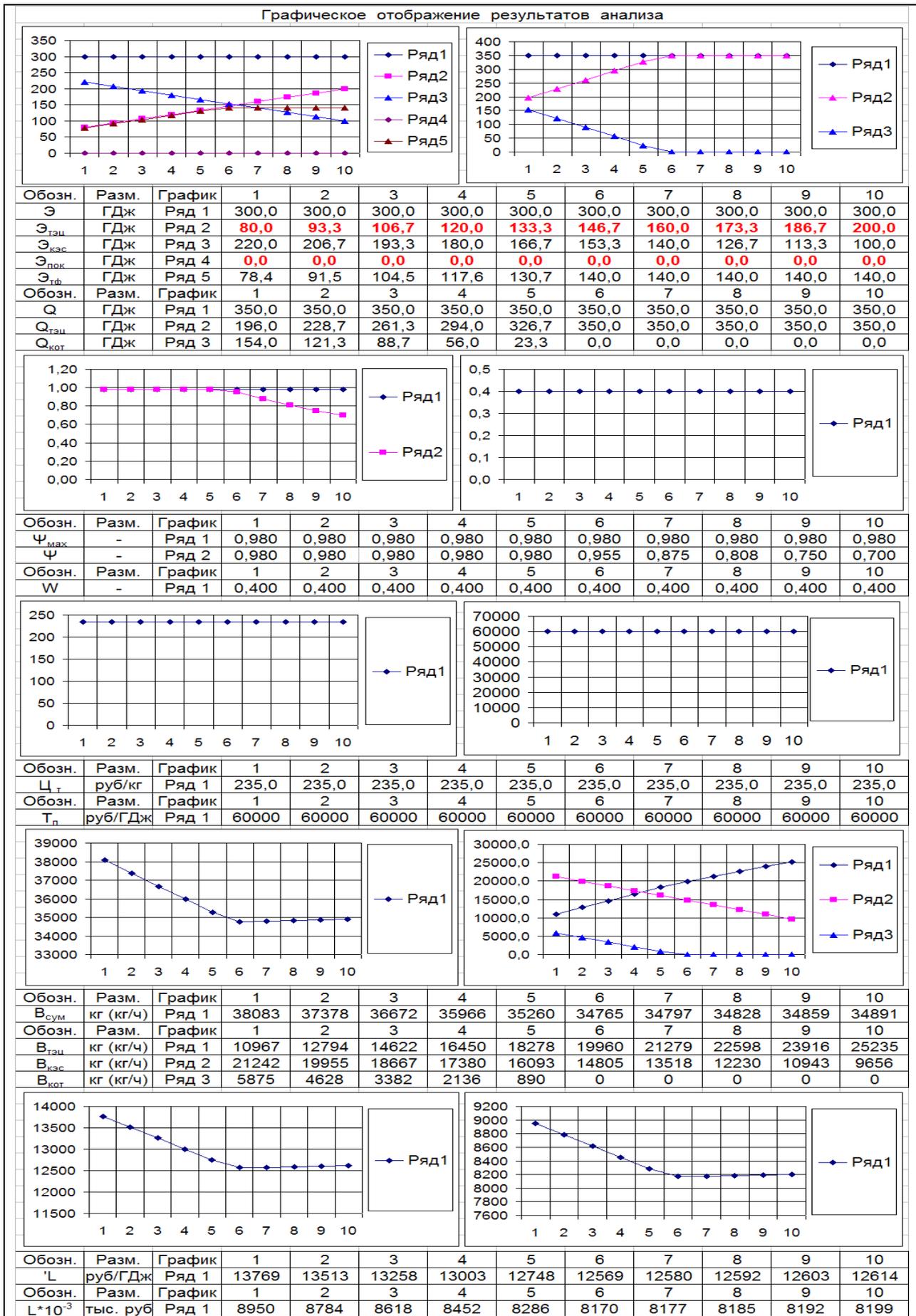


Рис. 3.16а. (ТКП9). Влияние загрузки ТЭС в энергосистеме на изменения денежных (L) и топливных (V<sub>сум</sub>) затрат при Э<sub>пок</sub> = 0.

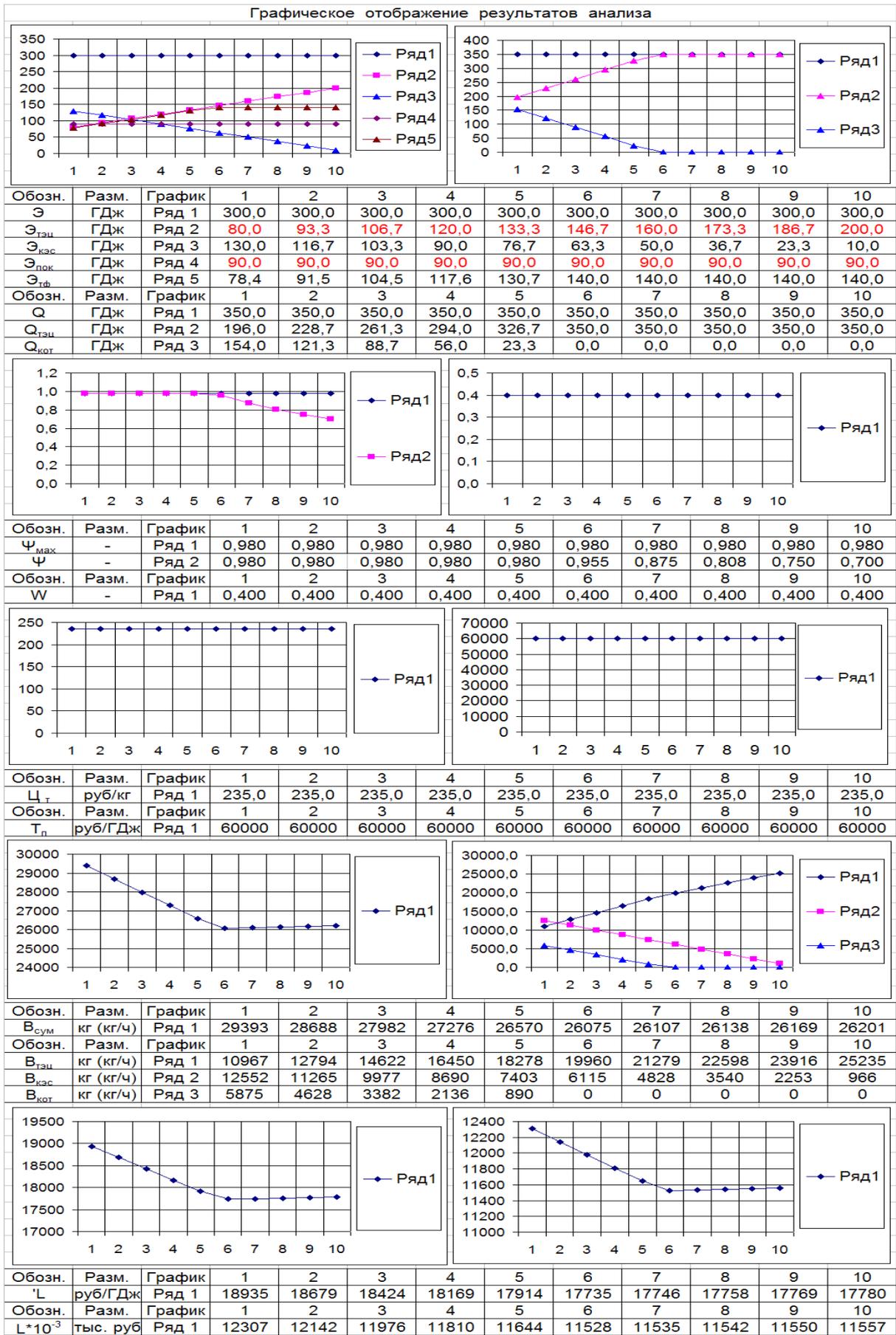


Рис. 3.166. (ТКП9). Влияние загрузки ТЭЦ в энергосистеме на изменения денежных (L) и топливных (V<sub>сум</sub>) затрат при Э<sub>пок</sub> = const.

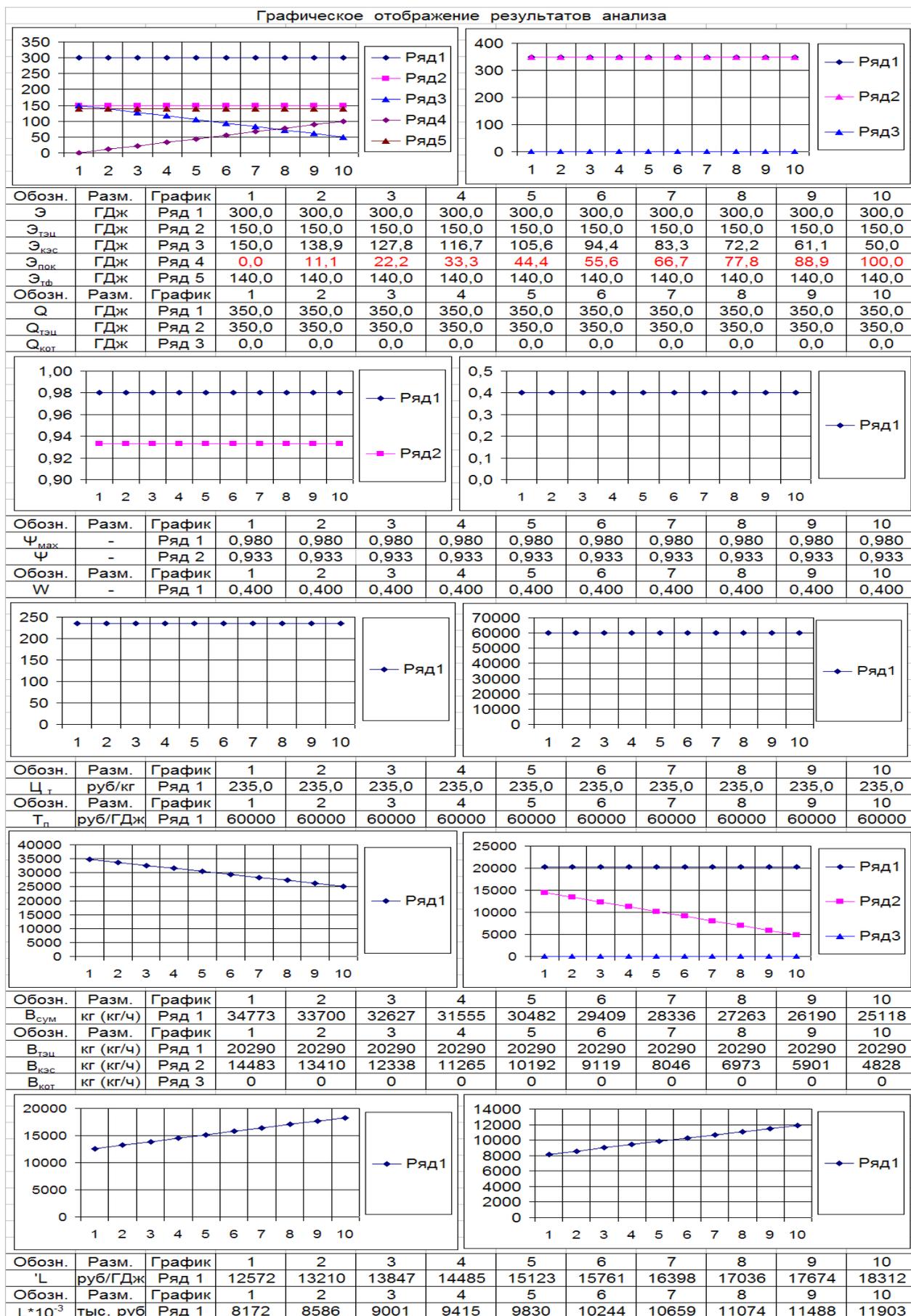


Рис. 3.16в.(ТКП9). Влияние объёмов покупной электроэнергии ( $\text{Э}_{\text{пок}} = 0 - 100$  ГДж) в энергосистеме на изменения денежных (L) и топливных ( $V_{\text{сум}}$ ) затрат.

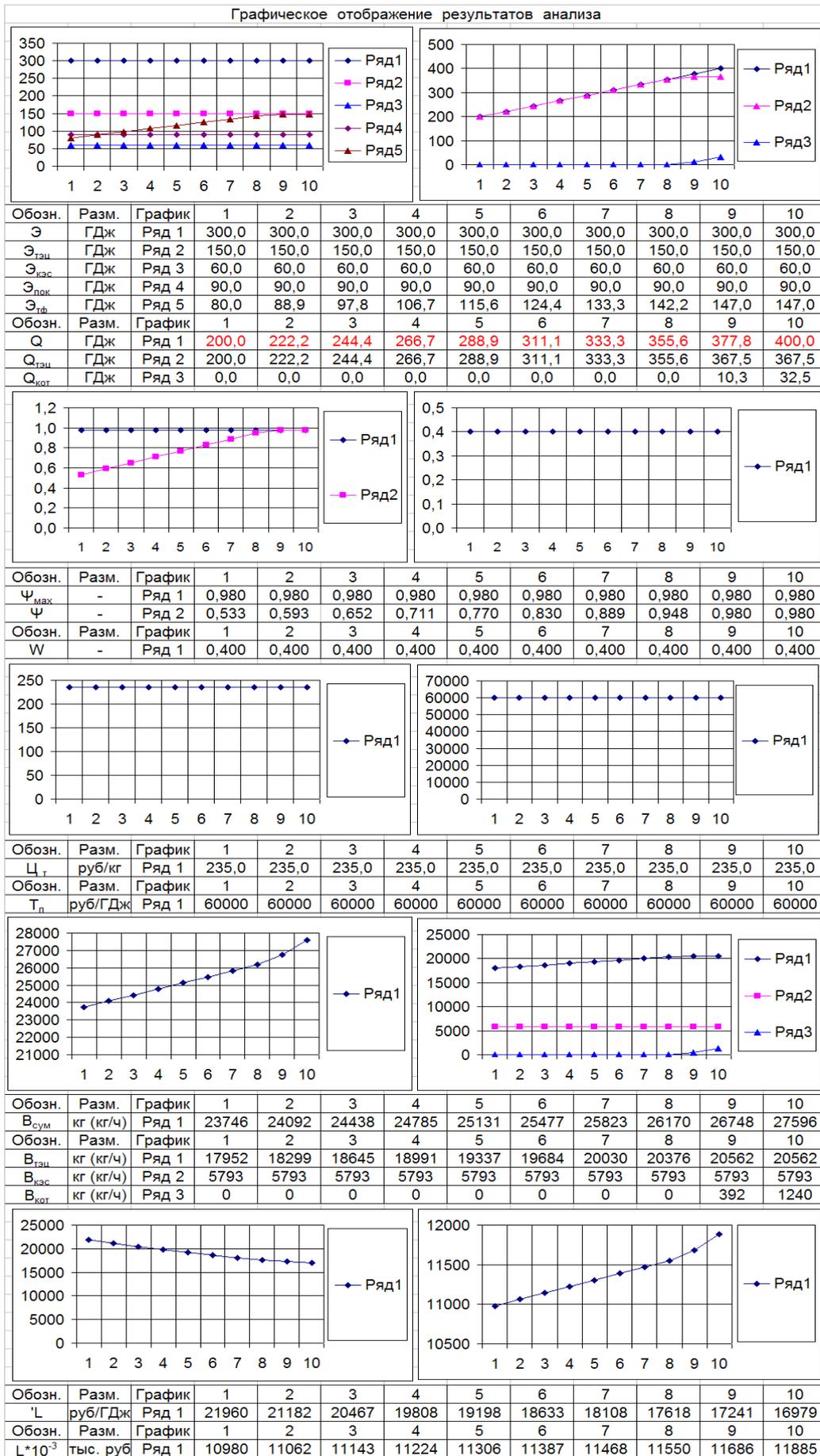


Рис. 3.16г. (ТКП9). Влияние тепловой нагрузки в энергосистеме (Q = 200 – 400 ГДж) на изменения денежных (L) и топливных (V<sub>сум</sub>) затрат.

## ВЫВОДЫ И РЕКОМЕНДАЦИИ.

Организация систематического анализа денежных затрат энергосистемы на топливо и покупную электроэнергию – одно из важнейших условий оптимизации при её эксплуатации. Это способствует оптимизации нагрузок между энергоисточниками разных категорий ( ТЭЦ, КЭС, котельные и пр. ) при наличии источника покупной электроэнергии, как это подтверждается результатами примерного анализа выше.

1. Денежные затраты каждой энергоснабжающей организации имеют свои оптимальные значения, которые определяются на базе технико-экономических показателей энергооборудования и из учета стоимости топлива и покупной электроэнергии.

2. Материалы исследования могут быть положены в основу разработки соответствующего программного средства, позволяющего в оперативном порядке анализировать и оценивать эффективность режимов работы энергоисточников и энергосистемы в целом.