

Уважаемый пользователь!

Обращаем ваше внимание, что система Антиплагиат отвечает на вопрос, является ли тот или иной фрагмент текста заимствованным или нет. Ответ на вопрос, является ли заимствованный фрагмент именно плагиатом, а не законной цитатой, система оставляет на ваше усмотрение. Также важно отметить, что система находит источник заимствования, но не определяет, является ли он первоисточником.

Информация о документе:

Имя исходного файла: 2017_02_10FilomonovaAA.pdf

Имя компании: Южно-Уральский государственный университет

Комментарий: 2017_02_10FilomonovaAA

Тип документа: Прочее

Имя документа: 2017_02_10FilomonovaAA

Дата проверки: 08.02.2017 15:25

Модули поиска:

Модуль поиска ЭБС "Лань", Южно-Уральский государственный университет, Кольцо вузов, Интернет (Антиплагиат), Диссертации и авторефераты РГБ, Университетская библиотека онлайн, Модуль поиска ЭБС "Айбукс", Модуль поиска ЭБС БиблиоРоссика, Коллекция юридических документов

Текстовые**статистики:**

Индекс читаемости: сложный

Неизвестные слова: в пределах нормы

Макс. длина слова: в пределах нормы

Большие слова: в пределах нормы

☒	Источник	Ссылка на источник	Коллекция/ модуль поиска	Доля в отчёте	Доля в тексте	Блоков в отчёте	Блоков в тексте
☒	[1] 261111	http://e.lanbook.com/journal/issue.php?p_f_journal=2545&p_f_...	Модуль поиска ЭБС "Лань"	4,7%	4,7%	145	145
☒	[2] Соломахо		Южно-Уральский государственный университет	4,2%	4,51%	86	92
☒	[3] Соломахо		Кольцо вузов	4,2%	4,51%	86	92
☒	[4] МЕТОД ПРОГНОЗИРОВАНИ...	http://cyberleninka.ru/article/n/metod-prognozirovaniya-elek...	Интернет (Антиплагиат)	0,33%	4,48%	13	138
☒	[5] МЕТОД ПРОГНОЗИРОВАНИ...	http://cyberleninka.ru/article/n/metod-prognozirovaniya-elek...	Интернет (Антиплагиат)	0,11%	4,47%	7	138
☒	[6] Воронов, Иван Виктор...	http://dlib.rsl.ru/rsl01004000000/rsl01004824000/rsl01004824...	Диссертации и авторефераты РГБ	1,26%	4,27%	35	77
☒	[7] 261178	http://e.lanbook.com/journal/issue.php?p_f_journal=2545&p_f_...	Модуль поиска ЭБС "Лань"	1,81%	2,31%	52	59
☒	[8] МЕТОД ПРОГНОЗИРУЮЩЕГ...	http://cyberleninka.ru/article/n/metod-prognoziruyuschego-up...	Интернет (Антиплагиат)	0,01%	2,31%	1	60
☒	[9] МЕТОД ПРОГНОЗИРУЮЩЕГ...	http://cyberleninka.ru/article/n/metod-prognoziruyuschego-up...	Интернет (Антиплагиат)	0,03%	2,28%	2	59
☒	[10] ВКРБлизень э-01Эк.до...		Кольцо вузов	2,11%	2,24%	22	28
☒	[11] Романова.docx		Южно-Уральский государственный университет	0%	1,98%	0	28
☒	[12] ТЕХНИЧЕСКИЕ НАУКИ/ ...	http://www.rusnauka.com/25_PNR_2012/Tecnic/12_115845.doc.htm	Интернет (Антиплагиат)	0,21%	1,03%	8	17
☒	[13] ЭнергосбережениеМоно...		Южно-Уральский государственный университет	0,09%	0,88%	1	17
☒	[14] 229388	http://biblioclub.ru/index.php?page=book_red&id=229388	Университетская библиотека онлайн	0,76%	0,82%	8	10
☒	[15] Техноценозы в электр...	http://ibooks.ru/reading.php?short=1&productid=343141	Модуль поиска ЭБС "Айбукс"	0%	0,82%	0	10
☒	[16] Валь, Пётр Владимиро...	http://dlib.rsl.ru/rsl01005000000/rsl01005485000/rsl01005485...	Диссертации и авторефераты РГБ	0,42%	0,73%	12	18
☒	[17] Губский, Сергей Олег...	http://dlib.rsl.ru/rsl01005000000/rsl01005506000/rsl01005506...	Диссертации и авторефераты РГБ	0,18%	0,72%	7	23
☒	[18] УПРЕЖДАЮЩЕЕ УПРАВЛЕН...	http://cyberleninka.ru/article/n/uprezhdayuschee-upravlenie-...	Интернет (Антиплагиат)	0,14%	0,72%	6	24
☒	[19] Захарова, Алла Генна...	http://dlib.rsl.ru/rsl01003000000/rsl01003383000/rsl01003383...	Диссертации и авторефераты РГБ	0,1%	0,69%	4	22
☒	[20] Закономерности элект...	http://tekhnosfera.com/zakonomernosti-elektropotrebleniya-na...	Интернет (Антиплагиат)	0,01%	0,66%	1	20
☒	[21] 261081	http://e.lanbook.com/journal/issue.php?p_f_journal=2545&p_f_...	Модуль поиска ЭБС "Лань"	0%	0,61%	0	34
☒	[22] Политов, Евгений Але...	http://dlib.rsl.ru/rsl01005000000/rsl01005504000/rsl01005504...	Диссертации и авторефераты РГБ	0%	0,56%	0	17
☒	[23] Катайцева, Елена Сте...	http://dlib.rsl.ru/rsl01002000000/rsl01002327000/rsl01002327...	Диссертации и авторефераты РГБ	0,05%	0,56%	3	17
☒	[24] Модели и методы анал...	http://tekhnosfera.com/modeli-i-metody-analiza-potokov-energ...	Интернет (Антиплагиат)	0,25%	0,55%	9	20

✓ [25]	Родыгина, Светлана В...	http://dlib.rsl.ru/rsl01004000000/rsl01004657000/rsl01004657...	Диссертации и авторефераты РГБ	0,04%	0,55%	2	12
✓ [26]	ЦЕНОЛОГИЧЕСКОЕ МОДЕЛ...	http://cyberleninka.ru/article/n/tsenologicheskoe-modelirova...	Интернет (Антиплагиат)	0,33%	0,55%	11	13
✓ [27]	ОстроуховДиссертация...		Южно-Уральский государственный университет	0,03%	0,48%	2	9
✓ [28]	Янюшкин, Максим Влад...	http://dlib.rsl.ru/rsl01002000000/rsl01002341000/rsl01002341...	Диссертации и авторефераты РГБ	0,01%	0,47%	1	11
✓ [29]	Вестник Южно-Ур...	http://ores.su/ru/journals/vestnik-yuzhno-uralskogo-gosudars...	Интернет (Антиплагиат)	0%	0,45%	0	19
✓ [30]	Мозгалин, Алексей Вл...	http://dlib.rsl.ru/rsl01003000000/rsl01003322000/rsl01003322...	Диссертации и авторефераты РГБ	0%	0,45%	0	12
✓ [31]	Япрынцева, Илона Але...	http://dlib.rsl.ru/rsl01003000000/rsl01003313000/rsl01003313...	Диссертации и авторефераты РГБ	0,15%	0,42%	6	12
✓ [32]	PDF	http://www.science-education.ru/pdf/2013/2/388.pdf	Интернет (Антиплагиат)	0,35%	0,39%	3	4
✓ [33]	Никифоров, Геннадий ...	http://dlib.rsl.ru/rsl01000000000/rsl01000329000/rsl01000329...	Диссертации и авторефераты РГБ	0,07%	0,38%	3	12
✓ [34]	Варапов, Георгий Вал...	http://dlib.rsl.ru/rsl01004000000/rsl01004337000/rsl01004337...	Диссертации и авторефераты РГБ	0%	0,38%	0	8
✓ [35]	Анушина, Екатерина С...	http://dlib.rsl.ru/rsl01004000000/rsl01004353000/rsl01004353...	Диссертации и авторефераты РГБ	0,03%	0,37%	3	10
✓ [36]	Чупак, Татьяна Михай...	http://dlib.rsl.ru/rsl01003000000/rsl01003316000/rsl01003316...	Диссертации и авторефераты РГБ	0,01%	0,36%	1	4
✓ [37]	Сухомлинова, Ольга А...	http://dlib.rsl.ru/rsl01002000000/rsl01002934000/rsl01002934...	Диссертации и авторефераты РГБ	0,05%	0,35%	2	9
✓ [38]	261182	http://e.lanbook.com/journal/issue.php?p_f_journal=2545&p_f_...	Модуль поиска ЭБС "Лань"	0%	0,33%	0	9
✓ [39]	261167	http://e.lanbook.com/journal/issue.php?p_f_journal=2545&p_f_...	Модуль поиска ЭБС "Лань"	0%	0,33%	0	9
✓ [40]	Заседание 134. Норми...	http://www.ecfor.ru/pdf.php?id=seminar%2Fenergo%2Fz134#4	Интернет (Антиплагиат)	0,12%	0,33%	4	8
✓ [41]	Шнайдер, Дмитрий Але...	http://dlib.rsl.ru/rsl01005000000/rsl01005087000/rsl01005087...	Диссертации и авторефераты РГБ	0,13%	0,33%	3	9
✓ [42]	Заседание 64. Оптима...	http://www.ecfor.ru/pdf.php?id=seminar%2Fenergo%2Fz64#3	Интернет (Антиплагиат)	0%	0,33%	0	4
✓ [43]	ПОВЫШЕНИЕ ЭФФЕКТИВНО...	http://cyberleninka.ru/article/n/povyshenie-effektivnosti-ek...	Интернет (Антиплагиат)	0%	0,3%	0	10
✓ [44]	Оптимальные иерархии...	http://biblioclub.ru/index.php?page=book_red&id=39395	Университетская библиотека онлайн	0,29%	0,29%	8	8
✓ [45]	Источник 45	http://window.edu.ru/resource/728/47728/files/1165310366.pdf	Интернет (Антиплагиат)	0%	0,29%	0	8
✓ [46]	Бажинов, Алексей Ник...	http://dlib.rsl.ru/rsl01005000000/rsl01005403000/rsl01005403...	Диссертации и авторефераты РГБ	0,05%	0,29%	1	8
✓ [47]	241850	http://biblioclub.ru/index.php?page=book_red&id=241850	Университетская библиотека онлайн	0,03%	0,27%	1	3
✓ [48]	235807	http://biblioclub.ru/index.php?page=book_red&id=235807	Университетская библиотека онлайн	0%	0,25%	0	2
✓ [49]	A comparison of univ...	https://ideas.repec.org/r/eee/intfor/v22y2006i1p1-16.html	Интернет (Антиплагиат)	0,15%	0,25%	4	5
✓ [50]	АНАЛИЗ ПРОГНОЗИРОВА...	http://cyberleninka.ru/article/n/analiz-prognozirovaniya-ene...	Интернет (Антиплагиат)	0,16%	0,24%	3	4
✓ [51]	Безруков, Дм♦♦трий Ал...	http://dlib.rsl.ru/rsl01002000000/rsl01002936000/rsl01002936...	Диссертации и авторефераты РГБ	0,04%	0,22%	3	6
✓ [52]	Abstract2014_01_22.d...		Южно-Уральский государственный университет	0,1%	0,19%	3	6
✓ [53]	Прочитать авторефера...	http://www.skqmi-gtu.ru/disser/Dzgoev.pdf	Интернет (Антиплагиат)	0,16%	0,18%	2	3
✓ [54]	ДиссертацияБелоусов		Южно-Уральский государственный университет	0%	0,17%	0	3
✓ [55]	Повышение эффективно...	http://tekhnosfera.com/povyshenie-effektivnosti-ispolzovaniy...	Интернет (Антиплагиат)	0,16%	0,16%	4	4
✓ [56]	Автореферат		Южно-Уральский государственный университет	0%	0,15%	0	4
✓ [57]	Надтока, Иван Иванов...	http://dlib.rsl.ru/rsl01000000000/rsl01000248000/rsl01000248...	Диссертации и авторефераты РГБ	0%	0,15%	0	4
✓ [58]	Научно-инновационные...	http://ibooks.ru/reading.php?short=1&productid=24516	Модуль поиска ЭБС "Айбукс"	0%	0,14%	0	4
✓ [59]	Жичкин, Сергей Влади...	http://dlib.rsl.ru/rsl01002000000/rsl0100294000/rsl0100294...	Диссертации и авторефераты РГБ	0,01%	0,14%	1	4

✓ [60]	Научно-технический в...	http://www.bibliorossica.com/book.html?&currBookId=17598	Модуль поиска ЭБС БиблиоРоссика	0%	0,14%	0	5
✓ [61]	260941	http://e.lanbook.com/journal/issue.php?p_f_journal=2545&p_f_...	Модуль поиска ЭБС "Лань"	0%	0,14%	0	5
✓ [62]	168465	http://e.lanbook.com/journal/issue.php?p_f_journal=2382&p_f_...	Модуль поиска ЭБС "Лань"	0%	0,13%	0	3
✓ [63]	Дудкин ГрантФЦП2этап...		Южно-Уральский государственный университет	0%	0,13%	0	3
✓ [64]	Сборник докладов Шес...	http://www.bibliorossica.com/book.html?&currBookId=10315	Модуль поиска ЭБС БиблиоРоссика	0%	0,11%	0	2
✓ [65]	240911	http://biblioclub.ru/index.php?page=book_red&id=240911	Университетская библиотека онлайн	0%	0,11%	0	2
✓ [66]	ОБ УТВЕРЖДЕНИИ ПРОГР...	http://online.lexpro.ru/document/24047924	Коллекция юридических документов	0,09%	0,09%	2	2
✓ [67]	Диссертация Швидченк...		Южно-Уральский государственный университет	0%	0,09%	0	3
✓ [68]	267545	http://e.lanbook.com/journal/issue.php?p_f_journal=2560&p_f_...	Модуль поиска ЭБС "Лань"	0,08%	0,08%	2	2
✓ [69]	АДАПТАЦИЯ МОДЕЛЕЙ ЭЛ...	http://cyberleninka.ru/article/n/adaptatsiya-modeley-elektro...	Интернет (Антиплагиат)	0%	0,08%	0	2
✓ [70]	Научно-технический в...	http://www.bibliorossica.com/book.html?&currBookId=17606	Модуль поиска ЭБС БиблиоРоссика	0%	0,08%	0	2
✓ [71]	Вестник Иркутского Г...	http://www.bibliorossica.com/book.html?&currBookId=16616	Модуль поиска ЭБС БиблиоРоссика	0%	0,08%	0	2
✓ [72]	137121	http://biblioclub.ru/index.php?page=book_red&id=137121	Университетская библиотека онлайн	0%	0,08%	0	1
✓ [73]	ОБ УТВЕРЖДЕНИИ КОНЦЕ...	http://online.lexpro.ru/document/22661872	Коллекция юридических документов	0,01%	0,08%	1	1
✓ [74]	Научно-технический в...	http://www.bibliorossica.com/book.html?&currBookId=17587	Модуль поиска ЭБС БиблиоРоссика	0,07%	0,07%	2	2
✓ [75]	Стратегическое управ...	http://www.bibliorossica.com/book.html?&currBookId=17337	Модуль поиска ЭБС БиблиоРоссика	0%	0,07%	0	1
✓ [76]	Вестник Иркутского Г...	http://www.bibliorossica.com/book.html?&currBookId=16644	Модуль поиска ЭБС БиблиоРоссика	0%	0,07%	0	1
✓ [77]	Правовое регулирован...	http://ibooks.ru/reading.php?short=1&productid=24591	Модуль поиска ЭБС "Айбукс"	0%	0,07%	0	1
✓ [78]	72227	http://e.lanbook.com/books/element.php?pl1_id=72227	Модуль поиска ЭБС "Лань"	0%	0,07%	0	1
✓ [79]	58766	http://e.lanbook.com/books/element.php?pl1_id=58766	Модуль поиска ЭБС "Лань"	0%	0,07%	0	1
✓ [80]	51529	http://e.lanbook.com/books/element.php?pl1_id=51529	Модуль поиска ЭБС "Лань"	0%	0,07%	0	1
✓ [81]	О ФУНКЦИОНИРОВАНИИ Р...	http://online.lexpro.ru/document/1033319	Коллекция юридических документов	0%	0,07%	0	1
✓ [82]	О ФУНКЦИОНИРОВАНИИ Р...	http://online.lexpro.ru/document/1033304	Коллекция юридических документов	0%	0,07%	0	1
✓ [83]	О ФУНКЦИОНИРОВАНИИ Р...	http://online.lexpro.ru/document/1033312	Коллекция юридических документов	0%	0,07%	0	1
✓ [84]	ОБ УТВЕРЖДЕНИИ ОБЛАС...	http://online.lexpro.ru/document/382877	Коллекция юридических документов	0%	0,07%	0	1
✓ [85]	ОБ УТВЕРЖДЕНИИ ГОСУД...	http://online.lexpro.ru/document/22650314	Коллекция юридических документов	0%	0,07%	0	1
✓ [86]	ОБ УТВЕРЖДЕНИИ ДОЛГО...	http://online.lexpro.ru/document/21045994	Коллекция юридических документов	0%	0,07%	0	1
✓ [87]	Вестник Иркутского Г...	http://www.bibliorossica.com/book.html?&currBookId=16615	Модуль поиска ЭБС БиблиоРоссика	0%	0,05%	0	1
✓ [88]	ОБ УТВЕРЖДЕНИИ СХЕМЫ...	http://online.lexpro.ru/document/24580653	Коллекция юридических документов	0%	0,05%	0	1
✓ [89]	Вестник Иркутского Г...	http://www.bibliorossica.com/book.html?&currBookId=16614	Модуль поиска ЭБС БиблиоРоссика	0,05%	0,05%	1	1
✓ [90]	16222 5003 20a1e5eb....		Кольцо вузов	0%	0,05%	0	1
✓ [91]	Моделирование и упра...	http://www.bibliorossica.com/book.html?&currBookId=13391	Модуль поиска ЭБС БиблиоРоссика	0%	0,05%	0	1
✓ [92]	137710	http://biblioclub.ru/index.php?page=book_red&id=137710	Университетская библиотека онлайн	0%	0,05%	0	1
✓ [93]	Моделирование и упра...	http://ibooks.ru/reading.php?short=1&productid=333484	Модуль поиска ЭБС "Айбукс"	0%	0,05%	0	1
✓ [94]	Фундаментальные иссл...	http://www.bibliorossica.com/book.html?&currBookId=18488	Модуль поиска ЭБС БиблиоРоссика	0,04%	0,04%	1	1

✓ [95]	13.00.05 – Теория, м...	http://www.bibliorossica.com/book.html?&currBookId=14101	Модуль поиска ЭБС БиблиоРоссика	0%	0,04%	1	1
✓ [96]	Современные технолог...	http://www.bibliorossica.com/book.html?&currBookId=19288	Модуль поиска ЭБС БиблиоРоссика	0,04%	0,04%	2	2
✓ [97]	Автоматизация и совр...	http://biblioclub.ru/index.php?page=book_red&id=73615	Университетская библиотека онлайн	0%	0,04%	0	2
✓ [98]	Системы поддержки пр...	http://ibooks.ru/reading.php?short=1&productid=334361	Модуль поиска ЭБС "Айбукс"	0%	0,04%	0	2
✓ [99]	Проектирование полиг...	http://ibooks.ru/reading.php?short=1&productid=342519	Модуль поиска ЭБС "Айбукс"	0%	0,04%	0	1
✓ [100]	42977	http://e.lanbook.com/books/element.php?pl1_id=42977	Модуль поиска ЭБС "Лань"	0,04%	0,04%	2	2
✓ [101]	62567	http://biblioclub.ru/index.php?page=book_red&id=62567	Университетская библиотека онлайн	0%	0,03%	0	1
✓ [102]	ДОКУМЕНТ БЕЗ НАЗВАНИ...	http://online.lexpro.ru/document/24753128	Коллекция юридических документов	0%	0,03%	0	1
✓ [103]	О ВНЕСЕНИИ ИЗМЕНЕНИЙ...	http://online.lexpro.ru/document/21449549	Коллекция юридических документов	0%	0,03%	0	1
✓ [104]	210218	http://biblioclub.ru/index.php?page=book_red&id=210218	Университетская библиотека онлайн	0%	0,03%	0	1
✓ [105]	Электричество. 2008....	http://biblioclub.ru/index.php?page=book_red&id=76926	Университетская библиотека онлайн	0%	0,02%	0	1
✓ [106]	Электрификация и эне...	http://biblioclub.ru/index.php?page=book_red&id=69692	Университетская библиотека онлайн	0%	0,02%	0	1
✓ [107]	Естественные и техни...	http://ibooks.ru/reading.php?short=1&productid=340203	Модуль поиска ЭБС "Айбукс"	0%	0,02%	0	1
✓ [108]	1538	http://e.lanbook.com/books/element.php?pl1_id=1538	Модуль поиска ЭБС "Лань"	0%	0,02%	0	1
✓ [109]	62921	http://biblioclub.ru/index.php?page=book_red&id=62921	Университетская библиотека онлайн	0,02%	0,02%	2	2
✓ [110]	225695	http://biblioclub.ru/index.php?page=book_red&id=225695	Университетская библиотека онлайн	0,02%	0,02%	2	2

Оригинальные блоки: 80,33%

Заимствованные блоки: 19,56%

Заимствование из "белых" источников: 0,11%

Итоговая оценка оригинальности: **80,44%**

Федеральное государственное автономное образовательное учреждение
высшего образования

«Южно-Уральский государственный университет
(национальный исследовательский университет)»

На правах рукописи

Филимонова Александра Александровна

МЕТОДЫ МНОГОУРОВНЕВОГО ПЛАНИРОВАНИЯ И

УПРАВЛЕНИЯ ЭЛЕКТРОПОТРЕБЛЕНИЕМ

МЕТАЛЛУРГИЧЕСКОГО ПРЕДПРИЯТИЯ

Специальность 05.09.03 – «Электротехнические комплексы и системы»

Диссертация

на соискание ученой степени

кандидата технических наук

Научный руководитель –

доктор технических наук,

профессор Казаринов Л.С.

Челябинск – 2016

2

ОГЛАВЛЕНИЕ

ВВЕДЕНИЕ	4
1 АНАЛИЗ ПРОБЛЕМ ПЛАНИРОВАНИЯ И УПРАВЛЕНИЯ ЭЛЕКТРОПОТРЕБЛЕНИЕМ МЕТАЛЛУРГИЧЕСКИХ ПРЕДПРИЯТИЙ	10
1.1 Анализ проблем многоуровневого планирования и управления электропотреблением предприятий	10
1.2 Обзор литературы	16
1.3 Постановка цели и задач исследования	24
2 МЕТОДЫ МНОГОУРОВНЕВОГО ПЛАНИРОВАНИЯ И УПРАВЛЕНИЯ ЭЛЕКТРОПОТРЕБЛЕНИЕМ МЕТАЛЛУРГИЧЕСКОГО ПРЕДПРИЯТИЯ	26
2.1 Метод краткосрочного планирования электропотребления на уровне подразделений	26
2.2 Метод среднесрочного планирования и управления электропотреблением металлургического предприятия в целом	33
2.3 Многоуровневое планирование и управление электропотребления металлургического предприятия	40
Выводы к разделу 2	46
3 ОРГАНИЗАЦИОННЫЕ, АЛГОРИТМИЧЕСКИЕ И ПРОГРАММНЫЕ ВОПРОСЫ ОБЕСПЕЧЕНИЯ ПЛАНИРОВАНИЯ И УПРАВЛЕНИЯ ЭЛЕКТРОПОТРЕБЛЕНИЕМ МЕТАЛЛУРГИЧЕСКОГО ПРЕДПРИЯТИЯ	48
3.1 Организация планирования и управления электропотреблением металлургического предприятия	48
3.2 Алгоритмы решения задачи минимизации общей ошибки прогноза потребления электроэнергии предприятием	51
3.3 Программное обеспечение оптимального прогноза объемов потребления электроэнергии подразделениями ОАО «ММК» и комбинатом в целом	58
Выводы к разделу 3	65
4 ЭКСПЕРИМЕНТАЛЬНЫЕ ИССЛЕДОВАНИЯ МЕТОДОВ ПЛАНИРОВАНИЯ И УПРАВЛЕНИЯ ЭЛЕКТРОПОТРЕБЛЕНИЕМ МЕТАЛЛУРГИЧЕСКОГО ПРЕДПРИЯТИЯ	66
4.1 Результаты проведения экспериментальных исследований метода среднесрочного планирования электропотребления на реальных данных ОАО «ММК»	66
4.1.1 Экспериментальные исследования для основных видов продукции 69	
4.1.2 Экспериментальные исследования для цехов металлургического производства	76
4.1.3 Экспериментальные исследования для электростанций	98
4.1.4 Технический эффект внедрения методики среднесрочного планирования и управления электропотреблением на ОАО «ММК»	104
4.2 Результаты проведения экспериментальных исследований методики краткосрочного планирования электропотребления на реальных данных металлургических предприятий	109
4.2.1 Результаты проведения экспериментальных исследований методики почасового планирования электропотребления для ЛПЦ-4, ЛПЦ-5, ЛПЦ-9 ОАО «ММК»	109
4.2.2 Результаты проведения экспериментальных исследований методики почасового планирования электропотребления для металлургического предприятия 1-й ценовой зоны	118
4.3 Экономический эффект от применения результатов работы	130
Выводы к разделу 4	132
ОСНОВНЫЕ ВЫВОДЫ И РЕЗУЛЬТАТЫ	134
СПИСОК ЛИТЕРАТУРЫ	136
ПРИЛОЖЕНИЕ Акт внедрения результатов диссертационной работы	153

4

ВВЕДЕНИЕ

Актуальность темы.

Основным направлением хозяйственной политики на промышленных

предприятиях РФ в настоящее время является энергосбережение и повышение

эффективности использования энергии. Существенный вклад в развитии работ по данному направлению внесли как отечественные, так и зарубежные исследователи: Анчарова Т.В. [22-24], Бэнн Д.В. [34, 35], Вагин Г.Я. [33, 3639], Гордеев В.И. [30, 31], Гофман И.В. [53, 54], Заславец Б.И. [65, 66, 101-103], Копцев Л.А. [57, 76, 78-80], Кудрин Б.И. [81-83], Лисиенко В.Г. [84], Литвак В.В. [85, 86], Лоскутов А.Б. [33, 36, 39], Макоклюев Б.И. [87-92], Манусов В.З. [93, 94], Надтока И.И. [30, 99], Никифоров Г.В. [57, 65, 101-103, 108], Олейников В.К. [65, 101-103, 108, 142], Поляхов Н.Д. [109, 110], Праховник А.В. [111, 112], Розен В.П. [112], Фармер Е.Д. [34, 35], Хохлов Ю.И. [134-136], Andersen F.M. [1, 2], Ashok S. [3], Espasa A. [7], Hyndman R.J. [8, 10, 13], Larsen H.V. [1, 2], Lin C.W. [15], Moodie C.L. [15], Taylor J.W. [1820], Weron R. [21] и др.

Несмотря на большое количество работ, посвященных снижению энергетических затрат на промышленных предприятиях, системный эффект энергосбережения на многих предприятиях РФ еще не получен. Одной из причин является отсутствие должного учета влияния многоуровневой организационной структуры предприятия на принятие решений по планированию и управлению энергопотреблением технологических процессов.

Общие вопросы принятия решений в сложных многоуровневых системах рассмотрены в работах Мако Д. [96], Месаровича М., Мишина С.П. [40-42, 56, 97, 98], Новикова Д.А. [105, 106], Такахара И., Цвиркуна А.Д. [138-140] и др.

Применение методологии принятия решений в сложных многоуровневых системах является перспективным направлением исследований, так как системный эффект энергосбережения **может быть получен лишь на основе введения целостной системы** планирования и управления

5

энергопотреблением, охватывающей все уровни предприятия. Особую актуальность вопрос многоуровневого подхода получил в настоящее время в связи с необходимостью введения предприятиями почасового планирования электропотребления. Решение данной задачи для крупных предприятий является затруднительным вследствие необходимости учета технологических взаимосвязей между отдельными цехами и производствами, четкого выполнения контактного графика работ. В настоящее время данная задача для крупных предприятий в многоуровневой постановке пока еще не решена. Предлагаемая диссертационная работа посвящена исследованию указанной задачи применительно к электропотреблению металлургических предприятий, что определяет ее актуальность.

Актуальность рассматриваемых вопросов указана в Федеральном законе от 23.11.2009 г. №261 «Об энергосбережении и о повышении энергетической эффективности, и о внесении изменений в отдельные законодательные акты Российской Федерации» и других нормативно-правовых актах в сфере энергосбережения.

Целью диссертационной работы является повышение эффективности многоуровневого планирования и управления электропотреблением технологических процессов металлургического предприятия с учетом почасового планирования работ, сокращение затрат на электрическую энергию как на уровне отдельных подразделений, так и предприятия в целом. В работе решаются следующие задачи:

1. Провести анализ задач и проблем планирования и управления электропотреблением технологических процессов металлургического производства, определяющих качество принимаемых решений в многоуровневой структуре предприятия с учетом введения почасового планирования.
2. Разработать метод разрешения межуровневых противоречий при принятии решений на основе введения агрегированных показателей динамики потребления электрической энергии, позволяющих согласовать

6

детализованные представления динамики потребления электрической энергии на локальных уровнях отдельных технологических процессов с учетом почасового планирования и обобщенные представления на верхнем уровне.

3. Разработать метод многоуровневого прогнозирования электропотребления, основанный на оптимальном построении энергетических характеристик технологических процессов с **заданной точностью по критерию минимума технико-экономических потерь при** управлении.

4. Разработать методику почасового нормирования и прогнозирования динамики электропотребления для сложных технологических процессов на уровне подразделений.

5. Разработать алгоритмическое и программное обеспечение, обеспечивающее прогноз потребления электроэнергии **при заданных плановых значениях выпуска продукции и установленных значениях базовых технологических факторов.**

6. Внедрить разработанные методы прогнозирования потребления электроэнергии в практику управления технологическими процессами металлургического производства ОАО «ММК».

Объектом исследования являются процессы электропотребления энергоемких технологий в металлургии.

Предметом исследования являются методы управления электропотреблением технологических процессов в металлургии. Методы исследования. Для решения задач, поставленных в диссертационной работе, использовались: основные положения теоретических основ электротехники, методы математической статистики, теории автоматического управления, оперативного управления в электроэнергетических системах.

Научные положения, выносимые на защиту, и их научная новизна.

1. Предложен новый метод многоуровневого прогнозирования электропотребления, учитывающий несогласованность агрегированных представлений динамики потребления электроэнергии на верхнем уровне и

7 высокую степень детализации представления динамики электропотребления на нижних уровнях при почасовом планировании, на основе которого повышается точность прогноза электропотребления для сложных технологических процессов и производств.

2. Разработана методика почасового нормирования и прогнозирования электропотребления для сложных производственных комплексов, основанная на решении задачи минимизации производственных расходов с учетом интегральной оценки эффективности графиков электропотребления на уровне подразделений.

3. Разработан метод разрешения межуровневых противоречий при планировании и управлении электропотреблением технологических процессов в многоуровневой структуре предприятия на основе введения нового агрегированного показателя – индекса снижения стоимости потребления электроэнергии, обеспечивающий объективный контроль и управление качеством локального планирования графиков электропотребления на производственных участках.

Практическая ценность.

1. Разработанное методическое и программное обеспечение позволяет осуществлять прогноз потребления электрической энергии при заданных плановых значениях выпуска продукции и установленных значениях базовых технологических факторов, определять величину перерасхода потребления энергии и причин, ее обуславливающих, оценить резервы снижения потребления электроэнергии.

2. Разработанная процедура почасового нормирования и прогнозирования электропотребления, основанная на интегральной оценке оптимальности графиков электропотребления, позволяет организовать централизованный контроль, планирование и прогнозирование качества локальных графиков электропотребления для производственных участков.

3. Использование разработанных алгоритмов позволяет сократить ошибку прогнозирования потребления электроэнергии как на локальном

8 уровне отдельных производственных участков, так и уровне предприятия в целом.

Реализация работы.

Разработанное методическое и программное обеспечение используется в Технологическом управлении ОАО «ММК» при решении задач нормирования и управления электропотреблением промышленной площадки ОАО «ММК».

Внедрение результатов диссертационной работы подтверждено соответствующим актом. Технологический эффект внедрения на ОАО «ММК» состоит в снижении общей ошибки прогнозирования потребления электроэнергии предприятием в целом на величину не менее 0,5%. Повышение точности прогноза при почасовом планировании на уровне отдельных подразделений за 2014 год составило 8,2%.

Апробация работы.

Материалы диссертационной работы докладывались на конференциях: Международной научно-технической конференции «Пром-Инжиниринг», Челябинск, 2016 г., Международной конференции «Устойчивое энергетическое развитие в энергетике и строительстве 2015» (Sustainability in Energy and Buildings, SEB-15), Португалия, г. Лиссабон, 2015 г., 17-й международной конференции по энергетическому менеджменту (17th

International Conference on Energy Management), Италия, г. Рим, 2015 г., 66-ой научной конференции «Наука ЮУрГУ»: Секции технических наук, Челябинск, 2014 г., Международной научно-практической конференции «Роль технических наук в развитии общества», Уфа, 2014 г., XXXVIII международной научно-практической конференции «Инновации в науке», Новосибирск, 2014 г., Международной научно-практической конференция «Научные исследования: от теории к практике», Чебоксары, 2014 г., XXXII Всероссийской конференции по проблемам науки и технологий «Наука и технологии», Миасс, 2012 г., 7-ой международной научно-практической конференции «Будущее вопросы от света на науката», София, 2011 г.

9 Публикации. По теме диссертационной работы опубликовано 20 работ, в том числе 7 статей в журналах, рекомендованных ВАК, 3 статьи – в базе SCOPUS.

Структура и объем работы. Диссертация содержит введение, четыре главы, общие выводы, список литературы, включающий 145 наименований, одно приложение. Диссертация изложена на 154 страницах и содержит 29 рисунков.

10

1 АНАЛИЗ ПРОБЛЕМ ПЛАНИРОВАНИЯ И УПРАВЛЕНИЯ ЭЛЕКТРОПОТРЕБЛЕНИЕМ МЕТАЛЛУРГИЧЕСКИХ ПРЕДПРИЯТИЙ

1.1 Анализ проблем многоуровневого планирования и управления электропотреблением предприятий

Предприятия черной металлургии относятся к одной из наиболее энергоемких отраслей промышленности РФ [27-29]. При этом, затраты металлургических предприятий РФ на электрическую энергию существенно превышают затраты на электропотребление крупных зарубежных производителей металла. В условиях рыночной экономики и значительного

повышения цен на энергоресурсы особую актуальность приобретает задача планирования и управления электропотреблением металлургического предприятия [101].

Современное металлургическое предприятие представляет собой сложную многоуровневую систему, функционирование которой определяется характером взаимосвязей между ее элементами, внешними и внутренними факторами [102]. Вследствие этого задача планирования и управления электропотреблением на металлургическом предприятии **должна решаться комплексно как путем детального анализа потребления электрической энергии частных производственных участков, так и с использованием алгоритмов нормирования и прогнозирования потребления энергетических ресурсов в целом по предприятию.** Представление металлургического предприятия в виде многоуровневой системы позволяет отразить особенности каждого уровня управления. Координация уровней системы должна осуществляться таким образом, чтобы элементы нижнего уровня способствовали достижению целей все более высокого уровня.

В общем случае многоуровневая структура управления электропотреблением металлургического предприятия включает в себя верхний технико-экономический уровень и нижний уровень подразделений.

11

Обобщенная схема многоуровневой структуры управления электропотреблением металлургического предприятия приведена на рисунке 1.1.

Рис.1.1. Обобщенная схема управления электропотреблением металлургического предприятия

На рис. 1.1: Π – потребители-регуляторы электропотребления; Π_i – прочие потребители энергоресурсов; P – плановое количество продукции; $гop$ – оперативное управление работой потребителей-регуляторов электропотребления; G_1

, G_2

, G_n

– фактический график электропотребления соответствующего подразделения; W_1

, W_2

, W_n

– величина электропотребления соответствующего подразделения.

Здесь технико-экономический уровень представлен подсистемой планирования и контроля предприятия в целом. На основе информации о производственных заданиях в подсистеме планирования и контроля осуществляется выбор оптимального распределения ресурсов между подразделениями предприятия. При этом учитываются внешние

12

возмущающие воздействия. Назначение обоснованных плановых заданий по объемам электропотребления и энергоемкости, оценка их выполнения осуществляются исходя из объективного анализа возможностей технологического оборудования и особенностей его функционирования в существующих производственных условиях.

На уровне подразделений решаются локальные задачи управления электропотреблением. Считается, что лицо, принимающее решение на уровне подразделения, получив определенную нормированную величину ресурсов, должно стремиться минимизировать затраты на нужды электропотребления на локальном уровне.

Оперативно-диспетчерское управление осуществляется с использованием специальных потребителей-регуляторов, заданием электропотребления которых можно добиться управления электропотреблением всего предприятия в заданных пределах.

Одним из основных элементов системы управления электропотреблением технологического процесса является подсистема сбора и обработки информации о текущем потреблении энергетических ресурсов. На основе технических отчетов и данных из подсистемы сбора и обработки информации **формируется информационная база данных об эффективности использования электроэнергии за отчетный период.** С использованием полученной базы данных в подсистеме планирования и контроля **осуществляется текущий контроль эффективности использования энергетических ресурсов подразделениями.** При этом также используются данные **расчетнонормативной базы.**

В целом система управления электропотреблением должна осуществлять оптимизацию производства по показателям энергоемкости. При этом принятие решений по планированию и управлению электропотреблением технологических процессов в многоуровневой структуре предприятия характеризуется межуровневыми противоречиями, среди которых необходимо выделить:

13

несогласованность агрегированных представлений динамики потребления электрической энергии на верхнем уровне и высокой степени детализации представления динамики на нижних уровнях; несогласованность между общими оценками объемов потребления электроэнергии предприятия и суммарными локальными оценками объемов потребления электроэнергии на уровне отдельных технологических процессов.

Разрешение данных противоречий является необходимым условием достижения системного эффекта повышения энергетической эффективности и прогресса в данном направлении.

Особую актуальность вопрос многоуровневого подхода получил в связи с необходимостью введения предприятиями почасового планирования электропотребления. Решение данной задачи для крупных предприятий является затруднительным вследствие необходимости учета технологических взаимосвязей между отдельными цехами и производствами, четкого выполнения контактного графика работ. В настоящее время данная задача для крупных предприятий в многоуровневой постановке пока еще не решена. Почасовое планирование электропотребления дает техникоэкономический эффект на основе следующих факторов:

- 1) более точного контроля потребления электрической энергии, которое позволит выявить места и временные интервалы повышенного использования электрической энергии и оценить резервы снижения объемов потребления электрической энергии;
- 2) снижения затрат на приобретение электрической энергии вследствие переноса электропотребления в более льготный ценовой диапазон.

В соответствии с Постановлением Правительства РФ от 04.05.2012 № 442 определены шесть ценовых категорий для потребителей электроэнергии в зависимости от применяемого в расчетах тарифа, пять из которых подразумевает жесткий контроль потребления электроэнергии. В целях стимулирования предприятий внедрять почасовой учет и почасовое планирование электропотребления с 1 июля 2013 г. для крупных потребителей (с максимальной мощностью не менее 670 кВт) был введен запрет на применение в расчетах первой и второй ценовых категорий, что привело к резкому росту цены электроэнергии для многих предприятий. Пятая и шестая ценовые категории делают необходимым для потребителей построение почасовых прогнозов на сутки вперед. Такие прогнозы позволяют потребителю снизить стоимость покупной электроэнергии, так как позволяют оптимизировать свое производство и сдвигают наибольшие нагрузки в часы, где нерегулируемая цена минимальна. Необходимость точного прогнозирования потребления электроэнергии обусловлена механизмом функционирования оптового рынка электроэнергии.

Субъект оптового рынка берет на себя некоторый риск, который связан с невозможностью точного планирования заявки на потребление электроэнергии. Отклонения фактического потребления от заявленных значений больше определенного процента приводит к закупке электроэнергии с балансирующего рынка по большей цене. Отклонение в меньшую сторону тоже карается оплатой недопоставленной электроэнергии, определяемой разницей между заявленным и фактическим потреблением по установленным расценкам. Таким образом, высокая точность прогноза позволяет снизить финансовые потери субъекта оптового рынка.

Существующие методики прогноза электрической нагрузки потребителей, как правило, основываются на статистическом анализе временных рядов потребления электроэнергии. Недостатком данного подхода является то, что здесь анализируются только внешние для потребителей факторы, влияющие на потребление электроэнергии. Такими факторами являются: температура окружающего воздуха, облачность, долгота дня, день недели, наличие экстраординарных событий, планируемое включение/отключение энергоемких производств и др. Подобный подход дает относительно точные результаты только применительно к большим массивам потребителей, например, промышленный и жилищно-коммунальный секторы города, нагрузка освещения и т.п. Относительно отдельного потребителя, в

нашем случае - промышленного предприятия, точность подобного подхода невелика [70].

Точное прогнозирование потребления электроэнергии промышленного предприятия требует анализа внутренних производственных факторов. В настоящее время на многих крупных металлургических предприятиях подход к прогнозированию потребления электроэнергии на основе анализа внутренних производственных факторов реализуется для помесячного нормирования и прогнозирования электропотребления. Переход к посуточному и почасовому нормированию и прогнозированию потребления электроэнергии требует разработки иной методики прогнозирования. В данной работе излагаются основы нового подхода к планированию потребления электроэнергии на краткосрочные периоды с учетом многоуровневой структуры предприятия.

1.2 Обзор литературы

Решению проблемы планирования и управления электропотреблением на промышленных предприятиях посвящено большое количество работ. Важнейшими задачами при планировании и управлении электропотреблением на металлургическом предприятии является задачи нормирования и прогнозирования расходов электроэнергии. Обоснованные нормы потребления электроэнергии позволяют осуществлять прогноз электропотребления для отдельных подразделений и предприятия в целом, осуществлять контроль эффективности использования электрической энергии конкретным подразделением (на конкретном агрегате), а также определять участки неэффективного электропотребления. Вопросы нормирования электропотребления рассмотрены в работах Анчаровой Т.В. [22], Борисова Б.П., Вагина Г.Я. [33, 38, 39], Гофманом И.В. [53], Кудрина Б.И. [82]. В работе [22] Анчаровой Т.В. предложены методы удельных норм

расхода электроэнергии электроемкости продукции для предприятий с широкой номенклатурой производства. В целях нормирования предлагается использовать среднестатистический подход, который заключается в установлении удельных норм по отчетно-статистическим данным о фактическом расходе электроэнергии и выпуске продукции. Для сокращения количества видов продукции, по которым ведется нормирование, предложено разбить их на группы по технологическим признакам или электропотреблению.

Федотовым А.И. в [127] дается описание использования метода математического моделирования при нормировании электропотребления на примере одного из промышленных предприятий химической отрасли. Метод математического моделирования позволяет нормировать электропотребление многономенклатурного промышленного предприятия при изменяемых объемах произведенной продукции с достаточной точностью при минимуме информации о структуре предприятия.

17

Никифоров Г.В., Олейников В.К., Заславец Б.И. в работе [101] сформулировали основные проблемы управления электропотреблением и энергосбережением в металлургическом производстве и привели возможные пути их решения. В работе рассмотрены задачи нормирования, планирования энергозатрат по уровням управления. Большое внимание уделено вопросам прогнозирования потребления энергии в металлургическом производстве. В работе [101] Никифорова Г.В. предложен метод прогнозирования расхода энергоресурсов, основанный на построении регрессионных моделей с включением фактора времени. Влияние производственных факторов, выраженное коэффициентами регрессии прогнозной модели, изменяется от периода к периоду. Анализ изменчивого влияния во времени основных факторов позволяет определить закономерности изменения во времени соотношения между детерминированной, вероятностной и случайной компонентами процесса формирования динамики потребления электрической энергии в условиях металлургического производства.

Решение задачи прогнозирования электропотребления на основе многофакторного регрессионного и корреляционного анализов осуществляется в работах Белана А.В., Гордеева В.И. [31], Bianco V. [6], Dordonnat V. [9]. В работе Манусова В.З. [94] **оценка и прогнозирование электропотребления в энергосистемах** осуществляется **на основе нечеткого регрессионного анализа**.

В работе Dordonnat V. [9] рассмотрена динамическая множественная периодическая регрессионная модель для почасовых данных. Зависимые почасовые временные ряды представлены как дневные многомерные модели временных рядов. Коэффициенты регрессии различаются в зависимости от уравнений (или часов) и стохастически меняются в течение нескольких дней. Так как неограниченная модель содержит много неизвестных параметров, в рамках пространства состояний разработана эффективная методология, которая накладывает общие динамические факторы для параметров, которые управляют динамикой различных уравнений. Факторный подход приводит к более точной оценке коэффициентов. Имитационное моделирование для

18

базовой версии модели иллюстрирует повышенную точность для набора одномерных тестовых моделей.

В зависимости от величины горизонта прогноза можно выделить следующие категории прогнозирования:

- долгосрочное прогнозирование;
- среднесрочное прогнозирование;
- краткосрочное и оперативное прогнозирование.

При долгосрочном прогнозировании и планировании горизонт прогноза составляет год и более.

Вопросы долгосрочного прогнозирования электропотребления рассмотрены в работах Andersen F.M., Larsen H.V. [2]. Модель, представленная в работе [2], предполагает, что почасовой график нагрузки также изменяется при изменении величины потребления электроэнергии по категориям потребителей и учитывает влияние введения новых энергосберегающих технологий

Среднесрочный прогноз предполагает прогнозирование сроком от месяца до года.

Краткосрочное прогнозирование и оперативно-диспетчерское управление электропотреблением является на сегодняшний день актуальной технико-экономической задачей для промышленных предприятий и энергоснабжающих организаций [6-10, 13, 16-21]. Краткосрочные и оперативные прогнозные оценки электропотребления составляют основную информацию для принятия решений о планировании потребления электроэнергии предприятиями и развития электроснабжения.

В статье Ashok S. [3] рассмотрены вопросы управления нагрузкой на небольших сталеплавильных заводах в Индии. В работе описана модель нагрузки, которая включает в себя характеристики периодических нагрузок, общих для любого типа перерабатывающей промышленности. Предлагаемая методология может быть использована для всех отраслей промышленности, использующих временные тарифы. Пример металлургического завода показывает, что значительное сокращение в пиковые периоды потребления

19

(около 50%) и стоимости электроэнергии (около 5,7%) возможно с помощью планирования оптимальной нагрузки.

Авторами в работе [142] рассмотрены теоретические и практические

аспекты оперативного планирования и управления электропотреблением на промышленном предприятии. Представлены возможности математического моделирования и оптимизации технологических режимов. На примере агломерационного производства крупного металлургического комбината выполнены расчеты оптимально-компромиссного режима. Показано, что в результате решения задачи координации сменная производительность аглофабрики увеличится, а электропотребление сократится. Повышение точности краткосрочных прогнозных оценок электропотребления обеспечивает значительную экономию, что обуславливает актуальность работ, связанных с разработкой методов и алгоритмов краткосрочного и оперативного прогнозирования электропотребления для систем принятия решений в электроэнергетике. Вопросы повышения точности прогнозных оценок рассмотрены в работах Макоклюева Б.И., Поляхова Н.Д. [87, 89, 110]. Новиковым С.С. в [127] представлен пример построения оперативного прогноза электропотребления крупного металлургического предприятия для обеспечения точности планирования, рассматриваемого как средство снижения рисков при работе на оптовом рынке электроэнергии. В работе [110] авторами предлагается обрабатывать исходные данные наблюдений с помощью метода главных компонент, что позволяет уменьшить размерность обучающей выборки. Для прогнозирования электропотребления выбран метод опорных векторов. Преимуществом метода является то, что параметры регрессионной модели определяются на основе решения задачи квадратичного программирования, имеющей единственное решение. Оптимизация параметров ядерной функции выполнена на основе генетического алгоритма и алгоритма роя частиц. Исследования моделированием подтверждают эффективность предложенного подхода.

20

Ошибка прогнозирования уменьшилась по сравнению с прогнозом на основе статистических моделей в 2 раза.

Особый интерес представляют работы Б.И. Кудрина, Гнатьюка В.И., Лагуткина О.Е., Ошуркова М.Г. по краткосрочному прогнозированию объемов электропотребления на основе техноценоза. Термин «техноценоз» предложен Б.И. Кудриным в 1974 г. Техноценоз определяется как ограниченное в пространстве и времени сообщество всех изделий, включающее все популяции. При этом характеризуется слабыми связями и слабым взаимодействием элементов, образующих систему искусственного происхождения, несопоставимую времени жизни ценоза и особи. Методологически исследование техноценозов основывается на изучении распределения видов изделий выделенного ценоза по повторяемости. Обнаруженная закономерность построения технических систем может быть объяснена на основе закона информационного отбора. Специфика техноценозов проявляется в методологических основаниях их исследования. Техноценозы не поддаются описанию ни традиционными методами гауссовой математической статистики, оперирующей понятиями среднего и дисперсии как информативно насыщенными свертками больших массивов статистической информации. Чтобы корректно описать техноценоз необходимо постоянно оперировать выборкой в целом, как бы велика она ни была, что предполагает построение видовых и ранговых распределений, теоретическая основа которых лежит в области негауссовой математической статистики устойчивых безгранично делимых распределений. Методики построения видовых и ранговых распределений и их последующее использование в целях оптимизации техноценоза составляют основной смысл рангового анализа.

Устойчивость системы обусловлена действием законов энергетического и информационного отборов по аналогии с живыми системами, где действует закон естественного отбора. Б. И. Кудрин предложил использовать модель Нраспределения для математического описания видового и рангового распределения техноценозов:

21

1 i

i

A

A

X

(1.1)

где

i

A – теоретическое значение числа видов для всех i;

i

X –

численность популяции; , A – постоянные видового распределения.

Современное металлургическое предприятие включает в себя сложные технологические, электрические, информационные и другие сети, и актуальными становятся проблемы их построения и обеспечения нормального функционирования. Отмеченные ценологические свойства металлургических предприятий констатируют устойчивость явления, проявляющегося с определенного уровня организации некоторого множества элементов с неопределенными связями, способность ценозов формировать в процессе образования и сохранять в процессе развития устойчивую структуру при

наличии различных механизмов отбора.

Аналогично (1.1) можно определить электропотребление предприятия:

1
г
W
W
г
где
г

W – электропотребление особи с рангом г;

1

W – максимальное

электропотребление; г

– ранговый коэффициент, характеризующий форму

кривой распределения.

В работе [145] Южанниковым А.Ю. предложена методика

ценологического моделирования электропотребления, позволяющая на основе

рангового анализа повысить качество электропотребления. Авторами

проводится ранжирование данных фактического электропотребления для

дальнейшей аппроксимации полученного множества данных функциями

различного вида.

Особого внимания заслуживают работы Воронова И.В., Демурь А.В. по

краткосрочному прогнозированию объемов электропотребления на основе

нейронной сети. В работе [44] авторами рассматривается возможность

краткосрочного прогнозирования электропотребления энергосистем с

применением искусственных нейронных сетей. Предлагается методика

22

выбора оптимальной конфигурации искусственной нейронной сети с

помощью генетического алгоритма. Производится прогнозирование

электропотребления Иркутской, Красноярской и Кузбасской энергосистем с

помощью искусственной нейронной сети и оценивается точность получения

прогноза.

В работе Манусова В.З. [93] проведен сравнительный анализ двух

моделей прогнозирования электрической нагрузки промышленных

предприятий, построенных на основе регрессионного анализа и

искусственных нейронных сетей. Рассмотрено применение на практике

нейронных сетей, а также программных комплексов Statistika и Statistika

Neural Networks для прогнозирования электрической нагрузки. Показана

точность моделей прогноза с применением искусственных нейронных сетей

(ИНС) при решении задачи краткосрочного прогнозирования электрической

нагрузки. Модель на основе ИНС для прогнозирования нагрузки показала

лучшие результаты, что в свою очередь еще раз доказывает её эффективность

по сравнению с традиционными методами. ИНС является мощным и

эффективным средством решения задач в условиях неопределенности и

вполне удовлетворяет современным требованиям оптового рынка.

Несмотря на большое количество работ, посвященных снижению

энергетических затрат на металлургических предприятиях, системный эффект

энергосбережения на многих предприятиях РФ еще не получен. Одной из

причин является отсутствие должного учета влияния многоуровневой

организационной структуры предприятия на принятие решений по

планированию и управлению энергопотреблением технологических

процессов.

В работе [101] Никифоровым Г.В. и др. предлагается рассматривать

систему электроснабжения металлургического предприятия как совокупность

многоуровневых иерархически организованных подсистем. Авторами

предложено выделять отдельные энергоемкие потребители, обладающие

ценологическими свойствами системы, и рассматривать их как отдельные

уровни управления многоуровневой подсистемы электропотребления

23

металлургического производства, обладающие определенными

закономерностями.

Общие вопросы принятия решений в сложных многоуровневых системах

рассмотрены в работах Мако Д., Месаровича М., Такахара И. [96], Мишина

С.П. [40-42, 56, 97, 98], Новикова Д.А. [105, 106], Цвиркуна А.Д. [138-140] и

др.

В работе Lin C.W., Moodie C.L. [15] «Иерархическое планирование

производства для современной системы производства стали» описана

методология, которая позволяет получить подробный график производства,

обеспечивающий плавное непрерывное операций в современной системе

производства стали. Производственный график обеспечивает выполнение

заказов клиентов и другие необходимые операции при минимально

возможных затратах энергии. Две модели математического программирования

и эвристические последовательности разрабатываются на различных уровнях

иерархии интегрированного управления. Также была построена имитационная

модель, использующаяся для оценки плановой системы и исследования

основных результатов. Статистический анализ показывает повышение

точности планирования процесса производства стали.

Проведенный обзор литературы показал, что задача планирования и

управления электропотреблением для крупных предприятий в

многоуровневой постановке в полной мере еще не решена. Исследованию

указанной задачи применительно к электропотреблению металлургических

предприятий посвящена предлагаемая диссертационная работа.

24

1.3 Постановка цели и задач исследования

Решение задачи планирования и управления электропотреблением для крупных предприятий является затруднительным вследствие необходимости учета технологических взаимосвязей между отдельными цехами и производствами, четкого выполнения контактного графика работ. Обзор литературы показал, что в настоящее время данная задача для крупных предприятий в многоуровневой постановке пока еще не решена. Целью диссертационной работы является повышение эффективности многоуровневого планирования и управления электропотреблением технологических процессов металлургического предприятия с учетом почасового планирования работ, сокращение затрат на электрическую энергию как на уровне отдельных подразделений, так и предприятия в целом.

Для достижения указанной цели необходимо решить следующие задачи

исследовательского, методологического и прикладного характера:

1. Провести анализ задач и проблем планирования и управления электропотреблением технологических процессов металлургического производства, определяющих качество принимаемых решений в многоуровневой структуре предприятия с учетом введения почасового планирования.
2. Разработать метод разрешения межуровневых противоречий при принятии решений на основе введения агрегированных показателей динамики потребления электрической энергии, позволяющих согласовать детализованные представления динамики потребления электрической энергии на локальных уровнях отдельных технологических процессов с учетом почасового планирования и обобщенные представления на верхнем уровне.
3. Разработать метод многоуровневого прогнозирования электропотребления, основанный на оптимальном построении энергетических характеристик технологических процессов с заданной точностью по критерию минимума технико-экономических потерь при управлении.

25

4. Разработать методику почасового нормирования и прогнозирования динамики электропотребления для сложных технологических процессов на уровне подразделений.
5. Разработать алгоритмическое и программное обеспечение, обеспечивающее прогноз потребления электроэнергии при заданных плановых значениях выпуска продукции и установленных значениях базовых технологических факторов.

6. Внедрить разработанные методы прогнозирования потребления электроэнергии в практику управления технологическими процессами металлургического производства ОАО «ММК».

26

2 МЕТОДЫ МНОГУРОВНЕВОГО ПЛАНИРОВАНИЯ И УПРАВЛЕНИЯ ЭЛЕКТРОПОТРЕБЛЕНИЕМ МЕТАЛЛУРГИЧЕСКОГО ПРЕДПРИЯТИЯ

2.1 Метод краткосрочного планирования электропотребления на уровне подразделений

Исходным пунктом почасового расчета и прогнозирования электропотребления является расписание производственных циклов. Примерная форма расписания производственных циклов представлена на рисунке 2.1 [11, 12].

Рис. 2.1. Примерная форма расписания производственных циклов

На рис. 2.1: U_1

, ..., U_4

– номера производственных

участков – потребителей электрической энергии;

ij

P – производственные циклы

(i, j) имеет свое плановое задание выпуска продукции (i – группы агрегатов, j – индекс соответствующего цикла).

27

Работа каждого участка планируется по расписанию, где соответствующие производственные циклы упорядочены по времени. Каждый производственный цикл (i, j) имеет свое плановое задание выпуска продукции

ij

P (i – группы агрегатов, j – индекс соответствующего цикла) и может быть разбит на временные интервалы k , продолжительность которых определяется технологией процесса.

Электроэнергия в кВтч, потребленная оборудованием за k -й интервал при производстве продукции p определяется соотношением:

1

K

$k_{in} \ k_{in} \ k_{in}$

k

$W \ P \ I \ t$

(2.1)

где

k_{in}

P – электрическая мощность оборудования i за интервал k при производстве продукции;

k_{in}

I – переменная, такая что: 1

k_{in}

I – в случае, когда

оборудование начало цикл производства во временном интервале k , 0
 $k \in \mathbb{N}$

I –

в другом случае; t – временной промежуток, ч.

Соотношение (2.1) представляет собой укрупненную формулу, рассчитывается по отдельным статьям расходов в соответствии с принятой учетной политикой на предприятии.

Процедура планирования почасовых расписаний потребления электроэнергии

Целью стратегии управления электропотреблением является минимизация общих эксплуатационных расходов, которые включают в себя затраты на потребленную энергию (постоянный или почасовой тариф), затраты на зарегистрированную пиковую нагрузку, и добавочные эксплуатационные расходы в связи со смещением нагрузок, если таковые имеются.

Целевая функция минимизации месячных производственных расходов:

$$\min_{k \in \mathbb{N}} K(I, N) + \sum_{i=1}^M C_i(I, t, d, C, M) \quad (2.2)$$

с учетом особенностей производства, ограничений по оборудованию, 28

где I – агрегаты (группа агрегатов);

N – общее число видов производимой продукции

$k \in \mathbb{N}$

W – электроэнергия в кВтч, потребленная оборудованием i за k -й временной интервал при производстве продукции p ;

k

C – стоимость электроэнергии за 1 кВтч в интервале времени k ;

add

C – добавочная стоимость, связанная с деятельностью по управлению электропотреблением на интервале k . К добавочной стоимости можно отнести дополнительные затраты на оплату труда рабочих, возникшие в связи с изменением графика загрузки оборудования, капитальную стоимость дополнительных установок, если таковые имеются, или другую добавочную стоимость для включения в программу управления электропотреблением отражаются в величине

add

C .

add

I – переменная, такая что: 1

add

I – при осуществлении действий по управлению электропотреблением, 0

add

I – в другом случае.

d – число рабочих дней в месяце;

M

C – стоимость пикового потребления за месяц;

M – заявленное пиковое потребление электроэнергии предприятием.

Эффективно спланированный график электропотребления при почасовом тарифе снижает стоимость покупки электроэнергии по сравнению с базовым графиком. Оценка качества планирования графиков электропотребления осуществляется на основе индекса снижения стоимости.

Результатом решения задачи минимизации производственных расходов (2.2) является оптимальная характеристика при данном объеме выпуска продукции в условиях почасового тарифа на оплату электроэнергии.

Централизованное почасовое нормирование и прогнозирование электропотребления для сложных производственных комплексов представляет собой с вычислительной точки зрения чрезвычайно сложную задачу. Как следует из приведенного выше материала, при централизованных расчетах необходимо знать весьма объемную и подробную информацию о

29

почасовых графиках электропотребления в зависимости от технологических факторов. Однако знание технологических факторов сложных производственных комплексов сосредоточено на нижних уровнях производственной иерархии. Поэтому точное централизованное решение является практически невыполнимым.

В этой связи для сложных производственных комплексов предлагается децентрализованная процедура почасового нормирования и прогнозирования электропотребления. Процедура основана на том, что на верхнем уровне иерархии расчетов оцениваются интегральные показатели производственных циклов:

– объемы выпуска продукции

i, j

P ;

– объемы потребляемой электрической энергии

i, j

W ,

где i – номер производственного участка; j – индекс производственного цикла.

С целью планирования экономической эффективности почасовых расписаний потребления электрической энергии для производственных циклов дополнительно вводится новый интегральный показатель – индекс снижения стоимости потребления электроэнергии

сн

I .

Логика введения данного показателя следующая.

Значение индекса равновесных цен на продажу электроэнергии на оптовом рынке делится на постоянную часть и переменную часть, которая изменяется по часам в течение суток:

$$C_{t \text{ Ц } t} , (2.3)$$

где

C – постоянная часть; $()$

t – переменная часть; k – индекс часовых интервалов.

В этом случае стоимость покупки электроэнергии по суткам можно разделить на две части:

$$C_{t \text{ C } t} , (2.4)$$

где

C – постоянная часть стоимости

W

$C_{W \text{ Ц } ;}$ (2.5)

t – переменная часть стоимости

$$C_{t \text{ P } t \text{ Ц } t} . (2.6)$$

Здесь

W – потребление электроэнергии за определенный период времени; $()$

P_t - объем потребления электрической энергии за 1 час (МВт ч для k -го интервала потребления).

Переменная часть стоимости покупки электроэнергии существенно зависит от графика электропотребления. Оптимальный график электропотребления должен минимизировать переменную часть покупки электроэнергии. Для оценки степени оптимальности графика электропотребления в работе используется индекс снижения стоимости потребления электроэнергии

I , определяемый по соотношению:

$$I = \frac{C_{t \text{ Ц } t}}{C_{t \text{ C } t}}$$

к эк

к

сн

б к э к

к

$p_{t \text{ Ц } t}$

I

$p_{t \text{ Ц } t}$

, (2.7)

где $()$

к

$p_{t \text{ , } ()}$

бк

$p_{t \text{ , } ()}$

эк

$c_{t \text{ Ц } t}$ определяются по формулам (2.8)-(2.10):

$$C_{t \text{ Ц } t} = \dots$$

бк

бк

бк

к

Pt

pt

Pt

, (2.9)

()

()

()

эк

эк

эк

к

Цt

цt

Цt

, (2.10)

где ()

к

Pt – текущий график электропотребления; ()

бк

Pt – базовый

график электропотребления.

Базовый график электропотребления вводится в качестве пункта отсчета

эффективности текущего графика электропотребления. Если текущий график

совпадает с базовым графиком, то значение индекса 1

сн

I . Если текущий

график электропотребления снижает стоимость покупки электроэнергии по

31

сравнению с базовым графиком, то 1

сн

I . Чем меньше величина индекса

сн

I ,

тем более эффективным является текущий график электропотребления.

Безусловный оптимум достигается при равенстве индекса

сн

I нулю. В этом

случае переменная стоимость покупки электроэнергии равняется нулю. И

наоборот, если значение индекса

сн

I больше 1, то текущий график

электропотребления хуже базового графика. Чем выше величина индекса

сн

I ,

тем выше будет переменная стоимость покупки электроэнергии.

Таким образом, введение нового показателя – индекса снижения

стоимости потребления электроэнергии

сн

I , позволяет интегрально оценивать

оптимальность графиков электропотребления. Тем самым можно

организовать централизованный контроль, планирование и прогнозирование

качества локальных графиков электропотребления♦♦ для производственных

участков. Данный показатель является объективным и зависит только от

качества составленных графиков электропотребления и формально не зависит

от объемов потребления электроэнергии и уровня цен на электроэнергию.

Поэтому на основе данного показателя можно оценивать локальное качество

работы отдельных производственных участков. Тем самым обеспечивается

объективный контроль и управление качеством локального планирования

графиков электропотребления на производственных участках [128, 129].

Как и показатель удельного электропотребления, формально не

зависящий от объемов электропотребления, но фактически зависящий

нелинейным образом от объема электропотребления, индекс переменной

стоимости зависит от объема электропотребления и средневзвешенной цены

за электрическую энергию. Поэтому при централизованном планировании

индекса переменной стоимости необходимо на основе статистических данных

определять эмпирическую зависимость индекса снижения стоимости от

объема электропотребления

э

W и средневзвешенной цены

св

Ц . Для решения

данной задачи целесообразно использовать формулу:

() ()

сн вс э п св б

I F W к ЦЦ , (2.11)

32

где ()

вс

F – нелинейная эмпирическая зависимость;

св

Ц –текущая

средневзвешенная цена электроэнергии;

б

Ц – базовая цена электроэнергии;

п

к

– поправочный коэффициент.

Нелинейная эмпирическая зависимость ()

вс

F может быть определена на

основе того же программного обеспечения, которое используется для

определения удельного потребления электроэнергии.

Процедура почасового планирования состоит в следующем.

1

0

. На верхнем производственном уровне, исходя из статистики

потребления электроэнергии и оценки экономичности почасового графика

электропотребления, производственным участкам, на основе календарного

графика производства на сутки вперед, назначаются величины показателей:

объем производства

ij

П, объем потребления электроэнергии

ij

W и техникоэкономический показатель

, сн i

I – индекс снижения стоимости потребления

электроэнергии.

На уровне производственных участков, исходя из полученного задания:

объема производства

ij

П, объема потребления электроэнергии

ij

W и техникоэкономического показателя

, сн i

I, составляется почасовой график

электропотребления на сутки вперед.

2

0

. Почасовые графики электропотребления на сутки вперед для

производственных участков суммируются на верхнем уровне управления

производством.

3

0

. Суммарный график электропотребления предприятия в целом

определяется соотношением:

0

() ()

к i ij к

ij

W t a W t , (2.12)

где ai

- балансирующие коэффициенты.

Балансирующие коэффициенты ai

определяются согласно методике,

приведенной в п. 2.2.

33

2.2 Метод среднесрочного планирования и управления

электропотреблением металлургического предприятия в целом

На основе информации о месячных объемах производства и фактического

месячного потребления электрической энергии для каждого подразделения

определяются характеристики удельного электропотребления как функции от

объемов производства:

0

it

it it

it

W

wf П

П

. (2.13)

где wit

– удельный расход электроэнергии i-го производственного

подразделения предприятия за t-ый интервал времени, кВт ч/единица

продукции;

Wit

– расход электроэнергии i-го производственного подразделения

предприятия за t-ый интервал времени, кВт ч;

Пit

– количество продукции, произведенной i-ым производственным

подразделением за t-ый интервал времени.

Анализ фактических отчетных данных об объемах производства и

соответствующих им удельных расходах электроэнергии, проведенный

Центром энергосберегающих технологий ОАО «ММК», показал, что в

условиях металлургического производства реальный характер взаимосвязи

объемов производства и удельных расходов электроэнергии может быть

представлен с приемлемой точностью экспоненциальной зависимостью:

$\exp$

Π

$it \ i \ it$

I

$w \ A \ d \ \Pi$

. (2.14)

где

i

A, di

– коэффициенты зависимости (2.13).

На основе информации о плановых объемах производства и полученных характеристик (2.14) осуществляется прогноз месячного электропотребления подразделением.

Прогноз объемов потребления электроэнергии предприятием в целом на будущий месяц осуществляется на основе соотношения:

$0 \ d$

$W \ W \ W, (2.15)$

34

где W_0

– суммарное потребление электроэнергии производственными подразделениями предприятия, т.е. потребление электроэнергии предприятием в целом; W_d

– дополнительная величина потребления

электроэнергии для ненормируемых производств, например, ремонтных и обслуживающих.

Далее рассмотрим определение прогнозного значения расхода электроэнергии для предприятия в целом с максимальной точностью, т.е.

задачу минимизации общей ошибки прогноза потребления электроэнергии для металлургического предприятия в целом.

В настоящей работе предлагается два варианта решения задачи минимизации общей ошибки прогноза потребления электроэнергии для металлургического предприятия в целом [69-73].

Вариант 1

Зависимость полного расхода электроэнергии от количества произведенной продукции предприятием в целом за t -ый интервал времени можно записать в следующем виде:

00

0

$\exp, 1$

N_p

$t \ i \ it$

i

$W_a \ \Pi \Pi$

, (2.16)

где N_p

– количество производственных подразделений предприятия.

Зависимость полного расхода электроэнергии от количества произведенной продукции для i -го производственного подразделения за t -ый интервал времени описывается соотношением:

01

$\exp()$

$it \ it \ i \ it$

$W \ \Pi \ a \ \Pi, (2.17)$

Сформулируем условие регулярности, которое должно быть выполнено для терминальной точки прогноза t

T

.

Для регулярного решения требуется выполнение следующих равенств:

– потребления электроэнергии:

N_p

i

iT

r

T

$W \ W$

1

0

; (2.18)

35

– частных производных потребления электроэнергии:

0

rr

$T \ iT$

$iT \ iT$

WW

$\Pi \Pi$

. (2.19)

На основе соотношений (2.18), (2.19) можно записать регулярное решение задачи:

1

0

r

$iT \ iT$

i

г
Т
w a W
a
W
; (2.20)
00
1
In
Nr
г г г
Т i IT
i
a W a П
. (2.21)

Решение задачи минимизации общей ошибки прогноза потребления электроэнергии для ОАО «ММК» в целом будем осуществлять по следующим

критериям:
1) точности;
2) регулярности.
Критерий точности решения:

2
2
00
0
In
Nr
фф
t t i it
i
E M W a П
, (2.22)

Где
0
ф
t
W - фактическое значение потребления электроэнергии предприятием за t-ый интервал времени;
ф
it
П - фактическое значение количества продукции, произведенной i-ым производственным подразделением за t-ый интервал времени.
Критерий регулярности:

2
2
0
0
Nr
г
ii
i
R a a
. (2.23)

Целевая функция представляет собой функцию Лагранжа:
22
00
(1) min
L R R
Q E R , (2.24)
где 0; 1
R
- регуляризующий множитель.

36
Решение задачи (2.24) сводится к решению следующей системы уравнений:

0
(1) (1)
Nr
г
R ij j R i R i R i
j
с а а d а
, 0;
р
iN
, (2.25)
где
фф
ij t it jt
сМ ПП ;
0
In

фф
i t t it
d M W П .
Решение системы уравнений (2.25) осуществляется, например, методом Гаусса.
Вариант 2
Настоящий вариант решения задачи минимизации общей ошибки прогноза потребления электроэнергии предприятием в целом основан на невязке значений фактического общего потребления электроэнергии предприятием
0
Ф
W , определяемого по показаниям прибора учета, и расчетного суммарного расхода электроэнергии i-ых производственных подразделений
0
р
W , определяемого по соотношению:
0
1
Nr
pp
i
i
WW
, (2.26)
где частные расходы электроэнергии i-ых производственных подразделений определяются для каждого t-го момента времени:
01
exp()
р
it it i i it
W П а а П .
Минимизация указанной выше невязки значений осуществляется на основе коррекции суммарного расхода электроэнергии
0
р
W .
В этом случае прогнозное значение потребления электроэнергии предприятием в целом для каждого t-го момента времени определяется по соотношению:
0
0
Nr
pp р
t i it
i
W аW
, (2.27)
37
где 1
р
it
W при i = 0; ai
– корректирующие коэффициенты.
Корректирующие коэффициентыai определяются методом наименьших квадратов.
Общий квадратичный критерий имеет вид:
2
2
0
0
(1) min
Nr
н
E i i
i
Q E а а
, (2.28)
где
2
0
E - общая ошибка, определяемая по соотношению
2
2
00
0
Nr
Фр
t t i it
i
E M W аW

; (2.29)
н
i
а - номинальные значения корректирующих коэффициентов:
0
0; 1, [1;]
нн
ip
а а i N ;
0; 1 - регуляризующий множитель.
Решение задачи (2.28) сводится к решению следующей системы
уравнений:
0
(1) (1)
Np
н
ij j i i i
j
с а а d а
, 0;
р
iN
, (2.30)
где
pp
ij t it jt
с M W W ;
0
фр
i t t it
d M W W .
Решение системы уравнений (2.30) осуществляется, например, методом
Гаусса.
Далее на основе вычисленных коэффициентов ai
определяется
прогнозное значение общего расхода электроэнергии в терминальной точке
прогноза:
1. для варианта 1 по соотношению:
0
0
exp
Np
пр пл
T i i
i
Wa П
, (2.31)
где
пл
i
П - плановое значение выпуска i-ой продукции;
38
2. для варианта 2 по соотношению:
0
0
Np
пр р
T i iT
i
W aW
, (2.32)
где
р
iT
W - расчетное значение расхода электроэнергии для выпуска i-ой
продукции.
Рассмотрим решение задачи минимизации штрафа за недостоверный
прогноз потребления электроэнергии предприятием.
Штраф за недостоверный прогноз потребления электроэнергии можно
записать в следующем виде [76]:
0 0 0 tt
tt
s s e s e
, (2.33)
где
t
- операция суммирования величин для тех моментов времени,
когда общая ошибка прогнозирования потребления электроэнергии
положительная;
t
- операция суммирования величин для тех моментов
времени, когда общая ошибка прогнозирования потребления электроэнергии
отрицательная; s
- величина штрафа за неэффективное потребление

электроэнергии; s
- цена электроэнергии;
00
,
tt
ee
– соответственно
положительные и отрицательные значения ошибки прогнозирования
потребления электроэнергии, определяемая в зависимости от варианта
решения задачи минимизации общей ошибки прогнозирования потребления
электроэнергии:
– для варианта 1:
00
0
In
Nr
фф
t t i it
i
e W а П
;
– для варианта 2:
00
0
Nr
фр
t t i it
i
e W аW
.
Квадратичная функция потерь:
39
22
00
(1) , [0; 1]
tt
tt
Q e e
. (2.34)
Решение задачи (2.34) сводится к решению следующей системы
уравнений:
– для варианта 1:
0
(1) (1)
Nr
r
R i j j R i R i R i
j
с а а d а
, 0;
р
iN
, (2.35)
где
(1)
ij it jt it jt
tt
с П П П П
;
00
(1) In In
i t it t it
tt
dW П W П
;
- для варианта 2:
0
(1) (1)
Nr
н
ij j i i i
j
с а а d а
, 0;
р
iN
, (2.36)
где
(1)
ij it jt it jt
tt
с W W W W
;
00
(1)

i t i t t i t
t t
d W W W W
.

Таким образом, будут определены значения коэффициентов a_i , при которых квадратичная функция потерь (2.34) будет минимальной.

40
2.3 Многоуровневое планирование и управление электропотребления металлургического предприятия

Многоуровневая расчетная схема планирования электропотребления металлургического предприятия представлена на рисунке 2.2.

Рис. 2.2. Многоуровневая расчетная схема планирования электропотребления

На рис. 2.2: I – месячное планирование электропотребления;

II – почасовое планирование электропотребления; ПП

– производственные подразделения;

Т

П – плановый объем производства; блок И – блок идентификации характеристик, определяющих величину электропотребления подразделения на основе фактических данных месячных объемов производства

Ф

М

П и месячного потребления электрической энергии подразделением

Ф

М

W ;

kk

w П – функциональная зависимость удельного электропотребления от объемов производства за k-й интервал времени; МП – месячное прогнозирование электропотребления;

0

пр

Т

W – требуемая величина месячного электропотребления;

p

ik

W – расчетное месячное электропотребление;

i

a – корректирующие коэффициенты; МО – модуль оценки;

j

G – график работы подразделения;

CH

I – индекс снижения стоимости

41

электропотребления;

П

W – общая пиковая нагрузка;

*

j

G – скорректированный

график работы подразделения с учетом смещения нагрузок; ОП – оперативное планирование; С – согласование графиков работы подразделений; ОДУ – оперативно-диспетчерское управление;

Т

Wt – требуемая величина электропотребления;

П

Т

Wt – ограничение на пиковое электропотребление.

В многоуровневой постановке задачи планирования электропотребления металлургического предприятия можно выделить две ступени планирования: месячное планирование (I) и почасовое планирование (II).

На основе информации, поступающей от производственных подразделений, о фактических данных месячных объемов производства

Ф

М

П и

месячного потребления электрической энергии

Ф

М

W в блоке идентификации

(И) определяются характеристики удельного электропотребления как функции от объемов производства:

()

ik ik

wf П . (2.37)

где wik

– удельный расход электроэнергии i-го производственного

подразделения предприятия за k -ый интервал времени, кВт ч/единица
 продукции; P_{ik}
 – количество продукции, произведенной i -ым
 производственным подразделением за k -ый интервал времени.
 Расчетные частные расходы электроэнергии i -ых производственных
 подразделений

P
 $i k$
 W определяются для каждого k -го момента времени в виде:

P
 $i k$ $i k$ $i k$
 $W_w P$. (2.38)

На основе информации о плановых объемах производства и полученных
 характеристик осуществляется прогноз месячного электропотребления
 подразделением. Полученная расчетная величина

P
 $i k$
 W направляется в модуль
 оценки (МО).

Расчетный суммарный расход электроэнергии i -ых производственных
 подразделений для k -го момента времени

O
 P
 k
 W определяется по соотношению:

O
 1
 N_p
 $p p$
 $k i k$
 i
 $W W$
 $.$ (2.39)
 42

Решение задачи минимизации общей ошибки прогноза потребления
 электроэнергии предприятием в целом основано на невязке значений
 фактического общего потребления электроэнергии предприятием

O
 Φ
 k
 W ,
 определяемого по показаниям прибора учета, и расчетного суммарного
 расхода электроэнергии. Невязка значений потребления электроэнергии
 определяется наличием потерь энергии, возможной недоверенностью
 предоставляемых данных, неполнотой информации.

Минимизация указанной выше невязки значений осуществляется на
 основе коррекции суммарного расхода электроэнергии

O
 P
 k
 W .

В этом случае прогнозное значение потребления электроэнергии
 предприятием в целом для каждого k -го момента времени определяется по
 соотношению:

O
 O
 N_p
 $p p$
 $k i k$
 i
 $W a W$
 $,$ (2.40)
 где 1
 P
 $i k$

W при $i = 0$; a_i
 – корректирующие коэффициенты.
 Корректирующие коэффициенты a_i
 определяются методом наименьших
 квадратов.

Постановка задачи прогнозирования может быть некорректной.
 Применение регуляризации позволяет решать задачу при неполной
 статистике.

Общий квадратичный критерий имеет вид:

2
 2
 0
 0
 (1) min
 N_p
 n
 $E i i$
 i

Q E a a
, (2.41)

где

2

0

E - общая ошибка, определяемая по соотношению

2

2

00

0

№

фр

t k i ik

i

E M W aW

; (2.42)

Решение задачи (2.41) приведено в п. 2.2.

Далее на основе вычисленных коэффициентов a_i

определяется

прогнозное значение общего расхода электроэнергии в терминальной точке

прогноза:

43

0

0

№

пр р

T i iT

i

W aW

, (2.43)

где

p

iT

W – расчетное значение расхода электроэнергии для выпуска i-ой продукции.

Полученные в МО корректирующие коэффициенты направляются

обратно в подсистему месячного планирования. Прогнозные объемы

месячного электропотребления задаются подразделениям как требуемые

величины.

Согласованные подразделениями графики работы передаются в МО.

Здесь осуществляется интегральная оценка качества графиков работы

подразделений на основе введенного показателя – индекса снижения

стоимости потребления электроэнергии

сн

I .

Информация о пиковой величине электропотребления, графиках работы

подразделений, их качестве поступают в блок оперативного планирования

(ОП). Задача оперативного планирования на данный момент является

неформализованной и осуществляется вручную. Скорректированный график

направляется в подразделения для согласования работ. Требуемые величины

электропотребления и пикового электропотребления задаются подсистеме

оперативно-диспетчерского управления (ОДУ).

Общая схема оперативно-диспетчерского управления

электропотреблением предприятия представлена на рис. 2.3.

Рис. 2.3

ОП РЭ ПП

P_{рег}

(t)

P₀

(t)

P₀

(t)

x(t)

g_{оп}

(t)

44

Здесь ОП – оперативное планирование; РЭ – регуляторы

электропотребления; ПП – производственный процесс;

0

()

з

P_t – заявленный

график электропотребления;

0

() P_t – фактический график электропотребления;

оп

g – оперативное расписание работ регуляторов электропотребления;

()

рег

t P – вектор текущих значений электропотребления потребителей регуляторов; () t x – вектор режимных параметров регуляторов

электропотребления.

Для осуществления оперативно-диспетчерского управления необходимо

в производственном процессе всего предприятия выделить потребителей регуляторы, задавая электропотребление которых можно добиться управления

электропотреблением всего предприятия в заданных пределах.

Условие управляемости общего электропотребления потребителями регуляторами может быть представлено соотношением:

0
 () ()
 рег
 ii
 iI
 $P_t a P_t$
 , (2.44)
 где
 0
 () P_t - максимально возможное отклонение общей потребляемой мощности от заявленной; ()
 i
 P_t - максимально возможные регулируемые отклонения потребляемой мощности потребителей-регуляторов от плановых значений; a_i
 – корректирующие коэффициенты.
 Условие (2.45) служит основой для выделения потребителей-регуляторов среди всех потребителей предприятия. Для металлургического предприятия обычно подобными потребителями являются дуговые сталеплавильные печи, прокатные станы и другие энергоемкие потребители.
 На каждом предприятии имеются средства учета, которые измеряют фактическое
 0
 ф
 W потребление электроэнергии. В общем случае существует небаланс между фактическим электропотреблением предприятия и суммарным фактическим электропотреблением отдельных потребителей.
 0
 ф ф ф
 р нр
 кк
 $W W W$, (2.45)
 45
 где
 ф
 р
 W – фактическое электропотребление потребителей-регуляторов;
 ф
 нр
 W – фактическое электропотребление нерегулируемых потребителей.
 Оперативное планирование работы потребителей-регуляторов состоит в составлении оперативного расписания работ по критерию минимума уклонения текущего электропотребления
 0
 () W_t от заявленного графика ()
 Т
 W_t .
 Математически данная задача может быть представлена следующим образом:
 ()
 фф
 $T i р нр$
 $W t a W W$, (2.46)
 где a_i
 – корректирующие коэффициенты; ()
 Т
 W_t – требуемая величина электропотребления.
 Исходя из этого, возникает задача определения коэффициентов
 i
 а для
 коррекции фактического значения. Коэффициенты определяются на основе статистики методом наименьших квадратов таким образом, чтобы величина ошибки 0
 Ф ф ф
 ip нр
 $E W a W W$ была минимальной.
 46
 Выводы к разделу 2
 1. Разработан метод краткосрочного планирования электропотребления, основанный на интегральной оценке эффективности графиков электропотребления на уровне подразделений металлургического предприятия. В работе в целях разрешения межуровневых противоречий при принятии решений введен агрегированный показатель динамики потребления ресурсов – индекс снижения стоимости, позволяющий согласовать детализованные представления динамики процессов потребления ресурсов на локальных уровнях отдельных технологических процессов и обобщенные представления на верхнем технико-экономическом уровне. Данный показатель является объективным и зависит только от качества составленных графиков электропотребления и формально не зависит от объемов потребления электроэнергии и уровня цен на электроэнергию. Поэтому на основе данного показателя можно оценивать локальное качество работы отдельных производственных участков. Тем самым обеспечивается объективный контроль и управление качеством локального планирования графиков электропотребления на производственных участках.
 2. Предложен новый метод многоуровневого прогнозирования

электропотребления, учитывающий несогласованность агрегированных представлений динамики потребления ресурсов на верхнем уровне и высокую степень детализации представления динамики на нижних уровнях при почасовом, основанный на оптимальном построении энергетических характеристик с заданной точностью по критерию минимума техникоэкономических потерь. Решение задачи минимизации общей ошибки прогноза потребления электроэнергии предприятием в целом основано на невязке значений фактического общего потребления электроэнергии предприятием, определяемого по показаниям прибора учета, и расчетного суммарного расхода электроэнергии. Невязка значений потребления электроэнергии определяется наличием потерь энергии, возможной недостоверностью предоставляемых данных, неполнотой информации. Минимизация указанной

47
выше невязки значений осуществляется на основе коррекции суммарного расхода электроэнергии.

3. Предложена многоуровневая расчетная схема планирования электропотребления металлургического предприятия, рассмотрены условия выделения потребителей-регуляторов для осуществления оперативнораспределительского управления электропотреблением.

48
3 ОРГАНИЗАЦИОННЫЕ, АЛГОРИТМИЧЕСКИЕ И ПРОГРАММНЫЕ ВОПРОСЫ ОБЕСПЕЧЕНИЯ ПЛАНИРОВАНИЯ И УПРАВЛЕНИЯ ЭЛЕКТРОПОТРЕБЛЕНИЕМ МЕТАЛЛУРГИЧЕСКОГО ПРЕДПРИЯТИЯ

3.1 Организация планирования и управления электропотреблением металлургического предприятия

Общая схема организации многоуровневого планирования и управления электропотреблением представлена на рисунке 3.1 [14, 25].

Рис. 3.1. Схема организации многоуровневого планирования и управления электропотреблением

49
На основе данных автоматизированной системы учета электропотребления и технических отчетов, представляемых подразделениями, формируется информационная база данных технических отчетов об эффективности использования энергетических ресурсов за отчетный период (сутки, месяц, год). С использованием сформированной базы осуществляется текущий контроль эффективности использования электрической энергии подразделениями. При этом также используются данные расчетно-нормативной базы. Текущая информация, содержащаяся в техотчетах, подвергается факторному анализу, при этом выявляются факторы, существенно влияющие на эффективность электропотребления. Выявленные факторы и зависимости используются для построения текущих энергетических характеристик потребителей энергоресурсов. На основе полученных характеристик производится корректировка расчетнонормативной базы электропотребления. С использованием скорректированной расчетно-нормативной базы на последующий период подразделениям рассчитывается нормы и плановые задания по электропотреблению.

На всех этапах контроля и формирования плановых заданий осуществляется энергетическая экспертиза, целью которой является определение «узких» мест потребления энергетических ресурсов и выявление резервов снижения объемов потребления энергии. Для развязки указанных «узких» мест эксперты с использованием результатов факторного анализа определяют требуемые корректирующие мероприятия. Выполнение предписанных мероприятий служит целям сокращения электропотребления подразделениями.

Общая процедура управления энергетическими затратами предприятия в рамках системы многоуровневого планирования и управления электропотреблением приведена на рисунке 3.2 [28].

50
Рис. 3.2. Процедура управления энергетическими затратами
Успех введения системы многоуровневого планирования и управления электропотреблением металлургического предприятия существенно зависит от уровня автоматизации задач. Автоматизация задач планирования и управления электропотреблением позволит ввести строгие и обязательные к исполнению формы технической отчетности как по эффективности использования энергетических ресурсов, так и по выполнению энергосберегающих мероприятий.

Для упрощения процедуры планирования и управления электропотреблением металлургического предприятия в рамках работы разработано программное обеспечение нормирования и оптимального прогноза объемов потребления электрической энергии подразделениями ОАО «ММК» и комбинатом в целом.

В основе программы лежат новые алгоритмы решения задачи минимизации общей ошибки прогноза потребления электроэнергии предприятием в целом. Описание указанных алгоритмов представлено в п.3.2.

Сокращение
энергозатрат
Предписания
Энергетическая
экспертиза
Сбор информации
Корректирующие
мероприятия
Факторный анализ

Коррекция

нормативно-расчетной базы

Контроль энергозатрат

51

3.2 Алгоритмы решения задачи минимизации общей ошибки прогноза

потребления электроэнергии предприятием

Разработаны два варианта алгоритма решения задачи минимизации

общей ошибки прогноза потребления электроэнергии предприятием в целом в

зависимости от варианта поставленной в п. 2.2 задачи.

Вариант 1

1. задается начальное значение коэффициента регуляризации αR

.

2. Методом наименьших квадратов решается система уравнений вида:

*

01

, [1;], [1;]

it i i t p t

y a a П i N t N , (3.1)

где Π_{it}

– количество продукции, произведенной i-ым производственным

подразделением за t-ый интервал времени;

it

y – преобразованный удельный

расход электроэнергии i-го производственного подразделения за t-ый

интервал времени согласно соотношению:

$\ln(\)$

it it

yw ; (3.2)

*

0i

a - преобразованный коэффициент a_{0i}

согласно соотношению:

0

*

0

$\ln$

i i

a a ; (3.3)

,

pt

NN – количество соответственно производственных подразделений и

интервалов времени.

Система уравнений (3.1) получена на основе следующей

экспоненциальной зависимости:

01

exp

it i i t

w a a П , (3.4)

gdewit

- удельный расход электроэнергии i-го производственного

подразделения предприятия за t-ый интервал времени; W_{it}

– полное

потребление электроэнергии i-ым производственным подразделением за t-ый

интервал времени.

52

Результатом решения системы уравнений (3.1) являются значения

коэффициентов a_{i0}

, a_{i1}

для каждого i-го производственного подразделения.

3. Вычисляются значения регулярных коэффициентов

0

,

гг

i

aa по

соотношениям:

1

0

г

$\Pi i i T$

i

г

T

w a W

a

W

; (3.5)

00

1

$\ln$

Np

г г г

T i iT

i
 a W a Π
 $, (3.6)$
 где wiT
 $, WIT$
 – соответственно удельный и полный расход электроэнергии
 для i -го производственного подразделения в терминальной точке прогноза t
 T
 $;$
 r
 T
 W
 0
 – расход электроэнергии для предприятия в целом в терминальной точке
 прогноза t
 T
 $, определяемый по соотношению:$
 Np
 i
 iT
 r
 T
 W W
 1
 0
 $, (3.7)$
 4. Методом Гаусса решается система уравнений:
 0
 $(1) (1)$
 Np
 r
 $R_{ij} R_i R_i R_i$
 j
 $c a a d a$
 $, 0;$
 p
 iN
 $, (3.8)$
 $\Phi\Phi$
 $ij t it jt$
 $cM \Pi\Pi ; (3.9)$
 0
 ln
 $\Phi\Phi$
 $i t t it$
 $d M W \Pi , (3.10)$
 Здесь:
 t
 M - математическое ожидание;
 0
 Φ
 t
 W - фактическое значение
 потребления электроэнергии предприятием за t -ый интервал времени;
 Φ
 it
 Π - фактическое значение количества продукции, произведенной i -ым
 производственным подразделением за t -ый интервал времени.

Результатом решения системы уравнений (3.8) являются значения
 коэффициентов a_i
 для каждого i -го производственного подразделения.

53

5. Определяется значение общей ошибки прогноза потребления
 электроэнергии (при значениях коэффициентов a_i
 $, определенных в п. 4$
 настоящего алгоритма) по соотношению:

2

2

00

0

ln

Np

ΦΦ

t t i t

i

E M W a Π

, (3.11)

6. Вычисленное в п. 5 значение общей ошибки прогноза потребления
 электроэнергии на настоящей итерации

к

E

0

сравнивается с аналогичным

значением, полученным на предыдущей итерации алгоритма

1
0
к
Е .
Если
1
0 0
к к

Е Е , то осуществляется переход к п. 7. В противном случае необходимо вернуться к значениям переменных на предыдущей итерации и перейти к п. 8.

В случае первой итерации алгоритма сравнение не выполняется, а сразу осуществляется переход к п. 7.

7. Изменяется значение коэффициента регуляризации αR

и
осуществляется переход к п. 4.

8. Конец алгоритма.

В результате действий согласно приведенному выше алгоритму

определяются значения коэффициентов a_i

для каждого i -го производственного

подразделения предприятия, при которых квадрат общей ошибки (3.11)

прогноза потребления электроэнергии предприятием в целом является минимальным.

Алгоритм решения задачи минимизации общей ошибки прогноза

потребления электроэнергии предприятием по варианту 1 иллюстрируется

рис. 3.3.

54

Рис. 3.3.

НАЧАЛО

Задание начального значения

коэффициента регуляризации αR

Решение системы уравнений

методом наименьших

квадратов

;

Решение системы уравнений

,

методом Гаусса

$||k=1$

Возврат к значениям

переменных на предыдущей

итерации

Изменение значения

коэффициента регуляризации

αR

КОНЕЦ

+ -

Определение a_{i0}

, a_{i1}

для каждого i -го

производственного

подразделения

Вычисление значений

регулярных

коэффициентов

Определение a_i

для

каждого i -го

производственного

подразделения

Определение общей

ошибки прогноза

потребления

электроэнергии

55

Вариант 2

1. Задается начальное значение коэффициента регуляризации α .

2. Методом наименьших квадратов решается система уравнений вида:

*

01

, $[1;]$, $[1;]$

it i i t p t

у а а П i N t N . (3.12)

Результатом решения системы уравнений (3.12) являются значения

коэффициентов a_{i0}

, a_{i1}

для каждого i -го производственного подразделения.

3. Задаются номинальные значения корректирующих коэффициентов:

0

0; 1, $[1;]$

нн

ip

a a i N .

4. Методом Гаусса решается система уравнений:

0

(1) (1)

Nr

н

ij j i i i

j

с a a d a

, 0;

р

iN

, (3.13)

где

pp

ij t it jt

с M W W ;

0

фр

i t t it

d M W W .

Здесь

0

ф

t

W - фактическое значение потребления электроэнергии предприятием

за t-ый интервал времени;

р

it

W -частные расходы электроэнергии i-ых

производственных подразделений, определяемые для каждого t-го момента

времени на основе соотношения:

01

exp()

it it i i it

W П а а П ; (3.14)

Результатом решения системы уравнений (3.13) являются значения

корректирующих коэффициентов a_i

для каждого i-го производственного

подразделения.

5. Определяется значение общей ошибки прогноза потребления

электроэнергии (при значениях корректирующих коэффициентов a_i

,

определенных в п. 4 настоящего алгоритма) по соотношению:

56

2

2

00

0

Nr

фр

t t i it

i

E M W aW

. (3.15)

6. Вычисленное в п. 5 значение общей ошибки прогноза потребления

электроэнергии на настоящей итерации

к

E

0

сравнивается с аналогичным

значением, полученным на предыдущей итерации алгоритма

1

0

к

E .

Если

1

0 0

к к

E E , то осуществляется переход к п. 7. В противном случае

необходимо вернуться к значениям переменных на предыдущей итерации и

перейти к п. 8.

В случае первой итерации алгоритма сравнение не выполняется, а сразу

осуществляется переход к п. 7.

7. Изменяется значение коэффициента регуляризации α и

осуществляется переход к п. 4.

8. Конец алгоритма.

В результате действий согласно приведенному выше алгоритму

определяются значения корректирующих коэффициентов a_i

для каждого i-го

производственного подразделения предприятия, при которых квадрат общей

ошибки (3.15) прогноза потребления электроэнергии.

Алгоритм решения задачи минимизации общей ошибки прогноза потребления электроэнергии предприятием по варианту 2 иллюстрируется

рис. 3.4.

57

Рис. 3.4

НАЧАЛО

Задание начального значения

коэффициента регуляризации α

Решение системы уравнений

методом наименьших квадратов

Решение системы уравнений

,

методом Гаусса

$||k=1$

Возврат к значениям

переменных на

предыдущей итерации

Изменение значения

коэффициента

регуляризации αR

КОНЕЦ

+ -

Определение $ai0$

, $ai1$

для каждого i -го

производственного

подразделения

Задание

номинальных

значений

корректирующих

коэффициентов

Определение ai

для

каждого i -го

производственного

подразделения

Определение общей

ошибки прогноза

потребления

электроэнергии

58

3.3 Программное обеспечение оптимального прогноза объемов

потребления электроэнергии подразделениями ОАО «ММК» и

комбинатом в целом

С целью упрощения процедуры планирования и управления

электропотреблением металлургического предприятия разработано

программное обеспечение, которое позволяет централизованно хранить

данные о фактическом удельном расходе электроэнергии и объемах

произведенной продукции за неограниченный промежуток времени для

каждого подразделения предприятия, настраивать права доступа персонала к

набору данных, выполнять расчет зависимостей для получения

коэффициентов $ai0$

и $ai1$

, отображать на экране и выводить на печать графики

зависимостей. В рамках работы разработано программное обеспечение

нормирования и оптимального прогноза объемов потребления электрической

энергии подразделениями ОАО «ММК» и комбинатом в целом.

Высокая точность прогнозирования объемов потребления

электроэнергии достигается за счёт:

формирования функциональной зависимости **удельного расхода**

электроэнергии от объёма производства на основе математической обработки

отчётных данных о фактических объёмах производства и удельных расходах

электроэнергии;

обеспечения обработки данных из набора на переменную глубину;

формирования сезонных **зависимостей удельного расхода**

электроэнергии от объёмов производства (« зимняя» и «летняя» зависимости).

Разработанное программное обеспечение обеспечивает выполнение

следующих функций:

прогноз потребления электроэнергии **при заданных плановых**

значениях выпуска продукции и установленных значениях базовых

технологических факторов;

определение величин перерасхода потребления энергии и причин, их

обуславливающих;

59

определение текущих показателей энергоёмкости подразделений и

резервов снижения потребления электроэнергии.

ввод, регистрация и хранение данных об объёмах производства и

удельных расходов электроэнергии для каждого нормируемого структурного

подразделения.

обеспечение возможности исключения части данных из расчёта для

получения более обоснованной зависимости;

применение критериев выборки для формирования зависимостей с учётом дополнительных факторов;
 обеспечение возможности создания и модификации многоуровневой иерархии объектов нормирования, соответствующей технологической структуре предприятия;
 обеспечение одновременного обращения к наборам данных с нескольких рабочих мест с разграничением прав доступа;
 формирование функциональных зависимостей потребляемой мощности и удельного расхода электроэнергии от объёма производства;
 сравнение показателей предшествующими и средними величинами за заданный временной интервал.

Окно работы программы представлено на рисунке 3.5 [4, 5].

Рис. 3.5. Окно работы программы

60

Интерфейс пользователя включает в себя два основных раздела: дерево параметров слева и область работы с данными справа. В свою очередь, область работы с данными состоит из 2 разделов: «Графики» и «Отчеты». Программа обеспечивает возможность создания и модификации многоуровневой иерархии объектов нормирования, соответствующей технологической структуре предприятия. В левой части окна работы программы, приведенного на рисунке 3.5, объекты потребления электрической энергии представлены в виде списка – дерева параметров. Древоподобная структура позволяет описывать объекты нормирования, группы объектов и их иерархию. Объектом электропотребления является нормируемое структурное подразделение (участок, агрегат). Группы объектов служат для объединения нескольких объектов по определенному признаку (например, основное производство, вспомогательное и т.д.), а также для создания иерархии, которая бы соответствовала технологической структуре предприятия. Группа объектов может содержать как объекты, так и вложенные группы объектов. В разделе «Адрес» дерева параметров содержится перечень подразделений (цехов), агрегатов, контуров, например, «Доменный цех». Внутри каждого элемента с наименованием пункта цеха (агрегата, контура) сгруппированы нормируемые параметры, связанные с ним функциональные зависимости удельного расхода электроэнергии от объёма производства за месяц формируются на основе математической обработки статистических данных, полученных не при контролируемом активном эксперименте, а в условиях реального производства, которое характеризуется значительными колебаниями объёмов выпускаемой продукции, различным по интенсивности влиянием большого количества других производственных факторов. При обработке набора фактических результатов работы предусматривается возможность пометить часть анализируемых данных с тем, чтобы они не принимались в расчёт, причём согласно одной метке помеченные данные полностью игнорируются, а согласно другой – принимаются «к сведению». В последнем случае помеченные данные в формировании зависимости не участвуют, но на экране

61

монитора высвечиваются, что даёт возможность визуально проконтролировать степень согласованности их с формируемой зависимостью.

Указанные выше обстоятельства, определяющие разброс фактических удельных расходов электроэнергии, обуславливают также необходимость определения зоны допустимых отклонений. Эта зона формируется одновременно с зависимостью, а ширину её (в процентах) целесообразно выбирать таким образом, чтобы в неё входило приблизительно 15 % точек (значений), принимаемых в расчёт при формировании зависимости. Пример зависимости для цеха холодного проката в летний период приведён на рис. 3.6.

Рис. 3.6. Зависимость для холодного проката в летний период

62

На рис. 3.6 представлена сформированная зависимость удельного расхода электроэнергии от объёма производства и одновременно в виде точек, наложенных на графическое изображение зависимости, визуализирована база данных, на которых построена зависимость, а над ней – характеристики зависимости, в том числе значения коэффициентов a и b , коэффициента корреляции R зависимости, зоны допустимых отклонений и глубины базы для формирования зависимости.

Набор данных, на базе которых формируется зависимость, регулярно дополняется новыми значениями по итогам каждого прошедшего месяца. Целесообразно формировать зависимость на базе данных за последние тридцать лет. Для реализации этого положения в программе предусмотрена возможность выбирать в наборе данных интервал для формирования зависимости путём указания значений начального и конечного периодов. Сам же исходный набор данных сохраняется неизменным с момента начала его формирования, что создаёт дополнительные возможности для сравнения и анализа данных за различные периоды времени, в частности, для оценки результатов внедрения различных энергосберегающих мероприятий. В результате можно формировать наиболее объективную зависимость удельного расхода электроэнергии от объёма производства для нормирования электропотребления, в некоторых случаях выявлять ошибки в отчётных данных, обнаруживать сбои в работе счётчиков.

Наличие набора данных и инструмента их математической обработки позволяет определять долю постоянной составляющей в электропотреблении производственных подразделений. Введённые с этой целью дополнения в программу дают возможность получать зависимость средней мощности (P), потребляемой производственным подразделением за интервал, от объёма

производимой продукции. Потребляемая подразделением мощность при нулевом объеме производства не теряет смысла (в отличие от удельного расхода электроэнергии) и является эквивалентом постоянной составляющей электропотребления. Кроме создания предпосылок для решения задачи определения и анализа тенденций изменения доли постоянной составляющей,

63 рассматриваемая зависимость предоставляет дополнительную возможность определения объективности анализируемых данных.

В программе осуществляется ведение информационной базы отчетов и их просмотр. В дерево параметров включен раздел «Отчеты», содержащий сводные отчеты по потреблению электрической энергии подразделениями и предприятием в целом. Раздел предназначен для отображения архивных данных согласно согласованной с Заказчиком отчетной форме в формате электронных таблиц MS Excel.

Для построения отчета необходимо перейти на вкладку «Отчеты» и выбрать интервал дат для построения отчета. Для выборки архива параметров укажите начальную дату в поле «Период с» и конечную дату в поле «по» (см. рис. 3.7).

Рис. 3.7. Даты выборки архивов параметров

Далее, в дереве параметров нужно выбрать требуемый пункт типа «Шаблон отчета» и в панели инструментов вкладки «Отчеты» нажать кнопку «Показать». В результате в рабочей области вкладки «Отчеты» будет отображен заполненный шаблон отчета. Пример отчета о потреблении электроэнергии производственными подразделениями ОАО «ММК» представлен на рисунке 3.8.

Представленный отчет содержит следующие данные [25, 28]:

- Год;
- Цех – название цеха;
- Объем производства (плановый и фактический);
- Расход электрической энергии:
 - план – плановый расход электрической энергии, рассчитываемый на основе факторного анализа по плановому объему производства и заданных значениях базовых технологических факторов;
- 64
- план/факт – плановый расход электрической энергии, рассчитываемый на основе факторного анализа по фактическому объему производства;
- факт – фактическое потребление электроэнергии соответствующим цехом.
- Удельный расход электроэнергии (плановый и фактический);
- Перерасход электроэнергии;
- Удельный перерасход электроэнергии, %.

Рис. 3.8. Пример отчета о потреблении электроэнергии

Разработанное программное обеспечение передано в лабораторию анализа и управления энергоресурсами ЦЭСТ и в отдел нормирования энергоресурсов Технологического управления ОАО «ММК» и используется при решении задач нормирования и управления электропотреблением промплощадки ОАО «ММК».

65

Выводы к разделу 3

1. Предложена схема организации многоуровневого планирования и управления электропотреблением металлургического предприятия. Управление энергетическими затратами предприятия в рамках представленной схемы представляет собой непрерывный процесс, включающий этапы сбора информации, построения зависимостей электропотребления, энергетической экспертизы и корректирующие мероприятия.
2. Предложены новые алгоритмы решения задачи минимизации общей ошибки прогноза потребления электроэнергии предприятием в целом для упрощения процедуры планирования и управления электропотреблением металлургического предприятия. В результате действий согласно разработанному алгоритмам, определяются значения корректирующих коэффициентов для каждого производственного подразделения предприятия, при которых квадрат общей ошибки прогноза потребления электроэнергии предприятием в целом является минимальным.
3. В целях поддержки принятия решений по многоуровневому планированию и управлению электропотреблением металлургического предприятия разработано программное обеспечение нормирования и оптимального прогноза объемов потребления электрической энергии подразделениями ОАО «ММК» и комбинатом в целом. Разработанное программное обеспечение позволяет централизованно хранить данные о фактическом удельном расходе электроэнергии и объемах произведенной продукции за неограниченный промежуток времени для каждого подразделения предприятия, выполнять расчет зависимостей для получения корректирующих коэффициентов, отображать на экране и выводить на печать графики зависимостей, а также позволяет создавать многоуровневую иерархию объектов нормирования, соответствующую технологической структуре предприятия. Реализована возможность ведения информационной базы отчетов и их просмотра.

66

4 ЭКСПЕРИМЕНТАЛЬНЫЕ ИССЛЕДОВАНИЯ МЕТОДОВ ПЛАНИРОВАНИЯ И УПРАВЛЕНИЯ ЭЛЕКТРОПОТРЕБЛЕНИЕМ МЕТАЛЛУРГИЧЕСКОГО ПРЕДПРИЯТИЯ

4.1 Результаты проведения экспериментальных исследований метода среднесрочного планирования электропотребления на реальных данных ОАО «ММК»

Проведение экспериментальных исследований по среднесрочному планированию объемов потребления электрической энергии на месяц вперед подразделениями ОАО «ММК» и комбинатом в целом осуществлялось на основе исходных данных, предоставленных ЦЭСТ ОАО «ММК».

Решение задачи минимизации общей ошибки прогнозирования

потребления электрической энергии согласно алгоритмам, проводилось для следующих блоков данных:

I. Основные виды продукции, выпускаемые производственными подразделениями ОАО «ММК», к которым относятся:

- прокат горячий, т;
- сталь ДСА, т;
- электросталь ЭСПЦ, т;
- руда железная, т;
- агломерат, т;
- кокс, т;
- чугун, т;
- сталь конвертерная, т;
- известь;
- электроэнергия, кВт ч;
- тепло станций, Гкал;
- дутье, тыс. м

3

;

- кислород, тыс. м

3

;

- сжатый воздух, тыс. м

3

;

- вода техническая, тыс. м

3

.

67

II. Виды продукции, выпускаемые цехами металлургического производства: доменным цехом, кислородно-конвертерным цехом, электросталеплавильным цехом, к которым относятся:

- чугун, т;
- сталь, т;
- т стали, электродуговой нагрев;
- т стали, печь-ковш ККЦ;
- т стали, печь-ковш №1;
- т стали, печь-ковш №2;
- т готовой продукции МНЛЗ №6;
- сталь ДСА, т;
- сталь ДСП, т.

III. Виды продукции, выпускаемые электрическими станциями ОАО «ММК»: ТЭЦ, ЦЭС, ПВЭС, к которым относятся:

- выработка э/э, кВт ч (ТЭЦ);
- тепло с острым паром ККП, Гкал (ТЭЦ);
- тепло с горячей водой, Гкал (ТЭЦ);
- химводоочистка, м

3

воды (ТЭЦ);

- береговая насосная, 1000м

3

т/воды (ТЭЦ);

- выработка электроэнергии, кВт ч (ЦЭС);
- тепло с горячей водой, Гкал (ЦЭС);
- тепло с паром, Гкал (ЦЭС);
- химводоочистка, м

3

отпущен. ХОВ (ЦЭС);

- выработка электроэнергии, кВт ч (ПВЭС);
- выработка дутья, м

3

(ПВЭС);

- тепло отпущенное, Гкал (ПВЭС);
- с/нужды котельной (ПВЭС).

Для указанных блоков данных прогнозирование общего расхода электроэнергии для предприятия в целом осуществлялось следующим образом.

68

Прежде всего, необходимо определить выборки данных из общего объема реальных данных эксплуатации, на которых впоследствии будет осуществляться прогноз общего расхода электроэнергии для предприятия в целом. Дело в том, что аналитическая зависимость общего расхода электроэнергии от объема производства (для варианта 1) или от суммы расходов электроэнергии отдельными производственными подразделениями (для варианта 2) формируется на основе математической обработки статистических данных, полученных в условиях реального производства,

которое характеризуется значительными колебаниями объемов выпускаемой продукции, различным по интенсивности влиянием большого количества других производственных факторов.

В связи с выше сказанным, необходимо исключить из рассмотрения те данные при прогнозировании общего расхода электроэнергии, которые характеризуется значительными отклонениями. Следующим шагом является построение матрицы коэффициентов корреляции значений выработки продукции с ошибкой прогнозирования потребления электроэнергии, определяемой как разность между фактическим и расчетным потреблением электроэнергии за месяцы, предшествующие терминальной точке прогноза. На основе полученных коэффициентов корреляции можно исключить из рассмотрения некоторые виды продукции, влияние выработки которых на ошибку прогнозирования потребления электроэнергии является более низким по сравнению с другими. Данное действие необходимо для корректного формирования выборки статистики, а именно, чтобы количество точек статистики превышало количество факторов (видов вырабатываемой продукции). Более низким влияние выпуска некоторого вида продукции является тогда, когда коэффициент корреляции принимает значение по абсолютной величине меньше 0,3. В случае исключения из рассмотрения некоторого вида продукции необходимо из общего фактического потребления электроэнергии вычесть фактическое потребление электроэнергии для выпуска исключаемого вида продукции.

69
Далее для выборки данных с использованием разработанных алгоритмов, приведенных в п. 2.2, определяются коэффициенты a_i

: для варианта 1 при решении системы уравнений (2.25); для варианта 2 при решении системы уравнений (2.30).

На основе вычисленных коэффициентов a_i определяется прогнозное значение общего расхода электроэнергии в терминальной точке прогноза:
1. для варианта 1 по соотношению (2.31):

$$\begin{aligned} & 0 \\ & 0 \\ & \exp \\ & Np \\ & pr\ pl \\ & T\ i\ i \\ & i \\ & W\ a\ P \\ & , \\ & \text{где} \\ & pl \\ & i \\ & P - \text{плановое значение выпуска } i\text{-ой продукции;} \end{aligned}$$

2. для варианта 2 по соотношению (2.32):

$$\begin{aligned} & 0 \\ & 0 \\ & Np \\ & pr\ p \\ & T\ i\ iT \\ & i \\ & W\ aW \\ & , \\ & \text{где} \\ & p \\ & iT \\ & W - \text{расчетное значение расхода электроэнергии для выпуска } i\text{-ой} \\ & \text{продукции.} \end{aligned}$$

4.1.1 Экспериментальные исследования для основных видов продукции
Расчеты проводились на данных зимнего периода (с октября по март) 2010-2012 гг.

На первом шаге были исключены данные, характеризующиеся более сильными отклонениями от средних значений.
Далее с помощью встроенных средств Excel сформирована матрица коэффициентов корреляции значений выработки продукции с ошибкой прогнозирования потребления электроэнергии, приведенная в таблице 4.1.

70

Таблица 4.1

Матрица коэффициентов корреляции

№ показателя	1	2	3	4	5	6	7	8	9	10	11	12	13	14	15	16	17
1	1,00																
2	-0,05	1,00															
3	0,74	-0,41	1,00														
4	0,23	-0,14	0,20	1,00													
5	0,64	0,43	0,19	0,33	1,00												
6	0,61	0,17	0,27	0,39	0,50	1,00											
7	0,82	0,33	0,33	0,21	0,77	0,82	1,00										
8	0,66	0,10	0,06	0,16	0,64	0,66	0,82	1,00									
9	0,70	0,20	0,43	0,48	0,76	0,63	0,71	0,51	1,00								
10	-0,19	0,29	-0,28	0,27	0,29	0,19	0,12	0,03	0,37	1,00							
11	0,05	0,01	0,39	0,34	-0,09	0,19	0,00	-0,42	0,21	0,39	1,00						
12	0,77	0,42	0,35	0,06	0,67	0,64	0,87	0,63	0,74	0,06	0,00	1,00					

13 0,71 0,26 0,18 0,38 0,77 0,67 0,86 0,87 0,60 0,18 -0,12 0,63 1,00
14 0,44 0,08 0,31 0,68 0,42 0,68 0,53 0,35 0,74 0,55 0,58 0,43 0,52 1,00
15 0,31 0,18 0,11 0,28 0,63 0,16 0,34 0,28 0,78 0,41 -0,12 0,48 0,26 0,38 1,00
16 -0,02 0,18 -0,42 -0,09 0,25 -0,14 0,01 0,39 0,13 0,02 -0,64 0,19 0,21 -0,06 0,43 1,00
17 -0,39 -0,16 -0,40 0,05 -0,31 0,23 -0,17 0,06 -0,34 0,12 -0,04 -0,38 -0,03 -0,04 -0,47 -0,14 1,00
Здесь порядковый номер показателя соответствует следующему виду продукции: 1 – прокат горячий; 2 - сталь ДСА;
3 - электросталь ЭСПЦ; 4 - руда железная; 5 - агломерат; 6 - кокс; 7 - чугун; 8 - сталь конвертерная; 9 - известь;
10 - электроэнергия; 11 - тепло станций; 11 - дутье; 12 - кислород; 13 - сжатый воздух; 14 - вода техническая.
71

Как видно из таблицы 4.1, на ошибку прогнозирования потребления электроэнергии оказывают влияние выработки следующих видов продукции: прокат горячий, электросталь ЭСПЦ, агломерат, известь, дутье, вода техническая, т.к. коэффициент корреляции указанных показателей выше по абсолютной величине, чем 0,3.

Виды продукции, оказывающие более низкое влияние (коэффициент корреляции которых ниже по абсолютной величине, чем 0,3), можно исключить из рассмотрения, предварительно уменьшив значение общего

фактического потребления электроэнергии на величину фактического потребления электроэнергии для выпуска этих видов продукции.

В таблице 4.3 приведена выборка статистических данных по выработке основных видов продукции, выпускаемых производственными подразделениями ОАО «ММК», расходу электроэнергии для выработки основных видов продукции и общему расходу электроэнергии за зимний период (с октября по март) 2010-2012 гг.

Определение коэффициентов a_i осуществлялось на основе данных, приведенных в таблице 4.3, за исключением данных за март 2012 г., т.к. этот месяц был принят в качестве терминальной точки прогноза. Для указанной выборки получены значения коэффициентов a_i , приведенные в таблице 4.2.

Таблица 4.2

Наименование
показателя

Вариант 1 Вариант 2

a_0

18,81177 5760847,0001

a_1

-5,46E-07 1,0724

a_2

2,09E-06 0,9801

a_3

-3,07E-07 0,7816

a_4

6,33E-06 1,5386

a_5

2,07E-07 0,6057

a_6

4,00E-07 0,7382

72

Таблица 4.3

Выборка статистических данных

№ п/п Наименование продукции Дата

Март

2010

Октябрь

2010

Январь

2011

Февраль

2011

Март

2011 Октябрь 2011

Ноябрь

2011

Декабрь

2011

Март

2012

1 Прокат

горячий, т

Выработка

продукции

1008151 907434 1081503 963896 926736 970731 880480 913577 1023057

Расчет. расход

э/э, кВт ч

114524271 108280981 118094091 105748252 107627037 114373471 110235202 114449766 119730914

Факт. расход э/э,

кВт ч

114344715 107647609 118062041 105229148 106245705 113929626 109973463 113929862 119346847

2 Электросталь ЭСПЦ,

т

Выработка

продукции

124312 55759 217028 191167 31375 100555 80780 137465 151812

Расчет. расход
э/э, кВт ч
45248193 23612707 78122734 77210308 12137810 38277128 30245504 50604132 52791811
Факт. расход э/э,
кВт ч
44741795 23536921 77789593 77203213 13420062 38360033 29997809 49195646 52434873
3 Агломерат, т
Выработка
продукции
956283 975235 1001011 900562 972076 919286 941320 958099 950776
Расчет. расход
э/э, кВт ч
33491051 33359061 34929379 30948691 34103700 34279346 34341777 35706178 34163262
Факт. расход э/э,
кВт ч
33033198 33208160 34871540 30861408 33795759 34173609 34323499 35535585 34058487
4 Известь
Выработка
продукции
84932 84780 89623 78702 83272 85652 80076 83938 85002
Расчет. расход
э/э, кВт ч
4998824 4837646 5098717 4686524 4815913 4866987 4631302 4828385 4933687
Факт. расход э/э,
кВт ч
4949362 4771332 5064514 4656336 4724952 4861598 4603568 4826471 4903565
73
Окончание таблицы 4.3
№
п/п
Наименование продукции Дата
Март
2010
Октябрь
2010

Январь
2011
Февраль
2011
Март
2011
Октябрь
2011
Ноябрь
2011
Декабрь
2011
Март
2012
5 Дутье, тыс.
м
3
Выработка
продукции
2044730 1860298 1978526 1748705 1959042 1994930 1866035 1835234 2094393
Расчет. расход
э/э, кВт ч
4137879 3701993 3858719 3514897 4036410 4049708 3917588 3822005 4356337
Факт. расход
э/э, кВт ч
4137050 3653202 3773947 3507702 4155641 4079432 3917588 3822005 4273566
6 Вода
техническая, тыс. м
3
Выработка
продукции
161998 172822 159374 152506 160040 169675 160061 170080 161468
Расчет. расход
э/э, кВт ч
28310000 28880406 28485112 26232001 28471598 29523504 28364857 29338901 28673861
Факт. расход
э/э, кВт ч
28293026 29229382 28483237 26231047 28471079 29523504 28362854 29338745 28579872
Фактич. общий расход э/э,
кВт ч
229499146 202046606 268044872 247688854 190813198 224927802 211178781 236648314 243597210
74
С использованием полученных коэффициентов a_i
и реальных данных в
терминальной точке прогноза можно вычислить прогнозное значение общего
расхода электроэнергии соответственно по соотношениям (2.31) и (2.32):
3. для варианта 1:
967 062 244

пр1
Оддек1
W ;
4. для варианта 2
363 995 243
пр1
Оддек1
W .
В таблице 4.4 приведены сводные данные по общему расходу электроэнергии на выработку выбранных видов продукции. В таблице 4.4 приняты следующие обозначения:
1
0
вар
W ,
2
0
вар
W ,
0
ММК
W -общий расход
электроэнергии, определенный соответственно на основе первого варианта расчетов, второго варианта расчетов и методики, используемой в настоящее время на ОАО «ММК»;
0
факт
W -фактический общий расход электроэнергии.
Таблица 4.4
Дата
1
0
вар
W
2
0
вар
W
0
факт
W
0
ММК
W
1 2 3 4 5
Март 2010 229 525 010 230 192 581 229 499 146 230 710 218
Октябрь 2010 201 832 679 202 099 339 202 046 606 202 672 794

Январь 2011 267 899 925 267 477 602 268 044 872 268 588 751
Февраль 2011 247 743 648 247 726 929 247 688 854 248 340 672
Март 2011 191 087 905 190 601 416 190 813 198 191 192 467
Октябрь 2011 224 887 716 224 454 526 224 927 802 225 370 144
Ноябрь 2011 210 835 837 210 896 137 211 178 781 211 736 231
Декабрь 2011 237 034 663 237 399 045 236 648 314 238 749 367
Март 2012 (точка прогноза)
244 062 967 243 995 363 243 597 210 244 649 872
В таблице 4.5 приведены данные по отклонениям общего расчетного по разным вариантам расхода электроэнергии на выработку выбранных основных видов продукции от фактического значения. В таблице 3.5 приняты следующие обозначения:
1
0
вар
E ,
2
0
вар
E ,
0
ММК
E -отклонение общего расхода
электроэнергии, определенного соответственно на основе первого варианта расчетов, второго варианта расчетов и методики, используемой в настоящее время на ОАО «ММК», от фактического значения.
75
Таблица 4.5
Дата
1
0
вар
E
2
0
вар

Е
О
ММК
Е
1
2 3 4
Март 2010 -25 864 -693 435 -1 211 072
Октябрь 2010 213 927 -52 733 -626 188
Январь 2011 144 947 567 270 -543 879
Февраль 2011 -54 794 -38 075 -651 819
Март 2011 -274 707 211 782 -379 269
Октябрь 2011 40 087 473 277 -442 341
Ноябрь 2011 342 944 282 644 -557 450
Декабрь 2011 -386 348 -750 730 -2 101 052
Март 2012 (точка прогноза)
-465 757 -398 153 -1 052 662
Определим приведенную погрешность прогноза потребления электроэнергии ОАО «ММК» для выбранной точки(март 2012 г.):
0,00430
872 649 244
872 649 244 - 210 597 243
пліб
пліб фіб
W
W W
.
Определим приведенную погрешность прогноза потребления электроэнергии на основе разработанных алгоритмов для выбранной точки (март 2012 г.):
- для варианта 1
0,00191
967 062 244
967 062 244 - 210 597 243
1
1
пліВ
пліВ фіб
W
W W
;
- для варианта 2:
0,00163
363 995 243
363 995 243 - 210 597 243
2
2
пліВ
пліВ фіб
W
W W
.
Из приведенных расчетов видно, что точность прогноза потребления электроэнергии на основе разработанных алгоритмов выше по сравнению с точностью прогноза потребления электроэнергии по методике, принятой в настоящее время на ОАО «ММК».
76
4.1.2 Экспериментальные исследования для цехов металлургического производства
В таблице 4.7 приведена выборка статистических данных по выработке видов продукции, выпускаемых цехами металлургического производства ОАО «ММК» (доменным цехом, кислородно-конвертерным цехом, электросталеплавильным цехом), расходу электроэнергии для выработки каждого вида продукции и общему расходу электроэнергии металлургическим производством по основным показателям за период с мая 2007 года по август 2008 года.
Определение коэффициентов a_i
осуществлялось на основе данных, приведенных в таблице 4.7, за исключением данных за август 2008 г., т.к. этот месяц был принят в качестве первой терминальной точки прогноза.
Для указанной выборки получены численные значения коэффициентов a_i
/
приведенные в таблице 4.6. Также в таблице 4.6 приведены значения квадрата общей ошибки, вычисляемой по соотношениям (2.23) или (2.29) соответственно для разных вариантов решения задачи минимизации общей ошибки прогноза потребления электроэнергии предприятием: варианта 1 и варианта 2.
Таблица 4.6
Результаты решения
Наименование
показателя
Вариант 1 Вариант 2
а0
18,0277646315149 -1383789,88491808

a1
-0,0000028493144 2,85504163052538
a2
0,0000030076215 0,716970078818841
a3
-0,0000002446215 0,288578589566011
a4
-0,0000021735478 1,90238436990592
a5
0,0000051712142 3,6751872304243
a6
0,0000045377628 0,985459161848249
2
0
E 7,2094691424237710
-26
1,1644653495425610
-13
77
Таблица 4.7
Статистические данные
май.07 июн.07 июл.07 авг.07 май.08 июн.08 июл.08 авг.08
чугун, т
Выработка
продукции
753 935 778 040 859 664 857 877 872 265 754 406 679 403 785 294
Потребление
э/э факт, кВт ч
3 886 106 3 749 594 4 017 901 4 120 863 4 390 333 4 092 041 3 690 668 4 201 043
сталь, т
Выработка
продукции
831 956 842 826 880 954 885 027 895 021 778 984 722 226 832 268
Потребление
э/э факт, кВт ч
17 111 090 16 453 370 17 599 769 17 109 799 16 628 390 14 613 807 14 457 297 16 258 255
эл.дуг.
нагрев
Выработка
продукции
296 465 284 170 303 948 294 516 295 487 256 833 255 503 280 664
Потребление
э/э факт, кВт ч
4 564 092 3 747 012 3 771 432 3 374 112 4 003 224 3 494 364 4 239 636 4 221 552
печь-ковш
ККЦ, т
Выработка
продукции
422 714 437 036 449 950 439 365 448 376 422 123 419 587 444 181
Потребление
э/э факт, кВт ч
7 416 428 7 694 806 7 820 806 7 031 846 7 679 328 7 847 660 9 248 496 8 640 772
ДСА, т
стали
Выработка
продукции
34 921 33 655 69 057 63 138 40 343 26 699 9 294 9 944
Потребление
э/э факт, кВт ч
1 004 111 930 596 979 161 967 676 548 334 557 596 530 964 456 912
ДСП, т
стали
Выработка
продукции
215 486 226 024 223 098 195 614 256 671 264 258 279 977 295 582
Потребление
э/э факт, кВт ч
73 652 490 71 897 761 72 016 284 61 512 572 75 280 743 79 426 779 81 517 020 84 486 000
Общее потребление
электроэнергии
металлургическим
производством
113 677 157 111 110 239 113 240 233 101 174 148 115 038 458 117 035 601 120 619 419 124 948 506
78
Расчет прогнозного значения потребления электрической энергии цехами
металлургического производства с использованием первого варианта решения
задачи осуществляется на основе соотношения (2.31).
Подставив значения выработки продукции цехов металлургического
производства и корректирующих коэффициентов ai
, рассчитаем прогнозное
значение потребления электроэнергии для первой точки (август 2008 года):
1
0 08 0 1 2 3 . . 4 5 6
6 6 7
6 6 6

exp
exp 18, 03 2,85 10 785 294 3, 01 10 832 268 2, 45 10 280 664
2,17 10 444 181 5,17 10 9 944 4, 54 10 295 582 126 021 19
пр
aug ЧУГУН СТАЛЬ ЭЛ ДУГ ПЕЧЬ КОВШ ДСА ДСП
W a a P a P a P a P a P
9, 7 кВт ч
В таблице 4.9 представлен прогноз потребления электрической энергии цехами металлургического производства для 1-й терминальной точки с использованием первого варианта алгоритма.
Прогнозное значение потребления электроэнергии цехами металлургического производства ОАО «ММК» для каждого t-го момента времени по второму варианту алгоритма определяется по соотношению (4.21).
Подставив расчетные значения потребления электроэнергии для каждого вида продукции цехов металлургического производства и рассчитанные значения корректирующих коэффициентов a_i , определим прогнозное значение потребления электроэнергии для первой терминальной точки (август 2008 года). Расчетные значения потребления электроэнергии цехами металлургического производства приведены в таблице 4.8.

2
0 08 0 1 2 3 . . 4 5 6
1 383 790 2,86 4 206 050 0, 72 16 725 119 0, 29 4 080 000
1, 90 7 973 049+3, 68 467 169 0, 99 87 441 977 126 848 704 кВт ч
пр
aug ЧУГУН СТАЛЬ ЭЛ ДУГ ПЕЧЬ КОВШ ДСА ДСП
W a aW a W a W a W a W a W
В таблице 4.10 представлен прогноз потребления электроэнергии цехами металлургического производства для 1-й терминальной точки с использованием 2-го варианта алгоритма.
В таблице 4.11 приведены прогнозные и фактические значения потребления электроэнергии цехами металлургического производства.

79
Таблица 4.8
Расчетные значения потребления электрической энергии (расчет ОАО «ММК»)
май.07 июн.07 июл.07 авг.07 май.08 июн.08 июл.08 авг.08
W (чугун) 3 996 609 4 038 028 4 384 286 4 339 914 4 390 333 4 179 409 3 726 050 4 206 050
W (сталь) 17 113 796 16 748 755 17 461 887 17 194 950 16 938 112 14 625 405 15 782 600 16 725 119
W(эл,дугов) 4 564 092 3 747 012 4 033 998 3 389 785 3 650 000 3 530 000 3 650 000 4 080 000
W(печь-ковш) 7 582 982 7 791 128 7 933 293 7 467 228 7 792 775 7 898 343 7 980 545 7 973 049
W (дса) 960 467 957 821 1 009 544 962 791 876 655 640 840 442 673 467 169
W (дсп) 68 955 610 72 327 680 71 391 360 62 596 480 75 550 745 79 116 598 82 255 794 87 441 977
WрасчетММК 109216395 112247524 113249249 103008428,5 115706726 116993950 120772999 127577336
Таблица 4.9
Прогноз потребления электрической энергии цехами металлургического производства для 2 терминальной точки с использованием первого варианта алгоритма
a0 РЧУГУН a1 РСТАЛЬ a2 РЭЛ,ДУГ.
a3 РП-К a4 РДСА a5 РДСП a6 Wрасчет 1
май.07
18,03
753 935
-2,8510
-6
831 956
3,0110
-6
296 465
-2,4510
-7
422 714
-2,1710
-6
34 921
5,1710
-6
215 486
4,5410
-6
113 677 289,7
июн.07 778 040 842 826 284 170 437 036 33 655 226 024 111 110 239,0
июл.07 859 664 880 954 303 948 449 950 69 057 223 098 113 240 233,0
авг.07 857 877 885 027 294 516 439 365 63 138 195 614 101 174 148,0
май.08 872 265 895 021 295 487 448 376 40 343 256 671 115 038 226,1
июн.08 754 406 778 984 256 833 422 123 26 699 264 258 117 035 601,0
июл.08 679 403 722 226 255 503 419 587 9 294 279 977 120 619 419,0
авг.08 785 294 832 268 280 664 444 181 9 944 295 582 126 021 199,7
80
Таблица 4.10
Прогноз потребления электрической энергии цехами металлургического производства для 1 терминальной точки с использованием второго варианта алгоритма
a0 a1 WЧУГУН a2 WСТАЛЬ a3 WЭЛ,ДУГ.
a4 WP-К a5 WДСА a6 WДСП Wрасчет 2
май.07
-1 383 790 2,86
3 886 106

0,72
17 111 090
0,29
4 564 092
1,90
7 416 428
3,68
1 004 111
0,99
73 652 490 113 677 157
июн.07 3 749 594 16 453 370 3 747 012 7 694 806 930 596 71 897 761 111 110 239
июл.07 4 017 901 17 599 769 3 771 432 7 820 806 979 161 72 016 284 113 240 233
авг.07 4 120 863 17 109 799 3 374 112 7 031 846 967 676 61 512 572 101 174 148
май.08 4 390 333 16 628 390 4 003 224 7 679 328 548 334 75 280 743 115 038 458
июн.08 4 092 041 14 613 807 3 494 364 7 847 660 557 596 79 426 779 117 035 601
июл.08 3 690 668 14 457 297 4 239 636 9 248 496 530 964 81 517 020 120 619 419
авг.08 4 206 050 16 725 119 4 080 000 7 973 049 467 169 87 441 977 126 848 704
Таблица 4.11
Сравнение прогнозных и фактических значений потребления электрической энергии цехами металлургического производства ОАО «ММК»
Wфакт WрасчММК Wрасч1 Wрасч2 Ошибка ММК Ошибка Вар1 Ошибка Вар2
май.07 113 677 157 109 216 395 113 677 290 113 677 157 4 460 762 -132,67831 0
июн.07 111 110 239 112 247 524 111 110 239 111 110 239 -1 137 285 4,9442E-05 -5,3644E-07
июл.07 113 240 233 113 249 249 113 240 233 113 240 233 -9 016 2,5913E-05 -3,7253E-07
авг.07 101 174 148 103 008 429 101 174 148 101 174 148 -1 834 281 -3,693E-05 5,06639E-07
май.08 115 038 458 115 706 726 115 038 226 115 038 458 -668 268 231,8879 -3,2783E-07
июн.08 117 035 601 116 993 950 117 035 601 117 035 601 41 651 -2,587E-05 1,49012E-07
июл.08 120 619 419 120 772 999 120 619 419 120 619 419 -153 580 -4,977E-06 1,78814E-07
авг.08 124 948 506 127 577 336 126 021 200 126 848 704 -2 628 830 -1 072 694 -1 900 198
81

Определение точности прогноза потребления электроэнергии цехами металлургического производства для i-й терминальной точки осуществляется по формуле:

$$\frac{1}{\frac{W_{\text{факт}} - W_{\text{расч}}}{W_{\text{расч}}}} = \frac{1}{\frac{W_{\text{факт}} - W_{\text{расч}}}{W_{\text{расч}}}}$$

– приведенные погрешности прогноза потребления электроэнергии для i-й терминальной точки; $W_{\text{факт}}$ – фактический объём потребления электроэнергии за i-й месяц в базовом периоде и периоде после реализации мероприятия, тыс. кВтч; $W_{\text{пл}}$

– плановый объём потребления электроэнергии, тыс. кВтч. Определим приведенную погрешность прогноза потребления электроэнергии ОАО «ММК» для 1 терминальной точки (август 2008 года):

$$\frac{124\,948\,506 - 127\,577\,336}{127\,577\,336} = \frac{0,02103931}{1} = 0,008408184$$

WW
W
Для алгоритма 2:
2
2
124 948 506 126 848 704
0, 015078403
126 848 704
фі пл іВ
пл іВ
WW
W
82
Точность прогноза потребления электроэнергии цехами металлургического
производства с использованием 1-го варианта алгоритма относительно прогноза
ОАО «ММК»:
1
1 1
08
1
1
0, 02103931 0, 008408184
1, 502241759
0, 008408184
фіб пл іб фі пл В
пл іб пл В
AUG
іф пл В
пл В
W W W W
WW
T
WW
W
Точность прогноза потребления электроэнергии цехами металлургического
производства с использованием 2-го варианта алгоритма относительно прогноза
ОАО «ММК»:
2
2 1
08
2
2
0, 02103931 0, 015078403
0, 395327449
0, 015078403
фіб пл іб фі пл В
пл іб пл В
AUG
фі пл В
пл В
W W W W
WW
T
WW
W
Значения точности прогноза потребления электроэнергии цехами
металлургического производства, полученные с использованием первого и
второго вариантов алгоритма, представлены в таблице 4.24.
В таблице 4.12 приведена выборка статистических данных по выработке
видов продукции, выпускаемых цехами металлургического производства
ОАО «ММК» (доменным цехом, кислородно-конвертерным цехом,
электросталеплавильным цехом), расходу электроэнергии для выработки каждого
вида продукции и общему расходу электроэнергии металлургическим
производством по основным показателям за период с апреля 2010 года по сентябрь
2011 года.
Определение коэффициентов ai
осуществлялось на основе данных,
приведенных в таблице 4.12, за исключением данных за сентябрь 2011 г., т.к. этот
месяц был принят в качестве терминальной точки прогноза (вторая терминальная
точка).
83
Таблица 4.12
Статистические данные
апр.10 май.10 авг.10 сен.10 апр.11 май.11 июн.11 июл.11 авг.11 сен.11
ДЦ
чугун, т
Выработка
продукции
842 436 769 632 761 355 798 966 778 798 721 734 808 248 792 027 847 840 799 893
W факт, кВт ч
4 200 137 4 145 964 4 024 149 4 255 142 4 289 524 3 772 656 4 039 704 4 181 820 4 332 657 4 042 036
ККЦ
сталь, т
Выработка
продукции

853 802 831 216 772 166 802 371 794 169 755 396 830 384 811 663 839 511 783 863
W факт, кВт ч 16 606 458 18 002 261 16 884 908 16 197 345 16 082 900 16 082 900 19 661 352 16 027 718 16 778 875 15 935 243
эл.дуг.
нагрев
Выработка
продукции
255 023 200 521 191 486 174 756 236 514 315 134 435 737 424 549 393 212 389 173
W факт, кВт ч 3 478 848 3 349 554 3 730 614 3 454 734 4 101 425 3 967 402 3 967 402 4 484 223 3 935 731 3 191 619
печьковш
№1, т
Выработка
продукции
486 535 472 846 360 108 391 720 386 666 355 253 404 138 396 316 384 031 396 409
W факт, кВт ч 8 114 513 8 607 367 7 441 527 7 787 429 7 728 864 7 785 880 7 785 880 9 528 391 8 187 521 7 862 816
печьковш
№2, т
Выработка
продукции
164 972 168 761 162 841 168 354 202 337 198 848 196 625 203 233 216 889 197 217
W факт, кВт ч 4 949 280 6 123 540 7 038 210 6 545 146 8 557 642 7 578 132 7 578 132 8 411 622 8 168 290 7 161 627
МНЛЗ
№6
Выработка
продукции
112 678 115 331 124 511 126 562 147 854 77 281 130 364 101 059 100 347 81 346
W факт, кВт ч 718 320 667 760 1 289 722 1 216 630 958 450 887 900 887 900 1 432 330 1 378 050 1 271 770
ЭСПЦ
ДСА, т
стали
Выработка
продукции
74 801 9 610 35 442 66 242 74 138 40 678 62 511 51 924 102 949 82 312
W факт, кВт ч 739 969 601 465 563 917 635 003 739 414 586 906 601 185 634 302 666 818 636 094
ДСП, т
стали
Выработка
продукции
108 964 183 288 146 341 134 601 55 759 104 135 110 137 145 023 66 135 131 921
W факт, кВт ч 31 906 881 57 911 452 42 922 071 39 755 232 18 896 232 31 599 220 35 081 749 44 877 399 20 628 210 39 275 464
W
0
факт, кВт ч 90 316 636 120 360 831 105 316 241 101 824 732 80 537 998 90 943 891 101 228 306 112 658 539 84 442 051 101 759 275
84
Таблица 4.13
Расчетные значения потребления электрической энергии (расчет ОАО «ММК»)
апр.10 май.10 авг.10 сен.10 апр.11 май.11 июн.11 июл.11 авг.11 сен.11
ДЦ чугуна, т 4 254 302 4 209 887 4 035 182 4 256 085 4 062 950 3 882 929 4 138 230 4 197 743 4 442 682 4 079 454
ККЦ
сталь, т 16 692 469 16 963 258 16 894 130 16 501 008 16 096 536 16 096 536 16 554 098 16 302 751 16 704 765 16 191 064
эл.дуг.
нагрев
3 500 102 3 350 694 3 623 107 3 334 344 4 079 867 4 352 946 6 193 653 4 827 122 4 101 201 3 832 576
печь-ковш
№1, т
8 136 699 8 758 054 7 446 515 7 779 763 7 563 187 7 300 449 7 921 105 8 335 556 8 095 969 7 916 288
печь-ковш
№2, т
4 949 280 6 123 540 7 038 210 6 545 146 8 477 920 8 136 860 8 179 600 8 424 591 8 335 044 7 228 397
МНЛЗ №6 718 320 667 760 1 289 722 1 216 630 968 739 921 383 1 083 325 1 241 207 1 232 642 1 086 294
ЭСПЦ
ДСА, т
стали
747 632 610 014 610 666 595 516 685 814 597 438 671 993 653 204 648 949 665 081
ДСП, т
стали
31 493 865 57 622 872 43 172 058 39 782 382 18 898 955 32 109 548 34 762 349 44 885 199 20 477 256 39 342 817
ВрасчетММК 90 734 127 119 580 619 105 541 981 102 297 550 80 667 588 92 201 475 100 854 216 112 334 071 84 701 032 102 812 024
85
Для указанной выборки получены численные значения коэффициентов a_i
,
приведенные в таблице 4.14. Также в таблице 4.14 приведены значения квадрата
общей ошибки для двух вариантов решения задачи **минимизации общей ошибки**
прогноза потребления электроэнергии предприятием.
Таблица 4.14
Результаты решения
Наименование
показателя
Вариант 1 Вариант 2
a0
17,477684678595 171608264,840227
a1
-0,000000445009 -185,506842532508
a2
0,000000595981 11,9674931392038
a3

0,000000187010 -82,0369775575642
а4
-0,000000288571 8,35817439916012
а5
0,000001172112 20,8942801743611
а6
0,000001118866 88,9711796578392
а7
0,000000521911 646,208451791975
а8
0,000004051067 2,23152084087991
2
0
Е 3,1075076187084710
-25
9,3887695395977710
-9
Рассчитаем прогнозное значение потребления электрической энергии для первой терминальной точки (сентябрь):
1
0 11 0 1 2 3 . . 4 1 5 2
77
6 6 7 8
7 7 6
exp
exp 17, 48 4, 45 10 799 893 5, 96 10 783 863
1,87 10 389 173 2,89 10 396 409 1,17 10 197 21
пр
sept ЧУГУН СТАЛЬ ЭЛ ДУГ ПЕЧЬ КОВШ № ПЕЧЬ КОВШ №
МНЛЗ № ДСА ДСП
W a a P a P a P a P a P
a P a P a P
6
76
7 1,12 10 81 346
+5, 22 10 82 312+4, 05 10 131 921 102 650 023 кВт ч
В таблице 4.15 представлен прогноз потребления электрической энергии цехами металлургического производства для 2-й терминальной точки с использованием первого варианта алгоритма.
Определим прогнозное значение потребления электрической энергии для второй терминальной точки (сентябрь 2011 года). Расчетные значения потребления электрической энергии цехами металлургического производства приведены в таблице 4.13.
86
2
0 11 0 1 2 3 . . 4 1 5 2
6 2 7 8
174 180 837 85, 37 4 079 454 1,11 16 191 064
0, 98 3 832 576 33, 06 7 916 288 9, 03 7 228 397 29, 54 1 0
пр
sept ЧУГУН СТАЛЬ ЭЛ ДУГ ПЕЧЬ КОВШ № ПЕЧЬ КОВШ №
МНЛЗ № ДСА ДСП
W a a W a W a W a W a W
a W a W a W
86 294
128,84 665 081 2, 30 39 342 817 100 059 944 кВт ч
В таблице 4.16 представлен прогноз потребления электрической энергии цехами металлургического производства для 2-й терминальной точки с использованием второго варианта алгоритма.
В таблице 4.17 приведены прогнозные и фактические значения потребления электрической энергии цехами металлургического производства ОАО «ММК». Сравнение полученных значений с изначально заданными показывает правильность работы алгоритма.
87
Таблица 4.15
Прогноз потребления электрической энергии цехами металлургического производства для 2 терминальной точки с использованием алгоритма 1
а0
ДЦ ККЦ ЭСПЦ
Wрасч1
а1 РЧУГУН а2 РСТАЛЬ а3 РЭЛ,ДУГ.
а4 РП-К№1 а5 РП-К№2 а6 РМНЛЗ №6 а7 РДСА а8 РДСП
апр.10
17,48
-4,4510
-7
842 436
5,9610
-7
853 802
1,8710
-7
255 023
-2,8910
-7

486 535
1,1710
-6
164 972
1,1210
-6
112 678
5,2210
-7
74 801
4,0510
-6
108 964 90 316 636
май.10 769 632 831 216 200 521 472 846 168 761 115 331 9 610 183 288 120 360 831
авг.10 761 355 772 166 191 486 360 108 162 841 124 511 35 442 146 341 105 316 241
сен.10 798 966 802 371 174 756 391 720 168 354 126 562 66 242 134 601 101 824 732
апр.11 778 798 794 169 236 514 386 666 202 337 147 854 74 138 55 759 80 537 998
май.11 721 734 755 396 315 134 355 253 198 848 77 281 40 678 104 135 90 943 891
июн.11 808 248 830 384 435 737 404 138 196 625 130 364 62 511 110 137 101 228 306
июл.11 792 027 811 663 424 549 396 316 203 233 101 059 51 924 145 023 112 658 539
авг.11 847 840 839 511 393 212 384 031 216 889 100 347 102 949 66 135 84 442 051
сен.11 799 893 783 863 389 173 396 409 197 217 81 346 82 312 131 921 102 650 023
Таблица 4.16
Прогноз потребления электрической энергии цехами металлургического производства для 2 терминальной точки с использованием алгоритма 2
а0
ДЦ ККЦ ЭСПЦ
Врасч2
а1 ВЧУГУН а2 ВСТАЛЬ а3 ВЭЛ.ДУГ.
а4 ВП-КН№1 а5 ВП-КН№2 а6 ВМНЛЗ 6 а7 ВДСА а8 ВДСП
апр.10
-174 180 837
85,37
4 254 302
-1,11
16 692 469
-0,98
3 500 102
-33,06
8 136 699
9,03
4 949 280
-29,54
718 320
128,84
747632
2,30
31 493 865 90 316 638
май.10 4 209 887 16 963 258 3 350 694 8 758 054 6 123 540 667 760 610014 57 622 872 120 360 844
авг.10 4 035 182 16 894 130 3 623 107 7 446 515 7 038 210 1 289 722 610666 43 172 058 105 316 160
сен.10 4 256 085 16 501 008 3 334 344 7 779 763 6 545 146 1 216 630 595516 39 782 382 101 824 724
апр.11 4 062 950 16 096 536 4 079 867 7 563 187 8 477 920 968 739 685814 18 898 955 80 537 956
май.11 3 882 929 16 096 536 4 352 946 7 300 449 8 136 860 921 383 597438 32 109 548 90 943 862
июн.11 4 138 230 16 554 098 6 193 653 7 921 105 8 179 600 1 083 325 671993 34 762 349 101 228 328
июл.11 4 197 743 16 302 751 4 827 122 8 335 556 8 424 591 1 241 207 653204 44 885 199 112 658 551
авг.11 4 442 682 16 704 765 4 101 201 8 095 969 8 335 044 1 232 642 648949 20 477 256 84 442 055
сен.11 4 079 454 16 191 064 3 832 576 7 916 288 7 228 397 1 086 294 665081 39 342 817 100 059 944
88
Таблица 4.17
Сравнение прогнозных и фактических значений потребления электрической энергии цехами металлургического производства ОАО «ММК»
Вфакт ВрасчММК Врасч1 Врасч2 Ошибка ММК Ошибка Вар1 Ошибка Вар2
апр.10 90 316 636 90 734 127 90 316 636 90 316 638 -417 491,36 0,0000492 -2,03
май.10 120 360 831 119 580 619 120 360 831 120 360 844 780 211,83 -0,0000323 -13,09
авг.10 105 316 241 105 541 981 105 316 241 105 316 160 -225 739,90 0,0000542 81,46
сен.10 101 824 732 102 297 550 101 824 732 101 824 724 -472 817,84 -0,0000725 8,43
апр.11 80 537 998 80 667 588 80 537 998 80 537 956 -129 589,97 0,0000304 42,15
май.11 90 943 891 92 201 475 90 943 891 90 943 862 -1 257 584,33 -0,0000364 28,59
июн.11 101 228 306 100 854 216 101 228 306 101 228 328 374 089,83 -0,0000781 -21,74
июл.11 112 658 539 112 334 071 112 658 539 112 658 551 324 467,64 0,0000966 -11,98
авг.11 84 442 051 84 701 032 84 442 051 84 442 055 -258 981,46 -0,0000130 -3,78
сен.11 101 759 275 102 812 024 102 650 023 100 059 944 -1 052 748,56 -890748,1924 1 699 331,14
89
Определим приведенную погрешность прогноза потребления электроэнергии
ОАО «ММК» для 2-й терминальной точки (сентябрь 2011 года):
Определим приведенную погрешность прогнозирования потребления
электрической энергии цехами металлургического производства с
использованием разработанных алгоритмов для 2-й терминальной точки
(сентябрь 2011 года). Для варианта 1:
.
Для алгоритма 2:
.
Точность прогноза потребления электроэнергии цехами металлургического
производства с использованием первого варианта расчета относительно прогноза
ОАО «ММК»:

.
Точность прогноза потребления электроэнергии цехами металлургического производства с использованием 2-го варианта расчета относительно прогноза ОАО «ММК»:

.
101 759 275 102 812 024

0, 01034548

102 812 024

фіб пл іб

пл іб

WW

W

1

1

101 759 275 102 650 023

0, 008663852

102 650 023

фі пл B

пл B

WW

W

2

2

101 759 275 100 059 944

0, 01655461

100 059 944

фі пл B

пл B

WW

W

1

1 1

11

1

1

0, 01034548 0, 008663852

0,19409701

0, 008663852

фіб пл іб фі пл B

пл іб пл B

SEPT

фі пл B

пл B

W W W W

WW

T

WW

W

2

2 1

11

2

2

0, 01034548 0, 01655461

0, 37506955

0, 01655461

фіб пл іб фі пл B

пл іб пл B

SEPT

фі пл B

пл B

W W W W

WW

T

WW

W

90

Значения точности прогноза потребления электроэнергии цехами металлургического производства, полученные с использованием первого и второго вариантов алгоритма, представлены в таблице 4.24.
В таблице 4.19 приведена выборка статистических данных по выработке видов продукции, выпускаемых цехами металлургического производства ОАО «ММК» (доменным цехом, кислородно-конвертерным цехом, электросталеплавильным цехом), расходу электроэнергии для выработки каждого вида продукции и общему расходу электроэнергии металлургическим производством по основным показателям за период с июня 2011 года по сентябрь 2012 года.
Определение коэффициентов a_i осуществлялось на основе данных, приведенных в таблице 4.19, за исключением данных за сентябрь 2012 г., т.к. этот месяц был принят в качестве терминальной точки прогноза (третья терминальная точка).
Для указанной выборки получены численные значения коэффициентов a_i , приведенные в таблице 4.18. Также в таблице 4.18 приведены значения квадрата

общей ошибки, вычисляемой по соотношениям (2.22) или (2.29) соответственно для разных вариантов решения задачи минимизации общей ошибки прогноза потребления электроэнергии предприятием: варианта 1 и варианта 2.

Таблица 4.18

Результаты решения

Наименование

показателя

Вариант 1

Вариант 2

а0 17,7450588678384 2387740,00051476

а1 -0,0000018357622 1,35096282980258

а2 0,0000030882313 1,02186980024691

а3 -0,0000002014917 2,06521783011528

а4 -0,0000001928407 2,1078131262162

а5 -0,0000022861193 -0,488299949063955

а6 -0,0000013341763 -1,02121784824068

а7 -0,0000010299913 8,27994491943869

а8 0,0000028466032 0,982284660583371

2

0

Е 4,7522766045956510

-25

4,1505070985042210

-13

91

Таблица 4.19

Статистические данные

июн.11 июл.11 авг.11 сен.11 апр.12 май.12 июн.12 июл.12 авг.12 сен.12

ДЦ

чугун, т

Выработка

продукции

808 248 792 027 847 840 799 893 842 648 867 075 847 695 875 485 859 205 836 069

W факт, кВт ч 4 039 704 4 181 820 4 332 657 4 042 036 4 063 131 4 194 096 4 103 419 4 064 007 4 246 422 4 129 848

ККЦ

сталь, т

Выработка

продукции

830 384 811 663 839 511 783 863 816 676 790 891 789 076 823 788 796 498 791 410

W факт, кВт ч 19 661 352 16 027 718 16 778 875 15 935 243 17 326 075 18 553 945 16 534 177 17 501 945 17 334 035 16 755 102

эл.дуг.

нагрев

Выработка

продукции

435 737 424 549 393 212 389 173 217 387 229 103 233 884 251 995 247 990 236 909

Wфакт, кВт ч 3 967 402 4 484 223 3 935 731 3 191 619 2 995 082 2 920 301 2 368 583 2 643 326 2 883 383 2 860 589

печьюковш

№1, т

Выработка

продукции

404 138 396 316 384 031 396 409 367 675 342 213 344 376 358 758 350 764 350 263

W факт, кВт ч 7 785 880 9 528 391 8 187 521 7 862 816 6 396 992 5 964 754 6 089 080 6 269 343 5 696 864 5 620 272

печьюковш

№2, т

Выработка

продукции

196 625 203 233 216 889 197 217 213 713 204 517 204 951 212 972 209 611 207 580

W факт, кВт ч 7 578 132 8 411 622 8 168 290 7 161 627 7 538 912 6 476 070 6 850 742 7 053 506 7 116 322 7 095 118

МНЛЗ

№6

Выработка

продукции

130 364 101 059 100 347 81 346 112 946 74 375 89 842 92 515 102 409 104 164

W факт, кВт ч 887 900 1 432 330 1 378 050 1 271 770 778 670 780 280 845 530 915 890 922 730 818 820

ЭСПЦ

ДСА, т

стали

Выработка

продукции

62 511 51 924 102 949 82 312 100 772 87 204 100 326 75 286 85 582 80 414

W факт, кВт ч 601 185 634 302 666 818 636 094 730 984 666 433 807 605 894 124 830 789 772 045

ДСП, т

стали

Выработка

продукции

110 137 145 023 66 135 131 921 118 634 102 376 106 091 213 337 111 832 209 046

W факт, кВт ч 35 081 749 44 877 399 20 628 210 39 275 464 33 987 010 27 222 135 29 708 655 59 860 074 28 594 090 57 582 138

Общее потребление

электроэнергии

металлургическим

производством

87 372 203 97 524 680 71 160 856 86 347 592 80 212 016 73 915 982 74 213 959 106 259 799 74 349 579 102 340 654

92

Таблица 4.20

Расчетные значения потребления электрической энергии (расчет ОАО «ММК»)

июн.11 июл.11 авг.11 сен.11 апр.12 май.12 июн.12 июл.12 авг.12 сен.12

ДЦ чугу́н, т 4 138 230 4 197 743 4 442 682 4 079 454 4 121 054 4 278 495 4 186 935 4 131 939 4 330 393 4 134 186
ККЦ
сталь, т 16 554 098 16 302 751 16 704 765 16 191 064 16 496 319 16 794 199 16 028 132 16 614 465 16 868 152 16 691 884
эл.дуг.
нагрев 6 193 653 4 827 122 4 101 201 3 832 576 3 096 982 3 268 154 2 423 272 2 909 030 2 902 326 2 903 794
печь-ковш
№1, т 7 921 105 8 335 556 8 095 969 7 916 288 6 985 237 6 505 298 6 570 694 6 827 796 6 297 617 5 890 303
печь-ковш
№2, т 8 179 600 8 424 591 8 335 044 7 228 397 7 680 845 7 259 454 6 974 216 7 223 542 7 275 598 7 133 829
МНЛЗ №6 1 083 325 1 241 207 1 232 642 1 086 294 785 652 956 582 865 223 1 005 083 923 791 846 249
ЭСПЦ
ДСА, т
стали 671 993 653 204 648 949 665 081 720 570 671 471 730 323 731 780 756 887 734 920
ДСП, т
стали 34 762 349 44 885 199 20 477 256 39 342 817 33 988 641 27 435 279 29 014 021 60 140 426 28 718 458 57 761 500
Плановое
потребление
электроэнергии
металлургическим
производством
100 854 216 112 334 071 84 701 032 102 812 024 95 173 047 88 410 288 87 918 297 123 881 627 88 891 501 120 389 654
93
Рассчитаем прогнозное значение потребления электрической энергии для
третьей терминальной точки (сентябрь 2012 года):
1
0 12 0 1 2 3 . . 4 1 5 2
66
6 2 7 8
7 7 6
exp
exp 17, 75 1,84 10 836 069 3, 09 10 791 410
2, 01 10 236 909 1, 93 10 350 263 2, 29 10 207 58
пр
sepr ЧУГУН СТАЛЬ ЭЛ ДУГ ПЕЧЬ КОВШ № ПЕЧЬ КОВШ №
МНЛЗ № ДСА ДСП
W a a P a P a P a P a P
a P a P a P
6
66
0 1, 33 10 104 164
1, 03 10 80 414+2,85 10 209 046 101 719 694 кВтч
В таблице 4.21 представлен прогноз потребления электрической энергии
цехами металлургического производства для 3-й терминальной точки с
использованием первого варианта алгоритма.
Определим прогнозное значение потребления электрической энергии для
третьей терминальной точки (сентябрь 2012 года). Расчетные значения
потребления электрической энергии цехами металлургического производства
приведены в таблице 4.20.
2
0 12 0 1 2 3 . . 4 1 5 2
6 6 7 8
2 387 740 1, 35 4 134 186 1, 02 16 691 884+
2, 07 2 903 794 2,11 5 890 303 0, 49 7 133 829 1, 02 846 249
пр
sepr ЧУГУН СТАЛЬ ЭЛ ДУГ ПЕЧЬ КОВШ № ПЕЧЬ КОВШ №
МНЛЗ № ДСА ДСП
W a a W a W a W a W a W
a W a W a W
8, 28 734 920 0, 98 57 761 500 101 918 104 кВт ч
В таблице 4.22 представлен прогноз потребления электрической энергии
цехами металлургического производства для 3-й терминальной точки с
использованием второго варианта алгоритма.
В таблице 4.23 приведены прогнозные и фактические значения потребления
электрической энергии цехами металлургического производства ОАО «ММК».
Сравнение полученных значений с изначально заданными показывает
правильность работы алгоритма.
94
Таблица 4.21
Прогноз потребления электрической энергии цехами металлургического производства для 3 терминальной точки с
использованием алгоритма 1
a0
ДЦ ККЦ ЭСПЦ
Wрасч1
a1 РЧУГУН a2 РСТАЛЬ a3 РЭЛ.ДУГ.
a4 РП-КН№1 a5 РП-КН№2 a6 РМНЛЗ №6 a7 РДСА a8 РДСП
июн.11
17,75
-1,8410
-6
808 248
3,0910
-6
830 384
-2,0110
-7

435 737
-1,9310
-7
404 138
-2,2910
-6
196 625
-1,3310
-6
130 364
-1,0310
-6
62 511
2,8510
-6
110 137 87 372 203
июл.11 792 027 811 663 424 549 396 316 203 233 101 059 51 924 145 023 97 524 680
авг.11 847 840 839 511 393 212 384 031 216 889 100 347 102 949 66 135 71 160 856
сен.11 799 893 783 863 389 173 396 409 197 217 81 346 82 312 131 921 86 347 592
апр.12 842 648 816 676 217 387 367 675 213 713 112 946 100 772 118 634 80 212 016
май.12 867 075 790 891 229 103 342 213 204 517 74 375 87 204 102 376 73 915 982
июн.12 847 695 789 076 233 884 344 376 204 951 89 842 100 326 106 091 74 213 959
июл.12 875 485 823 788 251 995 358 758 212 972 92 515 75 286 213 337 106 259 799
авг.12 859 205 796 498 247 990 350 764 209 611 102 409 85 582 111 832 74 349 579
сен.12 836 069 791 410 236 909 350 263 207 580 104 164 80 414 209 046 101 719 694
Таблица 4.22

Прогноз потребления электрической энергии цехами металлургического производства для 3 терминальной точки с использованием алгоритма 2

а0
ДЦ ККЦ ЭСПЦ
Wрасч2
а1 WЧУГУН а2 WСТАЛЬ а3 WЭЛ.ДУГ.
а4 WП-КН№1 а5 WП-КН№2 а6 WМНЛЭН№6 а7 WДСА а8 WДСП
июн.11
2 387 740
1,35
4 039 704
1,02
19 661 352
2,07
3 967 402
2,11
7 785 880
-0,49
7 578 132
-1,02
887 900
8,28
601 185
0,98
35 081 749 87 372 203

июл.11 4 181 820 16 027 718 4 484 223 9 528 391 8 411 622 1 432 330 634 302 44 877 399 97 524 680
авг.11 4 332 657 16 778 875 3 935 731 8 187 521 8 168 290 1 378 050 666 818 20 628 210 71 160 856
сен.11 4 042 036 15 935 243 3 191 619 7 862 816 7 161 627 1 271 770 636 094 39 275 464 86 347 592
апр.12 4 063 131 17 326 075 2 995 082 6 396 992 7 538 912 778 670 730 984 33 987 010 80 212 016
май.12 4 194 096 18 553 945 2 920 301 5 964 754 6 476 070 780 280 666 433 27 222 135 73 915 982
июн.12 4 103 419 16 534 177 2 368 583 6 089 080 6 850 742 845 530 807 605 29 708 655 74 213 959
июл.12 4 064 007 17 501 945 2 643 326 6 269 343 7 053 506 915 890 894 124 59 860 074 106 259 799
авг.12 4 246 422 17 334 035 2 883 383 5 696 864 7 116 322 922 730 830 789 28 594 090 74 349 579
сен.12 4 134 186 16 691 884 2 903 794 5 890 303 7 133 829 846 249 734 920 57 761 500 101 918 104
95

Таблица 4.23
Сравнение прогнозных и фактических значений потребления электрической энергии цехами металлургического производства ОАО «ММК»

Wфакт WрасчММК Wрасч1 Wрасч2 Ошибка ММК Ошибка Вар1 Ошибка Вар2
июн.11 87 372 203 87 273 251 87 372 203 87 372 203 98951,50 -0,0000015 0,000001103
июл.11 97 524 680 96 814 248 97 524 680 97 524 680 710432,33 0,0000704 -0,000000417
авг.11 71 160 856 71 123 212 71 160 856 71 160 856 37643,53 -0,0000143 0,000000000
сен.11 86 347 592 87 312 894 86 347 592 86 347 592 -965302,24 -0,0000406 0,000000164
апр.12 80 212 016 80 270 461 80 212 016 80 212 016 -58445,22 -0,0000003 -0,000001088
май.12 73 915 982 74 306 899 73 915 982 73 915 982 -390917,10 -0,0000189 -0,000000790
июн.12 74 213 959 73 698 986 74 213 959 74 213 959 514973,40 0,0001184 0,000000522
июл.12 106 259 799 106 641 645 106 259 799 106 259 799 -381845,68 -0,0000180 0,000000179
авг.12 74 349 579 74 798 166 74 349 579 74 349 579 -448586,77 -0,0000687 0,000000477
сен.12 102 340 654 102 803 387 101 719 694 101 918 104 -462732,73 620 960 422 550

96
Определим приведенную погрешность прогноза потребления электроэнергии ОАО «ММК» для 3-й терминальной точки (сентябрь 2012 года):
102 340 654 102 803 387
0, 00452149
102 803 387
фiб пл iб
пл iб
WW

W
Определим приведенную погрешность прогнозирования потребления электрической энергии цехами металлургического производства с использованием разработанных алгоритмов для 3-й терминальной точки (сентябрь 2012 года).

Для первого варианта алгоритма:

1
1
102 340 654 101 719 694
0, 00604027
101 719 694
фі пл В
пл В
WW
W
.

Для второго варианта алгоритма:

2
2
102 340 654 101 918 104
0, 00415406
101 918 104
фі пл В
пл В
WW
W
.

Точность прогноза потребления электроэнергии цехами металлургического производства с использованием первого варианта алгоритма относительно прогноза ОАО «ММК»:

1
1 1
12
1
1
0, 00452149 0, 00604027
0, 251442
0, 00604027
фіб пл іб фі пл В
пл іб пл В
SEPT
фі пл В
пл В
W W W W
WW
T
WW
W
.

Точность прогноза потребления электроэнергии цехами металлургического производства с использованием алгоритма 2 относительно прогноза ОАО «ММК»:

2
2 2
11
2
2
0, 00452149 0, 00415406
0, 088452
0, 00415406
фіб пл іб фі пл В
пл іб пл В
SEPT
фі пл В
пл В
W W W W
WW
T
WW
W
.

97
Приведенные ошибки и значения точности прогноза потребления электрической энергии цехами металлургического производства, рассчитанные с использованием первого и второго вариантов алгоритма для трех терминальных точек (август 2008 года, сентябрь 2011 года, сентябрь 2012 года), приведены в таблице 4.24.

Таблица 4.24

Точность прогноза потребления электрической энергии цехами металлургического производства ОАО «ММК» для трех терминальных точек для 1-го и 2-го варианта расчета

Терминальная точка
Приведенная ошибка, расчет

ММК
фіб пл іб
пл іб
WW
W
,
Приведенная
ошибка,
вариант
расчета 1,
Приведенная
ошибка,
вариант
расчета 2,
Точность
прогноза,
вариант
расчета 1, T1
Точность
прогноза,
вариант
расчета 2, T2
1
0,02103931 0,008408184 0,015078403 1,502241759 0,395327449
2 0,01034548 0,008663852 0,01655461 0,19409701 -0,37506955
3 0,00452149 0,00604027 0,00415406 -0,251442 0,088452
Определим среднюю точность прогноза потребления электрической
энергии цехами металлургического производства в трех терминальных точках.
Для варианта 1 получим:
.
Для варианта 2:
Таким образом, снижение погрешности расчётов объёмов потребления и
выработки электрической энергии цехами металлургического производства
ОАО «ММК» не менее чем на 0,5 % для совокупности трех терминальных
точек достигнуто для первого и второго вариантов алгоритма
прогнозирования.
1
1
фі пл В
пл В
WW
W
2
2
фі пл В
пл В
WW
W
1 1 1
1
08 11 12
1,502241759 0,19409701 0, 251442
0, 481632
33
AUG SEPT SEPT
Т Т Т
Т
2 2 2
2
08 11 12
0,395327449 0,37506955 0, 088452
0, 036237
33
AUG SEPT SEPT
Т Т Т
Т
98
4.1.3 Экспериментальные исследования для электростанций
В таблице 4.26 приведена выборка статистических данных по выработке
продукции электростанциями ОАО «ММК», расходу электроэнергии для
выработки продукции и общему расходу электроэнергии за летний период (в
период с мая 2010 г. по июль 2012 г.).
Определение коэффициентов a_i
осуществлялось на основе данных,
приведенных в таблице 4.26.
Для выборки данных получены численные значения коэффициентов a_i
,
приведенные в таблице 4.25. Также в таблице 4.25 приведены значения
квадрата общей ошибки для двух вариантов решения задачи минимизации
общей ошибки прогноза потребления электроэнергии предприятием.
В качестве терминальных точек прогноза выбраны следующие месяцы:
август 2012, сентябрь 2012, май 2010, июль 2011.
С использованием полученных коэффициентов a_i
и реальных данных в
терминальной точке прогноза можно вычислить прогнозное значение общего

расхода электроэнергии.
Таблица 4.25
Наименование
показателя
Вариант 1 Вариант 2
a0 16,12878547387120000000 0,00000179558992385864
a1 0,00000000123807209438 0,98399469224941100000
a2 0,00000078789523080880 1,00924675256003000000
a3 0,00000176540579739227 1,06452840169000000000
a4 0,00000043194538175955 1,76340063893583000000
a5 0,00000101333166868495 0,96034558140947500000
a6 0,00000000107891546449 1,55731367052209000000
a7 -0,00000001107508958937 1,14353989147287000000
a8 0,00000071045968603346 0,80915436203029800000
a9 0,00000042294353501434 -3,12870263639089000000
a10 -0,00000000042997000661 1,40357249950660000000
a11 0,00000027947660626678 1,00741514923223000000
a12 0,00000120292846166424 0,94444687278301600000
a13 0,00000183876481923223 -1,60353659110730000000
2
0
Е
4,54746446404458Е-6 9,6081193855769Е-10
99

Таблица 4.26
Статистические данные
№ Наименование
продукции
Дата

Май 2010															Июнь 2010							Июль 2010							Август 2010							Сентябрь 2010						
2010																																										
Май 2011															Июнь 2011							Июль 2011							Август 2011							Сентябрь 2011						
2011																																										
Май 2012															Июнь 2012							Июль 2012																				
1 2 3 4 5 6 7 8 9 10 11 12 13 14 15																																										
1																																										

Выработка э/э,
кВт*ч (ТЭЦ)
Выработка
продукции
222050800,0 208930000,0 197630600,0 206519600,0 210294000,0 214610200,0 200239000,0 203965000,0 220094400,0 225599000,0
208169200,0 202722200,0 217193000,0
Потребление
э/э факт,
кВт ч 13846867,00 12861495,00 12872107,00 14084255,00 13579492,00 13447643,00 13159376,00 13923827,00 14661318,00 14259492,00
13936444,00 13225751,00 15433172,00
2
Тепло с острым
паром ККП,
Гкал (ТЭЦ)
Выработка
продукции 121017,18 115000,00 114110,37 136200,00 137800,00 153980,71 146495,44 153907,09 143420,01 136532,00 159051,64 151770,14
150641,72
Потребление
э/э факт,
кВт ч 2648746,00 2250699,00 2298424,00 2881022,00 2948952,00 3330594,00 3131377,00 3356158,00 3046708,00 2878595,00 3449063,00
3290065,00 3286875,00
3
Тепло с горячей
водой, Гкал
(ТЭЦ)
Выработка
продукции 65035,31 51537,56 59620,11 54657,82 67760,03 65408,71 57748,00 48780,93 53496,15 68100,38 42355,31 50503,65 49273,00
Потребление
э/э факт,
кВт ч 3132561,00 1914587,00 2167275,00 2240090,00 2831930,00 3380807,00 2180258,00 2031736,00 2384432,00 3073596,00 2235972,00
2376985,00 2318295,00
4
Химводоочистка, м3
воды (ТЭЦ)
Выработка
продукции 82817,00 107956,00 87057,00 75997,00 77628,00 110905,00 53916,00 56649,00 64063,00 65907,00 95254,00 61068,00 78138,00
Потребление
э/э факт,
кВт ч 92632,00 120633,00 97799,00 84386,00 86596,00 123794,00 60156,00 63181,00 71647,00 74048,00 106590,00 68309,00
Июль 2012
5
Береговая
насосная,
1000м3 т/воды
(ТЭЦ)
Выработка

продукции 20938,50 21401,20 21247,00 22186,00 21434,60 21835,00 20480,00 22116,70 22106,20 21389,20 21018,90 21306,00 21405,20
Потребление
э/э факт,
кВт ч 2868575,00 2931964,00 2910839,00 3039482,00 2936540,00 2991395,00 2805760,00 3029988,00 3028549,00 2930320,00 2879589,00
2918922,00 2932512,00
6
Выработка
электроэнергии,
кВт*ч (ЦЭС)
Выработка
продукции 146584860, 142890700,0 140043590,0 140762750,0 124647010,0 147084400,0 140749590,0 129467140,0 126735550,0 122378600,0
138309990,00 119078460,00 125936710,00
Потребление
э/э факт,
кВт ч 8557024,00 8520011,00 8819921,00 8878283,00 7939462,00 8796719,00 8673931,03 8145145,00 8008835,00 7934489,00 8580743,77
8194547,97 8382181,26
100
Продолжение таблицы 4.26
1 2 3 4 5 6 7 8 9 10 11 12 13 14 15
7
Тепло с
горячей
водой, Гкал
(ЦЭС)
Выработка
продукции 50841,60 38838,32 37014,79 40173,19 51347,41 45009,71 39977,70 40862,06 44396,70 46357,86 36723,02 38764,65 37517,53
Потребление
э/э факт, кВт ч 1965390,00 1229768,00 1238584,00 1192469,00 1337497,00 1844308,00 1369082,60 1369273,00 1407848,00 1252624,00
1705172,74 1409643,39 1238087,55
8
Тепло с паром,
Гкал (ЦЭС)
Выработка
продукции 51047,66 70089,37 40997,34 35404,14 27298,37 19787,95 21462,42 30329,06 29351,38 42127,54 25918,73 30676,92 33401,75
Потребление
э/э факт, кВт ч
704458,00 1156475,00 705154,00 561156,00 384907,00 247349,00 356276,11 448870,00 434694,00 667721,00 323984,06 452484,59 492675,74
9
Химводоочистка,м3
отпущен.
ХОВ (ЦЭС)
Выработка
продукции 168496,10 130228,28 148050,60 170371,43 145813,72 110945,34 67389,30 76974,91 64900,00 62937,10 184176,81 140300,03
166074,33
Потребление
э/э факт, кВт ч 281713,00 194646,00 255551,00 290758,00 234176,00 194763,00 143008,27 107561,00 140367,00 114892,00 308413,43
217185,06 276972,46
10
Выработка
электроэнерг
ии, кВт*ч
(ПВЭС)
Выработка
продукции 63191360,00 46640600,00 47952040,00 55078160,00 63870880,00 50435560,00 64685960,00 63768360,00 63984600,00
64911240,00 72937960,00 68468800,00 68800000,00
Потребление
э/э факт, кВт ч 2722453,00 1978859,00 1945344,00 2327030,00 2579141,00 1977140,00 2587480,00 2601720,00 2680915,00 2655644,00
3021364,00 2887140,00 2949773,00
11
Выработка
дутья,м3
(ПВЭС)
Выработка
продукции
2025524,00 1887485,00 1959799,00 2084381,00 1956394,00 1882123,00 2086923,00 2108143,00 2181025,00 2090260,00 2117678,00
2233923,00 2314639,00
Потребление
э/э факт, кВт ч 4134763,00 3745908,00 4014315,00 4327801,00 3905209,00 3891433,00 4212890,00 4238048,00 4503073,00 4212711,00
4440746,00 4621180,00 4759177,00
12
Тепло
отпущенное,
Гкал (ПВЭС)
Выработка
продукции 147898,37 113188,57 137471,98 155862,94 180963,86 189546,08 165344,10 163273,65 171086,48 166685,48 175824,91 144234,15
136477,65
Потребление
э/э факт, кВт ч 2191023,00 1615790,00 2033984,00 2360077,00 2583894,00 2866239,00 2453277,00 2414907,00 2592350,00 2457421,00
2726866,00 2214033,00 2092027,00
13
С/нужды
котельной
(ПВЭС)
Выработка
продукции 12337,41 17005,97 13521,50 10624,14 7757,71 14586,30 28151,98 30801,35 21922,11 18481,16 12288,84 16752,33 16315,09

Потребление
э/э факт, кВт ч 182771,00 242762,00 200059,00 160870,00 110768,00 220568,00 417701,00 455569,00 332170,00 272464,00 190588,00 257153,00 250090,00

101
В таблице 4.27. приведены данные потребления электроэнергии станциями ТЭЦ, ЦЭС и ПВЭС: Wвариант1, Wвариант2, Wр ммк– потребление электроэнергии, спрогнозированное соответственно по первому варианту расчетов, по второму варианту расчетов, по методике ОАО «ММК»; Wo факт – фактическое общее потребление электроэнергии электростанциями.

Таблица 4.27

№	Дата	Wвариант1	Wвариант2	Wр ммк	Wo факт
1	Май 2010	47 464 241,73	47 576 252,00	47 737 366,67	47 576 252,00
2	Июнь 2010	42 749 132,39	42 683 011,00	42 929 646,43	42 683 011,00
3	Июль 2010	43 467 423,83	43 558 248,00	43 707 705,57	43 558 248,00
4	Август 2010	46 646 219,44	46 550 221,00	46 466 406,70	46 550 221,00
5	Сентябрь 2010	45 755 710,40	45 615 239,00	45 715 341,16	45 615 239,00
6	Май 2011	47 661 903,87	47 731 585,00	48 029 620,92	47 731 585,00
7	Июнь 2011	45 780 492,77	45 668 133,00	45 919 764,07	45 668 133,00
8	Июль 2011	45 979 526,15	46 020 702,00	46 167 703,95	46 020 702,00
9	Август 2011	47 274 842,55	47 284 410,00	47 326 079,12	47 284 410,00
10	Сентябрь 2011	46 962 839,99	46 978 179,00	47 128 058,44	46 978 179,00
11	Май 2012	48 098 328,89	48 122 165,00	74 865 225,03	48 122 165,00
12	Июнь 2012	46 032 272,31	46 235 081,00	46 237 204,28	46 235 081,00
13	Июль 2012	48 628 138,65	48 452 882,00	48 370 885,14	48 452 882,00
14	Август 2012	49 445 530,50	49 853 232,88	49 684 719,37	49 478 897,00
15	Сентябрь 2012	47 796 025,91	47 843 346,16	47 620 075,78	47 789 103,00

В таблице 4.28 приведены расчеты точности расчета потребления электроэнергии электростанциями ОАО «ММК» по сравнению с фактическими значениями.

Таблица 4.28
№ Дата Потребление э.э, факт Потребление э.э, расчет ОАО «ММК»

E

11	пм	фiб пл iб фi пл i	ii	пл iб пл i	W W W W	WW	T	nm
1	2	3	4	5	6			
1	Май 2010	47 576 252,00	47 737 366,67	-161 114,67	0,003375022			
2	Июнь 2010	42 683 011,00	42 929 646,43	-246 635,43	0,005745108			
3	Июль 2010	43 558 248,00	43 707 705,57	-149 457,57	0,003419479			
4	Август 2010	46 550 221,00	46 466 406,70	83 814,30	0,001803761			
5	Сентябрь 2010	45 615 239,00	45 715 341,16	-100 102,16	0,002189684			
6	Май 2011	47 731 585,00	48 029 620,92	-298 035,92	0,006205252			
7	Июнь 2011	45 668 133,00	45 919 764,07	-251 631,07	0,005479799			
8	Июль 2011	46 020 702,00	46 167 703,95	-147 001,95	0,003184086			

102

Окончание таблицы 4.28

1	2	3	4	5	6
9	Август 2011	47 284 410,00	47 326 079,12	-41 669,12	0,000880468
10	Сентябрь 2011	46 978 179,00	47 128 058,44	-149 879,44	0,003180259
11	Май 2012	48 122 165,00	74 865 225,03	-26 743 060,03	0,357216051
12	Июнь 2012	46 235 081,00	46 237 204,28	-2 123,28	4,59215E-05
13	Июль 2012	48 452 882,00	48 370 885,14	81 996,86	0,00169517
14	Август 2012	49 478 897,00	49 684 719,37	-205 822,37	0,004142569
15	Сентябрь 2012	47 789 103,00	47 620 075,78	169 027,22	0,003549495

В таблице 4.29 приведены расчеты точности восстановления данных по полученным зависимостям для первого и второго алгоритмов расчета. Первые тринадцать точек входят в выборку данных, по которым построены прогнозные модели. Как видно из таблицы 4.29 восстановление данных по потреблению электроэнергии станциями по первому алгоритму осуществляется с приемлемой точностью, в то время как восстановление данных по второму алгоритму осуществляется с малой погрешностью. В таблице 4.29 в строках 14-17 приведены расчеты прогнозных значений потребления электрической энергии станциями.

Таблица 4.29
№ Дата Потребление э.э по варианту 1
E
1
11
пм
фiб пл iб фi пл i

ii
пл іб пл і
W W W W
WW
Т
nm
Точность 1
Потребление
э.э по
варианту 2
Е
2
11
nm
фіб пл іб фі пл і

ii
пл іб пл і
W W W W
WW
Т
nm
Точность 2
1 2 3 4 5 6 7 8

Восстановление данных

1	Май 2010	47 464 241,73	112 010,27	0,00235989	47 576 252,00	-0,00003128	6,57576E-13
2	Июнь 2010	42 749 132,39	-66 121,39	0,00154673	42 683 011,00	0,00003447	8,07497E-13
3	Июль 2010	43 467 423,83	90 824,17	0,00208948	43 558 248,00	0,00000495	1,13747E-13
4	Август 2010	46 646 219,44	-95 998,44	0,00205801	46 550 221,00	-0,00006694	1,43809E-12
5	Сентябрь 2010	45 755 710,40	-140 471,40	0,00307003	45 615 239,00	0,00003054	6,69512E-13
6	Май 2011	47 661 903,87	69 681,13	0,00146199	47 731 585,00	0,00001369	2,86899E-13
7	Июнь 2011	45 780 492,77	-112 359,77	0,00245432	45 668 133,00	0,00002126	4,65456E-13
8	Июль 2011	45 979 526,15	41 175,85	0,00089553	46 020 702,00	-0,00004797	1,04229E-12
9	Август 2011	47 274 842,55	9 567,45	0,00020238	47 284 410,00	0,00003389	7,16626E-13
10	Сентябрь 2011	46 962 839,99	15 339,01	0,00032662	46 978 179,00	-0,00002007	4,27259E-13
11	Май 2012	48 098 328,89	23 836,11	0,00049557	48 122 165,00	0,00000330	6,85881E-14
12	Июнь 2012	46 032 272,31	202 808,69	0,00440579	46 235 081,00	0,00001027	2,22059E-13
13	Июль 2012	48 628 138,65	-175 256,65	0,00360402	48 452 882,00	0,00001667	3,44136E-13

103
Окончание таблицы 4.29
1 2 3 4 5 6 7 8

Прогноз
14 Август 2012 49 445 530,50 33 366,50 0,00067481 49 853 232,88 -374 335,88 0,007508758
15 Сентябрь
2012

47 796 025,91 -6 922,91 0,00014484 47 843 346,16 -54 243,16 0,001133766
16 Май 2010 47 505 758,79 -1481026,8 0,03117573 46 621 355,43 -596 623,43 0,012797213
17 Июль 2011 42 535 324,32 2124388,7 0,04994410 43 448 013,34 1 211 699,66 0,027888494
Расчет точности прогнозирования потребления электроэнергии по методике, принятой на ОАО «ММК»:

11
nm
фіб пл іб фі пл і
ii
пл іб пл і
W W W W
WW
Т
nm
=0,486930966/17=0,028642998.

Расчет точности прогнозирования по варианту 1:

11
nm
фіб пл іб фі пл і
ii
пл іб пл і
W W W W
WW
Т
nm
=0,081939492/4=0,020484873.

Расчет точности прогнозирования по варианту 2:

11
nm
фіб пл іб фі пл і
ii
пл іб пл і
W W W W
WW
Т
nm
= 0,049328232/4= 0,012332058.

В таблице 4.30 приведено сравнение точности расчетов вычисления прогнозирования потребления электроэнергии станциями ОАО «ММК».
Таблица 4.30

Точность прогноза по методике ОАО «ММК»
Точность прогноза по варианту 1
Точность прогноза по варианту 2
0,028642998 0,020484873 0,012332058
Из таблицы 4.30 видно, что прогнозирование для заданной выборки исходных статистических данных осуществляется по второму алгоритму вычисления с большей точностью.
104
4.1.4 Технический эффект внедрения методики среднесрочного планирования и управления электропотреблением на ОАО «ММК»
4.1.4.1 Расчет технического эффекта для группы цехов (доменный цех, ЛПЦ-10, КХП)
Прогнозирование объемов потребления электроэнергии группой цехов (доменный цех (ДЦ), ЛПЦ-10, КХП) осуществлялось согласно разработанной методике, представленной в п. 2.2, с использованием статистических данных за период с января 2009 г. по декабрь 2014 г. Данные включают численные значения по фактической выработке продукции: чугуна (ДЦ), горячего проката ЛПЦ-10, кокса (КХП), а также по фактическому и расчетному потреблению электроэнергии для выработки указанных видов продукции.
Так как осуществляется математическая обработка, согласно разработанной методике прогнозирования, статистических данных, полученных не при контролируемом активном эксперименте, а в условиях реального производства, которое характеризуется значительными колебаниями объемов выпускаемой продукции, различным по интенсивности влиянием большого количества других производственных факторов, поэтому необходимо предварительно произвести выборку данных.
Выборка данных из общей статистики проводится с целью поиска максимально совместной подсистемы данных, для которой ошибка прогнозирования является минимальной при допустимом значении ошибки восстановления данных. На рис. 4.1 приводятся графики зависимости ошибки прогнозирования потребления электроэнергии группой цехов (ДЦ, ЛПЦ-10, КХП) от ошибки восстановления данных.

105
Рис. 4.1
Численные значения корректирующих коэффициентов a_i для каждого прогнозного месяца зимнего периода 2014 г., полученные при минимальном значении ошибки прогнозирования, приведены в таблице 4.31.

Таблица 4.31											
Коэффициенты											
Дата											
Январь											
2014											
Февраль											
2014											
Март											
2014											
Октябрь											
2014											
Ноябрь											
2014											
Декабрь											
2014											
a_0											
-73949,6 -228359,1 -73949,6 -73949,6 -169169,0 -1099146,6											
a_1											
0,845 0,829 0,845 0,845 0,834 1,058											
a_2											
0,994 0,997 0,994 0,994 0,995 1,000											
a_3											
1,035 1,040 1,035 1,035 1,039 1,036											

Точность прогноза потребления электроэнергии определяется по соотношениям:

,
,
,
$$\phi_i = \frac{M_i}{M_i + W_i}; \quad (4.1)$$
$$\phi_i = \frac{M_i}{M_i + W_i}$$

E
W
, (4.2)
где E_i, M, E_i
– точность прогнозирования потребления электроэнергии по методике ОАО «ММК» и по разработанной методике соответственно;
W_{фи}
- фактический объем потребления электроэнергии за i-й месяц, тыс. кВт ч;
106
W_{плi}, M, W_{плi}
– плановый объем потребления электроэнергии за i-й месяц, рассчитанный соответственно по методике ОАО «ММК» и по разработанной методике, тыс. кВт ч.
Численные значения фактического и планового объема потребления электроэнергии, а также точность прогноза потребления электроэнергии группой цехов (ДЦ, ЛПЦ-10, КХП) для зимнего периода 2014 г. приведены в таблице 4.32.

Таблица 4.32

Наименование величин
Дата
Январь
2014
Февраль
2014
Март
2014
Октябрь
2014
Ноябрь
2014
Декабрь
2014
W _{фи}
66239125 62639900 65886029 67776157 66599444 65147179
W _{плi} , M 66495512 62988017 66374891 67976277 66778934 65079238
W _{плi}
66272201 62724482 66141253 67819960 66598437 65128805
E _i , M -0,00386 -0,00553 -0,00737 -0,00294 -0,00269 0,00104
E _i
-0,00050 -0,00135 -0,00386 -0,00065 0,00002 0,00028

Повышение точности прогноза потребления электроэнергии при использовании разработанной методики прогнозирования следует определять из выражения:

,
11
,
пм
ф_i пл i M ф_i пл i
ii
пл i M пл i
W W W W
WW
Т
пм
, (4.3)
где n, m – число месяцев; ΔT = 0,002 (0,2%) – планируемое повышение точности прогноза согласно пункту 13 технического задания.
Подставляя численные значения из таблицы 4.32 в соотношение (4.3), получаем:
0, 02342 0, 00665
0, 0028
66
, (4.4)
Полученные результаты доказывают возможность повышения точности прогнозирования объемов потребления электроэнергии группой цехов (ДЦ, ЛПЦ-10, КХП) на величину 0,28%.

107

4.1.4.2 Расчет технического эффекта для электростанций (ТЭЦ, ЦЭС, ПВЭС)

Прогнозирование объемов потребления электроэнергии электростанциями ОАО «ММК» (ТЭЦ, ЦЭС, ПВЭС) осуществлялось согласно разработанной методике, представленной в п. 2.2, с использованием статистических данных за период с января 2009 г. по декабрь 2014 г. Данные включают численные значения по фактической выработке продукции: электроэнергии, тепла с острым паром ККП, тепла с горячей водой, на химводоочистку, на береговую насосную (ТЭЦ); электроэнергии, тепла с горячей водой, тепла с паром, на химводоочистку (ЦЭС); электроэнергии, дутья, отпущенное тепло, на собственные нужды котельной (ПВЭС), а также по фактическому и расчетному потреблению электроэнергии для выработки указанных видов продукции.

После проведения выборки статистических данных для электростанций

получены графики зависимости ошибки прогнозирования потребления электроэнергии от ошибки восстановления данных, приведенные на рис. 4.2.

Рис. 4.2

Численные значения корректирующих коэффициентов для каждого прогнозного месяца зимнего периода 2014 г., полученные при минимальном значении ошибки прогнозирования, приведены в таблице 4.33.

108

Таблица 4.33

Коэффициенты

Дата

Январь

2014

Февраль

2014

Март

2014

Октябрь

2014

Ноябрь

2014

Декабрь

2014

1 2 3 4 5 6 7

a0

3611352,09 7626641,71 4840510,76 3884405,85 4788998,99 3884405,85

a1

0,78 0,77 0,71 1,23 0,91 1,23

a2

3,35 0,85 3,59 1,42 0,84 1,42

a3

1,25 0,90 1,22 1,18 0,96 1,18

a4

-13,81 -13,68 -18,88 -16,26 -12,07 -16,26

a5

1,18 2,52 1,22 1,91 1,61 1,91

a6

2,06 1,52 1,88 1,38 1,57 1,38

a7

1,11 1,53 0,98 1,02 1,05 1,02

a8

-0,05 0,10 -0,25 -0,96 -0,63 -0,96

a9 0,63 0,63 2,59 -2,34 -1,93 -2,34

a10 2,55 2,43 2,48 2,10 2,25 2,10

a11 -1,18 -0,74 -1,03 -0,19 0,34 -0,19

a12 -1,40 -0,52 -1,12 -0,41 -0,02 -0,41

a13 -4,62 0,32 -3,05 -1,09 2,67 -1,09

В таблице 4.34 приведены численные значения фактического и планового объема потребления электроэнергии, а также точность прогноза потребления электроэнергии электростанциями (ТЭЦ, ЦЭС, ПВЭС), определенная по соотношениям (4.1), (4.2).

Таблица 4.34

Наименование

величины

Дата

Январь

2014

Февраль

2014

Март

2014

Октябрь

2014

Ноябрь

2014

Декабрь

2014

Wфi

57102442 52733380 54346738 53617004 53117158 56339097

Wплi,M 57344454 53329634 54614726 53211908 52791498 56830015

Wплi

57051796 52791472 54275303 53719231 52964369 56347535

Ei,M -0,00422 -0,01118 -0,00491 0,00761 0,00617 -0,00864

Ei

0,00089 -0,00110 0,00132 -0,00190 0,00288 -0,00015

Повышение точности прогноза потребления электроэнергии при использовании разработанной методики прогнозирования следует определять из выражения (4.3). Подставляя численные значения из таблицы 4.34 в

соотношение (4.3), получаем:

0, 04273 0, 00824

0, 00575

66

. (4.5)

Полученные результаты доказывают возможность повышения точности

прогнозирования объемов потребления электроэнергии электростанциями

(ТЭЦ, ЦЭС, ПВЭС) на величину 0,575%.

109

4.2 Результаты проведения экспериментальных исследований методики

краткосрочного планирования электропотребления на реальных

данных металлургических предприятий

4.2.1 Результаты проведения экспериментальных исследований

методики почасового планирования электропотребления для ЛПЦ-4,

ЛПЦ-5, ЛПЦ-9 ОАО «ММК»

Апробация методики почасового планирования электропотребления

осуществлялась на реальных данных почасового потребления электрической

энергии листопрокатными цехами ОАО «ММК» (ЛПЦ-4, ЛПЦ-5, ЛПЦ-9) в

период с января по август 2013 г., предоставленных Центром

энергосберегающих технологий ОАО «ММК», а также на данных по индексу

равновесных цен на продажу электроэнергии, полученных с сайта компании

ОАО «АТС».

Данные по индексу равновесных цен на продажу электроэнергии на

оптовом рынке приведены в таблице 4.35.

Таблица 4.35

Индекс равновесных цен на продажу электроэнергии

Час Индекс равновесных цен

на продажу электроэнергии, руб./МВт ч

1 2

0 892.13

1 845.26

2 812.47

3 773.20

4 843.24

5 995.09

6 1124.69

7 1301.07

8 1357.64

9 1386.07

10 1383.42

11 1351.44

12 1339.91

13 1348.77

14 1388.21

15 1403.29

16 1373.81

110

Окончание таблицы 4.35

1 2

17 1326.52

18 1358.12

19 1410.46

20 1339.64

21 1308.17

22 1271.68

23 1186.29

Принимая в качестве постоянной части индекса равновесных цен на

продажу электроэнергии на оптовом рынке минимальный индекс равновесных

цен (773.20 руб./МВт ч), на основе соотношения (2.3) можно определить

переменную часть (см. таблицу 4.36).

Таблица 4.36

Переменная часть индекса

равновесных цен на продажу электроэнергии

Час Переменная часть индекса равновесных цен

на продажу электроэнергии, руб./МВт ч

1 2

0 118,93

1 72,06

2 39,27

3 0

4 70,04

5 221,89

6 351,49

7 527,87

8 584,44

9 612,87

10 610,22

11 578,24

12 566,71

13 575,57

14 615,01

15 630,09

16 600,61

17 553,32

18 584,92

19 637,26
20 566,44
21 534,97
22 498,48
23 413,09
111

Для зимнего периода (январь-февраль 2013 г.) за базовый график
потребления электроэнергии ()
бк

Rt для ЛПЦ-4, ЛПЦ-5, ЛПЦ-9 примем
график потребления 14.01.2013 г. соответствующих цехов.
По соотношению (2.4) на основе данных по текущему потреблению
электроэнергии и переменной части индекса равновесных цен на продажу
электроэнергии на оптовом рынке, приведенной в таблице 4.36, можно
рассчитать переменную часть стоимости покупки электроэнергии ()
эк
Ст .

Далее по соотношению (2.7) можно рассчитать индекс снижения
стоимости потребления электроэнергии
сн
I .

В таблице 4.37 приведены численные посуточные значения индекса
снижения стоимости потребления электроэнергии
сн
I и потребления
электроэнергии
э

W для зимнего периода (январь-февраль 2013 г.) для ЛПЦ-4,
ЛПЦ-5, ЛПЦ-9.
Таблица 4.37

№ п/п Дата Индекс снижения стоимости
потребления электроэнергии
сн
I

Потребление
электроэнергии
э

W
1 2 3 4
ЛПЦ-4

1 02.01.2013 0,9783 836,14
2 03.01.2013 0,9815 766,62
3 04.01.2013 0,9819 829,08
4 05.01.2013 0,9689 822,06
5 06.01.2013 0,9912 823,40
6 07.01.2013 0,9903 758,96
7 08.01.2013 0,9713 753,55
8 09.01.2013 0,9806 839,85
9 10.01.2013 0,9282 671,37
10 11.01.2013 1,0062 806,28
11 12.01.2013 0,9718 737,85
12 13.01.2013 1,0031 816,48
13 14.01.2013 1,0000 771,39
14 15.01.2013 0,9878 717,90
15 16.01.2013 1,0885 777,92
16 17.01.2013 0,7197 425,21
17 18.01.2013 1,1156 581,90
112

Продолжение таблицы 4.37
1 2 3 4

18 19.01.2013 0,9751 722,73
19 20.01.2013 0,9660 699,42
20 21.01.2013 1,0108 690,81

...
55 25.02.2013 1,0199 712,25
56 26.02.2013 0,9705 683,35
57 27.02.2013 1,0461 744,16
58 28.02.2013 1,0009 801,96

ЛПЦ-5
1 02.01.2013 0,9211 534,32
2 03.01.2013 0,9347 481,58
3 04.01.2013 0,9795 502,22
4 05.01.2013 0,9256 489,08
5 06.01.2013 0,9579 501,68
6 07.01.2013 0,9179 520,43
7 08.01.2013 0,9794 527,62
8 09.01.2013 0,9230 495,56
9 10.01.2013 0,9090 538,28
10 11.01.2013 0,9647 543,37
11 12.01.2013 0,9698 539,23
12 13.01.2013 0,9360 544,04
13 14.01.2013 1,0000 504,24
14 15.01.2013 0,9328 521,71
15 16.01.2013 0,9376 515,57
16 17.01.2013 0,9210 454,75

17	18.01.2013	0,9013	495,30
18	19.01.2013	0,9926	495,73
19	20.01.2013	0,9838	516,92
20	21.01.2013	0,9451	459,38
...			
55	25.02.2013	0,9905	501,46
56	26.02.2013	0,9466	487,32
57	27.02.2013	0,9016	447,33
58	28.02.2013	1,0143	470,25
ЛПЦ-9			
1	02.01.2013	1,0187	626,4300
2	03.01.2013	1,0192	607,5600
3	04.01.2013	1,0168	647,8300
4	05.01.2013	1,0210	623,8400
5	06.01.2013	1,0181	623,3000
6	07.01.2013	1,0038	616,9100
7	08.01.2013	1,0206	624,6000
8	09.01.2013	1,0088	617,2200
9	10.01.2013	1,0119	629,2000
10	11.01.2013	1,0135	615,7500
11	12.01.2013	1,0154	599,0700
113			
Окончание таблицы 4.38			
12	13.01.2013	1,0081	585,4900
13	14.01.2013	1,0000	609,3000
14	15.01.2013	1,0166	595,1100
15	16.01.2013	1,0000	587,2400
16	17.01.2013	1,0119	562,8400
17	18.01.2013	1,1189	531,2100
18	19.01.2013	1,0136	607,6600

...			
55	25.02.2013	1,0169	649,9900
56	26.02.2013	1,0164	621,6400
57	27.02.2013	1,0235	629,1600
58	28.02.2013	1,0127	619,4600

Далее определим индекс снижения стоимости потребления электроэнергии

сн

I совместно для ЛПЦ-4, ЛПЦ-5, ЛПЦ-9 для зимнего периода (январь-февраль 2013 г.). Расчет осуществляется по методике, приведенной в п. 2.1. Численные значения индекса снижения стоимости потребления электроэнергии

сн

I приведены в таблице 4.38.

Таблица 4.38

№ п/п Дата Индекс снижения стоимости потребления электроэнергии

сн

I

Потребление электроэнергии

э

W

1	2	3	4
1	02.01.2013	0,972	1996,89
2	03.01.2013	0,978	1855,76
3	04.01.2013	0,992	1979,13
4	05.01.2013	0,971	1934,98
5	06.01.2013	0,988	1948,38
6	07.01.2013	0,970	1896,3
7	08.01.2013	0,990	1905,77
8	09.01.2013	0,970	1952,63
9	10.01.2013	0,949	1838,85
10	11.01.2013	0,994	1965,4
11	12.01.2013	0,985	1876,15
12	13.01.2013	0,982	1946,01
13	14.01.2013	1,000	1884,93
14	15.01.2013	0,978	1834,72
15	16.01.2013	1,008	1880,73
16	17.01.2013	0,884	1442,8
17	18.01.2013	1,043	1608,41
18	19.01.2013	0,994	1826,12
19	20.01.2013	0,985	1819,47
20	21.01.2013	0,994	1736,72

114

Окончание таблицы 4.38

1	2	3	4
21	22.01.2013	0,955	1755,64
22	23.01.2013	1,003	1751,17
23	24.01.2013	0,962	1657,24
24	25.01.2013	1,043	1748,16
25	26.01.2013	0,978	1938,67
26	27.01.2013	1,003	1873,26
27	28.01.2013	0,944	1831,09
28	29.01.2013	0,936	1615

29 30.01.2013 0,989 1554,33
30 31.01.2013 0,633 1497,22
31 01.02.2013 1,019 1728,14
32 02.02.2013 0,973 1966,29
33 03.02.2013 0,978 1911,33
34 04.02.2013 0,955 1720,68
35 05.02.2013 0,969 1783,9
36 06.02.2013 0,991 1948,18
37 07.02.2013 0,942 1611,67
38 08.02.2013 1,028 1552,37
39 09.02.2013 0,975 1721,79
40 10.02.2013 0,999 1828,31
41 11.02.2013 0,953 1574,8
42 12.02.2013 1,037 1615,76
43 13.02.2013 0,983 1963,56
44 14.02.2013 0,978 1926,58
45 15.02.2013 0,988 1914,11
46 16.02.2013 0,976 1781,28
47 17.02.2013 0,991 1836,04
48 18.02.2013 0,970 1854,03
49 19.02.2013 0,995 1918,88
50 20.02.2013 0,993 1945,91
51 21.02.2013 0,983 1956,65
52 22.02.2013 0,981 2024,98
53 23.02.2013 0,967 1936,81
54 24.02.2013 0,958 1864,85
55 25.02.2013 1,009 1863,7
56 26.02.2013 0,977 1792,31
57 27.02.2013 0,989 1820,65
58 28.02.2013 1,009 1891,67

С целью уменьшения значения индекса снижения стоимости потребления электроэнергии
сн

И были проведены исследования, заключающиеся во временном смещении графиков потребления электроэнергии ЛПЦ-4, ЛПЦ-5, ЛПЦ-9. Результаты проведенных исследований приведены на рис. 4.3-4.8.

115

На рис. 4.3 приведены графики изменения значений индекса снижения стоимости потребления электроэнергии

сн

И при временном смещении (на 3, 6, 9 и 12 часов) графика потребления электроэнергии ЛПЦ-4.

Рис. 4.3

На рис. 4.4 приведены графики изменения значений индекса снижения стоимости потребления электроэнергии

сн

И при временном смещении (на 3, 6, 9 и 12 часов) графика потребления электроэнергии ЛПЦ-5.

Рис. 4.4

116

На рис. 4.5 приведены графики изменения значений индекса снижения стоимости потребления электроэнергии

сн

И при временном смещении (на 3, 6, 9 и 12 часов) графика потребления электроэнергии ЛПЦ-9.

Рис. 4.5

На рис. 4.6 приведены графики изменения значений индекса снижения стоимости потребления электроэнергии

сн

И при временном смещении (на 3, 6 и 9 часов) графика потребления электроэнергии ЛПЦ-4, ЛПЦ-5.

Рис. 4.6

117

На рис. 4.7 приведены графики изменения значений индекса снижения стоимости потребления электроэнергии

сн

И при временном смещении (на 3, 6 и 9 часов) графика потребления электроэнергии ЛПЦ-4, ЛПЦ-9.

Рис. 4.7

На рис. 4.8 приведены графики изменения значений индекса снижения стоимости потребления электроэнергии

сн

И при временном смещении (на 3, 6 и 9 часов) графика потребления электроэнергии ЛПЦ-5, ЛПЦ-9.

Рис. 4.8

118

Из приведенных графиков видно, что при временных смещениях графика потребления электроэнергии ЛПЦ-9 возможно уменьшение значения индекса снижения стоимости потребления электроэнергии

сн

И .

4.2.2 Результаты проведения экспериментальных исследований методики почасового планирования электропотребления для металлургического предприятия 1-й ценовой зоны

Апробация методики почасового планирования электропотребления для сложных производственных комплексов проводилась на реальных данных почасового потребления электрической энергии агрегатами электросталеплавильного цеха металлургического предприятия 1-й ценовой зоны в период за сентябрь 2014 г., а также на данных по индексу равновесных цен на продажу электроэнергии, полученных с сайта компании ОАО «АТС».										
Данные по индексу равновесных цен на продажу электроэнергии на оптовом рынке приведены в таблице 4.39.										
Таблица 4.39										
Индекс равновесных цен на продажу электроэнергии, руб./МВт ч										
Время	01.09.14	02.09.14	03.09.14	04.09.14	05.09.14	06.09.14	07.09.14	08.09.14	09.09.14	10.09.14
0:00	1091,08	1073,01	1150,83	930,45	969,14	979,47	1071,77	1099,03	997,77	1001,08
1:00	1028,75	999,25	908,75	846,19	946,22	984,53	1005,25	1020,64	948,35	969,63
2:00	1009,50	992,64	869,98	860,79	1143,79	985,60	988,95	977,55	940,78	973,69
3:00	998,70	944,59	859,68	844,55	1141,55	929,44	966,09	929,15	857,06	926,10
4:00	1001,99	1015,14	901,82	900,61	1140,57	1019,13	995,67	932,13	944,44	986,47
5:00	1002,81	1075,40	928,49	949,06	1137,96	1084,71	1016,36	933,70	997,43	1037,00
6:00	1018,01	1162,07	1085,77	1095,85	1080,74	1119,81	1046,62	984,47	1083,97	1070,06
7:00	1042,82	1222,72	1173,59	1155,94	1135,65	1243,35	1075,13	968,13	1195,11	1146,20
8:00	1117,86	1405,36	1557,13	1301,04	1289,04	1388,25	1130,18	1067,42	1229,59	1227,54
9:00	1193,97	1446,09	1682,52	1313,96	1325,76	1438,22	1204,00	1115,06	1284,36	1256,93
10:00	1281,16	1432,90	1716,89	1309,09	1318,17	1438,20	1226,95	1136,86	1265,93	1257,13
11:00	1273,65	1424,57	1605,63	1290,38	1289,30	1418,81	1220,49	1133,12	1266,68	1235,55
12:00	1242,79	1348,97	1589,41	1267,17	1273,44	1414,03	1214,52	1131,50	1269,76	1201,33
13:00	1259,85	1500,12	1727,34	1298,50	1308,29	1434,73	1200,71	1131,75	1263,06	1197,61
14:00	1264,54	1515,79	1725,95	1323,12	1304,90	1431,36	1185,37	1130,27	1245,52	1196,96
15:00	1270,89	1568,30	1721,51	1343,93	1314,37	1445,74	1198,40	1149,50	1242,83	1207,18
16:00	1273,38	1522,52	1684,17	1331,87	1317,87	1447,16	1203,03	1172,34	1251,34	1208,32
17:00	1292,80	1310,02	1555,85	1307,32	1320,75	1451,13	1216,38	1193,18	1236,90	1217,19
18:00	1341,07	1328,44	1328,70	1317,72	1287,06	1425,70	1225,43	1216,41	1230,16	1224,53
119										
Продолжение таблицы 4.39										
Время	01.09.14	02.09.14	03.09.14	04.09.14	05.09.14	06.09.14	07.09.14	08.09.14	09.09.14	10.09.14
19:00	1315,64	1426,56	1302,21	1285,63	1264,82	1398,51	1219,34	1235,41	1208,41	1200,41
20:00	1337,71	1526,46	1299,25	1286,51	1304,20	1415,11	1237,89	1232,28	1178,37	1184,75
21:00	1359,62	1571,67	1291,33	1247,17	1184,17	1345,72	1193,94	1193,52	1085,81	1137,55
22:00	1314,74	1302,05	1131,70	1129,12	1078,94	1157,23	1119,97	1115,81	996,70	1048,30
23:00	1143,50	1050,39	993,70	988,59	990,92	1039,46	1039,14	1029,77	978,49	987,65
0:00	967,71	1021,83	1023,84	1132,32	1114,29	1018,87	1025,72	1031,84	966,07	1003,71
1:00	884,20	965,69	956,19	1076,13	1058,60	933,14	976,38	984,84	851,01	924,68
2:00	891,76	946,34	917,82	1085,78	1017,54	934,88	952,62	965,05	846,47	906,60
3:00	893,98	897,69	877,03	1035,34	942,29	906,24	930,65	931,93	839,39	909,69
4:00	1009,69	1036,73	1033,64	1048,25	961,80	962,06	1013,48	1005,45	858,95	975,99
5:00	1092,56	1105,37	1104,44	1089,52	971,20	1065,67	1098,44	1109,48	1005,24	1079,84
6:00	1070,66	1126,48	1139,18	1070,30	1015,13	1161,57	1161,61	1160,68	1113,16	1143,90
7:00	1163,57	1250,81	1290,22	1140,29	1073,01	1326,48	1319,17	1270,15	1177,93	1327,03
8:00	1230,29	1308,04	1355,77	1184,10	1131,40	1341,14	1301,27	1291,23	1291,00	1390,37
9:00	1229,85	1329,26	1438,89	1285,63	1180,20	1354,51	1394,77	1316,56	1332,70	1468,66
10:00	1210,47	1322,31	1425,42	1279,46	1207,37	1356,16	1389,51	1311,44	1312,92	1457,11
11:00	1189,93	1288,07	1363,83	1272,59	1201,42	1325,34	1382,06	1314,50	1284,28	1411,32
12:00	1177,70	1268,54	1314,07	1272,35	1196,35	1328,68	1353,70	1303,01	1272,03	1351,35
Время										
11.09.14	12.09.14	13.09.14	14.09.14	15.09.14	16.09.14	17.09.14	18.09.14	19.09.14	20.09.14	
13:00	1170,99	1266,62	1306,39	1240,53	1184,42	1338,89	1358,96	1302,48	1261,93	1350,56
14:00	1166,70	1268,89	1242,70	1199,77	1176,00	1315,36	1336,82	1274,39	1245,34	1323,96
15:00	1167,04	1270,57	1246,12	1200,77	1172,74	1313,47	1356,99	1267,45	1246,03	1323,81
16:00	1175,56	1294,17	1247,20	1204,87	1185,54	1310,01	1376,99	1282,63	1249,59	1341,23
17:00	1194,83	1300,12	1279,94	1248,65	1219,82	1321,64	1398,40	1319,79	1280,66	1362,64
18:00	1221,04	1308,81	1299,41	1312,93	1289,10	1336,41	1427,14	1350,84	1314,48	1389,17
19:00	1215,51	1290,73	1280,98	1312,43	1301,03	1303,16	1352,76	1298,01	1350,62	1372,14
20:00	1194,37	1265,30	1285,69	1320,08	1264,43	1294,59	1349,01	1265,28	1311,01	1396,48
21:00	1159,21	1196,04	1256,50	1242,67	1200,65	1195,69	1243,63	1219,29	1236,36	1318,85
22:00	1053,13	1098,83	1181,60	1143,73	1111,96	1112,17	1127,81	1098,96	1127,20	1160,83
23:00	1002,22	995,10	1100,92	1113,35	1055,14	1034,94	1060,82	1031,71	1097,51	1067,18
Время 21.09.14 22.09.14 23.09.14 24.09.14 25.09.14 26.09.14 27.09.14 28.09.14 29.09.14 30.09.14										
0:00	1118,43	1044,71	992,22	940,51	939,10	922,58	859,08	966,83	1004,45	865,03
1:00	1070,45	1001,02	889,74	855,68	854,13	845,02	747,58	929,55	932,05	822,15
2:00	1071,69	919,21	826,46	689,85	688,02	728,44	693,23	872,14	848,47	689,61
3:00	1062,22	895,25	706,90	733,32	731,57	718,66	691,66	863,20	793,11	738,27
4:00	1081,99	858,86	889,56	806,52	804,88	820,46	777,69	874,37	846,79	842,25
5:00	1083,42	903,28	984,60	962,38	961,01	957,64	942,91	925,64	857,73	947,39
6:00	1112,70	986,94	1090,02	1078,16	1076,99	1080,61	1024,45	996,09	911,21	1093,96
7:00	1139,75	1048,50	1181,85	1160,44	1159,41	1111,85	1144,54	1073,32	990,85	1185,56
8:00	1263,79	1108,80	1249,90	1274,01	1273,17	1214,83	1188,66	1149,10	1099,30	1237,84
9:00	1299,64	1173,87	1281,61	1320,10	1319,34	1233,20	1235,40	1163,84	1149,81	1236,12
10:00	1289,56	1246,10	1242,55	1308,15	1307,37	1212,30	1208,74	1159,22	1145,87	1235,11
11:00	1279,33	1251,60	1229,59	1274,58	1273,74	1207,67	1196,50	1164,39	1145,42	1218,07
12:00	1276,28	1237,77	1220,20	1245,82	1244,94	1202,71	1195,53	1176,78	1143,57	1216,99
13:00	1269,00	1233,59	1214,55	1241,55	1240,65	1204,95	1199,13	1166,16	1143,22	1212,36
14:00	1271,01	1241,16	1214,30	1223,17	1222,24	1198,19	1169,47	1157,44	1125,43	1186,67
120										
Окончание таблицы 4.39										
Время	21.09.14	22.09.14	23.09.14	24.09.14	25.09.14	26.09.14	27.09.14	28.09.14	29.09.14	30.09.14
15:00	1285,91	1260,21	1217,46	1225,55	1224,63	1186,32	1164,79	1159,61	1141,13	1191,50
16:00	1307,73	1290,79	1234,43	1272,08	1271,24	1206,23	1182,58	1177,72	1160,88	1220,50

17:00	1334,57	1316,20	1249,37	1285,55	1284,73	1203,97	1195,51	1190,21	1177,07	1238,66
18:00	1373,90	1378,15	1249,60	1287,50	1286,68	1234,35	1203,98	1221,69	1258,85	1244,22
19:00	1406,07	1443,06	1248,87	1296,94	1296,14	1255,21	1202,79	1186,79	1248,43	1225,35
20:00	1396,96	1450,26	1205,68	1238,23	1237,33	1190,49	1190,41	1147,08	1191,83	1167,46
21:00	1275,47	1312,35	1181,39	1179,19	1178,19	1135,94	1124,37	1107,42	1146,57	1150,97
22:00	1199,24	1188,08	1101,46	1069,01	1067,83	1026,24	1034,95	1074,91	1090,62	1067,26
23:00	1133,79	1141,46	1054,38	1019,74	1018,47	1029,54	1043,08	1094,78	1013,35	1064,83
В таблице 4.40 представлены данные по переменной части индекса										
равновесных цен на продажу электроэнергии.										
Таблица 4.40										
Переменная часть индекса										
равновесных цен на продажу электроэнергии, руб./МВт ч										
Время										
01.09.14	02.09.14	03.09.14	04.09.14	05.09.14	06.09.14	07.09.14	08.09.14	09.09.14	10.09.14	
0:00	36,17	144,77	415,40	108,29	254,51	49,81	21,71	24,79	6,84	122,43
1:00	7,97	85,83	329,65	34,84	214,28	81,82	25,30	17,61	28,47	204,93
2:00	79,58	171,25	96,05	65,01	294,85	136,21	6,74	86,16	37,48	13,21
3:00	67,67	141,38	42,44	223,66	314,05	69,85	8,34	99,30	87,45	18,91
4:00	163,89	387,15	208,91	90,61	258,12	41,73	17,87	85,04	100,19	14,02
5:00	150,73	181,62	21,51	6,97	210,46	32,76	18,25	138,04	35,51	31,87
6:00	148,23	34,57	44,44	14,35	56,24	95,83	71,73	108,13	106,46	106,35
7:00	96,07	113,66	63,37	116,58	136,79	120,74	83,71	137,03	163,07	114,13
8:00	30,21	60,70	295,13	40,20	95,49	54,66	120,64	151,30	151,85	59,98
9:00	48,73	154,25	469,30	21,01	45,06	229,86	69,49	115,96	99,23	10,03
10:00	68,91	121,49	564,08	71,86	23,57	249,61	96,08	83,84	70,85	42,01
11:00	96,14	172,66	502,04	138,79	84,34	241,62	89,31	69,85	54,05	13,00
12:00	110,55	109,57	546,22	136,88	35,23	286,03	57,10	59,12	50,13	22,75
13:00	88,68	286,23	633,51	139,28	69,14	395,14	65,80	55,86	42,99	19,40
14:00	123,98	378,94	661,61	163,25	43,53	499,92	77,80	60,71	11,30	40,46
15:00	139,20	343,71	623,64	125,20	60,77	399,60	72,02	58,82	21,94	37,16
16:00	183,10	370,95	683,89	206,37	118,11	402,49	81,09	54,00	55,98	110,37
17:00	86,79	125,23	501,76	149,16	52,97	241,30	126,94	82,56	11,98	34,96
18:00	7,26	129,04	143,74	54,96	122,25	124,62	101,72	96,52	10,10	48,45
19:00	21,50	257,92	128,98	25,32	166,11	96,62	154,18	108,12	52,25	81,81
20:00	75,59	427,72	142,98	87,19	127,48	206,23	99,67	54,93	101,84	18,58
21:00	144,58	534,95	636,13	174,29	81,19	380,28	29,47	19,05	1136,21	100,57
22:00	239,45	403,34	281,48	154,35	240,76	358,77	15,66	19,42	43,54	82,35
23:00	136,62	324,53	186,51	78,97	65,27	103,67	33,73	9,82	76,77	65,30
Время										
11.09.14	12.09.14	13.09.14	14.09.14	15.09.14	16.09.14	17.09.14	18.09.14	19.09.14	20.09.14	
0:00	24,92	50,74	19,26	75,28	42,19	5,71	38,10	45,75	74,47	15,24
1:00	61,95	154,74	41,69	12,30	27,49	15,41	35,33	109,09	55,27	18,37
2:00	10,44	59,38	27,76	28,62	35,27	24,65	40,87	73,14	7,69	8,72
3:00	25,66	27,56	73,54	26,16	20,69	46,20	56,65	29,40	18,37	30,95
121										
Окончание таблицы 4.40										
Время										
11.09.14	12.09.14	13.09.14	14.09.14	15.09.14	16.09.14	17.09.14	18.09.14	19.09.14	20.09.14	
4:00	35,09	70,50	64,64	57,81	95,56	24,22	88,64	52,85	103,67	31,51
5:00	34,20	20,63	13,12	25,96	112,24	35,72	87,35	60,78	138,57	80,53
6:00	160,21	50,19	144,72	17,03	80,32	127,90	179,20	100,77	104,37	120,76
7:00	90,14	16,11	71,65	118,17	92,78	74,56	79,35	138,47	162,19	133,35
8:00	131,21	43,50	64,76	58,04	120,42	137,62	127,92	124,09	71,16	85,98
9:00	76,52	113,77	54,56	5,84	88,86	57,94	92,23	99,74	6,77	19,90
10:00	211,17	148,63	175,19	18,26	38,58	60,72	30,55	91,07	22,37	9,63
11:00	350,87	132,00	178,88	94,92	33,59	64,44	88,46	15,04	6,37	12,60
12:00	18,28	114,86	228,18	107,06	17,00	62,05	44,54	23,29	28,62	109,28
13:00	19,99	125,06	229,59	95,03	29,10	23,89	21,86	10,76	17,05	98,52
14:00	68,71	182,58	119,17	65,20	12,63	6,67	148,89	13,28	50,54	69,63
15:00	96,96	171,47	103,64	64,87	17,10	22,71	194,55	11,59	56,83	91,81
16:00	26,40	114,97	158,52	87,49	29,62	81,95	249,88	89,68	185,75	88,63
17:00	56,87	47,50	86,04	82,78	42,77	130,93	102,98	5,76	250,81	83,47
18:00	180,80	74,53	8,08	96,87	76,27	220,35	85,82	46,64	386,23	139,92
Время										
11.09.14	12.09.14	13.09.14	14.09.14	15.09.14	16.09.14	17.09.14	18.09.14	19.09.14	20.09.14	
19:00	221,97	47,09	74,38	80,83	158,94	263,43	56,99	107,81	406,77	123,49
20:00	20,44	72,36	237,85	33,26	10,53	95,34	167,21	36,26	224,37	37,40
21:00	66,86	366,81	98,71	120,96	96,57	65,51	82,72	92,26	34,12	113,20
22:00	13,72	90,05	246,87	95,07	23,33	39,74	104,88	78,41	409,52	53,74
23:00	36,49	7,68	189,14	81,62	38,66	57,73	39,83	62,88	145,89	14,13

Время	21.09.14	22.09.14	23.09.14	24.09.14	25.09.14	26.09.14	27.09.14	28.09.14	29.09.14	30.09.14
0:00	16,59	51,63	169,33	72,68	14,74	29,11	122,00	68,16	61,19	29,99
1:00	9,98	206,53	120,16	11,16	16,02	9,93	29,79	98,50	98,11	16,50
2:00	18,86	47,04	59,35	141,30	57,33	112,33	48,80	40,31	22,99	107,14
3:00	47,21	131,63	230,75	135,56	67,06	157,59	150,23	8,18	82,06	103,64
4:00	62,95	13,95	88,55	167,56	106,51	117,92	153,04	78,54	78,75	16,55
5:00	95,47	19,81	113,24	118,66	59,78	56,86	124,62	90,48	50,84	108,70
6:00	90,83	6,22	213,53	142,11	22,54	69,56	112,34	82,02	92,47	19,05
7:00	84,89	7,75	192,01	201,14	15,80	74,39	55,16	64,82	107,60	24,61
8:00	94,37	87,70	158,41	173,89	65,80	36,66	128,27	40,92	19,90	24,65
9:00	51,75	109,48	130,20	91,32	70,69	130,48	11,23	54,14	42,61	63,03
10:00	56,28	158,93	70,31	112,75	59,08	523,77	485,74	60,91	53,81	34,08
11:00	34,12	185,29	60,03	68,90	68,38	522,25	506,94	22,15	66,25	17,29
12:00	26,19	201,66	56,68	94,93	118,08	85,05	25,25	27,18	57,70	34,41
13:00	23,11	198,96	51,74	79,21	324,29	111,29	36,15	31,29	48,61	214,57
14:00	39,32	129,58	27,19	9,50	61,62	90,38	484,03	37,03	42,37	228,06
15:00	53,24	137,58	29,07	52,19	52,11	95,37	265,33	30,96	29,77	199,68
16:00	150,97	43,12	72,93	39,07	35,74	58,95	13,62	12,99	42,07	28,09
17:00	221,63	9,79	96,77	126,09	65,51	5,92	25,71	19,33	47,59	26,82
18:00	202,16	63,37	189,27	169,38	125,29	49,48	32,23	41,42	38,30	92,34
19:00	199,22	8,58	182,07	144,84	153,35	115,44	28,51	1590,59	14,81	26,83
20:00	275,42	131,55	75,33	49,24	100,01	79,42	19,28	1548,19	150,99	154,42
21:00	49,55	186,46	92,15	69,97	519,31	156,11	14,72	47,01	149,01	156,93
22:00	272,57	188,28	111,16	78,21	139,64	347,07	20,08	44,60	343,69	77,17
23:00	183,19	105,92	44,40	72,27	76,10	141,33	54,34	89,45	261,80	173,30
122										

В качестве базовых графиков потребления электроэнергии ()
бк
Рt для агрегатов электросталеплавильного цеха на сентябрь 2014 года примем 3 графика электропотребления, полученные в соответствии с исходными почасовыми графиками загрузки соответствующего оборудования цеха. На рис. 4.9-4.11 представлены почасовые графики загрузки оборудования электросталеплавильного цеха (ЭСПЦ) металлургического предприятия 1-й ценовой зоны на сентябрь 2014 года по трем различным вариантам.

Рис.4.9. Почасовой график загрузки оборудования ЭСПЦ металлургического предприятия 1-й ценовой зоны для первого базового графика

Рис.4.10. Почасовой график загрузки оборудования ЭСПЦ металлургического предприятия 1-й ценовой зоны для второго базового графика
123

Рис.4.11. Почасовой график загрузки оборудования ЭСПЦ металлургического предприятия 1-й ценовой зоны для третьего базового графика

По соотношению (2.4) на основе данных по текущему электропотреблению и переменной части индекса равновесных цен на продажу электроэнергии на оптовом рынке, приведенной в таблице 4.40, можно рассчитать переменную часть стоимости покупки электроэнергии $\Delta C_{э}$

(t
к
)
). Далее по соотношению (2.7) можно рассчитать индекс снижения стоимости потребления электроэнергии $I_{сн}$

.
В таблице 4.41 приведены численные посуточные значения индекса снижения стоимости потребления электроэнергии $I_{сн}$

и потребления электроэнергии $W_{э}$ для трех базовых графиков за сентябрь 2014 года.

Таблица 4.41

№ п/п Дата Индекс снижения стоимости потребления электроэнергии $I_{сн}$
Потребление электроэнергии $W_{э}$

Базовый график 1	
1 01.09.2014	1 427,53
2 02.09.2014	1,230005 413,69
3 08.09.2014	1,10099 454,97
4 09.09.2014	0,953571 430,18
5 15.09.2014	1,01747 436,25
6 16.09.2014	1,089341 431,56
7 22.09.2014	1,169866 422,33
8 23.09.2014	1,1831297 443,62
9 29.09.2014	1,356048 491,51
10 30.09.2014	1,1686137 464,35

Базовый график 2	
1 03.09.2014	1 367,01
2 04.09.2014	1,285262 361,82
3 05.09.2014	1,225116 290,21
124	
Окончание таблицы 4.41	
4 06.09.2014	1,207616 341,06
5 07.09.2014	1,290131 347,66

6 10.09.2014 1,15672 345,29
7 11.09.2014 1,146881 326,44
8 12.09.2014 1,130504 358,66
9 13.09.2014 1,18298 373,48
10 14.09.2014 1,276945 353,64

Базовый график 3

1 17.09.2014 1 404,48
2 18.09.2014 1,136167 382,58
3 19.09.2014 1,52311 367,52
4 20.09.2014 1,585515 359,30
5 21.09.2014 1,553175 335,08
6 24.09.2014 1,730026 349,42
7 25.09.2014 1,576223 363,09
8 26.09.2014 1,523178 359,31
9 27.09.2014 1,355737 383,80
10 28.09.2014 1,373004 387,91

После того, как получены статистические данные – численные значения индекса снижения стоимости потребления электроэнергии $I_{сн}$ и потребления электроэнергии $W_{э}$ за сентябрь 2014 года, можно определить нелинейную эмпирическую зависимость $F_{сн}(W_{э})$ на основе того же программного обеспечения, которое используется для определения удельного потребления электроэнергии.

Зависимость $F_{сн}(W_{э})$ имеет следующий вид:

$$I_{сн} = a_0 \exp(a_1 W_{э}), \quad (4.6)$$

где a_0, a_1 – коэффициенты.

Численные значения коэффициентов a_0, a_1 зависимости (4.6) для различных базовых графиков приведены в таблице 4.42.

Таблица 4.42

№ п/п	Базовый график	Коэффициенты
a_0	a_1	
1	1	-2,11036 0,004896
2	2	5,521678 -0,01489
3	3	4,335333 -0,01068

Согласно таблице 4.42, значение индекса снижения стоимости электропотребления $I_{сн}$ для заданных базовых графиков превышает 1.

125

В целях регулирования графика нагрузки потребитель может перемещать часы работы технологического оборудования в пределах суточного графика. На основе значений индексов снижения стоимости потребления электроэнергии и технологических требований к процессу для каждого базового графика был осуществлен сдвиг в расписании работ оборудования электросталеплавильного цеха. Полученные варианты почасового расписания работы оборудования представлены на рис. 4.12-4.14.

Рис.4.12. Почасовой график загрузки оборудования ЭСПЦ металлургического предприятия 1-й ценовой зоны по третьему варианту

Рис. 4.13. Почасовой график загрузки оборудования ЭСПЦ металлургического предприятия 1-й ценовой зоны по второму варианту

126

Рис.4.14. Почасовой график загрузки оборудования ЭСПЦ металлургического предприятия 1-й ценовой зоны по третьему варианту

В таблице 4.43 приведены численные посуточные значения индекса снижения стоимости потребления электроэнергии $I_{сн}$ и потребления электроэнергии $W_{э}$ за сентябрь 2014 года.

Таблица 4.43

№ п/п	Дата	Индекс снижения стоимости потребления электроэнергии $I_{сн}$	Потребление электроэнергии $W_{э}$
Базовый график 1 (со смещением)			
1	17.09.2014	1	427,53
2	18.09.2014	1,110526	413,69
3	19.09.2014	0,929852	454,97
4	20.09.2014	0,864449	430,18
5	21.09.2014	0,915259	436,25

6 24.09.2014 0,989391 431,56
 7 25.09.2014 1,017887 422,33
 8 26.09.2014 0,895994 443,62
 9 27.09.2014 0,874955 491,51
 10 28.09.2014 0,957751 464,35
 Базовый график 2 (со смещением)
 1 17.09.2014 1 367,01
 2 18.09.2014 0,956446 361,82
 3 19.09.2014 0,99815 290,21
 4 20.09.2014 1,542657 341,06
 5 21.09.2014 1,211106 347,66
 6 24.09.2014 1,144817 345,29
 7 25.09.2014 1,191881 326,44
 8 26.09.2014 1,18078 358,66
 9 27.09.2014 1,007665 373,48
 10 28.09.2014 0,982339 353,64

Базовый график 3 (со смещением)
 1 17.09.2014 1 404,48
 2 18.09.2014 0,961633423 382,58
 3 19.09.2014 0,964143529 367,52

127
 Окончание таблицы 4.43
 4 20.09.2014 0,992479256 359,30
 5 21.09.2014 0,9616988 335,08
 6 24.09.2014 0,954484271 349,42
 7 25.09.2014 0,947080795 363,09
 8 26.09.2014 0,992846779 359,31
 9 27.09.2014 0,988835865 383,80
 10 28.09.2014 0,97486372 387,91

На рис.4.15-4.17 представлено сравнение динамики изменения индекса снижения стоимости потребления электроэнергии во времени для рассматриваемых вариантов базового графика и базового графика со смещением.

Рис. 4.15. Сравнение динамики изменения $I_{\text{сн}}$ во времени для первого базового графика и для первого базового графика со смещением
 128

Рис. 4.16. Сравнение динамики изменения $I_{\text{сн}}$ для второго базового графика и

для второго базового графика со смещением
 Рис.4.17. Сравнение динамики изменения $I_{\text{сн}}$

для третьего базового графика и для третьего базового графика со смещением
 Как видно из таблиц 4.41, 4.43 и рис.4.15-4.17, значение индекса снижения стоимости электропотребления $I_{\text{сн}}$

для базовых графиков со смещением уменьшилось по сравнению с первоначальным вариантом. Таким образом, изменение расписания работ оборудования электросталеплавильного цеха позволило повысить оптимальность графиков электропотребления.

Численные значения коэффициентов a_0 и a_1

зависимости (4.6) для различных базовых графиков приведены в таблице 4.44.
 Таблица 4.44

№ п/п Базовый график Коэффициенты
 a_0

a_1
 1 1 (со смещением) 3,000695 -0,00717
 2 2 (со смещением) 0,393743 -0,00083
 3 3 (со смещением) 2,374222 -0,00594

Удельное потребление электроэнергии рассчитывается на основе полученных коэффициентов a_0 и a_1

130
 4.3 Экономический эффект от применения результатов работы

В ходе работы разработаны методическое, алгоритмическое и программное обеспечение планирования и управления электропотреблением металлургического предприятия, с использованием которого на основе реальных данных по выработке продукции и электропотреблению производственными подразделениями ОАО «ММК» проведены экспериментальные исследования.

Экономический эффект от выполнения данной работы образуется за счет снижения общей ошибки прогнозирования потребления электроэнергии. Расчет экономического эффекта от применения разработанных методов многоуровневого планирования и управления электропотреблением ОАО «ММК» приведен в таблице 4.45.

Таблица 4.45
 Наименование Ед. изм.
 Базовый период
 2013 год

Отчетный период

2014 год

Плановое суммарное почасовое

потребление электроэнергии от

ООО "МЭК"

тыс. кВтч 2385600,5 2688475,5

Фактическое суммарное

почасовое потребление

электроэнергии от ООО "МЭК"

тыс. кВтч 2323309,7 2643724,3

Отклонение почасового

потребления

тыс. кВтч

62290,8 44751,2

Снижение отклонений

потребления электроэнергии от

заявки.

%

28,2

Заявленное снижение

отклонений от заявки в рамках

выполняемой работы

% 20

Увеличение точности прогноза

за счет выполненной работы %

8,2

Экономия от почасового

планирования в часы

максимальной загрузки за 2014

год

тыс. руб.

22011,8

131

Экономия от почасового планирования в часы максимальной загрузки за 2014 год составила 22,011 млн. рублей. Повышение точности прогноза при почасовом планировании на уровне отдельных подразделений за 2014 год за счет применения разработанных методов многоуровневого планирования и управления электропотреблением составило 8,2%.

132

Выводы к разделу 4

1. Проведены экспериментальные исследования метода среднесрочного планирования на основе реальных данных по выработке продукции и электропотреблению производственными подразделениями ОАО «ММК» для следующих блоков данных:

– основные виды продукции;

– виды продукции, выпускаемые цехами металлургического производства: доменным цехом, кислородно-конвертерным цехом, электросталеплавильным цехом;

– виды продукции, выпускаемые электрическими станциями

ОАО «ММК»: ТЭЦ, ЦЭС, ПВЭС.

Для подразделений ОАО «ММК» на основе предоставленной информации построены базовые модели электропотребления с учетом анализа их использования в многоуровневой методике почасового планирования.

2. Экспериментальные исследования метода среднесрочного планирования на основе реальных данных по выработке продукции и электропотреблению производственными подразделениями ОАО «ММК» показали, что использование разработанных алгоритмов приводит к снижению общей ошибки прогнозирования электропотребления. На уровне комбината в целом решение задачи минимизации общей ошибки прогноза потребления электроэнергии основано на корректировке значений фактического общего потребления электроэнергии комбинатом, определяемого по показаниям прибора учета, и расчетного суммарного расхода электроэнергии отдельных производственных подразделений ОАО «ММК». Технологический эффект внедрения на ОАО «ММК» состоит в снижении общей ошибки прогнозирования потребления электроэнергии предприятием в целом на величину не менее 0,5%.

3. Проведена апробация методики почасового планирования электропотребления на реальных данных почасового потребления электрической энергии листопрокатными цехами ОАО «ММК» (ЛПЦ-4,

133

ЛПЦ-5, ЛПЦ-9) и данных почасового электропотребления агрегатами электросталеплавильного цеха металлургического предприятия 1-й ценовой зоны. Результаты проведения экспериментальных исследований методики краткосрочного планирования электропотребления показали, что повышение точности прогноза при почасовом планировании на уровне отдельных подразделений за 2014 год составило 8,2%.

134

ОСНОВНЫЕ ВЫВОДЫ И РЕЗУЛЬТАТЫ

1. Принятие решений по планированию и управлению электропотребления технологических процессов металлургического производства в структуре предприятия характеризуется межуровневыми противоречиями, среди которых необходимо выделить: несогласованность агрегированных представлений динамики потребления электроэнергии на верхнем уровне и высокой степенью

детализации представления динамики на нижних уровнях; несогласованность между общими оценками объемов потребления электроэнергии предприятия и суммарными локальными оценками объемов потребления электроэнергии на уровне отдельных технологических процессов.

2. В работе в целях разрешения межуровневых противоречий при принятии решений введен агрегированный показатель динамики потребления ресурсов – индекс снижения стоимости, позволяющий согласовать детализованные представления динамики процессов потребления ресурсов на локальных уровнях отдельных технологических процессов и обобщенные представления на верхнем технико-экономическом уровне. Предложенный показатель позволяет интегрально оценивать оптимальность графиков электропотребления, а, значит, локальное качество работы отдельных производственных участков.

3. Разработана процедура прогнозирования потребления электроэнергии в целом на предприятии исходя из потребления электроэнергии на локальных производственных участках при наличии потерь энергии, недостоверности и неполноте предоставляемых данных.

4. В целях минимизации производственных расходов в условиях почасового тарифа на оплату электроэнергии в работе предложена методика краткосрочного нормирования и прогнозирования потребления электрической энергии, основанная на интегральной оценке оптимальности графиков электропотребления.

135

5. Разработано алгоритмическое и программное обеспечение, обеспечивающее прогноз потребления энергетических ресурсов при заданных плановых значениях выпуска продукции и установленных значениях базовых технологических факторов.

6. Разработанное методическое и программное обеспечение используется в Технологическом управлении ОАО «ММК» при решении задач нормирования и управления электропотреблением промплощадки ОАО «ММК».

Внедрение результатов диссертационной работы подтверждено соответствующим актом. Технологический эффект внедрения на ОАО «ММК» состоит в снижении общей ошибки прогнозирования потребления электроэнергии предприятием в целом на величину не менее 0,5%. Повышение точности прогноза при почасовом планировании на уровне отдельных подразделений за 2014 год составило 8,2%.

136

СПИСОК ЛИТЕРАТУРЫ

1. Andersen, F.M. Forecasting hourly electricity load: identification of consumption profiles and segmentation of customers [Text] / F.M. Andersen, H.V. Larsen, T.K. Boomsma // Energy Conversion and Management. – 2013. – Vol 68. – P. 244-252.
2. Andersen, F.M. Long term forecasting of hourly electricity consumption in local areas (Denmark) [Text] / F.M. Andersen, H.V. Larsen, R.B. Gaardstrup // Applied Energy. – 2013. – № 110. – P. 147-162
3. Ashok, S. Peak-load management in steel plants [Text] / S. Ashok // Applied Energy. – 2006. – №83. – P. 413-424
4. Barbasova T.A. Automated system for equipment energy efficiency monitoring in heat energy facility [Text] / T.A. Barbasova, O.V. Kolesnikova, A.A. Filimonova // Energy Procedia. – 2015. – №83. – P. 69-78.
5. Barbasova, T.A. Energy consumption forecast procedure for an industrial facility [Text] / T.A. Barbasova, L.S. Kazarinov, A.A. Filimonova // International Journal of Social, Behavioral, Educational, Economic, Business and Industrial Engineering. – 2015. – Vol. 9, No.12. – P. 3864-3867.
6. Bianco, V. Electricity consumption forecasting in Italy using linear regression models [Text] / V. Bianco, O. Manca, S. Nardini // Energy. – 2009. – № 34. – P. 1413-1421
7. Cancelo, J. R. Forecasting the electricity load from one day to one week ahead for the Spanish system operator [Text] / J.R. Cancelo, A. Espasa, R. Grafe // International Journal of Forecasting. – 2008. – №24 (4). – P. 588-602.
8. De Livera, A.M. Forecasting time series with complex seasonal patterns using exponential smoothing [Text] / A.M. De Livera, R.J. Hyndman, R.D. Snyder // Journal of the American Statistical Association. – 2011. – Vol. 106(496). – P. 1513-1527.
9. Dordonnat, V. Dynamic factors in periodic time-varying regressions with an application to hourly electricity load modeling [Text] / V. Dordonnat, S.J. Koopman, M. Ooms // Computational Statistics and Data Analysis. – 2012. – № 56. – P. 3134-3152.
10. Fan, S. Short-Term Load Forecasting Based on a Semi-Parametric Additive Model [Text] / S. Fan, R.J. Hyndman // IEEE Transactions on Power Systems. – 2012. – 27(1). – P. 134-141.
11. Filimonova, A.A. Dispatching control of industrial facility power consumption [Text] / A.A. Filimonova, L.S. Kazarinov, T.A. Barbasova. // Energy Procedia. – №83. – P. 111-120.
12. Filimonova, A.A. A method of effective planning and control of industrial facility energy consumption [Text] / A.A. Filimonova, L.S. Kazarinov, T.A. Barbasova // International Journal of Social, Behavioral, Educational, Economic, Business and Industrial Engineering. – 2015. – Vol. 9, No.12. – 2070-2074.
13. Gould, P.G. Forecasting time series with multiple seasonal patterns [Text] / P.G. Gould, A.B. Koehler, J.K. Ord, R.D. Snyder, R.J. Hyndman, F. Vahid-Araghi

- // European Journal of Operational Research. – 2008. – 191(1). – P. 207-222.
14. Kazarinov, L.S. Method of multilevel rationing and optimal forecasting of volumes of electric-energy consumption by an industrial enterprise [Text] / L.S. Kazarinov, T.A. Barbasova, O.V. Kolesnikova, A.A. Filimonova // Automatic Control and Computer Sciences. – 2014. – Vol. 48. – No. 6. – P. 324-333.
15. Lin, C.W. Hierarchical production planning for a modern steel manufacturing system [Text] / C.W. Lin, C.L. Moodie // International Journal of Production Research. – 1989. – Vol. 27(4). – P. 613-628.
16. Pielow, A. Modeling short-run electricity demand with long-term growth rates and consumer price elasticity in commercial and industrial sectors [Text] / A. Pielow, R. Sioshansi, M.C. Roberts // Energy. – 2012. – №46. – P. 533-540.
17. Soares, L.J. Modeling and forecasting short-term electricity load: A comparison of methods with an application to Brazilian data [Text] / L.J. Soares, M.C. Medeiros // International Journal of Forecasting. – 2008. – № 24. P. 630-644.
- 138
18. Taylor, J.W. An Evaluation of Methods for Very Short-Term Load Forecasting Using Minute-by-Minute British Data [Text] / J.W. Taylor // International Journal of Forecasting. – 2008. – Vol. 24. – P. 645-658.
19. Taylor, J.W. Short-Term Load Forecasting Methods: An Evaluation Based on European Data [Text] / J.W. Taylor, P.E. McSharry // IEEE Transactions on Power Systems. – 2008. – № 22. – P. 2213-2219.
20. Taylor, J.W. Short-Term Load Forecasting with Exponentially Weighted Methods [Text] / J.W. Taylor // IEEE Transactions on Power Systems. – 2012. – № 27(1). – P. 458-464.
21. Weron, R., Modeling and Forecasting Electricity Loads and Prices: A Statistical Approach / R. Weron. – New York: Wiley Finance, 2006. – 178 p.
22. Анчарова, Т.В. Анализ и нормирование электропотребления предприятий средней и малой мощности с многоименовным производством [Текст] / Т. В. Анчарова, А.П. Пищур // Вестник МЭИ. – 2003. – № 2. – С. 35-40.
23. Анчарова, Т. В. Определение значимых факторов, влияющих на электропотребление в электротехнической промышленности [Текст] / Т.В. Анчарова, З.К. Хабдуллина // Промышленная энергетика. 1993. – № 4. – С. 21-24.
24. Анчарова, Т.В. Развитие электропотребления на промышленных предприятиях в условиях неопределенности исходной информации [Текст] / Т.В. Анчарова, С.С. Бодрухина, Ю.В. Матюнина // Промышленная энергетика. – 1995. – № 9. – С. 21-22.
25. Барбасова, Т.А. Автоматизированная система энергетического менеджмента промышленного предприятия [Текст] / Т.А. Барбасова, А.А. Захарова // Электротехнические комплексы и системы управления. – 2014. – том 2, №3. – С. 23-27.
26. Барбасова, Т.А. Внедрение системы энергетического менеджмента на металлургических предприятиях Челябинской области в целях повышения энергетической эффективности региона [Текст] / Т.А. Барбасова, А.А. Захарова // Экономика в промышленности. – 2012. – №3. – С. 42-46.
27. Барбасова, Т.А. Пути повышения энергетической эффективности Челябинской области [Текст] / Т.А. Барбасова, А.А. Захарова // Инновационный Вестник Регион. – 2012 – № 2. – С. 69–74.
28. Барбасова, Т.А. Автоматизированная информационная система поддержки принятия решений по повышению эффективности использования энергии на предприятии [Текст] / Т.А. Барбасова, А.А. Захарова // Сборник трудов: Наука и технологии. Материалы XXXII Всероссийской конференции по проблемам науки и технологий. – Миасс: МСНТ, 2012. – С. 283-285
29. Барбасова, Т.А. Повышение энергетической эффективности промышленных предприятий [Текст] / Т.А. Барбасова, А.А. Захарова // Материалы за 7-а международна научна практична конференция, «Бъдещето въпроси от света на науката», - 2011. – Том 30. Технологии. Здание и архитектура. София. «БялГРАД-БГ» ООД. – С. 61-63.
30. Белан, А.В. Пути и результаты совершенствования методов прогнозирования электропотребления [Текст] / А.В. Белан, В.И. Гордеев, А.В. Демура, И.И. Надтока // Промышленная энергетика. – 1993. - № 9-10. - С. 2326.
31. Белан, А.В. Прогнозирование электропотребления на основе многофакторного регрессионного и корреляционного анализов [Текст] / А.В. Белан, В.И. Гордеев // Проблемы энергосбережения. – К.: Наукова думка, 1991. – Вып.7.
32. Боос, Г.О. Современные автоматизированные системы управления технологическим процессом [Текст] / А.А. Филимонова, Г.О. Боос // Инновации в науке. – 2014. - № 38. - с. 39-42.
33. Борисов, Б.П. Нормирование и экономия электрической энергии в электротехнологических установках. / Б.П. Борисов, Г.Я. Вагин, А.Б. Лоскутов, А.И. Гардин. – ИЗД АН УССР. Препринт-528, Киев, 1987г. – 43 с.
- 140
34. Бэнн, Д.В. Сравнительные модели прогнозирования электрической нагрузки: Пер. с англ. / Д.В. Бэнн, Е.Д. Фармер. – М.: Энергоатомиздат, 1987. – 200 с.
35. Бэнн, Д.В. Обзор методов краткосрочного прогнозирования в электроэнергетике. Сравнительные модели прогнозирования электрической нагрузки энергосистем / Д.В. Бэнн, Е.Д. Фармер. – М.: Энергоатомиздат, 1987.

– 260 с.

36. Вагин, Г.Я. Основные направления экономии энергии на металлургических предприятиях [Текст] / Г.Я. Вагин, А.Б. Лоскутов, С.А. Шалаев // Промышленная энергетика. – 1995. – №9. – С. 12-15.

37. Вагин, Г.Я. К вопросу о повышении энергетической эффективности промышленных предприятий [Текст] / Г.Я. Вагин // Промышленная энергетика. – 2013. – № 5. – С. 2-6.

38. Вагин, Г.Я. Методы нормирования расходов электроэнергии на машиностроительных предприятиях [Текст] / Г.Я. Вагин, С.А. Петрицкий // Промышленная энергетика. – 2007. – № 12. – С. 1-7.

39. Вагин Г.Я. Нормирование и прогнозирование расходов электрической энергии металлургическими заводами / Г.Я. Вагин, А.Б. Лоскутов, Е.В. Редькин // Сборник докладов Всесоюз. сем.

Совершенствование нормирования и регулирования энергопотребления в промышленности. – М.; МДНТП им. Ф. Э. Дзержинского, 1987. – С. 27-32.

40. Воронин, А.А. Алгоритмы поиска оптимальной структуры организационной системы [Текст] / А.А. Воронин, С.П. Мишин // Автоматика и Телемеханика. – 2002. – № 5. – С. 120-132.

41. Воронин А.А. Модель оптимального управления структурными изменениями организационной системы [Текст] / А.А. Воронин, С.П. Мишин // Автоматика и телемеханика. – 2002. – № 8. – С. 136-151.

42. Воронин А.А. Оптимальные иерархические структуры / А.А. Воронин, С.П. Мишин. – М.: ИПУ РАН, 2003. – 214 с.

141

43. Воронов, И. В. Использование нейронной сети для краткосрочного прогнозирования электропотребления промышленного предприятия [Текст] / И. В. Воронов, Е. А. Политов, В. М. Ефременко // Вестник КузГТУ. – 2006. – № 6. – С. 71-73.

44. Воронов, И.В. Краткосрочное прогнозирование электропотребления энергосистем с помощью искусственных нейронных сетей [Текст] / И.В. Воронов, Е.А. Политов // Электрические станции. – 2009. – № 12. – С. 15-18.

45. Гнатюк, В.И. Оценка адекватности работы динамической адаптивной модели электропотребления [Текст] / В.И. Гнатюк, С.Н. Гринкевич, Д. В. Луценко // Электрика. – 2006. – № 12. – С. 36-39.

46. Гнатюк, В.И. Прогнозирование электропотребления методами GЗанализа [Текст] / В.И. Гнатюк, Д.В. Луценко, А.М. Линев, П.С. Ермоленко // Электрика. – 2008. – № 8. – С. 24-30.

47. Гнатюк, В.И. Прогнозирование электропотребления техноценоза классическим методом [Текст] / В.И. Гнатюк, С.Н. Гринкевич // Электрика. 2006. – № 1. – С. 30-33.

48. Гнатюк, В.И. Моделирование процесса электропотребления объектов техноценоза [Текст] / В. И. Гнатюк // Электрика. – 2004. – № 4. – С. 36-41.

49. Гнатюк В.И. Программный комплекс «Электропотребление объекта техноценологического типа» [Текст] / В.И. Гнатюк, А.Е. Северин, С.Н. Гринкевич // Электрика. – 2004. – № 6. – С. 31-34.

50. Гнатюк, В.И. Классификация объектов техноценоза по электропотреблению (Опыт применения пакета Mathcad2001) [Текст] / В. И. Гнатюк, Д. В. Луценко // Электрика. – 2007. – № 8. – С. 3741.

51. Гнатюк, В.И. Тонкие процедуры рангового анализа по электропотреблению [Текст] / В.И. Гнатюк // Электрика. – 2007. – № 12. – С. 13-16.

52. Головкин, Б.Н. Прогноз электропотребления промышленного предприятия в условиях нестабильной экономики [Текст] / Б.Н. Головкин, 142

В.Н. Пирогов, А.П. Старцев // Промышленная энергетика. – 1996. – № 2. – С. 812.

53. Гофман, И.В. Нормирование потребления энергии и энергобалансы промышленных предприятий / И.В. Гофман, М. – Л.: Энергия, 1966. – 319 с.

54. Гофман, И.В. Организация и планирование энергохозяйства промышленных предприятий / И.В. Гофман, Г.Л. Госпитальник. – М.-Л.: Госэнергоиздат, 1954. – 440 с.

55. Гросс, Дж. Краткосрочное прогнозирование нагрузки [Текст] / Дж. Гросс, Ф.Д. Гальяны // ТИИЭР. – 1987. – Т.75, №12. – С. 6-21.

56. Губко М.В. Оптимальная структура системы управления технологическими связями / М.В. Губко, С.П. Мишин // Материалы международной научной конференции «Современные сложные системы управления». – Старый Оскол: СТИ, 2002. С. 50-54.

57. Гунин, В.М. Опыт нормирования и прогнозирования электропотребления предприятия на основе математической обработки статистической отчетности [Текст] / В.М. Гунин, Л.А. Копцев, Г.В. Никифоров // Промышленная энергетика. – 2000. – № 2. С. 2 - 5.

58. Грачева, Е.И. Определение расхода электроэнергии на основе математической модели [Текст] / Е.И. Грачева, Р.С. Саитбатов // Промышленная энергетика. – 1999. – № 4. – С. 24-25.

59. Демура, А.В. Краткосрочное прогнозирование суточных графиков нагрузки на основе искусственных нейронных сетей [Текст] / А.В. Демура // Известия вузов. Электромеханика. –1998. – № 2/3. – С. 69-71.

60. Демура, А.В. Моделирование и прогнозирование на основе искусственных нейронных сетей [Текст] / А.В. Демура // Известия вузов.

Электромеханика. – 2005. – № 5. – С. 29-32.

61. Дзевенцкий, А.Я. Метод нормирования электроэнергии на предприятиях с изменяющимися режимами потребления мощности [Текст] / А.Я. Дзевенцкий, Ф. А. Хашимов, А. З. Шукуров // Промышленная энергетика. – 1996. – № 5. – С. 4-6.

143

62. Ершов, М.С. Вероятностные алгоритмы оценки электрических нагрузок [Текст] / М.С. Ершов, А.В. Егоров, Д.П. Сорокотягин, И.В. Ивановский // Промышленная энергетика. – 1998. – № 2. – С. 17-21.

63. Ершов М.С. Моделирование электропотребления в системах промышленного электроснабжения [Текст] / М.С. Ершов, С.А. Головатов, Г.Я. Григорьев // Промышленная энергетика. – 1999. – № 5. – С. 22-25.

64. Жичкин, С.В. Модели электропотребления на основе нейронных сетей [Текст] / С.В. Жичкин // Электрика. – 2003. – № 2. – С. 37-39.

65. Журавлев, Ю.П. Решения проблем энергосбережения на металлургических предприятиях [Текст] / Ю.П. Журавлев, Г.В. Никифоров, Б.И. Заславец, В.К. Олейников // Главный энергетик. – 2012. – № 4. – С. 43-49.

66. Заславец, Б.И. Снижение тарифов на передачу электроэнергии за счет компенсации реактивной мощности [Текст] / Б.И. Заславец, А.В. Малафеев, Е.Б. Ягольникова // Вестник Магнитогорского государственного технического университета им. Г.И. Носова. – 2013. – № 2 (42). – С. 75-80.

67. Захарова, А.А. Минимизация электропотребления дуговой сталеплавильной печи [Текст] / А.А. Захарова // Роль технических наук в развитии общества. – Сборник статей Международной научно- практической конференции. – Уфа: Аэтерна, 2014. – С. 22-25.

68. Казаринов, Л.С. Системные исследования и управление /когнитивный подход/: научно-методическое пособие / Л.С. Казаринов. – Челябинск: Издательский центр ЮУрГУ: Издатель Т. Лурье, 2011. – 524 с.

69. Казаринов, Л.С. Метод многоуровневого нормирования и оптимального прогноза объемов потребления электрической энергии промышленным предприятием [Текст] / Л.С. Казаринов, Т.А. Барбасова, О.В. Колесникова, А.А. Захарова // Автоматика и вычислительная техника. – 2014. – №6. – С. 20-32.

70. Казаринов, Л.С. Метод прогнозирования электропотребления промышленного предприятия [Текст] / Л.С. Казаринов, Т.А. Барбасова, О.В. Колесникова, А.А. Захарова // Вестник Южно-Уральского

144

государственного университета. Серия «Компьютерные технологии, управление, радиоэлектроника». – 2014. – том 14, №1. – С. 5-13.

71. Казаринов, Л.С. Метод прогнозирующего управления энергетической эффективностью промышленного предприятия [Текст] / Л.С. Казаринов, Т.А. Барбасова, А.А. Захарова // Вестник Южно-Уральского государственного университета. Серия «Компьютерные технологии, управление, радиоэлектроника». – 2013. – №2. – С. 12-24.

72. Казаринов, Л.С. Оптимальное прогнозирование потребления энергетических ресурсов по стоимостному критерию [Текст] / Л.С. Казаринов, Т.А. Барбасова, А.А. Захарова // Вестник Южно-Уральского государственного университета. Серия «Компьютерные технологии, управление, радиоэлектроника». – 2013. – том 13, №1. – С. 90-93.

73. Казаринов, Л.С. Автоматизированная информационная система поддержки принятия решений по контролю и планированию потребления энергетических ресурсов [Текст] / Л.С. Казаринов, Т.А. Барбасова, А.А. Захарова // Вестник Южно-Уральского государственного университета. Серия «Компьютерные технологии, управление, радиоэлектроника». – 2012. – №23. – С. 118-122.

74. Казаринов Л.С. Алгоритм оптимизации для задач проектирования при противоречивом техническом задании [Текст] / Л.С. Казаринов, А.Б. Бордецкий // В сб. Информационные и управляющие элементы и системы. Труды ЧПИ. – 1979. – № 231. – С. 27-31.

75. Казаринов, Л.С. Об определении комитета системы взвешенных неравенств [Текст] / Л.С. Казаринов, А.Б. Бордецкий // Кибернетика. – 1981. – №5. – С. 44-48.

76. Казаринов, Л.С. Оптимальное прогнозирование потребления топливных газов на металлургическом производстве [Текст] / Л.С. Казаринов, Л.А. Копцев, И.А. Япрынцева // Вестник ЮУрГУ. Серия «Компьютерные технологии, управление, радиоэлектроника». – 2007. – Вып. 5. – № 7(79). С. 24-26.

145

77. Казаринов Л.С., Омельченко Н.В. Координация решений в многоуровневых системах проектирования. Вопросы кибернетики. Методы и модели оценки эффективности развивающихся систем. – М.: Наука, 1982.

78. Копцев, Л.А. Энергосбережение и повышение экономической эффективности предприятия путем управления загрузкой производственных агрегатов [Текст] / Л.А. Копцев // Промышленная энергетика. – 2011. – № 11. – С. 14-21.

79. Копцев, Л.А. Нормирование и прогнозирование потребления электроэнергии в зависимости от объемов производства [Текст] / Л.А. Копцев // Промышленная энергетика. – 1996. – № 3. – С. 5-7.

80. Копцев, Л.А. Моделирование потребления топлива в ОАО «ММК» [Текст] / Л.А. Копцев, И.А. Япрынцева // Промышленная энергетика. – 2004. – №5. – С. 2-6.
81. Кудрин, Б.И. Методика обеспечения почасового прогнозирования электропотребления предприятий с учетом погодных факторов [Текст] / Б.И. Кудрин, А.В. Мозгалин // Вестник МЭИ. – 2007. – № 2. – С. 105 - 108.
82. Кудрин, Б.И. Учет технологических факторов при нормировании расходов электроэнергии и прогнозировании электропотребления химических предприятий [Текст] / Б.И. Кудрин // Промышленная энергетика. – 2002. – №12. – С. 24-28.
83. Кудрин, Б.И. Электроснабжение промышленных предприятий: Учебник для студентов высших учебных заведений / Б.И. Кудрин. – М.: Интермет Инжиниринг, 2005. – 672 с.
84. Лисиенко, В.Г. Хрестоматия по энергосбережению. Справочное издание. В 2-х книгах / В.Г. Лисиенко, Я.М. Щелоков. – М.: «Теплоэнергетик», 2002. – 688 с.
85. Литвак, В.В. Повышение эффективности информационного обеспечения энергетических обследований [Текст] / В.В. Литвак //Промышленная энергетика. – 2006. – № 5. – С. 2-5. 146
86. Литвак В.В. Энергосбережение и качество электрической энергии в энергосистемах / В.В. Литвак, Г.П. Климова, Г.З. Маркман, Н.Н. Харлов. – Томск: Изд. ТПУ, 2006. – с. 168.
87. Макоклюев, Б.И. Взаимосвязь точности прогнозирования и неравномерности графиков электропотребления [Текст] / Б.И. Макоклюев, В.Ф. Еч // Электрические станции. – 2005. – № 5. – С. 64-67.
88. Макоклюев, Б.И. Влияние колебаний метеорологических факторов на электропотребление энергообъединений [Текст] / Б.И. Макоклюев, В.С. Павликов, А.И. Владимиров, Г.И. Фефелова // Энергетик . – 2003. – № 6. – С. 45-48.
89. Макоклюев, Б.И. Влияние метеорологических факторов на электропотребление [Текст] / Б.И. Макоклюев, В.С. Павликов, А.И. Владимиров, Г.И. Фефелова // Электрические станции. – 2002. – № 1. – С. 26-31.
90. Макоклюев, Б.И. Моделирование электрических нагрузок электроэнергетических систем [Текст] / Б.И. Макоклюев, В.Н. Костиков // Электричество. – 1994. – № 10. – С. 13-16.
91. Макоклюев, Б.И. Прогнозирование потребления электроэнергии в АО «Мосэнерго» [Текст] / Б.И. Макоклюев, А.И. Владимиров, Г.И. Фефелова // ТЭК. – 2001. – № 4. – С. 56-57.
92. Макоклюев, Б.И. Учет влияния метеорологических факторов при прогнозировании электропотребления энергообъединений [Текст] / Б.И. Макоклюев, В.Ф. Еч. // Энергетик . – 2004. – № 6. – С. 15-16.
93. Манусов, В.З. Сравнительный анализ двух моделей прогнозирования электрической нагрузки промышленных предприятий, построенных на основе регрессионного анализа и искусственных нейронных сетей [Текст] / В.З. Манусов, С.В. Хохлова // Научный вестник Новосибирского государственного технического университета. – 2008. – № 1. – С. 147-159.
94. Манусов, В.З. Оценка и прогнозирование электропотребления в энергосистемах на основе нечеткого регрессионного анализа [Текст] / 147
- В.З. Манусов, А.В. Могиленко, В.П. Костромин // Электрика. – 2003. – № 7. – С. 41-43.
95. Меламед, А.М. Применение принципов экспертных систем для прогнозирования электропотребления [Текст] / А. М. Меламед, О. А. Скрипко // Электричество . – 1994. – № 1. – С. 26-31.
96. Месарович, М.Д. Теория иерархических многоуровневых систем / М. Д. Месарович, Д. Мако, И. Такахара. – Москва: Мир, 1973. – 344 с.
97. Мишин, С.П. Динамическая задача синтеза оптимальной иерархической структуры [Текст] / С.П. Мишин // Управление большими системами. – 2003. – Выпуск 3. М.: ИПУ РАН. – С.55-75.
98. Мишин, С.П. Оптимальное стимулирование в многоуровневых иерархических структурах [Текст] / С.П. Мишин // Автоматика и Телемеханика. – 2004. – № 5. – С. 96-119.
99. Надтока, И.И. Многофакторное моделирование электропотребления промышленного предприятия [Текст] / И.И. Надтока // Известия вузов, Электромеханика. – 1998. – № 2/3. – С. 72-74.
100. Некрасов, С.А. О подходах к решению проблемы неравномерности графика нагрузки [Текст] / С.А. Некрасов, Ю.В. Матюнина, С.А. Цырук // Промышленная энергетика. – 2015. – № 5. – С. 2-8.
101. Никифоров, Г.В. Энергосбережение и управление энергопотреблением в металлургическом производстве. / Г.В. Никифоров, В.К. Олейников, Б.И. Заславец. – М.: Энергоатомиздат, 2003. – 480 с.
102. Никифоров, Г.В. Энергосберегающее управление электропотреблением металлургического предприятия [Текст] / Г.В. Никифоров, В.К. Олейников, Б.И. Заславец, А.Н. Шеметов // Главный энергетик. – 2014. – № 5. – С. 14-23.
103. Никифоров Г.В., Олейников В.К., Заславец Б.И., Шеметов А.Н. Управление режимами энергопотребления промышленного предприятия с

- использованием современных информационных технологий [Текст] / Г.В. 148
- Никифоров, В.К. Олейников, Б.И. Заславец, А.Н. Шеметов // Электрооборудование: эксплуатация и ремонт. – 2014. – № 2. – С. 12-21.
104. Нифонтов, И.Н. Ранговые оценки электропотребления промышленных предприятий [Текст] / И.Н. Нифонтов, М.Г. Ошурков, О.Е. Лагуткин // Электрика. 2003. – № 12. – С. 18-22.
105. Новиков, Д.А. Механизмы функционирования многоуровневых организационных систем / Д.А. Новиков. – М.: Фонд «Проблемы управления», 1999. – 161 с.
106. Новиков, Д.А. Типология задач управления организационными структурами / Д.А. Новиков // Материалы международной научной конференции «Современные сложные системы управления». – Старый Оскол: СТИ, 27-29 ноября 2002. – С. 110-115.
107. Новиков, С.С. Оперативное прогнозирование электропотребления металлургического предприятия как средство снижения рыночных рисков [Текст] / С.С. Новиков // Вестник МЭИ. – 2008. – № 1. – С. 91-97.
108. Олейников, В.К. Нормирование энергозатрат при многономенклатурном производстве [Текст] / В.К. Олейников, Г.В. Никифоров // Промышленная энергетика. – 2000. – № 6. – С. 30-32.
109. Поляхов, Н.Д. Оценка эффективности интеллектуальных и классических моделей краткосрочного прогнозирования электропотребления [Текст] / Н.Д. Поляхов, И.А. Приходько, Е.С. Анушина, В. Ефэн // Естественные и технические науки. – 2011. – №3. – С. 304-309.
110. Поляхов, Н.Д. Повышение точности прогнозирования на основе метода опорных векторов [Текст] / Н.Д. Поляхов, И.А. Приходько, В. Ефэн, Д.В. Ли. // Известия СПбГЭТУ «ЛЭТИ», Сер. «Автоматизация и управление». – 2012. – № 7. – С. 64-68.
111. Праховник А.В., Находов В.Ф. Проблеми, методи і засоби управління використанням електричної енергії [Текст] / А.В. Праховник, В.Ф. Находов // Наукові вісті НТУУ "КПІ". – 1997. – С. 41-48.
- 149
112. Праховник А.В. Энергосберегающие режимы энергоснабжения горнодобывающих предприятий / А.В. Праховник, В.П. Розен, В.В. Дегтярев. – М.: Недра, 1985. – 230 с.
113. Родина, Л.С. Моделирование режимов электропотребления предприятий транспорта нефти [Текст] / Л.С. Родина, Н.В. Токочакова, Ю.Н. Колесник // Вестник МЭИ. – 2002. – № 3.1. С. 71-74.
114. Родина, Л.С. Моделирование электропотребления участков нефтепровода с учетом состава насосных агрегатов [Текст] / Л.С. Родина, Н.В. Токочакова, Ю.Н. Колесник, С.И. Половинко // Вестник МЭИ. – 2005. – № 2. – С. 61-65.
115. Родина, Л.С. Структурные закономерности суточного электропотребления энергосистемы [Текст] / Л.С. Родина, Н.В. Токочакова, В.Н. Токочаков // Промышленная энергетика. – 1996. – № 11. – С. 26-28.
116. Саитбаталова, Р.С. Некоторые вопросы проектирования электроснабжения производств с непрерывным технологическим процессом [Текст] / Р.С. Саитбаталова, С.Р. Ильдирияков // Энергобезопасность и энергосбережение. – 2016. – № 4 (70). – С. 14-16
117. Саитбаталова, Р.С. Некоторые вопросы составления и анализа электробаланса на промышленных предприятиях [Текст] / Р.С. Саитбаталова, Р.У. Галеева // Промышленная энергетика. – 1996. – № 5. – С. 2-3.
118. Саитбаталова, Р.С. Оперативное прогнозирование режима электропотребления [Текст] / Р.С. Саитбаталова, Е.И. Грачева, В.А. Хатанов // Промышленная энергетика. – 2000. – № 6. – С. 27-29.
119. Саитбаталова, Р.С. Статистическая оценка фактического удельного расхода электроэнергии на выпуск продукции [Текст] / Р.С. Саитбаталова, Р.У. Галеева, Филиппов Н. А. // Промышленная энергетика. – 2002. – № 12. – С. 29-30.
120. Славгородский, В.Б. Влияние сезонного изменения температуры на электропотребление Магнитогорского металлургического комбината [Текст] / 150
- В.Б. Славгородский, В.П. Прудаев, Ю.П. Коваленко // Промышленная энергетика. ♦♦♦ 1998. – № 12. – С. 12-17.
121. Солодовникова В.В. Автоматизированная система управления и регистрации параметров нанесения защитных покрытий на соединительные детали трубопроводов [Текст] / В.В. Солодовникова, А.А. Филимонова // Научные исследования: от теории к практике. Материалы международной научно-практической конференции. – Чебоксары, 2014. – С. 267-268.
122. Стоянов, С.Д. Участие быстроменяющихся электрических нагрузок в графиках нагрузок промышленных предприятий [Текст] / С.Д. Стоянов, Х.С. Богданов // Промышленная энергетика. – 1994. – № 3. – С. 42-46.
123. Суднова, В.В. Повышение качества планирования электропотребления на основе статистического анализа [Текст] / В.В. Суднова, А.Е. Якимов // Электричество. – 1992. – № 5.1. – С. 12-16.
124. Сушков, В.В. Оптимизация электропотребления нефтедобывающих предприятий [Текст] / В.В. Сушков, А.Д. Гельд // Промышленная энергетика. – 1998. – № 8. – С. 12-14.
125. Тихонов, Э.Е. Методы прогнозирования в условиях рынка: Учебное

пособие / Э.Е. Тихонов. – Невинномысск, 2006. – 211 с.

126. Усихин, В.Н. О нормировании и планировании электропотребления на промышленных предприятиях [Текст] / В.Н. Усихин // Промышленная энергетика. – 1997. – № 4. – С. 30-37.

127. Федотов, А.И. Нормирование электропотребления на основе математического моделирования [Текст] / А.И. Федоров, Г.В. Вагапов // Известия вузов. Проблемы энергетика. – 2008. – № 9-10. – С. 130-133.

128. Филимонова, А.А. Многоуровневое планирование и управление электропотреблением металлургического предприятия [Текст] / А.А. Филимонова // Автоматизация и управление промышленными предприятиями: доклады научно-технической конференции всероссийского форума «Информационное общество-2015: вызовы и задачи». – Челябинск: Издательский центр ЮУрГУ, 2015. – С. 91-100.

151

129. Филимонова, А.А. Метод построения оптимальных графиков электропотребления [Текст] / А.А. Филимонова // Наука ЮУрГУ: материалы 66-й научной конференции. Секции технических наук. – Челябинск: Издательский центр ЮУрГУ – 2014. – С. 651-656.

130. Филиппов, С.Г. Ценологический подход к нормированию и прогнозированию электропотребления [Текст] / С.Г. Филиппов // Электрика. – 2004. – № 7. – С. 18-21.

131. Фокин, Ю.А. Вероятностно-статистические методы в расчетах систем электроснабжения / Ю.А. Фокин. – М.: Энергоатомиздат, 1985. – 240 с.

132. Фокин, Ю.А. Формальные приемы выбора метода прогнозирования режимов электропотребления объектов ЭЭС [Текст] / Ю.А. Фокин, С.В. Минаков // Вестник ЭЭИ. – 2001. – № 1. – С. 9-15.

133. Фокин, Ю.А. Экспериментальное исследование вероятностно-статистических характеристик нагрузок в электро-снабжающей системе [Текст] / Ю.А. Фокин, И.С. Пономаренко, В.С. Павликов // Электричество. – 1983. – № 9. – С. 9-15.

134. Федорова, М.Ю. Гибкие энергоэффективные компенсированные системы электроснабжения удаленных потребителей электрической энергии нефтегазодобывающего комплекса [Текст] / М.Ю. Федорова, Ю.И. Хохлов // Наука ЮУрГУ Материалы 63-й научной конференции. Сер. «Секции технических наук». – 2011. – С. 253-257.

135. Федорова, М.Ю. Повышение энергоэффективности и разработка дизайна систем электроснабжения удаленных буровых установок нефтегазодобывающего комплекса [Текст] / М.Ю. Федорова, Ю.И. Хохлов, А.В. Хлопова // Вестник Южно-Уральского государственного университета. Серия: Энергетика. – 2012. – № 16 (275). – С. 42-46.

136. Хохлов Ю.И. Энергосберегающая энергетическая электроника в системах электроснабжения: учебное пособие / Ю.И. Хохлов. – М- во образования и науки Российской Федерации, Федеральное агентство по

152

образованию, Южно-Уральский гос. ун-т, Каф. "Системы электроснабжения". Челябинск, 2006. – 249 с.

137. Хорьков, С.А. Методики составления баланса и расчета рангового распределения норм электропотребления многономенклатурного производства [Текст] / С.А. Хорьков // Промышленная энергетика. – 2007. – №10. – С. 23-27.

138. Цвиркун, А.Д. Основы синтеза структуры сложных систем / А.Д. Цвиркун. – М.: Наука, 1982. – 200 с.

139. Цвиркун, А.Д. Структура сложных систем / А.Д. Цвиркун. – М.: Радио и связь, 1975. – 200 с.

140. Цвиркун А.Д. Структура многоуровневых и крупномасштабных систем / А.Д. Цвиркун, В.К. Акинфиев. – М.: Наука, 1993. – 157 с.

141. Четыркин, Е.М. Статистические методы прогнозирования / Е.М. Четыркин. – М.: Финансы и статистика, 1979. – 199 с.

142. Шеметов, А.Н. Адаптивное управление режимами электропотребления промышленного объекта по комплексному критерию [Текст] / А.Н. Шеметов, В.К. Олейников // Главный энергетик. – 2014. – № 4. – С. 30-37.

143. Шумилова, Г.П. Краткосрочное прогнозирование электрических нагрузок с использованием искусственных нейронных сетей [Текст] / Г.П. Шумилова, Н.Э. Готман, Т.Б. Старцева // Электричество. – 1999. – № 10. – С. 6-12.

144. Шумилова, Г.П. Модель суточного прогнозирования нагрузок ЭЭС с использованием нечетких нейронных сетей [Текст] / Г.П. Шумилова, Н.Э. Готман, Т.Б. Старцева // Известия Академии наук. Энергетика. – 2001. – № 4. – С. 52-59.

145. Южанников, А.Ю. Ценологическое моделирование электропотребления предприятий АПК [Текст] / А.Ю. Южанников, Н.В. Цугленок // Вестник ЮУрГУ. Энергетика. – 2009. – № 34 (167). – С. 5259.

153

ПРИЛОЖЕНИЕ

Акт внедрения результатов диссертационной работы

154