Министерство науки и высшего образования Российской Федерации

**Федеральное государственное бюджетное образовательное учреждение
высшего образования**

«Сибирский государственный индустриальный университет»

ВК «Кузбасская ярмарка»

**НАУКОЕМКИЕ ТЕХНОЛОГИИ
РАЗРАБОТКИ И ИСПОЛЬЗОВАНИЯ
МИНЕРАЛЬНЫХ РЕСУРСОВ**

НАУЧНЫЙ ЖУРНАЛ

№ 10 - 2024

Главный редактор
д.т.н., проф. Фрянов В.Н.

Редакционная коллегия:
чл.-корр. РАН, д.т.н., проф. Клишин В.И., д.т.н., проф. Никитенко С.М.,
д.т.н. Павлова Л.Д. (технический редактор), д.т.н., проф. Домрачев А.Н.,
д.э.н., проф. Петрова Т.В.

Н 340 Научно-технические технологии разработки и использования минеральных ресурсов : науч. журнал / Сиб. гос. индустр. ун-т; под общей ред. В.Н. Фрянова. – Новокузнецк, 2024. - № 9. – 350 с.

Рассмотрены аспекты развития инновационных наукоёмких технологий диверсификации угольного производства и обобщены результаты научных исследований, в том числе создание роботизированных и автоматизированных угледобывающих и углеперерабатывающих предприятий, базирующиеся на использовании прорывных технологий добычи угля и метана, комплексной переработке этих продуктов в угледобывающих регионах и реализации энергетической продукции потребителям в виде тепловой и электрической энергии.

Журнал предназначен для научных и научно-технических работников, специалистов угольной промышленности, преподавателей, аспирантов и студентов вузов.

Номер подготовлен на основе материалов Международной научно-практической конференции «Научно-технические технологии разработки и использования минеральных ресурсов», проводимой в рамках специализированной выставки технологий горных разработок «Уголь России и Майнинг» (Новокузнецк, 4-7 июня 2024 г.).

Основан в 2015 г.
Выходит 1 раз в год

Учредитель - Федеральное государственное бюджетное образовательное учреждение
высшего образования
«Сибирский государственный индустриальный университет»

УДК 622.2
ББК 33.1

СОДЕРЖАНИЕ

ГЕОТЕХНОЛОГИИ КОМПЛЕКСНОГО ОСВОЕНИЯ НЕДР	11
ПРИРОСТ КАПТИРУЕМОГО МЕТАНА ПРИ ПРЕДВАРИТЕЛЬНОЙ ДЕГАЗАЦИИ УГОЛЬНОГО ПЛАСТА МЕТОДОМ ПОИНТЕРВАЛЬНОГО ГИДРОРАЗРЫВА	13
чл.-корр. РАН Клишин В.И., к.т.н. Опрук Г.Ю., Связев С.И.....	13
Федеральный исследовательский центр угля и углехимии СО РАН, г. Кемерово, Россия.....	13
СТРАТЕГИЯ ДОЛГОСРОЧНОГО ТЕХНОЛОГИЧЕСКОГО РАЗВИТИЯ УГОЛЬНОЙ ОТРАСЛИ КУЗБАССА	19
¹ чл.-корр. РАН Клишин В.И., ² д.т.н. Рогова Т.Б., ¹ д.т.н. Шаклеин С.В., ^{1,2} д.т.н. Писаренко М. В.....	19
1 – Федеральный исследовательский центр угля и углехимии СО РАН, г. Кемерово, Россия.....	19
2 – Кузбасский государственный технический университет им. Т.Ф. Горбачева, г. Кемерово, Россия.....	19
ТЕХНОЛОГИЧЕСКАЯ ОЦЕНКА УГОЛЬНЫХ МЕСТОРОЖДЕНИЙ КУЗБАССА	26
чл.-корр. РАН Клишин В.И., д.т.н. Федорин В.А., Татаринова О.А.....	26
Федеральный исследовательский центр угля и углехимии СО РАН, г. Кемерово, Россия.....	26
ОБЕСПЕЧЕНИЕ УСТОЙЧИВОСТИ КРОВЛИ ГОРНЫХ ВЫРАБОТОК ПРИ ДЕМОНТАЖЕ ОБОРУДОВАНИЯ В ЛАВАХ С ПРИМЕНЕНИЕМ ШАХТНЫХ СЕТОК «ГЕОШАХТ»	31
¹ Новиков Р.П., ¹ Чуков А.С., ¹ Филиппов М.С., ² д.т.н. Земсков А.Н.....	31
1 – ГК «Миаком», г. Санкт-Петербург, Россия.....	31
2 – АО «Гипроцветмет», г. Пермь, Россия.....	31
ОТКРЫТЫЕ ГОРНЫЕ РАБОТЫ НА МЕСТОРОЖДЕНИЯХ УГЛЯ В ГОРНОДОБЫВАЮЩИХ ПРОВИНЦИЯХ ТУРЦИИ ПО ДАННЫМ ДИСТАНЦИОННОГО МОНИТОРИНГА ЗЕМЛИ ИЗ КОСМОСА	34
¹ д.т.н. Зеньков И.В., ² к.т.н. Черепанов Е.В., ³ Мулюшкина А.А., ⁴ к.т.н. Нефедов Б.Н.....	34
1 – ООО «Сибирский научно-исследовательский институт горного и маркшейдерского дела», г. Красноярск, Россия.....	34
2 – Сибирский федеральный университет, г. Красноярск, Россия.....	34
3 – Сибирский государственный университет науки и технологий имени академика М.Ф. Решетнёва, г. Красноярск, Россия.....	34
4 – Федеральный исследовательский центр информационных и вычислительных технологий, г. Новосибирск, Россия.....	34
ИССЛЕДОВАНИЕ ТЕХНОЛОГИЙ ПРОИЗВОДСТВА ОТКРЫТЫХ ГОРНЫХ РАБОТ НА МЕСТОРОЖДЕНИЯХ УГЛЯ В ШТАТЕ НОВЫЙ ЮЖНЫЙ УЭЛЬС НА ТЕРРИТОРИИ АВСТРАЛИИ	38
¹ д.т.н. Зеньков И.В., ² к.т.н. Черепанов Е.В., ³ Мулюшкина А.А., ⁴ к.т.н. Нефедов Б.Н.....	38
1 – ООО «Сибирский научно-исследовательский институт горного и маркшейдерского дела», г. Красноярск, Россия.....	38
2 – Сибирский федеральный университет, г. Красноярск, Россия.....	38
3 – Сибирский государственный университет науки и технологий имени академика М.Ф. Решетнёва, г. Красноярск, Россия.....	38
4 – Федеральный исследовательский центр информационных и вычислительных технологий, г. Новосибирск, Россия.....	38
ОСОБЕННОСТИ ПРОИЗВОДСТВА ОТКРЫТЫХ ГОРНЫХ РАБОТ В УГОЛЬНЫХ КАРЬЕРАХ НА ТЕРРИТОРИИ ШТАТА КВИНСЛЕНД В АВСТРАЛИИ	42
¹ д.т.н. Зеньков И.В., ² к.т.н. Черепанов Е.В., ³ Мулюшкина А.А., ⁴ к.т.н. Нефедов Б.Н.....	42
1 – ООО «Сибирский научно-исследовательский институт горного и маркшейдерского дела», г. Красноярск, Россия.....	42
2 – Сибирский федеральный университет, г. Красноярск, Россия.....	42
3 – Сибирский государственный университет науки и технологий имени академика М.Ф. Решетнёва, г. Красноярск, Россия.....	42
4 – Федеральный исследовательский центр информационных и вычислительных технологий, г. Новосибирск, Россия.....	42
ОЦЕНКА СОСТОЯНИЯ ОТКРЫТЫХ ГОРНЫХ РАБОТ В УГОЛЬНЫХ КАРЬЕРАХ НА ТЕРРИТОРИИ РЕСПУБЛИКИ МОНГОЛИЯ	45
¹ д.т.н. Зеньков И.В., ² к.т.н. Черепанов Е.В., ³ Мулюшкина А.А., ⁴ к.т.н. Нефедов Б.Н.....	45

АВТОНОМНАЯ И ДИСТАНЦИОННО-УПРАВЛЯЕМАЯ ТЕХНИКА НА ПОДЗЕМНЫХ ГОРНЫХ РАБОТАХ.....	188
¹ д.э.н. Никитенко С.М., ¹ к.т.н. Никитенко М.С., ¹ Худоногов Д.Ю., ¹ Кизиллов С.А., ² PhD Вайс И.	188
1 – Федеральный исследовательский центр угля и углехимии СО РАН, г. Кемерово, Россия	188
2 – EEP Elektro-Elektronik Pranjic GmbH, Гельзенкирхен, Германия	188
СПОСОБ ВЗАИМОДЕЙСТВИЯ ЦИФРОВЫХ МОДЕЛЕЙ ТЕХНОЛОГИЧЕСКИХ ОБЪЕКТОВ В ВИРТУАЛЬНОЙ РЕАЛЬНОСТИ С ИХ ФИЗИЧЕСКИМИ МАКЕТАМИ	193
¹ Кизиллов С.А., ¹ к.т.н. Никитенко М.С., ¹ Худоногов Д.Ю., ² Neogi В., ¹ Верховцев Д.О.....	193
1 – Федеральный исследовательский центр угля и углехимии СО РАН, г. Кемерово, Россия	193
2 – Инженерный колледж JIS, Кальяни, Западная Бенгалия, Индия.....	193
A COMPREHENSIVE REVIEW ON ADVANCING COAL MINING THROUGH INDUSTRY 4.0 AND INDO-RUSSIA COLLABORATION.....	198
Shaw H. K., Rajak A., Chanda A., Pal M., Neogi B.	198
JIS College of Engineering, Kalyani, West Bengal, India	198
ДИСКРЕТНО-ЭЛЕМЕНТНОЕ МОДЕЛИРОВАНИЕ ТРАНСПОРТИРОВКИ ЖЕЛЕЗОРУДНОГО СЫРЬЯ ПО ПЕРЕСЫПНОМУ УЗЛУ СТАКЕРА-РЕКЛАЙМЕРА	203
к.т.н. Клишин С.В., Морев А.Э., Тимофеев Т.Т.	203
АО «Моделирование и цифровые двойники», г. Москва, Россия.....	203
ИССЛЕДОВАНИЕ ПРОЦЕССОВ ГОРЕНИЯ ПРИРОДНОГО ГАЗА С ИСПОЛЬЗОВАНИЕМ ПРОГРАММНОГО КОМПЛЕКСА T-ENERGY	209
к.т.н. Сеченов П.А., д.т.н. Рыбенко И.А.....	209
Сибирский государственный индустриальный университет, г. Новокузнецк, Россия	209
МАТЕМАТИЧЕСКАЯ ПОСТАНОВКА ЗАДАЧИ КАЛЕНДАРНОГО ПЛАНИРОВАНИЯ РЕМОНТОВ И РАБОТЫ КОНВЕРТЕРОВ СТАЛЕПЛАВИЛЬНОГО ПРОИЗВОДСТВА.....	213
Прохоров И. М., к.т.н. Турчанинов Е. Б., к.т.н. Шакиров М. К., д.т.н. Зимин А.В.....	213
Сибирский государственный индустриальный университет, г. Новокузнецк, Россия	213
ИМИТАЦИОННОЕ МОДЕЛИРОВАНИЕ ВЛИЯНИЯ ТЯГОВЫХ НАГРУЗОК НА КАЧЕСТВО ПИТАЮЩЕГО НАПРЯЖЕНИЯ НЕТЯГОВЫХ ПОТРЕБИТЕЛЕЙ В РАЙОНАХ УГЛЕДОБЫЧИ.....	217
¹ Стищенко К.П., ² Герасимук А.В., ¹ к.ф.-м.н. Хаимзон Б.Б., ¹ к.т.н. Кипервассер М.В.	217
1 – Сибирский государственный индустриальный университет, г. Новокузнецк, Россия.....	217
2 – АО «Сибирский Тяжпромэлектропроект», г. Новокузнецк, Россия	217
ХАРАКТЕРИСТИКИ СХЕМ ЧАСТОТНОГО УПРАВЛЕНИЯ МНОГОВИГАТЕЛЬНЫМ ЭЛЕКТРОПРИВОДОМ МЕХАНИЗМОВ В ГОРНОПЕРЕРАБАТЫВАЮЩЕЙ ПРОМЫШЛЕННОСТИ.....	222
Александров Н.А., Жданов Е.В., к.т.н. Кипервассер М.В.	222
Сибирский государственный индустриальный университет, г. Новокузнецк, Россия	222
ПРИМЕНЕНИЕ МАШИНЫ ДВОЙНОГО ПИТАНИЯ В ЭЛЕКТРОПРИВОДЕ ШАХТНЫХ ПОДЪЕМНЫХ УСТАНОВОК.....	226
к.т.н. Поползин И.Ю.	226
Сибирский государственный индустриальный университет, г. Новокузнецк, Россия	226
ВЛИЯНИЕ ПРОВАЛОВ НАПРЯЖЕНИЯ НА РАБОТУ ЧАСТОТНЫХ ПРЕОБРАЗОВАТЕЛЕЙ В ГОРНО-МЕТАЛЛУРГИЧЕСКОЙ ПРОМЫШЛЕННОСТИ.....	230
Жданов Е.В., Александров Н.А., к.т.н. Кубарев В.А.	230
Сибирский государственный индустриальный университет, г. Новокузнецк, Россия	230
МЕТОДЫ УПРАВЛЕНИЯ МАТРИЧНЫМ ПРЕОБРАЗОВАТЕЛЕМ ЧАСТОТЫ.....	233
Петрущенко А.Ю.....	233
Сибирский государственный индустриальный университет, г. Новокузнецк, Россия	233
РАЗРАБОТКА ИМИТАЦИОННОЙ МОДЕЛИ СИСТЕМЫ ЭЛЕКТРОСНАБЖЕНИЯ УГОЛЬНОЙ ШАХТЫ.....	238
к.т.н. Кузнецова Е.С., Богдановская Т.В., Игнатенко О.А.	238
Сибирский государственный индустриальный университет, г. Новокузнецк, Россия	238
СИСТЕМА УПРАВЛЕНИЯ ГЕНЕРАТОРА МОЩНЫХ ИМПУЛЬСА НА БАЗЕ КОНТРОЛЛЕРА	243
Кузнецова Е.С., Арбузов И.С.	243
Сибирский государственный индустриальный университет, г. Новокузнецк, Россия	243

9. Сеченов П.А. Сравнение быстродействия численных методов Гаусса и LUP-разложения в задаче нахождения равновесного химического состава // Вестник Воронежского государственного технического университета. – 2023. – Т. 19. – № 2. – С. 79-85.

УДК 519.876.2

МАТЕМАТИЧЕСКАЯ ПОСТАНОВКА ЗАДАЧИ КАЛЕНДАРНОГО ПЛАНИРОВАНИЯ РЕМОНТОВ И РАБОТЫ КОНВЕРТЕРОВ СТАЛЕПЛАВИЛЬНОГО ПРОИЗВОДСТВА

Прохоров И. М., к.т.н. Турчанинов Е. Б., к.т.н. Шакиров М. К., д.т.н. Зимин А.В.
Сибирский государственный индустриальный университет, г. Новокузнецк, Россия

Аннотация. В статье описана и приведена математическая постановка задачи согласованного планирования ремонтов и работы конвертеров сталеплавильного производства, содержащего два цеха с, соответственно, двумя и тремя конвертерами.

Ключевые слова: сталеплавильное производство, конверторный цех, календарное планирование ремонтов, длительность кампании конвертера, постановка задачи, декомпозиция.

Особенность задачи планирования времени выполнения ремонта конвертера состоит в том, что задача определения времени ремонта конвертера решается одновременно с построением календарного плана работы металлургического агрегата. Как правило, при планировании ремонтов других агрегатов график ремонта является частью исходных данных для календарного планирования их работы [1-4]. Отличие обусловлено тем, что конвертер останавливают на ремонт после того, как количество выпущенных им плавок достигает заданного значения, называемого нормативной длительностью кампании конвертера. Время достижения нормативной длительности определяется календарным планом работы конвертера.

Основные понятия, обозначения и постановка задачи. Обозначим через $O = \{O_I, O_{II}\}$ сталеплавильное производство, включающее два цеха. Причем $O_I = \{o_1, o_2, o_3\}$ и $O_{II} = \{o_4, o_5\}$, то есть в первом цехе имеется три конвертера, а во втором – два. В качестве интервала планирования работы и ремонтов конвертеров определим месяц $(0, T) = (\Delta t_s | s = \overline{1, S})$, S – количество суток в месяце. Последовательностью $(g^{ex}(\Delta t_s) | s = \overline{1, S})$, $\sum_{s=1}^S g^{ex}(\Delta t_s) = G_T^{ex}$, опишем ежесуточное поступление жидкого чугуна из доменного производства для производства стали.

Пусть $G(O_I), G(O_{II})$ – плановое производство стали цехов в текущем периоде $(0, T)$, $g(O_I)$ и $g(O_{II})$ – объемы выпуска стали за один цикл конвертерами первого и второго цехов, ρ_I, ρ_{II} – расходные коэффициенты на чугун для выплавки тонны стали в соответствующих цехах, K_I и K_{II} – нормативные значения длительностей кампаний конвертеров первого и второго цеха, $\{T_r(o_i) | i = \overline{1, 5}\}$ – искомые планируемые периоды ремонтов конвертеров в цехах O_I, O_{II} , где $T_r(o_i) = (\Delta t_{s_r}(o_i) | r = \overline{1, r_i})$, r_i – длительность ремонта i -го конвертера в сутках.

Заметим, что рыночные условия привели к сопоставимости цен на металлолом с себестоимостью производства чугуна. Вследствие этого коэффициенты ρ_I, ρ_{II} расхода чугуна на тонну стали перестали рассматриваться в качестве констант, а получили интервальную оценку:

$$\begin{aligned} \rho_I &\in (\rho_I^{\min}, \rho_I^{\max}), \\ \rho_{II} &\in (\rho_{II}^{\min}, \rho_{II}^{\max}). \end{aligned} \quad (1)$$

Это обстоятельство также создало условия для ограниченного управления объемом чугуна, перерабатываемого конвертером.

Благодаря совершенствованию технологии конвертерного производства (внедрению внепечной обработки стали, оперативной оценки текущего состояния конвертера, организации периодических горячих ремонтов между очередными холодными) длительность кампании конвертера существенно увеличилась и сегодня достигает 6000 тысяч плавов. Сократилось общее число холодных ремонтов конвертера, но и появились условия для управления длительностью кампании конвертера в пределах, ограниченными интервалами:

$$\begin{aligned} K_I &= (K_I^{\min}, K_I^{\max}), \\ K_{II} &= (K_{II}^{\min}, K_{II}^{\max}). \end{aligned} \quad (2)$$

Кроме того, различные поставщики специализированных материалов для горячих ремонтов гарантируют различные длительности кампаний конвертеров (устоявшимся термином стал термин «гарантированная стойкость конвертера»). Величина длительности кампании (2) стала относиться к конкретному поставщику, с которым заключается контракт.

Существенно изменилось представление о длительности холодного ремонта, под которым изначально понималось период времени замены футеровки конвертера. Сегодня часто совмещают холодный ремонт конвертера с ремонтами смежного оборудования и ремонтами других металлургических агрегатов. Вследствие этого длительность останковки конвертера на ремонт может превышать длительность текущего планового периода.

Далее, если не оговорено специально, будем исходить из того, что оценки введенных параметров носят точечный, а не интервальный характер.

Обозначим через $m_k(\Delta t_s)$, $m_I(\Delta t_s)$, $m_{II}(\Delta t_s)$, $m_O(\Delta t_s)$, соответственно, количество плавов выпускаемых конвертером k, цехом O_I, цехом O_{II}, производством O в сутки Δt_s . Очевидно, что

$$\begin{aligned} \sum_{k=1}^3 m_k(\Delta t_s) &= m_I(\Delta t_s); \\ \sum_{k=4}^5 m_k(\Delta t_s) &= m_{II}(\Delta t_s); \\ m_I(\Delta t_s) + m_{II}(\Delta t_s) &= m_O(\Delta t_s). \end{aligned} \quad (3)$$

Под календарным планом работы k-го конвертера будем понимать последовательность

$$(m_k(\Delta t_s) | s = \overline{1, S}). \quad (4)$$

Обозначим через $k_i^0, i = \overline{1, 5}$ и $k_i^T, i = \overline{1, 5}$ количество плавов, выпущенных соответствующими конвертерами на начало и, соответственно, на конец планового периода (0, T). Общее количество плавов $k_i(s)$, выпущенных конвертерами на конец s-ых суток должно удовлетворять ограничениям

$$k_i(s) = \begin{cases} k_i^0 + \sum_{l=1}^s m_l(\Delta t_s) \leq K_{II}, s = \overline{1, s(K_{II})} \\ 0, s = s(K_{II}), s(K_{II}) + r_i \\ \sum_{l=1}^s m_l(\Delta t_s) \leq K_{II}, s > s(K_{II}) + r_i \end{cases}, i = \overline{1, 5} \quad (5)$$

Нелинейная целочисленная функция $k_i(s)$ имеет «пилообразный» вид, максимальное значение ее равно K_{II} . Достигает она максимума в те сутки $s(K_{II})$, когда количество плавов, выплавленных конвертером, становится равным длительности кампании K_{II} , причем основание «зуба пилы» является переменным и зависит от количества плавов, выпускаемых конвертером в каждые сутки межремонтного периода. Во время ремонта конвертера значение функции $k_i(s)$ равно 0.

На совместную работу конвертеров в цехах накладываются технологические ограничения, определяющие диапазон изменения числа плавов в сутки в каждом цехе при одном или двух одновременно работающих конвертерах:

$$\underline{m}_I^1 \leq m_k(\Delta t_s) \leq \overline{m}_I^1, \quad o_k \in O_1, \quad (6)$$

$$\underline{m}_{II}^1 \leq m_k(\Delta t_s) \leq \overline{m}_{II}^1, \quad o_k \in O_2, \quad (7)$$

$$\begin{aligned} 2\underline{m}_I^1 &\leq (m_k(\Delta t_s) + m_{k'}(\Delta t_s)), \\ (m_k(\Delta t_s) + m_{k'}(\Delta t_s)) &\leq \overline{2m}_I^1, \\ o_k, o_{k'} &\in O_1; \end{aligned} \quad (8)$$

$$\begin{aligned} 2\underline{m}_{II}^1 &\leq (m_k(\Delta t_s) + m_{k'}(\Delta t_s)), \\ (m_k(\Delta t_s) + m_{k'}(\Delta t_s)) &\leq \overline{2m}_{II}^1, \\ o_k, o_{k'} &\in O_2. \end{aligned} \quad (9)$$

Здесь $\underline{m}_I^1, \overline{m}_I^1, \underline{m}_{II}^1, \overline{m}_{II}^1, 2\underline{m}_I^1, \overline{2m}_I^1, 2\underline{m}_{II}^1, \overline{2m}_{II}^1$ соответственно, минимальное и максимальное количество плавов, выпускаемых в первом и втором цехе при работе одним конвертером, а также минимальное и максимальное количество плавов, выпускаемых в цехах при работе двумя конвертерами. Работа тремя конвертерами в первом цехе технологически не реализуема.

Система организации ремонтов в сталеплавильном производстве не допускает одновременного выполнения в цехе ремонта более одного конвертера:

$$\begin{aligned} \bigcap_{i=1}^3 T_r(o_i) &= \emptyset, \\ \bigcap_{i=4}^5 T_r(o_i) &= \emptyset. \end{aligned} \quad (10)$$

Кроме того, каждый цех должен выполнить производственный план

$$\begin{aligned} \sum_{k=1}^3 m_k(\Delta t_s)g(o_I) &= G(O_I), \\ \sum_{k=4}^5 m_k(\Delta t_s)g(o_{II}) &= G(O_{II}). \end{aligned} \quad (11)$$

Работа и ремонты конвертеров должны быть организованы так, чтобы в каждые сутки планового периода перерабатывался весь поступающий в миксерах жидкий чугун:

$$\begin{aligned} &\sum_{k=1}^3 m_k(\Delta t_s)g(o_I)\rho_I + \\ &+ \sum_{k=4}^5 m_k(\Delta t_s)g(o_{II})\rho_{II} = \\ &= g^{BX}(\Delta t_s), \quad s = \overline{1, S}. \end{aligned} \quad (12)$$

Каждый конвертер в каждый интервал времени Δt_s может находиться в одном из трех возможных технологических состояний: режим работа – «wr», режим ремонта – «rm», режим горячего резерва – «rz». Для состояний «ремонт» и «горячий резерв» имеют место соотношения

$$\begin{aligned} m_k(\Delta t_s | rm) &= 0, \\ m_k(\Delta t_s | rz) &= 0, \quad k=\overline{1,5}. \end{aligned} \quad (13)$$

Введем понятия текущей оперативной мощности конвертора, цеха и сталеплавильного производства, определяемые как количество плавок, которые может выплавить конвертер, цех и производство в целом до окончания длительностей кампаний соответствующих конвертеров

$$\begin{aligned} \mu(o_i) &= \Delta k_i(s) = K_I - k_i(s), \quad i=\overline{1,3}, \\ \mu(o_i) &= \Delta k_i(s) = K_{II} - k_i(s), \quad i=\overline{4,5}; \end{aligned} \quad (14)$$

$$\begin{aligned} \mu(O_I) &= \sum_{i=1}^3 \Delta k_i(s), \\ \mu(O_{II}) &= \sum_{i=4}^5 \Delta k_i(s); \end{aligned} \quad (15)$$

$$\mu(O) = \sum_{i=1}^3 \Delta k_i(s) + \sum_{i=4}^5 \Delta k_i(s); \quad (16)$$

Планирование ремонтов и работы конвертеров в текущем плановом периоде целесообразно ориентировать на максимально возможную оперативную мощность сталеплавильного производства на конец планируемого периода с тем, чтобы обеспечить способность производства выполнить очередное плановое задание.

Задача планирования ремонтов и работы конвертеров сталеплавильного производства в текущем плановом периоде состоит в определении таких

$$T_r(o_i) = (\Delta t_{sr}(o_i) | r = \overline{1, r_i}), \quad i=\overline{1,5}; \quad (15)$$

$$(m_k(\Delta t_s) | s = \overline{1, S}), \quad k=\overline{1,5}; \quad (16)$$

которые удовлетворяют ограничениям (3) – (13) и максимизируют критерий

$$\mu(O) = \sum_{i=1}^3 \Delta k_i(S) + \sum_{i=4}^5 \Delta k_i(S). \quad (17)$$

Очевидно, ремонт конвертера o_i в цехе может быть выполнен только в интервале времени $T_r(o_i) = (\Delta t_{sr}(o_i) | r = \overline{1, r_i})$ таком, что для всех $\Delta t_{sr}(o_i), r = \overline{1, r_i}$ выполняются неравенства:

$$\underline{m}_I^1 \leq m_I(\Delta t_{sr}) \leq \overline{m}_I^1, \quad o_i \in O_I, \quad (18)$$

$$\underline{m}_{II}^1 \leq m_{II}(\Delta t_{sr}) \leq \overline{m}_{II}^1, \quad o_i \in O_{II}. \quad (19)$$

Вывод. Принципы декомпозиции, схема разложения сформулированной задачи, алгоритмы решения отдельных подзадач и задачи композиции решений подзадач будут составлять предмет дальнейших исследований авторов.

Список литературы

1. Зимин В.В. Построение согласованных расписаний для производственных звеньев комплекса «сталь-прокат»: дис. ... канд. техн. наук 05.13.06. – Москва, МИСиС, 1979. – 219 с.
2. Автоматизированная система управления для металлургического завода / А.П. Копелович, М. Кнотек, А.А. Белостоцкий [и др.]. – М.: Металлургия, 1973. – 230 с.

3. Планирование дискретного производства в условиях АСУ / Под ред. В.М. Глушкова. – Киев: Техника, 1975. – 295 с.

4. Программная координация в рамках комплекса сталь-прокат. Построение агрегированного расписания для конвертерных цехов. / А.А. Кугушин, В.В. Зимин, С.М. Кулаков [и др.] // Известия вузов. Черная металлургия. – 1980. – № 8. – С. 100-106.

УДК 621.311, 621.331

ИМИТАЦИОННОЕ МОДЕЛИРОВАНИЕ ВЛИЯНИЯ ТЯГОВЫХ НАГРУЗОК НА КАЧЕСТВО ПИТАЮЩЕГО НАПРЯЖЕНИЯ НЕТЯГОВЫХ ПОТРЕБИТЕЛЕЙ В РАЙОНАХ УГЛЕДОБЫЧИ

¹Стищенко К.П., ²Герасимук А.В., ¹к.ф.-м.н. Хаимзон Б.Б., ¹к.т.н. Кипервассер М.В.

1 – Сибирский государственный индустриальный университет,

г. Новокузнецк, Россия

2 – АО «Сибирский Тяжпромэлектропроект», г. Новокузнецк, Россия

Аннотация. Выполнено моделирование тяговой подстанции с использованием среды Matlab/Simulink для анализа влияния работы полупроводниковых преобразователей электрифицированных железных дорог постоянного тока на качество электрической энергии, потребляемой нетяговыми потребителями.

Ключевые слова: гармонические искажения, полупроводниковый выпрямитель, математическая модель, качество электрической энергии, гармонический состав, пост электрической централизации.

В границах Западно-Сибирской железной дороги был зафиксирован ряд случаев ложного срабатывания защиты от нарушения чередования фаз напряжения, питающего электронное оборудование постов электрической централизации (ЭЦ) железных дорог постоянного тока. Срабатывание защиты сопровождалось переходом питания поста с основного на резервный фидер и нарушениями в работе электрической централизации. Поиск причин указанной проблемы привел к рассмотрению вопроса влияния полупроводниковых выпрямителей на качество электрической энергии в линиях электроснабжения нетяговых потребителей, к которым относятся посты электрической централизации.

По результатам выполненных замеров тока и напряжения, потребляемых постом ЭЦ и приведенных на рис. 1, было выявлено, что при увеличении тягового тока увеличивается степень несинусоидального искажения напряжения на вводной панели поста ЭЦ 0,4 кВ, что в свою очередь, и вызывает ложное срабатывание защиты.

Искажение формы кривой напряжения на шинах тяговой подстанции, и, соответственно в линиях питания нетяговых потребителей обуславливается наличием высших гармоник в составе сетевого тока выпрямительного агрегата, возникающих вследствие коммутации, т.е. короткого замыкания между вентильными плечами. Продолжительность коммутации определяется углом коммутации:

$$\gamma_m = \arccos \left(1 - 2u_k \sin \frac{\pi I_d}{m I_{\text{дном}}} \right), \quad (1)$$

где u_k – сумма напряжений короткого замыкания понизительного и преобразовательного трансформаторов тяговой подстанции; m – число пульсаций выпрямленного напряжения; I_d – тяговый ток, потребляемый локомотивом на стороне постоянного тока; $I_{\text{дном}}$ – номинальный ток нагрузки выпрямителя, равный 3150 А.