

6. **Hardson, A.** "Stress Distribution in Steel Cord Belts with Cord Plane Defects and Inlaid Repairs", Intl. Jnl. Of Bulk Solids Handling, Vol. 8, No. 4, Aug. 1988 (pp.443-446).
7. **Matuszewski P.** Condition Monitoring in BOT KWB Belchatow mine. Diploma thesis Mining Faculty (supervisor prof. W. Bartelms), Wrocław 2007.
8. Gladysiewicz L, KROL R., Condition Monitoring of idlers. 1st Conference on Mechanisation of Mining Industry, Institute of Mining Mechanisation Silesian University of Technology, 2002.
9. Arunkumar, muralirao (2010) 'Integrating simulation modeling and equipment condition diagnostics for predictive maintenance strategies- A case study'
10. **D. Beavers, D. Morrison.** Non-Linear Model for Dynamic Analysis of Conveyors [Електронний ресурс] / D. Beavers, D. Morrison, D. Rea // Sinclair Knight Merz. – Режим доступу: <http://www.skmconsulting.com/Site-Documents/Technical-Papers/Non-Linear-Model-for-dynamicanalysis.pdf>.
11. **Michael L.** Bussler President and CEO ALGOR, Inc. Pittsburgh, PA Електронний ресурс http://www.algor.com/news_pub/tech_reports/2003/beyondlinear/
12. **Хорольський І.М.** Динаміка ланцюгових систем і замкнених контурів машин неперервного транспорту [Текст] / **І.М. Хорольський.** – Л.: Вид-во держ. Ун-ту «Львівська політехніка», 1999. – 194 с.
13. Jurdziaк L., Failure analysis of textile and Steel cords belt used in KWB "Turów mine", Industrial Transport, 2002

Рукопис подано до редакції 17.03.15

УДК 662.74

Е.О. ШМЕЛЬЦЕР, магістр, В.П. ЛЯЛЮК, д-р. техн. наук, проф.,
В.П. СОКОЛОВА, И.А. ЛЯХОВА, Д.А. КАССИМ, кандидаты. техн. наук, доц.,
М.В. КОРМЕР, канд. хим. наук, доц., МетИ ГВУЗ "Криворожский национальный университета"

О ВЛИЯНИИ КАЧЕСТВА ПОДГОТОВКИ УГОЛЬНЫХ ШИХТ НА ПРОЧНОСТЬ И ГРАНСОСТАВ КОКСА

В статье для изучения влияния свойств угольной шихты на прочность кокса были рассмотрены качественные показатели коксохимического предприятия «АрселорМиттал Кривой Рог» за 2008-2012 гг. Анализируя причины снижения качества кокса можно выделить такие факторы как большое количество поставщиков угольных концентратов, неточности в выборе оптимальной степени дробления угольной шихты, из-за чего насыпная плотность шихты и доля «отошающего» класса < 0,5 мм в шихте не соответствовали оптимальным значениям при изменяющемся марочном составе шихты; низкая степень смешивания шихты после дробилок; повышенная влажность и зольность шихты, идущей на коксование; высокая колеблемость показателей качества углей и шихт. В условиях ухудшения сырьевой базы коксования и неритмичности поставки угольных концентратов на коксохимические предприятия при решении проблемы качественной подготовки шихты, поступающей на коксование, должны быть учтены следующие ключевые моменты: шихта должна поступать в углеподготовительные цеха с содержанием влаги не выше 6-7 % или необходимо принимать меры к ее сушке на коксохимических предприятиях; неременным условием является постоянное уточнение и использование в углеподготовительных цехах оптимальной степени дробления шихты, что способствует снижению суммы отошающих компонентов шихты и росту содержания витринита в ней, что улучшает спекаемость и коксумость шихты, а значит, и качество кокса; необходимым является доведение степени смешивания угольной шихты по всем ее показателям до 98-99 %, так как неравномерное их распределение в коксовой камере отрицательно сказывается на качестве кокса.

Постановка проблемы исследований и ее связь с научными и практическими задачами. В сложившихся условиях дефицита хорошо коксующихся и легкообогащаемых углей, использования в шихте для коксования углей различных бассейнов, существенно отличающихся по технологическим свойствам, и неритмичности поставки угольных концентратов на коксохимические предприятия обеспечить высокое качество кокса и стабильность его физико-механических свойств очень сложно. Ухудшения в угольной базе коксования хорошо были видны уже в середине прошлого века, когда были предложены и разработаны основные направления и способы повышения качества кокса в изменяющихся условиях с марочным составом углей [1-4]. Однако проблема совершенствования технологии подготовки углей к коксованию остается актуальной и требует повышенного внимания.

Анализ исследований и публикаций. Способность кокса выполнять функции в доменном процессе обуславливается совокупностью и уровнем его химических, физико-химических и физических свойств [5]. При этом качество кокса и его стабильность в решающей мере зависят от состава угольной шихты, эффективности ее подготовки и в меньшей мере – от режима коксования [6,7]. В связи с этим одним из первостепенных в ряду мероприятий, направленных на улучшение качественных показателей кокса, является оптимизация качества угольных шихт

путем достижения оптимальных показателей влажности, зольности, степени дробления, а также обеспечения высокой степени смешивания угольных концентратов, входящих в угольную шихту для коксования.

Постановка задач исследований. С целью определения влияния перечисленных факторов на эффективность подготовки угольной шихты и качественные показатели кокса в 2008-2012 гг. были проведены исследования в углеподготовительном цехе (УПЦ) коксохимического производства (КХП) ПАО “АрселорМиттал Кривой Рог”.

Изложение материала и результатов исследований. Используя методику и схему отбора проб угольной шихты [8] в сечении потока на транспортной ленте, провели отбор точечных проб массой 200 г для определения технических, пластометрических и петрографических параметров шихты и проб массой 16 кг для определения насыпной массы и гранулометрического состава шихты на 3-й очереди УПЦ КХП предприятия.

По результатам проведенных исследований построили графики влияния содержания классов 0-3 мм и 0-0,5 мм на насыпную массу шихты (рис. 1,2). Из анализа графиков видно, что при увеличении степени помола шихты с 71 до 92 % (рис. 1) при ее средней влажности 11,2 % насыпная масса снижается с 0,862 до 0,761 т/м³, т.е. повышение степени дробления шихты на 1 % снижает ее насыпную массу на 4,8 кг/м³, а при средней влажности шихты 5,6 % - на 3,9 кг/м³. Необходимо отметить, что при постоянной степени дробления шихты ее насыпная масса тем выше, чем ниже содержание влаги в шихте. Содержание фракции 0-0,5 мм на теоретически оптимальном уровне 32 % [9] (рис. 2), даже при влажности шихты 11,2 %, обеспечивает довольно высокое значение насыпной массы шихты 0,86 т/м³, а при содержании в шихте 35 % “отошающей” фракции 0-0,5 мм и влажности 5,6 % насыпная масса шихты равна 0,885 т/м³.

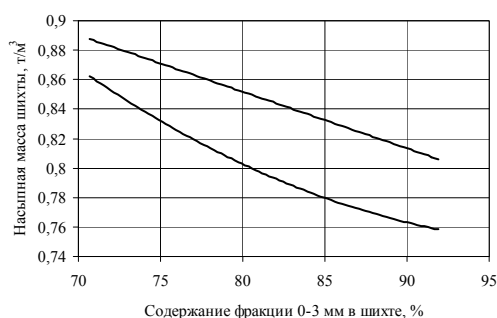


Рис. 1. Зависимость насыпной массы угольной шихты от степени ее помола (при средних значениях влажности шихты: верхняя кривая 5,6 %, нижняя – 11,2 %)

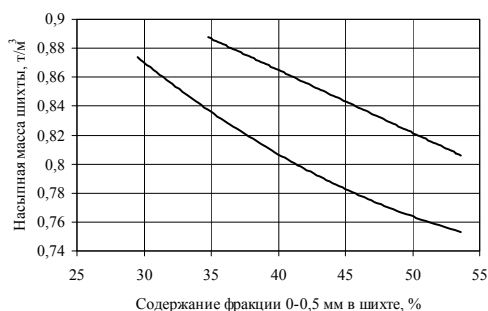


Рис. 2. Зависимость насыпной массы угольной шихты от содержания в ней фракции 0-0,5 мм при средних значениях влажности шихты: верхняя кривая 5,6 %, нижняя – 11,2 %

Переизмельчение шихты и увеличение в ней фракции 0-0,5 мм до 54 % приводит к резкому уменьшению насыпной массы шихты до 0,75 т/м³.

Ситуацию можно улучшить, если целенаправленно снизить влажность угольной шихты с 11,2 до 5,6 %, при этом насыпная масса шихты увеличится до 0,81 т/м³.

Для исследования влияния степени измельчения на гранулометрический состав кокса и его прочность проанализировали качественные характеристики угольных шихт за период 2008-2012 гг. (рис.3,4).

Можно отметить резкое снижение содержания класса 3-0 мм в шихте с 87,5 до 77,3 % с июля по декабрь 2011 г. (рис. 3), в результате насыпная плотность угольной шихты увеличилась с 0,787 до 0,816 т/м³ (рис. 4), что, в общем, привело к уменьшению крупности кокса.

При этом произошло следующее изменение гранулометрического состава кокса: выход фракций >80 и 80-60 мм снизился с 17,2 до 10,7 % и с 32,5 до 28,6 % соответственно; выход фракции 60-40 мм увеличился с 33,7 до 41 %, а фракции 40-25 мм – с 13,2 до 16 %.

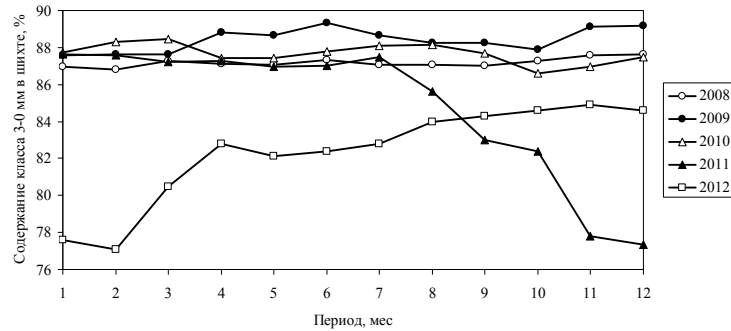


Рис. 3. Изменение содержания класса 3-0 мм в угольной шихте поступающей на 1-4 батареи КХП 2008-2012 гг.

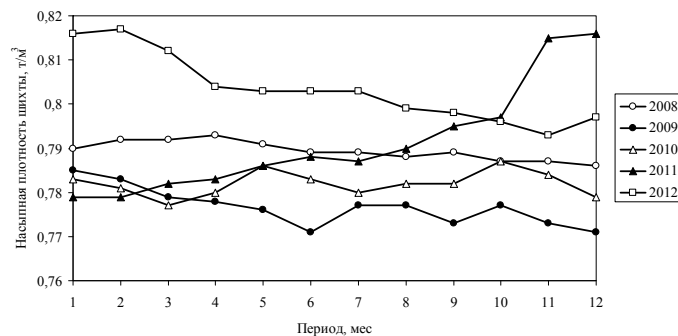


Рис. 4. Динамика изменения насыпной плотности угольной шихты, поступающей на 1-4 батареи КХП 2008-2012 гг.

Увеличение содержания класса 3-0 мм в шихте в феврале-апреле 2012 г. с 77,1 до 82,8 % (рис. 3) повлекло уменьшение насыпной плотности с 0,817 до 0,804 т/м³ (рис. 4). При этом выход фракций >80 и 80-60 мм снизился с 12,3 до 9,7 % и с 31,4 до 26,4 % соответственно; выход фракции 60-40 мм увеличился с 36,8 до 40,8 %, а фракции 40-25 мм – с 14,8 до 17,5 %. Дальнейшее повышение содержания в шихте класса 3-0 мм в мае-декабре 2012 г. с 82,1 до 84,6 % сопровождалось уменьшением насыпной плотности с 0,804 до 0,797 т/м³. В результате изменилось распределение кокса по крупности: увеличился выход фракций >80 и 80-60 мм с 82,1 до 84,6 % и с 27 до 31 % соответственно; выход фракции 60-40 мм уменьшился с 39,6 до 33,5 %, затем увеличился до 37,4 %; также изменялся выход фракции 40-25 мм с 16,2 до 12 %, а затем снизился до 12,7 %. Таким образом, при значениях насыпной плотности угольной шихты в пределах 0,804-0,817 т/м³ обеспечивалось получение более равномерного по крупности кокса.

Необходимо отметить, что колеблемость содержания класса 3-0 мм в шихте от 0,15 до 0,85 % обусловила колеблемость показателей качества кокса M₁₀ от 0,14 до 0,23 % и M₂₅ и от 0,2 до 0,45 % [10].

Исследуя методом петрографического анализа угольную шихту, отобранную до и после дробления на третьей очереди УПЦ КХП, получили следующие результаты. Петрографический состав угольной шихты до дробления: витринит (V_t) – 79,2 %, сумма фюзенизированных компонентов (отошающих компонентов) – 17,8 %. Петрографический состав угольной шихты после дробления: витринит (V_t) – 67,0 %, сумма отошающих компонентов 29,0 %. В исследуемом диапазоне содержание витринита (V_t) снижается на 12,2 %, а сумма отошающих компонентов увеличивается на 11,2 %, т.е. спекающая и коксующая способность шихты уменьшается [11].

Для подтверждения изменения петрографического состава угольной шихты при дроблении провели еще один эксперимент: отобрали шихту до дробилки на третьей очереди УПЦ КХП, тщательно ее усреднили и разделили на три части.

Одна часть шихты – базовая недробленая шихта с содержанием фракции 0-3 мм 55,5 %, и две подвергнутые измельчению на лабораторной молотковой дробилке до содержания класса 0-3 мм 75,5 и 96,2 %.

Петрографический состав трех частей угольной шихты разной степени дробления, которые получены из одной пробы, отобранной до дробилки, приведен в табл. 1.

Петрографические показатели трех проб различной степени измельчения

Показатель	Номер пробы		
	1	2	3
Содержание класса 0-3 мм	55,5	75,5	96,2
Витринит Vt, %	70	66	63
ΣОК, %	29	33	35

Полученный в данном эксперименте результат свидетельствует о том, что при увеличении степени дробления с 55,5 до 96,2 % класса 0-3 мм содержание витринита уменьшается на 7 %, а сумма отошающих компонентов увеличивается на 6 %, снижая, таким образом, спекаемость и коксуемость угольной шихты.

Оптимальную степень дробления при изменении параметров угольной шихты определяют при помощи ящичных спеканий или ряда расчетных методов, но они сложны в использовании из-за большого количества дополнительных параметров углей, которыми не всегда располагают исследовательские лаборатории коксохимических заводов [12-14].

На основании проведенных исследований мы рекомендуем [15] для оперативного определения степени измельчения в качестве критерия использовать показатель отражения витринита, значение которого изменяется в зависимости от петрографического состава углей и стадии метаморфизма. Различным маркам углей соответствуют следующие интервалы значений показателя отражения витринита (R_0), %: ДГ – 0,5-0,65; Г – 0,65-0,89; Ж – 0,9-1,19; К – 1,2-1,39; ОС – 1,4-1,69; Т – 1,7-2,59 и А – $\geq 2,6$.

Тогда оптимальная степень дробления угольной шихты, в зависимости от ее марочного состава и спекаемости, может быть определена по уравнению:

$$k = \frac{75[\Sigma(0,9 \div 1,39)Vt] + 90[\Sigma(0,5 \div 0,89)Vt + \Sigma(1,4 \div 2,6)Vt]}{100}, \% \quad (1)$$

где $(0,5 \div 2,6)Vt$ – показатели отражения витринита, соответствующие различным маркам углей.

Влияние влажности на насыпную массу шихты поступающей на батареи 1-4 КХП ПАТ “АрселорМиттал Кривой Рог” показано на рис. 5 (по батареям 5-6 зависимость аналогичная). График зависимости имеет вид параболы с минимальным значением насыпной массы при влажности 10,3 %, а рост насыпной массы происходит не за счет снижения влажности шихты, а, наоборот, за счет ее увеличения, т.е. происходит рост насыпной массы шихты за счет увеличения массы воды в шихте.

Изучая влияние влажности на распределение кокса по классам крупности, установлено, что, снижение влажности шихты с 11,9 % до 9,5 % сопровождалось уменьшением выхода класса >80 мм с 15,2 до 13,3 % и класса 80-60 мм с 27 до 26,4 %, выход класса 60-40 мм существенно не изменился, содержание класса 40-25 мм в сначала выросло с 14,8 до 19,1 %, затем снизилось до 16,5 %, выход фракции <25 мм находился в пределах 4,3-5 %. Так, уменьшение влажности шихты привело к снижению крупности кокса.

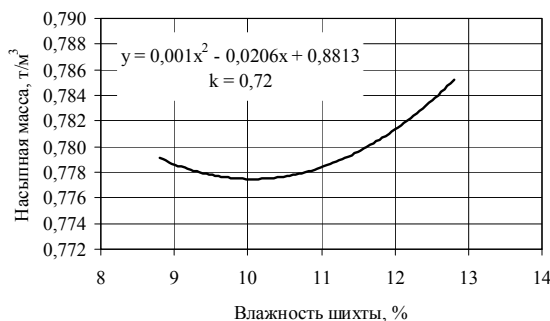


Рис. 5. Зависимость насыпной массы угольной шихты (бат. 1-4) от ее влажности при средних значениях: класса -3 мм – 88,2 %, зольности – 10,2 %, класса -0,5 мм – 46,8 %

Повышение влажности привело к увеличению крупности кокса за счет увеличения выхода классов >80 мм с 8,9 до 9,9 % и 80-60 мм с 22,9 до 24,2 %, выход класса 40-25 мм изменился с

19,5 до 22,2 %, уменьшился выход класса 60-40 мм с 42,1 до 41,9 %, выход класса <25 мм находился в пределах 5,5-5,8 %.

Влияние влажности шихты и ее колебаний отражается также на прочности кокса. Так, снижение ее содержания в шихте с 11,4 до 6,6 % привело к повышению насыпной массы шихты с 0,774 до 0,792 т/м³ и улучшению качества кокса по показателям M₂₅ с 83,0 до 88,6 %, M₁₀ с 8,6 до 7,2 %. При увеличении влажности в среднем с 7,3 до 8,7 % показатель прочности кокса M₂₅ стал резко падать с 88,0 до 84,5 %, а показатель истираемости M₁₀ вырос с 7,3 до 8,0 %. Это связано с влиянием содержания влаги в шихте и ее колебаний на тепловой режим коксования и изменение градиента усадок шихты при ее коксовании.

Влияние зольности шихты на ситовый состав кокса обусловлено тем, что частички минеральных включений отличаются от угля по коэффициентам термического расширения, не спекаются и ослабляют участки в кусках кокса, что приводит к увеличению очагов трещинообразования. Согласно анализа данных, было установлено, что увеличение зольности шихты на 1,3 % сопровождалось увеличением выходов класса >80 мм на 9,7 %, класса 80-60 мм на 1,2 %, класса <25 мм на 1,5 %, уменьшением выходов класса 60-40 мм на 8,5 % и класса 40-25 мм на 4 %. Уменьшение зольности шихты с 10,5 % до 9,7 % привело к уменьшению доли класса >80 мм с 15,2 до 11,5 %, класса 80-60 мм – с 26,8 до 24,9 %, при этом возрос выход наиболее ценных классов 60-40 мм и 40-25 мм с 38,9 до 41,7 % и с 14,8 до 19,1 % соответственно.

Еще одним аспектом влияния на качество подготовки угольной шихты является степень ее смешивания. На КХП в силоса закрытого склада поступает до 15 марок угольных концентратов, что значительно превышает оптимальный уровень как с позиций теории, так и технологии коксового производства. Степень смешивания шихты на 3-й очереди УПЦ, рассчитанная по выходу летучих веществ, получилась равной 86,3 %, что далеко от оптимальной, экономически оправданной степени ее смешения 97-98 % [16]. Степень смешивания шихты, определяемая по колебаниям ее влаги составила 76,2 %. Еще более низкое значение – 45 % получили для еще одного показателя технического состава шихты – содержания золы, и только степень смешивания по показателю содержания серы была высокой – 94,7 %, что объясняется незначительным колебанием содержания серы в угольной шихте.

Однако самая низкая степень смешивания шихты – 20,3 % получилась для “отошающего” класса 0-0,5 мм из-за того, что количество этого класса в шихте УПЦ очень высоко 46-49 % и он очень неравномерно распределяется в шихте, а, как известно, содержание этого класса также оказывает значительное влияние на насыпную массу шихты и качество кокса. Степень смешения шихты по показателям ее петрографического состава для витринита и суммы отошающих компонентов, составила, соответственно 89,7 и 88,2 %, что также недостаточно для оптимальной, экономически оправданной степени смешивания, т.е. шихта нуждается в дополнительном смешивании перед подачей ее в коксовую камеру.

Выводы: В условиях ухудшения сырьевой базы коксования и неритмичности поставки угольных концентратов на коксохимические предприятия при решении проблемы качественной подготовки шихты, поступающей на коксование, должны быть учтены следующие ключевые моменты: шихта должна поступать в углеподготовительные цеха коксохимических предприятий с содержанием влаги не выше 6-7 %; неременным условием является постоянное уточнение и использование в углеподготовительных цехах оптимальной степени дробления шихты, что способствует снижению суммы отошающих компонентов шихты и росту содержания витринита в ней, что улучшает спекаемость и коксуемость шихты, а значит, и качество кокса; необходимым является доведение степени смешивания угольной шихты по всем ее показателям до 98-99 %.

Список литературы

1. **Сысков К.И.** Теоретические основы оценки и улучшения качества кокса / **К.И. Сысков.** – М.: Металлургия. – 1984. – 184 с.
2. **Гофман М.В.** Прикладная химия твердого топлива / **М.В. Гофман.** – М.: Металлургиздат, 1963. – 597 с.
3. **Агроскин А.А.** Расширение угольной базы коксования / **А.А. Агроскин, А.К. Шелков.** – М.: Металлургия, 1962. – 302 с.
4. **Агроскин А.А.** Физические свойства углей / **А.А. Агроскин.** – М.: Металлургия, 1961. – 308 с.
5. **Мениович Б.И.** Повышение эффективности процесса слоевого коксования / **Б.И. Мениович, С.И. Пинчук, А.Г. Дюканов.** – К: Техніка, 1985. – 229 с.

6. Беркутов И.К. О взаимосвязи качества кокса с основными технологическими показателями доменной плавки / И.К. Беркутов, Ю.В. Степанов, Н.К. Попова, Ю.П. Петренко, В.В. Белов // Сталь. – 2007. – №5. – С. 10-12.
7. Степанов Ю.В. Теория и практика шихтовки в современных условиях / Ю.В. Степанов, Н.К. Попова, Л.А. Махортова // Кокс и химия. – 2005. – №7. – С.6-10.
8. Мучник Д.А. О методе оценки эффективности работы смесительных машин / Д.А. Мучник Д.А. // Кокс и химия. – 1962. – №9. – С. 11-15.
9. Сухоруков В.И. Научные основы и совершенствование подготовки и коксования углей / В.И. Сухоруков // Кокс и химия. – 1992. – №12. – С. 2-5.
10. Лялюк В.П. Стабильность качества кося для доменной плавки / В.П. Лялюк, В.П. Соколова, И.А. Ляхова и др. // Кокс и химия. – 2012. – № 8. – С. 19-24.
11. Лялюк В.П. Организация рационального дробления угольной шихты – путь к повышению качества кокса для доменной плавки / В.П. Лялюк, В.А. Шеремет, А.В. Кекух и др. // Металлургическая и горнорудная промышленность. – 2010. – №2. – С. 48-52.
12. Мексин В.Д. Оптимальная крупность углей при дифференцированном измельчении перед коксованием // В.Д. Мексин, Я.М. Обуховский, И.А. Протасеня и др. // Кокс и химия. – 1975. – №3. – С. 1-4.
13. Фомин А.П. Расчетное определение необходимой крупности дробления угольной шихты / А.П. Фомин // Кокс и химия. – 1983. – №2. – С. 7-10.
14. Фомин А.П. Определение оптимальной степени измельчения угольных шихт при подготовке их к коксованию / А.П. Фомин, Н.С. Грязнов, Е.В. Беляев и др. // Кокс и химия. – 1986. – №5. – С. 20-22.
15. Патент 85803 Україна, МПК С 10В 57/00. Спосіб підготовки вугільної шихти для коксування / Лялюк В.П., Касим Д.О., Ляхова І.А., Журавльов Ф.М., Шмельцер К.О., Свист Н.Ю. (Україна).- № 08845; заявл.15.07.2013; опубл. 25.11.2013, Бюл. № 22.
16. Зубилин И.Г. Улучшение качества кокса / И.Г. Зубилин, Л.П. Семисалов, И.М. Лазовский, В.И. Сухоруков // Кокс и химия. – 1975. – №5. – С. 54-57.

Рукопись поступила в редакцию. 16.02.15

УДК 621.316.1.-047.58

М.Л. БАРАНОВСКАЯ, канд. техн. наук, доц.,
А.С. КУЗЬМЕНКО, старший преподаватель, Криворожский национальный университет

АНАЛИЗ МАТЕМАТИЧЕСКИХ МОДЕЛЕЙ РАСПРЕДЕЛИТЕЛЬНЫХ СЕТЕЙ ПРИ ОЗЗ

Распределительные сети можно рассматривать как сети с сосредоточенными параметрами. В питающих сетях источниками питания являются трансформаторы, а потребителями - трансформаторы или электродвигатели. В распределительных сетях при однофазных замыканиях на землю (ОЗЗ) возникают перенапряжения. Известны теории перенапряжения Петерсена, Петерса и Слепяна, Белякова.

Определяющее значение на развитие процессов при ОЗЗ кроме индуктивности L , емкости фаз относительно земли C и других параметров оказывает активное сопротивление цепи тока замыкания на землю R . Выполнив эквивалентные преобразования составили рациональную схему замещения распределительной карьерной сети при ОЗЗ. В математических моделях сопротивления продольных ветвей и проводимости изоляции неповрежденных фаз можно не учитывать, поскольку уровень перенапряжений в цепи при их учете уменьшается не более 1 %.

Сопротивление изоляции не восстанавливается до первоначального уровня. Для анализа перенапряжений при ОЗЗ в распределительных сетях 6-10 кВ с изолированной нейтралью предлагается использовать простейшую трехфазную схему замещения с учетом сопротивления цепи замыкания на землю.

Проблема и ее связь с научными и практическими задачами. Небольшая протяженность распределительных сетей 6-10 кВ по сравнению с длиной волны позволяет рассматривать такие сети, как сети с сосредоточенными параметрами.

Как правило, в питающих сетях источниками питания являются трансформаторы, а потребителями - трансформаторы или электродвигатели.

При однофазных замыканиях на землю (ОЗЗ) в распределительных сетях с изолированной нейтралью возникает перемежающаяся дуга. Она вызывает сложные переходные процессы, в результате которых возникают перенапряжения.

Анализ исследований и публикаций. Известны теории перенапряжения Петерсена, Петерса и Слепяна, Белякова [1].

Эти теории дополнялись различными авторами на основании теоретических, лабораторных и данных экспериментальных исследований [12-14].