

Розрахунки програми мають п'ять стадій відповідно до алгоритму мінімізації витрат на один метр буріння:

- виконується алгоритм технологічної оптимізації;
- виконується алгоритм проходки на ПРІ;
- за допомогою даних попереднього алгоритму виконується пошук оптимального значення швидкості з економічної точки зору;
- за даними алгоритму технологічної оптимізації та економічної оптимізації виконується пошук оптимальної швидкості за критерієм мінімальної вартості одного метра буріння за рейс.

Таким чином, розроблені інформаційне і програмне забезпечення автоматизованої системи керування технологічним процесом буріння глибоких свердловин, яке відрізняється від існуючих комплексним урахуванням технічних, економічних, геофізичних, даних, дає можливість вирішувати задачу оптимального керування чотирма режимно-технологічними параметрами водночас за критерієм: «Мінімальна вартість одного метра буріння протягом рейсу». Введення в інформаційне забезпечення нового параметру – тиск промивальної рідини дає змогу точніше стабілізувати роботу системи подачі породоруйнівного інструменту на вибій, а також отримати позитивний економічний ефект за рахунок мінімізації енергетичних витрат на насос промивальної рідини.

Список літератури

1. Дудля М.А., Карпенко В.М., Гриняк О.А., Цзян Гошен. Автоматизація процесу буріння: Монографія. – Д.: Національний гірничий університет, 2005. – 207 с.
2. Diagnostyka urzadzen wiertniczych / G.G. Piwniak, M. Kaliski, A. Zieba, L.J. Mieszczerjakow, M.A. Dudla. – Krakow, Dniepropietrowsk, 2004. – 174 с.
3. Дудля М.А., Мещеряков Л.І. Діагностика та проектування бурових машин і механізмів: Навч. посібник. – Д.: Національний гірничий університет, 2004. – 268 с.
4. Мещеряков Л.И. Математические основы построения дисперсионных диагностических моделей горных электромеханических систем. Вибрации в технике и технологиях, 2002, №1(22). - с. 41–44.

*Рекомендовано до публікації д.т.н. Слесарєвим В.В.
Надійшла до редакції 20.11.10*

УДК 622.6:622.33.012.2

© А.Я. Рибалко

АНАЛИЗ ВОЗДЕЙСТВИЯ ЭФФЕКТА БЛИЗОСТИ И ПОВЕРХНОСТНОГО ЭФФЕКТА НА АКТИВНОЕ СОПРОТИВЛЕНИЕ МНОГОПРОВОЛОЧНОГО ПРОВОДА С ТРУБЧАТЫМ ПРОВОДЯЩИМ СЛОЕМ В СЕЧЕНИИ

Для многопроволочного провода с трубчатым проводящим слоем в сечении проанализированы взаимосвязи показателей конструкции, геометрических размеров, формы сечения и электрические характеристики (омическое и активное сопротивления) в тяговой сети системы электроснабжения передвижных потребителей при частоте 4 – 10 кГц. Предложены решения для исключения поверхностного эффекта и эффекта близости.

Для багатопровідного проводу з трубчастим провідним шаром в перетині проаналізовані взаємозв'язки показників конструкції, геометричних розмірів, форми перетину і електричні характеристики (омічний і активний опори) в тяговій мережі системи електропостачання пересувних споживачів при частоті 4 – 10 кГц. Запропоновані рішення для виключення поверхневого ефекту і ефекту близькості.

For the multiwire wire with the tubular conducting layer in the section the intercommunications are analysed of indexes of construction, geometrical sizes, forms of section and electric descriptions (omicheskoe and active resistances) in the hauling network of the system of elektrosnabgeniya of movable users at frequency 4 – 10 kGts. The solutions are offered for the exception of superficial effect and effect of closeness.

При передаче енергии в системах електропостачання важними факторами являються частота изменения електромагнитного поля, конструкція сечения проводів и самой тяговой сети. Так как в тяговой сети имеют место наибольшие потери энергии то задача выбора вида сечения, конструкции и размеров провода в тяговой сети для их снижения является крайне актуальной [1, 2, 3].

В условиях постоянного значения тока в сети уровень потерь энергии обуславливается в основном электрическим сопротивлением провода. Поэтому снижение роста активного сопротивления от уровня частоты может быть достигнуто изменением конструкции и формы сечения провода для исключения влияния поверхностного эффекта и эффекта близости. В виду существующего значительного превышения длины электромагнитной волны над размерами двухпроводной тяговой сети в диапазоне частот 4 – 10 кГц параметры тяговой сети анализируются как сосредоточенные [1]. При этом векторы напряженности электрического поля \vec{E} и магнитного поля \vec{H} , составляющие плоскую электромагнитную волну, зависят от одной пространственной координаты и времени, перпендикулярны друг другу и лежат в плоскости, перпендикулярной направлению распространения волны.

Требование усовершенствования индуктивной передачи энергии в системах электропостачання с передвижным потребителям при использовании на участках их питания открытых двухпроводных сетей из многопроволочного провода обуславливает необходимость анализа воздействия на активное сопротивление многопроволочного провода с трубчатым проводящим слоем в сечении эффекта близости и поверхностного эффекта. Такую конструкцию многопроволочного провода получают с проволочками, навитыми на круглый сердечник из диэлектрика – многопроволочный проводящий слой образует трубчатый проводник. Эта конструкция позволяет получить достаточной гибкости провод и снизить расход проводникового материала [2, 3]. Здесь возможны следующие варианты конструктивного выполнения провода.

Когда проволочки выполнены без изоляционного покрытия. При одинаковых сечениях проводящего слоя и сплошного сечения проявление поверхностного эффекта такое же, как при цельном проводе. Эффект близости отсутствует.

Когда проволочки проводящего слоя выполнены изолированными. Наблюдаем увеличение активного сопротивления от поверхностного эффекта, как и при сплошном сечении провода. Дополнительно проявляется эффект близости.

В оценке влияния эффекта близости руководствуемся следующим. В точке проводящего слоя трубчатого сечения на радиусе $r_{вн} \leq r \leq r_{нр}$ напряженность магнитного поля определяем по выражению (1), где полагаем $r_0 \equiv r_{нр}$.

$$\bar{H}(r) = \frac{j}{2\pi r_0} \cdot \frac{J_1\left(j^{3/2}rk\right)}{J_0\left(j^{3/2}r_0k\right)} \quad (1)$$

Количество проволочек, приходящихся на единицу площади сечения проводящего слоя, характеризуем соотношением $\frac{N}{\pi(r_{нр}^2 - r_{вн}^2)} = \frac{4p}{\pi d_{нр}^2} = k_s$, а их площадь в элементарном кольце сечением $2\pi r dr$ внутри проводящего слоя рассчитываем по формуле (2).

$$ds_{\kappa} = k_s 2\pi r dr \rightarrow ds_{\kappa} = \frac{8p}{d_{нр}^2} r dr \quad (2)$$

Прирост активного сопротивления провода трубчатого сечения определяем путем ранее проведенных преобразований [8] и интегрированием в пределах от $r_{вн} = \sqrt{r_{нр}^2 - \frac{S_0}{\pi}}$ до $r_{нр}$.

$$\frac{R_{\text{бл}}(k, r_{нр}, r_{нр})}{R_{y\partial,=}(s_0, r_{нр})} = L(kr) \cdot \int_{r_{вн}}^{r_{нр}} [ber_1^2(kr) + bei_1^2(kr)] r \cdot C_{\text{бл}}(d_{нр}, r_{нр}) \cdot dr. \quad (3)$$

Здесь $C_{\text{бл}}(d_{нр}, r_{нр})$ – коэффициент в подинтегральном выражении

$$C_{\text{бл}}(d_{нр}, r_{нр}) = \frac{1}{\left(\frac{d_{нр}}{\Delta\sqrt{2}}\right)^4} \cdot \frac{k^6 p \pi^{-1}}{\left[ber^2\left(\frac{d_{нр}}{\Delta\sqrt{2}}\right) + bei^2\left(\frac{d_{нр}}{\Delta\sqrt{2}}\right)\right] \left[ber_1^2\left(\frac{\sqrt{2}r_{нр}}{\Delta}\right) + bei_1^2\left(\frac{\sqrt{2}r_{нр}}{\Delta}\right)\right]}$$

Анализ зависимости (3) показывает (рис. 1), что с увеличением диаметра проволочки уменьшается прирост активного сопротивления провода от эффекта близости, при этом скорость уменьшения выше на больших частотах. С увеличением количества проволочек имеет место предел прироста активного сопротивления от эффекта близости. Размер предела существенно увеличивается с ростом частоты (в три раза при изменении частоты с 5 до 10 кГц. Увеличение $r_{нр}$ способствует не только уменьшению прироста активного сопротивления от эффекта близости, но и уменьшает толщину проводящего слоя провода, что снижает интенсивность тепловыделения и увеличивает габариты провода.

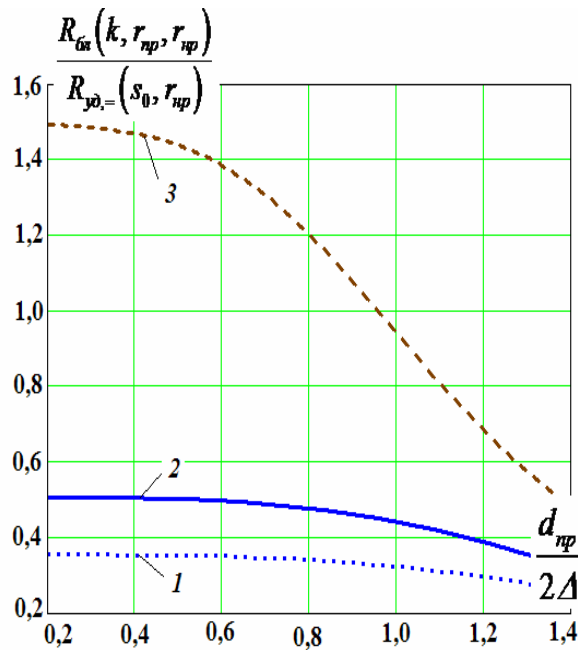


Рис. 1. Кривые зависимости прироста активного сопротивления многопроволочного провода трубчатого сечения от соотношения диаметра проволоочки и глубины проникновения электромагнитной волны при частотах 4 кГц (1), 5 кГц (2), 10 кГц (3)

Более простой вид выражения (3) можно получить путем аппроксимации его графической зависимости (с достаточной точностью, коэффициент регрессии 0,994) полиномом второй степени, т.е.

$$\frac{R_{\delta l}(k, r_{np}, r_{np})}{R_{\gamma\delta, \approx}(s_0, r_{np})} = b_0 + b_1 \frac{d_{np}}{2\Delta} + b_2 \left(\frac{d_{np}}{2\Delta}\right)^2, \quad (4)$$

где значения коэффициентов полинома сведены в таблице 2.

Таблица 2

Значения коэффициентов полинома (4)

Частота, кГц	b_0	b_1	b_2
4	0,344	0,042	- 0,041
5	0,482	0,086	- 0,076
10	1,511	0,076	- 0,153

Прирост активного сопротивления многопроволочного (проволочки изолированные) провода трубчатого сечения от поверхностного эффекта и эффекта близости в сравнении с омическим сопротивлением получаем в виде

$$R_{\gamma\delta, \approx} = \frac{1}{\gamma\pi(r_{np}^2 - r_{en}^2)p} \left[1,005 + pb_0 + (pb_1 - 0,104) \frac{d_{np}}{2\Delta} + (pb_2 + 0,148) \left(\frac{d_{np}}{2\Delta}\right)^2 - 0,011 \left(\frac{d_{np}}{2\Delta}\right)^3 \right] \quad (5)$$

Анализ зависимости (5) показывает (рис. 2), что с увеличением диаметра элементарной проволоочки активное сопротивление возрастает до точки

$C_2(3,45; 2,36)$ за счет эффекта близости, который более сильно проявляется с повышением уровня частоты, за точкой $C_2(3,45; 2,36)$ – увеличивается за счет поверхностного эффекта, где скорость прироста активного сопротивления выше на низких уровнях частоты. При использовании провода в широком диапазоне частоты для выбора конструкции можно рекомендовать соотношение параметров $d_{np}/(2\Delta) < 3,45$, где прирост активного сопротивления составляет до $2,36 R_{y\partial,=}$. Для существующей системы электроснабжения передвижных потребителей на частоте 5 кГц рационально использовать в конструкции провода тяговой сети такое соотношение параметров $d_{np}/(2\Delta) < 2,74$ (точка C_1), где прирост активного сопротивления составит до $1,97 R_{y\partial,=}$.

Для сопоставления полученных результатов проведем количественную оценку электрических характеристик провода анализированных его конструкций. Рассмотрим как исходные – параметры системы электроснабжения бесконтактных электровозов В14-900: тяговая сеть выполнена многопроволочным медным проводом (удельная проводимость $\gamma = 54,3 \frac{1}{\text{мкОм} \cdot \text{м}}$) с поперечным сечением 95 мм^2 , который имеет 360 элементарных проволок радиусом 0,29 мм, коэффициент заполнения сечения $p = 0,92$, частота тока в сети 5 кГц [4, 5, 6].

На частоте 5 кГц глубина проникновения электромагнитной волны в проводящую среду $\Delta = \sqrt{\frac{2}{\omega \gamma \mu_0 \mu_r}} = \sqrt{\frac{2}{2\pi \cdot 5000 \cdot 54,3 \cdot 4\pi \cdot 10^7 \cdot 1}} = 0,94 \text{ мм}$. Имеем соотношение $r_{np} < \Delta$.

Если элементарные проволочки с изоляционным покрытием, то радиус многопроволочного провода $r_0 = r_{np} \sqrt{\frac{N}{p}} = 0,29 \sqrt{\frac{360}{0,92}} = 5,7 \text{ мм}$; соотношение

$\frac{r_{np}}{\Delta} = \frac{0,29}{0,94} = 0,3$. Тогда активное сопротивление провода при $r_{np} < \Delta$ будет равно $1,14 R_{y\partial,=}$.

Если в многопроволочном проводе трубчатого сечения элементарные проволочки не изолированы друг от друга, то имеет место только поверхностный эффект и активное сопротивление трубчатого провода при $\frac{r_0}{\Delta} = \frac{5,5}{0,94} = 5,85$ равно $3,16 R_{y\partial,=}$. Если элементарные проволочки изолированы друг от друга, то будут проявляться поверхностный эффект и эффект близости и активное сопротивление провода при соотношении $\frac{r_{np}}{\Delta} = 0,3$ равно $1,4 R_{y\partial,=}$ (рис. 2). Использование последней конструкции многопроволочного провода дает эффект снижения потерь энергии в 2,26 раза.

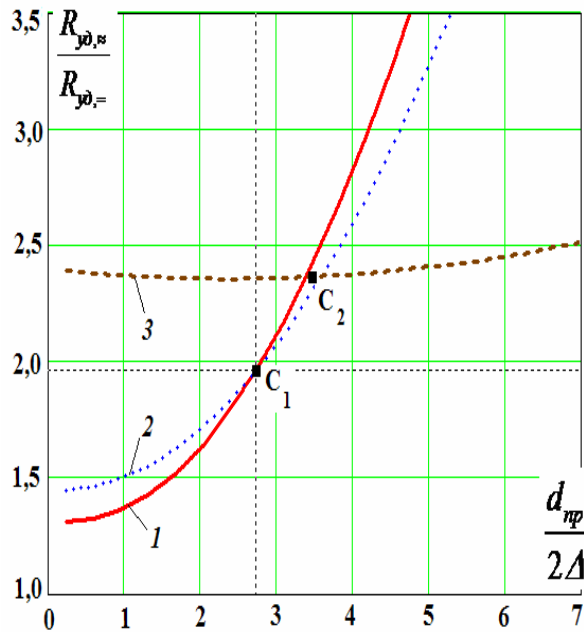


Рис. 2. Кривые зависимости прироста активного сопротивления многопроволочного провода трубчатого сечения в результате влияния поверхностного эффекта и эффекта близости от соотношения диаметра проволоочки и глубины проникновения электромагнитной волны при частотах: 4 кГц (1), 5 кГц (2), 10 кГц (3)

Проведенные исследования показали, что прирост вследствие поверхностного эффекта и эффекта близости активного сопротивления многопроволочного (элементарные проволоочки изолированные) провода трубчатого сечения от увеличения диаметра элементарной проволоочки меняется полярно с повышением частоты и изменением конструктивных параметров: для использования многопроволочного провода в широком диапазоне частоты при выборе конструкции провода можно рекомендовать соотношение параметров $d_{np}/(2\Delta) < 3,45$, где прирост активного сопротивления составит до $2,36 R_{y\delta, =}$ (до этих координат преобладает влияние эффекта близости, за ними – поверхностного эффекта). Для системы электроснабжения на частоте 5 кГц рационально использовать в конструкции провода тяговой сети соотношение параметров $d_{np}/(2\Delta) < 2,74$, где прирост активного сопротивления составляет до $1,97 R_{y\delta, =}$.

Список литературы

1. Львов А.П. Электрические сети повышенной частоты. – М.: Энергоиздат, 1981. –104 с.
2. Рибалко А.Я. Оцінка витрати провідникового матеріалу в системі електропостачання безконтактних електровозів // Гірничі електромеханіка та автоматика: Наук. – техн. зб. – 2001. – Вип.67. – С.53–60.
3. Рыбалко А.Я. Снижение расхода проводникового материала в системе электроснабжения бесконтактных электровозов// Горн. информ.-аналит. бюл. – 2003. – №3. – С.207–210.
4. Транспорт с индуктивной передачей энергии для угольных шахт /Г.Г.Пивняк, И.П.Ремизов, С.А.Саратикянц и др.; Под ред. Г.Г. Пивняка. – М.: Недра, 1990. – 245 с.
5. Розенфельд В.Е., Староскольский Н.А. Высокочастотный электрический транспорт. М.: Транспорт, 1978. – 208 с.

6. Математичне моделювання електромагнітних процесів передачі енергії / Г.Г. Півняк, М.Г. Поляков, А.Я. Рыбалко, С.О. Сушко; За ред. акад. НАН України Г.Г. Півняка. – Д.: Національний гірничий університет, 2003. – 145 с.

7. Ватсон Г.Н. Теория бесселевых функций.– М.: Изд-во иностранной литературы, 1949. – Ч.1. – 798 с.

8. Рыбалко А.Я. Провод для сетей тока повышенной частоты. – Гірнична електромеханіка та автоматика: Науч.- техн. зб. – 2010. – Вип.84.

*Рекомендовано до публікації д.т.н. Зайкою В.Т.
Надійшла до редакції 12.10.10*

УДК 622.333.013.3: 622.272.3

© В. А. Бойко, О. А. Бойко

О МАТЕМАТИЧЕСКОМ ОПИСАНИИ ПРОЦЕССА ТЕПЛООБМЕНА МЕЖДУ ГОРНЫМ МАССИВОМ И ПОТОКОМ ПРОВЕТРИВАЮЩЕГО ГОРНУЮ ВЫРАБОТКУ ВОЗДУХА И РЕШЕНИИ ПРИКЛАДНЫХ ЗАДАЧ НОРМАЛИЗАЦИИ РУДНИЧНОГО МИКРОКЛИМАТА

Розглянуто стан мікроклімату гірничих виробок глибоких шахт Донбасу. Наведено перелік шляхів, що дозволяють скоротити приток тепла у гірничі виробки, і методику розрахунку процесу теплообміну між гірським масивом і потоком повітря, що провітрює гірничу виробку. Пропонується вирішувати задачу нормалізації теплових умов у гірничих виробках за рахунок використання води як основного теплоносія для подачі холоду в шахту і виносу тепла гірничих виробок на-гора для використання його як альтернативного джерела енергії.

Рассмотрено состояние микроклимата горных выработок глубоких шахт Донбасса. Приведены перечень путей, позволяющих сократить теплоприток в горные выработки, и методика расчета тепловых параметров процесса теплообмена между горным массивом и потоком проветривающего горную выработку воздуха. Рекомендуется решать задачу нормализации тепловых условий в горных выработках за счет использования воды в качестве основного теплоносителя для подачи холода в шахту и выноса тепла горных выработок на –гора для его использования как альтернативного источника энергии.

The state of microclimate of the mine headings of deep mines of Donbassin is considered. The list of measures allowing to shorten heat flows in the mine headings and method of calculation of thermal parameters of process of heat exchange between a mining rocks and stream of air ventilating the mining headings have been proposed. It is recommended to decide the task of normalization of thermal conditions in the mine headings due to the use of water as basic heat carrier for the serve of cold in a mine and bearing-out of heat of the mine headings upon the day surface for his use as an alternative energy source.

Уход горных работ на большие глубины в процессе добычи угля сопровождается ростом горного давления и газообильности угольных пластов и горных пород. Вследствие этого возрастает опасность обрушений горных пород и выделение горючих и взрывчатых газов в атмосферу горных выработок, то есть ухудшается безопасность ведения горных работ. Для борьбы с этими факторами опасности приходится прибегать к новым методам управления горным давлением, частичному изменению технологии горных работ, улучшению вентиляции газовых шахт, применению новых способов борьбы с метаном. Горное