

*к.т.н. Халимов В.В.,
Синяев А.Ю.
(ДонГТУ, Алчевск, Украина)*

ОСОБЕННОСТИ РАСЧЕТА ТОКОВ КОРОТКОГО ЗАМЫКАНИЯ В ШАХТНЫХ ЭЛЕКТРИЧЕСКИХ СЕТЯХ СЛОЖНОЙ КОНФИГУРАЦИИ

Приведены особенности внутреннего электроснабжения шахт. Описаны основные параметры схем релейной защиты. Проведен расчет токов короткого замыкания по методу относительных базисных единиц и методу эквивалентных ЭДС на участке подземной высоковольтной распределительной сети шахты со сложной конфигурацией. Приведены принципиальная схема и схема замещения участка высоковольтной распределительной сети шахты со сложной конфигурацией.

Ключевые слова: *система, электропостачання, шахта, релейний захист, струм короткого замикання, точність, методи розрахунку, конфігурація, розподільна мережа, принципова схема, схема заміщення.*

Наведені особливості внутрішнього електропостачання шахт. Описані основні параметри схем релейного захисту. Проведений розрахунок струмів короткого замикання за методом відносних базисних одиниць і методом еквівалентних ЕДС на ділянці підземної високовольтної розподільної мережі шахти з складною конфігурацією. Наведені принципова схема і схема заміщення ділянки високовольтної розподільної мережі шахти з складною конфігурацією.

Ключові слова: *система, електропостачання, шахта, релейний захист, струм короткого замикання, точність, методи розрахунку, конфігурація, розподільна мережа, принципова схема, схема заміщення.*

Система электроснабжения угольных шахт является совокупностью устройств, служащих для приема и распределения электрической энергии, непосредственно связанная с передающими и генерирующими звеньями энергосистемы единством режима выработки и потребления электроэнергии.

Внутренняя система электроснабжения, предназначена для питания электроэнергией поверхностного комплекса и подземных потребителей шахты, является частью технологического процесса и подчинена ему. Эта подчиненная связь является определяющей и приводит к осо-

бым отличиям схемы электроснабжения шахт от типовых схем электроснабжения предприятий.

К таким особенностям прежде всего необходимо отнести: большую протяженность поверхностных и подземных линий электропередач; большое количество распределительных пунктов высокого и низкого напряжения, образующих узлы в системе электроснабжения; сложную конфигурацию электрической сети, обусловленную планом горных выработок; постоянным перемещением электрических нагрузок за фронтом горных работ; наличием большого количества токоприемников, распределенных на значительной площади и расстоянии от источников питания.

При этом необходимо учитывать, что электрическая энергия подается в подземные выработки по кабелям, проложенным в стволах, шурфах, скважинах от трансформаторов установленных на главных поверхностных подстанциях (ГПП) до центральных подземных подстанций (ЦПП) или высоковольтных распределительных пунктов (ВРП), в некоторых случаях без наличия разделительных трансформаторов и реакторов.

Учитывая все особенности системы внутреннего электроснабжения шахты, выбор основных параметров системы представляет собой довольно сложную задачу, решение которой требует расчетов большого количества вариантов, отражающих различные режимы работы системы [1, 2, 3].

Одним из наиболее опасных режимов работы электрических сетей является режим короткого замыкания (к.з.) в следствие значительного повышения тока в короткозамкнутой сети, выделение большого количества тепла (тепловой импульс), что может привести к возникновению пожаров, взрывов в подземных выработках шахт и рисков для жизни людей.

Для предотвращения возникновения опасностей при коротком замыкании предусматриваются релейные защиты, отключающие от источников питания поврежденные участки электрических сетей [4].

Релейная защита должна удовлетворять многим требованиям, одним из которых является чувствительность.

Чувствительность защиты оценивается коэффициентом чувствительности, определяемым как отношение (для данного случая), изменившихся параметров тока при двухфазном к.з. в пределах защищаемой зоны к параметрам срабатывания защит, действующих на увеличение тока при двухфазном к.з..

Основными параметрами схем релейной защиты являются:

1. Ток срабатывания защиты $I_{с.з.}$ и ток срабатывания реле $I_{с.р.}$, представляющие собой минимальные величины токов (собственно пер-

вичного тока и тока в обмотке реле), при которых надежно срабатывает защита и реле

$$I_{c.p.} = \frac{K_{c.x.} \cdot K_H}{K_\epsilon \cdot K_{m.m.}} \cdot I_{c.з.}, \quad (1)$$

где $K_{c.x.}$ – коэффициент схемы (отношение тока в обмотке реле к току во вторичной обмотке трансформатора тока в номинальном симметричном режиме);

K_H – коэффициент надежности (который учитывает погрешность работы реле и трансформаторов тока, кратковременные перегрузки и неточность расчетов, принимается от 1,2 и выше в зависимости от назначения защиты);

K_ϵ – коэффициент возврата (отношение тока (или напряжения) возврата реле к току (или напряжению) срабатывания реле);

$K_{m.m.}$ – коэффициент трансформации трансформатора тока (отношение числа витков первичной обмотки к числу витков вторичной обмотки).

2. Коэффициент чувствительности K_χ – отношение величины минимального двухфазного тока короткого замыкания $I_{к.з.min}^{(2)}$ в конце защищаемой зоны к величине тока срабатывания реле

$$K_\chi = \frac{I_{к.з.min}^{(2)}}{K_{m.m.} \cdot I_{c.p.}}. \quad (2)$$

Величина коэффициента срабатывания принимается равной или большей 1,5 исходя из надежности срабатывания релейной защиты.

Анализ параметров защиты показывает, что к основным расчетным величинам необходимо отнести $I_{c.з.}$ и $I_{к.з.min}^{(2)}$.

Ток срабатывания защиты принимается равным или больше расчетного максимально возможного тока нагрузки в зоне срабатывания защиты

$$I_{c.p.} \geq I_{нагр.max} \quad (3)$$

$I_{нагр.max}$ обычно рассчитывается при пусковых режимах одиночных электродвигателей или групп токоприемников.

В первом случае:

$$I_{c.p.} \geq I_{n.э.}, \quad (4)$$

где $I_{n.э.}$ – пусковой ток одиночного электродвигателя (принимается при расчетах номинальная величина пускового тока или фактическая величина пускового тока).

Во втором случае:

$$I_{c.p.} \geq I_{n.э.max} + \sum_{i=2}^n I_{n.i.}, \quad (5)$$

где $I_{n.э.max}$ – величина номинального или фактического пускового тока электродвигателя наибольшей мощности из n двигателей группы;

$\sum_{i=2}^n I_{n.i.}$ – сумма номинальных токов остальных $n-1$ двигателей группы.

Обычно, при радиальных схемах питания, вычисление $I_{c.p.}$ трудностей не представляет. При магистральных комбинированных схемах питания, имеющих узлы и запитанных от одного комплектного распределительного устройства (КРУ), имеющего блоки релейной защиты $I_{c.з.}$ необходимо рассчитывать как сумму максимальных токов отдельных ответвлений от узлов:

$$I_{c.з.} \geq \sum_{j=1}^n (I_{n.э.} + \sum_{i=2}^n I_{n.i.}), \quad (6)$$

где j – номер ответвления;

n – количество ответвлений.

Необходимо в этом случае вычислять $I_{c.з.}$ защиты с учетом коэффициента совмещения максимума ($K_{с.м.}$) нагрузок в узлах электрической сети, однако это связано с трудностями определения $K_{с.м.}$.

Поэтому более точным будет определение $I_{c.з.}$ по формуле (6) по номинальным или фактическим пусковым токам наибольших электродвигателей групп токоприемников ответвлений при совпадении максимума нагрузок в узлах (при $K_{с.м.}=1$) [5].

Также существует ряд проблем с определением минимального двухфазного тока короткого замыкания $I_{к.з.min}^{(2)}$ в высоковольтной сети угольных шахт. В Сборнике инструкций к Правилам безопасности в угольных шахтах отсутствует метод для расчета токов короткого замыкания в высоковольтной сети, а приведен лишь метод приведенных длин для

расчета токов двухфазного короткого замыкания $I_{к.з.min}^{(2)}$ в низковольтной сети [6]. На практике для расчета токов короткого замыкания в высоковольтной сети используют метод относительных базисных единиц.

При расчетах с помощью метода относительных базисных единиц в высоковольтной сети токи короткого замыкания в системах внутреннего электроснабжения угольных шахт рассчитывают со многими допущениями, а именно: не учитывается конфигурация электрических сетей, группы соединения питающих трансформаторов, узлы в схемах электрической сети и влияние высоковольтных двигателей и других нагрузок соединенных с местом короткого замыкания.

Анализ методов расчета токов короткого замыкания позволил авторам сделать вывод, что наиболее приемлемым для расчетов величин токов короткого замыкания в высоковольтных сетях угольных шахт является метод эквивалентных ЭДС, который позволяет учесть конфигурацию электрических сетей, узлы в схемах электрической сети и влияние высоковольтных двигателей и других нагрузок соединенных с местом короткого замыкания [7, 8, 9, 10].

Для сравнения расчетных величин токов к.з. проведен расчет на участке подземной высоковольтной распределительной сети шахты ООО «Интер-инвест уголь» со сложной конфигурацией, который показан на рисунке 1. Результаты расчетов приведены в таблице 1.

Таблица 1 – Результаты расчетов токов к.з.

№№ точки	Расчетная величина тока по методу				Разница результатов вычислений	
	эквивалентных ЭДС, А		относительных базисных единиц, А			
	$I_{к.з.}^{(3)}$	$I_{к.з.}^{(2)}$	$I_{к.з.}^{(3)}$	$I_{к.з.}^{(2)}$	$I_{к.з., \%}^{(3)}$	$I_{к.з., \%}^{(2)}$
1	13360	11623,2	11079	9638,73	17,1	17,1
2	12019	10456,5	10174	8851,38	15,4	15,4
3	11331	9857,97	8394	7302,78	25,9	25,9
4	11155	9704,85	7875	6851,25	29,4	29,4
5	10980	9552,6	7463	6492,81	32,0	32,0
6	8591	7474,17	3598	3130,26	58,1	58,1
7	8015	6973,05	3053	2656,11	61,9	61,9
8	7188	6253,56	2421	2106,27	66,3	66,3
9	8191	7126,17	2800	2436	65,8	65,8
10	8166	7104,42	2771	2410,77	66,1	66,1

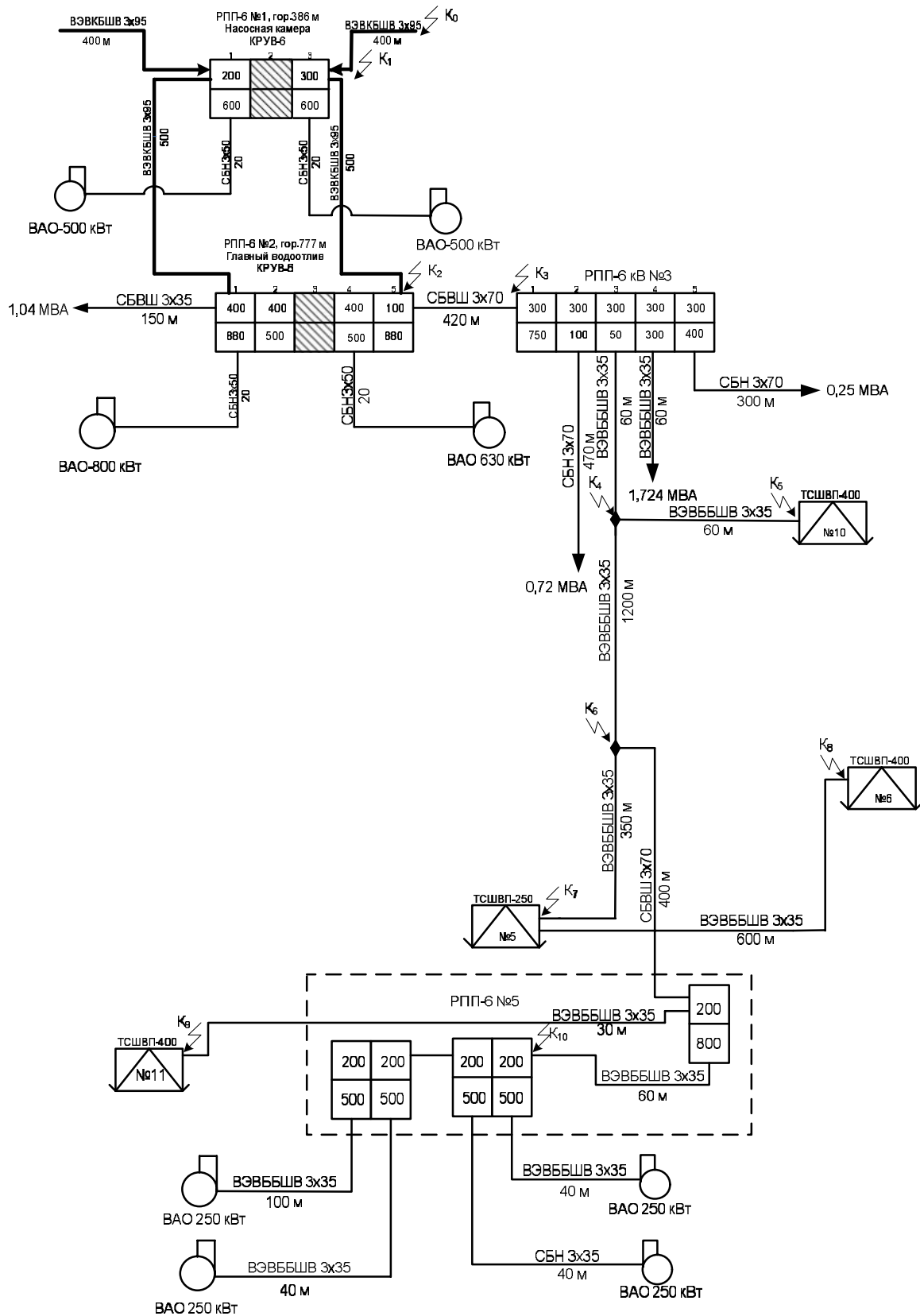


Рисунок 1 – Участок высоковольтной распределительной сети шахты ООО «Интер-инвест уголь»

Для данного участка высоковольтной распределительной сети шахты составлена схема замещения для расчета методом эквивалентных ЭДС, которая показана на рисунке 2.

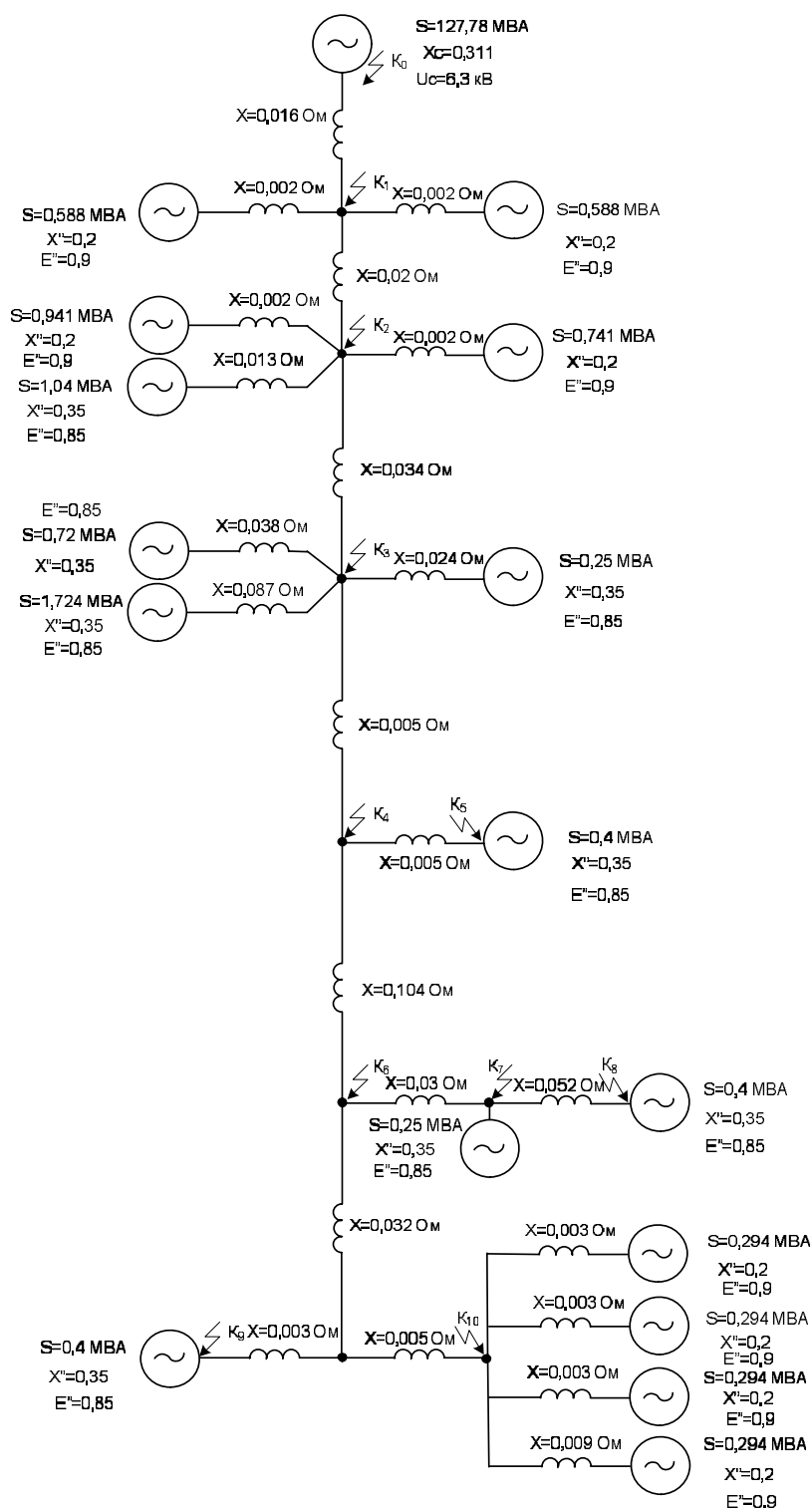


Рисунок 2 – Схема замещения участка высоковольтной распределительной сети шахты ООО «Интер-инвест уголь»

На основании результатов расчетов можно сделать следующие выводы:

1. Сравнение расчетных значений токов $I_{к.з.}^{(3)}$ и $I_{к.з.}^{(2)}$ показывает, что результаты вычислений значительно отличаются (от 17,1% до 66,1%).

2. Сделать заключение о точности какого-либо из методов на данный момент нельзя, так как рассчитаны токи короткого замыкания только в одной реальной схеме сложной конфигурации.

3. Полученные результаты показывают, что токи короткого замыкания рассчитанные по методу эквивалентных ЭДС больше по величине и поэтому необходимо электрооборудование в узлах электрической сети (муфты, тройники, распределительные коробки) обязательно проверять на электродинамическую и термическую стойкость.

4. Метод эквивалентных ЭДС позволяет более точно определить суммарный ток короткого замыкания в узлах электрической сети сложной конфигурации и следовательно позволяет более точно определить параметры максимально-токовой защиты.

5. Для принятия решения о целесообразности применения метода эквивалентных ЭДС необходимо исследовать процесс затухания ЭДС от высоковольтных двигателей и других нагрузок в кабельных линиях с различной постоянной времени.

6. Так как двухфазное короткое замыкание относится к несимметричным, то необходимо рассчитывать токи обратной и нулевой последовательности и учитывать их влияние на общий ток короткого замыкания в точках и узлах электрической сети.

Бібліографічний список

1. Плащанский Л.А. Основы электроснабжения горных предприятий. – М.: Издательство МГГУ, 2004.

2. Ульянов С.А. Электромагнитные переходные процессы в электрических системах. М, 1985.

3. Гимоян Г.Г., Лейбов Р.М. Релейная защита подземного электрооборудования и сетей. М., изд-во «Недра», 1970. 281с.

4. Блок В.М. Электрические сети и системы. М., 1986.

5. Колосюк В.П. Техника безопасности при эксплуатации рудничных электроустановок. – М.: Недра, 1987. – 407с., ил.

6. Римап Я.С. Защита шахтных участковых сетей от токов короткого замыкания. 2-е изд., перераб. и доп. – М., Недра, 1985, 85с.

7. Збірник інструкцій до правил безпеки у вугільних шахтах том 2. Київ, 2005.

8. Руководящие указания по расчету токов короткого замыкания и выбору электрооборудования РД 153-34.0-20.527-98 Утверждены Де-

партаментом стратегии развития и научно-технической политики России 23.03.1998 г.

9. Голубев М.Л. Методы расчета токов короткого замыкания в распределительных сетях. М., «Энергия», 1967.

10. Электротехнический справочник. Изд. 3-е перераб. и доп. Под общ. ред. профессоров МЭИ (главный редактор М.Г. Чиликин), т. II М. – Л. издательство «Энергия», 1964, 76 с. с черт.

11. Беляева Е. Н. Как рассчитать ток короткого замыкания, — 2-е изд. перераб. и доп. — М.: Энергоатомиздат, 1983. — 136 с, ил. — (Б-ка электромонтера. Вып. 544)

Рекомендована к печати д.т.н., проф. Зеленовым А.Б.