

С. Торайғыров атындағы Павлодар мемлекеттік  
университетінің ғылыми журналы  
Научный журнал Павлодарского государственного  
университета имени С. Торайғырова

---

1997 ж. құрылған  
Основа в 1997 г.



İ İ Ó  
ÕÀÄÀÐØ ÛÑÛ

ÃÃÑÒÍ ÈÊ Ì ÃÓ

ЭНЕРГЕТИЧЕСКАЯ СЕРИЯ

**4** 2011

---

---

---

Научный журнал Павлодарского государственного университета  
имени С. Торайгырова

### СВИДЕТЕЛЬСТВО

о постановке на учет средства массовой информации  
№ 4533-Ж

выдано Министерством культуры, информации и общественного согласия  
Республики Казахстан  
31 декабря 2003 года

-----

Кислов А.П., к.т.н., проф. (главный редактор)  
Новожилов А.Н., д.т.н., проф. (заместитель главного редактора)  
Бергузинов А.Н., магистр (отв. секретарь)

### Редакционная коллегия:

Баубеков К.Т., д.т.н., проф.;  
Глазырин А.И., д.т.н., проф.;  
Глазырин С.А., к.т.н., доцент;  
Захаров И.В., д.т.н., проф.;  
Клецель М.Я., д.т.н., проф.;  
Тастенов А.Д., к.т.н., доцент;  
Утегулов Б.Б., д.т.н., проф.;  
Хацевский В.Ф., д.т.н., проф.;  
Айтжанова Д.Н. (тех. редактор).

-----

За достоверность материалов и рекламы ответственность несут авторы и рекламодатели.  
Мнение авторов публикаций не всегда совпадает с мнением редакции.  
Редакция оставляет за собой право на отклонение материалов.  
Рукописи и дискеты не возвращаются.  
При использовании материалов журнала ссылка на «Вестник ПГУ» обязательна.

### МАЗМҰНЫ

<b>Айдаргалин Р.Б., Каверзин Д.Г., Хайбулина Р.А., Глазырин В.А.</b> Пластикаторлар .....	9
<b>Арынгазин Қ.Ш., Сарлыбаева Л.М., Сыздыкова А.С.</b> Астықты сақтау және қайта өңдеу бойынша кәсіпорындардағы аспирационды торабы жобалаудың автоматизациясы .....	15
<b>Бобеев А.Б., Джундибаев В.Е., Жолдыбаева Г.С.</b> Жүктеуші және түсіру құрылғысындағы абразивтің тозуын төмендету .....	21
<b>Глазырин С.А., Мұзапаров Д.Т.</b> Судың тиімді қолдануы .....	24
<b>Глазырин С.А., Бекішева Г.С., Глазырина Н.С.</b> Мұнай өңдейтін зауыттардың каталитикалық крекингінің қоюларының лақтырулары жөніндегі мәселелер .....	29
<b>Глазырин С.А., Қырықбай Ә., Ержанов Қ.Ш.</b> Төмендету және тазартудың қазіргі әдістерінің күкірттің оксидтерінің лақтыруларынан талдау .....	37
<b>Глазырин А.И., Глазырин С.А., Рамазанова А.Е., Бекишева Г.</b> Қатты тұрмыс кетулер және қоршаған ортаның күзетуі .....	44
<b>Глазырин С.А., Мұзапаров Д.Т., Абенев А.Қ., Ержанов Қ.Ш.</b> Судың тиімді қолдануы .....	48
<b>Говорун В.Ф., Говорун О.В., Говорун Д.В., Копотун И.С., Кунцевич В.В.</b> Ферроқорытпа пештің жұмыс режимдеріне ток синусоидалылық еместігі мен кернеу шамасының тигізетін әсер .....	53
<b>Говорун В.Ф., Говорун О.В., Говорун Д.В., Копотун И.С., Кунцевич В.В.</b> Ферроқорытпа пештің жұмыс режиміне ток симметриясыздығы мен кернеудің тигізетін әсері .....	62
<b>Каверзин Д.Г., Айдаргалин Р.Б., Хайбулина Р.А., Глазырин В.А.</b> Атмосфералық коррозия .....	71
<b>Кислов А.П., Бергузинов А.Н., Потапенко О.Г., Мусагажинов М.Ж.</b> Индукциялық электрлік пештердің және олардың электрлік қуатының негізгі көрсеткіштері .....	77
<b>Кислов А.П., Бергузинов А.Н., Потапенко О.Г., Мусагажинов М.Ж.</b> Электр энергиясының тұтынушылары ретінде кедергі пештерінің сипаттамалары қарастырылған .....	87
<b>Өтеулов Б.Б., Кошкин И.В., Өтеулов А.Б., Уахитова А.Б.</b> Кернеуі 6-35 кВ электр торапта бұзылудың орындарының анықтауының қазіргі құралдарының талдауы .....	100
<b>Хайбулина Р.А., Каверзин Д.Г., Айдаргалин Р.Б., Глазырин В.А.</b> Сұйыққоймалар жиынтығын және мұнайгаз жабдықтарын коррозиядан қорғаудың технологиялық тәсілдері .....	106
<b>Шагеева Р.А., Балусев К.Л.</b> Ақпаратты қорғауға арналған бағдарламалық құралдардың беріктілігі .....	112

**Шарафеев Ю.Э.**

Нейтралдың резистивті жерлендіруінің әдісі  
мен кәбілдерді қолданумен тігулі полиэтиленнен ажырату..... 116

**Шарафеев Ю.Э.**

Нейтралды ревивистивті жерге қосуы бар желілеріндегі  
жердегі бірфазалық түйісуден қорғау және белсенді  
кедергіні таңдау методологиясы ..... 122

Біздің авторлар ..... 129

Авторлар үшін ереже..... 131

**СОДЕРЖАНИЕ**

<b>Айдаргалин Р.Б., Каверзин Д.Г., Хайбулина Р.А., Глазырин В.А.</b> Пластификаторы.....	9
<b>Арынгазин К.Ш., Сарлыбаева Л.М., Сыздыкова А.С.</b> Проектирование аспирационных сетей для предприятий по хранению и переработке зерна .....	15
<b>Бобеев А.Б., Джундибаев В.Е., Жолдыбаева Г.С.</b> Снижение абразивного износа грузозачных и разгрузочных устройств .....	21
<b>Глазырин С.А., Музапаров Д.Т.</b> Выбор системы оборотного водоснабжения.....	24
<b>Глазырин С.А., Бекишева Г.С., Глазырина Н.С.</b> Проблемы выбросов установок каталитического крекинга нефтеперерабатывающих заводов.....	29
<b>Глазырин С.А., Кырыкбай А., Ержанов К.Ш.</b> Анализ существующих методов снижения и очистки от выбросов оксидов серы.....	37
<b>Глазырин А.И., Глазырин С.А., Рамазанова А.Е., Бекишева Г.</b> Твердые бытовые отходы и охрана окружающей среды .....	44
<b>Глазырин С.А., Музапаров Д.Т., Абенов А.К., Ержанов К.Ш.</b> Рациональное использование воды. ....	48
<b>Говорун В.Ф., Говорун О.В., Говорун Д.В., Копотун И.С., Кунцевич В.В.</b> Влияние величины напряжения и несинусоидальности тока на режимы работы ферросплавной печи .....	53
<b>Говорун В.Ф., Говорун О.В., Говорун Д.В., Копотун И.С., Кунцевич В.В.</b> Влияние несимметрии тока и напряжения на режимы работы ферросплавной печи .....	62
<b>Каверзин Д.Г., Айдаргалин Р.Б., Хайбулдина Р.А., Глазырин В.А.</b> Атмосферная коррозия.....	71
<b>Кислов А.П., Бергузинов А.Н., Потапенко О.Г., Мусагажинов М.Ж.</b> Индукционные электрические печи и основные показатели их электрической нагрузки.....	77
<b>Кислов А.П., Бергузинов А.Н., Потапенко О.Г., Мусагажинов М.Ж.</b> Характеристики печей сопротивления как потребителей электрической энергии .....	87
<b>Утегулов Б.Б., Кошкин И.В., Утегулов А.Б., Уахитова А.Б.</b> Анализ современных средств определения мест повреждения в сетях напряжением 6-35 кВ.....	100
<b>Хайбулина Р.А., Каверзин Д.Г., Айдаргалин Р.Б., Глазырин В.А.</b> Технологические методы защиты от коррозии резервуарного парка и нефтегазового оборудования .....	106
<b>Шагиева Р.А., Балуев К.Л.</b> Надежность программных средств защиты информации .....	112

<b>Шарафеев Ю.Э.</b>	
Метод резистивного заземления нейтрали с применением кабелей с изоляцией из сшитого полиэтилена .....	116
<b>Шарафеев Ю.Э.</b>	
Методология выбора активного сопротивления и защита от однофазных замыканий на землю в сетях с резистивным заземлением нейтрали .....	122
Наши авторы.....	129
Правила для авторов .....	131

## CONTENT

<b>Aidargalin R.B., Kaverzin D.G., Khaibulina R.A., Glazyrin B.A.</b>	
Plasticizers .....	9
<b>Aryngazin K.Sh., Sarlybajeva L.M., Syzdycova A.S.</b>	
Design of aspiration nets for the grain storage and handling enterprises .....	15
<b>Bobeyev A.B., Jundibayev V.E., Zholdybayeva G.S.</b>	
Decline of abrasive wear of loading and unloading devices .....	21
<b>Glazyrin S.A., Muzaparov D.T.</b>	
The choice of circulating water supply system .....	24
<b>Glazyrin S.A., Bekisheva G.S., Glazyrina N.S.</b>	
The problem of emissions of catalytic cracking units of oil refineries .....	29
<b>Glazyrin S., Kyrykbay A., Erzhanov K.</b>	
Analysis of the existing methods of increasing and cleaning of outcomes from sulphur's oxides .....	37
<b>Glazyrin A.I., Glazyrin S.A., Ramazanova A.E., Bekisheva G.</b>	
The firm household scrap and protection of environment .....	44
<b>Glazyrin S.A., Muzaparov D.T., Abenov A.K., Yerzhanov K.S.</b>	
Rational use of water .....	48
<b>Govorun V.F., Govorun O.V., Govorun D.N., Kopotun I.S., Kuncевич V.V.</b>	
Effect of unisusoidality of the current and the voltage's level on the work regime of the ferroalloy furnace .....	53
<b>Govorun V.F., Govorun O.V., Govorun D.N., Kopotun I.S., Kuncевич V.V.</b>	
Effect of asymmetry of the current and voltage on the work regime of the ferroalloy furnace .....	62
<b>Kaverzin D.G., Aidargalin R.B., Khaibulina R.A., Glazyrin B.A.</b>	
Atmospheric corrosion .....	71
<b>Kislov A.P., Berguzinov A.N., Potapenko O.G., Musagazhinov M.Zh.</b>	
The induction furnace and its main signs of electrical load .....	77
<b>Kislov A.P., Berguzinov A.N., Potapenko O.G., Musagazhinov M.Zh.</b>	
Electric resistance furnaces as consumers of electrical energy .....	87
<b>Utegulov B.B., Koshkin I.V., Utegulov A.B., Uahitova A.B.</b>	
Analysis of current definitions of faults location in networks with 6-35 kV voltage .....	100
<b>Khaibulina R.A., Kaverzin D.G., Aidargalin R.B., Glazyrin B.A.</b>	
Technological methods of corrosion protection of tank farm and natural gas equipment .....	106
<b>Shagieva R.A., Baluev K.L.</b>	
Reliability of program means of information's protection .....	112
<b>Sharafeyev Y.E.</b>	
Mode of resistance neutral grounding cable with XLPE insulation .....	116
<b>Sharafeyev Y.E.</b>	
The choice of resistance and protection against single-phase earth fault in networks with resistive grounded neutral .....	122

Our authors.....	129
Rules for authors.....	131

УДК 678.049

**Р.Б. АЙДАРГАЛИН, Д.Г. КАВЕРЗИН,  
Р.А. ХАЙБУЛИНА, В.А. ГЛАЗЫРИН  
ПЛАСТИФИКАТОРЫ**

Пластификаторы (от греч. plastos-пластичный и лат. facio-делаю).  
1) вещества, которые вводят в состав полимерных материалов для придания (или повышения) эластичности и (или) пластичности при переработке и эксплуатации.

Пластификаторы облегчают диспергирование ингредиентов, снижают температуру технологической обработки композиций, улучшают морозостойкость полимеров, но иногда ухудшают их теплостойкость. Некоторые пластификаторы могут повышать огне-, свето- и термостойкость полимеров.

Общие требования к пластификаторам: хорошая совместимость с полимером, низкая летучесть, отсутствие запаха, химическая инертность, стойкость к экстракции из полимера жидкими средами, например маслами, моющими средствами.

Наиболее распространенные пластификаторы: сложные эфиры, например диоктилфталат, диметилфталат, дибутилфталат, дибутилсебацат, диоктиладипинат, диоктилсебацат, диизобутилфталат, три (2-этилгексил) фосфат, эфиры фталевой и тримеллитовой кислоты, сложные эфиры ортофосфорной кислоты. Используются также минеральные и невысыхающие растительные масла, эпоксидированное соевое масло, хлорированные парафины и др.

Количество пластификатора в композиции - от 1...2% до 100% (от массы полимера).

Основной потребитель пластификаторов - промышленность пластмасс (около 70% общего объема производства пластификаторов расходуется на изготовление пластика)

Пластификаторы широко используются при производстве лаков для ногтей.

2) Поверхностно-активные добавки, которые вводят в строительные растворы и бетонные смеси (0,15...0,3% от массы вяжущего) для облегчения укладки в форму и снижения содержания воды. Это улучшает большинство характеристик затвердевшей смеси, а также позволяет снизить расход цемента, уменьшить энергозатраты при вибрировании бетона (самоуплотняющиеся смеси) или разравнивании стяжек (наливные самовыравнивающиеся смеси для полов).

Широко используемый пластификатор этого типа - сульфитно-спиртовая барда. Позже были созданы супер- и гиперпластификаторы с

меньшими дозировками, а также противоморозными, воздухововлекающими и другими полезными свойствами.

Фосфатные пластификаторы сообщают полимерным композициям также огнестойкость (напр., галогенфосфорсодержащие пластификаторы и триарилфосфаты) или морозостойкость и огнестойкость (триалкил- и алкиларилфосфаты).

Общие требования к пластификаторам: термодинамическая совместимость с полимером; низкая летучесть; отсутствие запаха; хим. инертность; устойчивость к экстракции из полимера жидкими средами, напр. маслами, моющими средствами, растворителями.

Содержание пластификаторов в полимерной композиции может составлять от 1-2 до 100% и более от массы полимера, в резиновой смеси-до 100% от массы каучука.

Пластические массы обычно состоят из нескольких взаимно совмещающихся и несовмещающихся компонентов. При этом, помимо полимера, в состав Пластические массы могут входить наполнители полимерных материалов, пластификаторы, понижающие температуру текучести и вязкость полимера, стабилизаторы полимерных материалов, замедляющие его старение, красители и др. Пластические массы могут быть однофазными (гомогенными) или многофазными (гетерогенными, композиционными) материалами. В гомогенных пластические массы полимер является основным компонентом, определяющим свойства материала. Остальные компоненты растворены в полимере и способны улучшать те или иные его свойства. В гетерогенных пластические массы полимер выполняет функцию дисперсионной среды (связующего) по отношению к диспергированным в нём компонентам, составляющим самостоятельные фазы. Для распределения внешнего воздействия на компоненты гетерогенного пластика необходимо обеспечить прочное сцепление на границе контакта связующего с частицами наполнителя, достигаемое адсорбцией или химической реакцией связующего с поверхностью наполнителя.

К числу газонаполненных пластиков относятся пенопласты - материалы наиболее лёгкие из всех пластические массы; их кажущаяся плотность составляет обычно от 0,02 до 0,8 г/см<sup>3</sup>.

Низкомодульные наполнители (их иногда называют эластификаторами), в качестве которых используют эластомеры, не понижая теплостойкости и твёрдости полимера, придают материалу повышенную устойчивость к знакопеременным и ударным нагрузкам, предотвращают прорастание микротрещин в связующем. Однако коэффициент термического расширения эластифицированных Пластические массы выше, а деформационная устойчивость ниже, чем монолитных связующих. Эластификатор диспергируют в связующем в виде частиц размером 0,2-10 мкм. Это

достигается полимеризацией мономера на поверхности частиц синтетических латексов, отверждением олигомера, в котором диспергирован эластомер, механическим перетиранием смеси жёсткого полимера с эластомером. Наполнение должно сопровождаться образованием сополимера на границе раздела частиц эластификатора со связующим. Это обеспечивает кооперативную реакцию связующего и эластификатора на внешнее воздействие в условиях эксплуатации материала. Чем выше модуль упругости наполнителя и степень наполнения им материала, тем выше деформационная устойчивость наполненного пластика. Однако введение высокомодульных наполнителей в большинстве случаев способствует возникновению остаточных напряжений в связующем, а следовательно, понижению прочности и монолитности полимерной фазы.

Для получения пластические массы низкой плотности применяют наполнители в виде полых частиц. Такие материалы (иногда называемые синтактическими пенами), кроме того, обладают хорошими звуко- и теплоизоляционными свойствами.

Применение в качестве наполнителей природных и синтетических органических волокон, а также неорганических волокон (стеклянных, кварцевых, углеродных, борных, асбестовых), хотя и ограничивает выбор методов формования и затрудняет изготовление изделий сложной конфигурации, но резко повышает прочность материала. Упрочняющая роль волокон в волокнитах, материалах, наполненных химическими волокнами (т. н. органоволокнитах), карбоволокнитах и стекловолокнитах проявляется уже при длине волокна 2-4 мм. С увеличением длины волокон прочность возрастает благодаря взаимному их переплетению и понижению напряжений в связующем (при высокомодульном наполнителе), локализованных по концам волокон. В тех случаях, когда это допускается формой изделия, волокна скрепляют между собой в нити и в ткани различного плетения. Пластические массы, наполненные тканью (текстолиты), относятся к слоистым пластикам, отличающимся анизотропией свойств, в частности высокой прочностью вдоль слоёв наполнителя и низкой в перпендикулярном направлении. Этот недостаток слоистых пластиков отчасти устраняется применением т.н. объёмнотканых тканей, в которых отдельные полотна (слои) переплетены между собой. Связующее заполняет неплотности переплетений и, отверждаясь, фиксирует форму, приданную заготовке из наполнителя.

Основные виды термопластов. Среди термопластов наиболее разнообразно применение полиэтилена, поливинилхлорида и полистирола, преимущественно в виде гомогенных или эластифицированных материалов, реже газонаполненных и наполненных минеральными порошками или синтетическими органическими волокнами.

Пластические массы на основе полиэтилена легко формируются и свариваются в изделия сложных форм, они устойчивы к ударным и вибрационным нагрузкам, химически стойки, отличаются высокими электроизоляционными свойствами (диэлектрическая проницаемость 2,1-2,3) и низкой плотностью. Изделия с повышенной прочностью и теплостойкостью получают из полиэтилена, наполненного коротким (до 3 мм) стекловолокном. При степени наполнения 20% прочность при растяжении возрастает в 2,5 раза, при изгибе - в 2 раза, ударная вязкость - в 4 раза и теплостойкость - в 2,2 раза.

Жёсткие пластические массы на основе поливинилхлорида - винипласт, в том числе эластифицированный (ударопрочный), формируется значительно труднее полиэтиленовых пластиков, но прочность её к статическим нагрузкам намного выше, ползучесть ниже и твёрдость выше. Более широкое применение находит пластифицированный поливинилхлорид - пластикат. Он легко формируется и надёжно сваривается, а требуемое сочетание в нём прочности, деформационной устойчивости и теплостойкости достигается подбором соотношения пластификатора и твёрдого наполнителя.

Пластические массы на основе полистирола формируются значительно легче, чем из винипласта, их диэлектрические свойства близки к свойствам полиэтиленовых пластических масс, они оптически прозрачны и по прочности к статическим нагрузкам мало уступают винипласту, но более хрупки, менее устойчивы к действию растворителей и горючи. Низкая ударная вязкость и разрушение вследствие быстрого прорастания микротрещин - свойства, особенно характерные для полистирольных пластиков, устраняются наполнением их эластомерами, т.е. полимерами или сополимерами с температурой стеклования ниже - 40°C. Эластифицированный (ударопрочный) полистирол наиболее высокого качества получают полимеризацией стирола на частицах бутадиен-стирольного или бутадиен-нитрильного латекса. Материал, названный АБС, содержит около 15% гель-фракции (блок- и привитые сополимеры полистирола и указанных сополимеров бутадиена), составляющей граничный слой и соединяющей частицы эластомера с матрицей из полистирола. Морозостойкость материала ограничивает температура стеклования эластомера, теплостойкость - температура стеклования полистирола.

Объём производства термопластов с повышенной теплостойкостью и органических стекол составляет около 10% общего объёма всех полимеров, предназначенных для изготовления Пластических масс.

Отсутствие реакций отверждения во время формирования термопластов даёт возможность предельно интенсифицировать процесс переработки. Основные методы формирования изделий из термопластов - литьё под давлением, экструзия, вакуумформование и пневмоформование. Поскольку

вязкость расплава высокомолекулярных полимеров велика, формирование термопластов на литьевых машинах или экструдерах требует удельных давлений 30-130 Мн/м<sup>2</sup> = (300-1300 кгс/см<sup>2</sup>).

Дальнейшее развитие производства термопластов направлено на создание материалов из тех же полимеров, но с новыми сочетаниями свойств, применением эластификаторов, порошковых и коротковолокнистых наполнителей.

Основные виды реактопластов. После окончания формирования изделий из реактопластов полимерная фаза приобретает сетчатую (трёхмерную) структуру. Благодаря этому отверждённые реактопласты имеют более высокие, чем термопласты, показатели по твёрдости, модулю упругости, теплостойкости, усталостной прочности, более низкий коэффициент термического расширения; при этом свойства отверждённых реактопластов не столь резко зависят от температуры. Однако неспособность отверждённых реактопластов переходить в вязкотекучее состояние вынуждает проводить синтез полимера в несколько стадий.

Первую стадию оканчивают получением олигомеров (смола) - полимеров с молекулярной массой 500-1000. Благодаря низкой вязкости раствора или расплава смолу легко распределить по поверхности частиц наполнителя даже в том случае, когда степень наполнения достигает 80-85% (по массе). После введения всех компонентов текучесть реактопласта остаётся настолько высокой, что изделия из него можно формировать заливкой (литьём), контактным формированием, намоткой. Такие реактопласты называются премиксами в том случае, когда они содержат наполнитель в виде мелких частиц, и препрегами, если наполнителем являются непрерывные волокна, ткань, бумага. Технологическая оснастка для формирования изделий из премиксов и препрегов проста и энергетические затраты невелики, но процессы связаны с выдержкой материала в индивидуальных формах для отверждения связующего. Если смола отверждается по реакции поликонденсации, то формирование изделий сопровождается сильной усадкой материала и в нём возникают значительные остаточные напряжения, а монолитность, плотность и прочность далеко не достигают предельных значений (за исключением изделий, полученных намоткой с натяжением). Чтобы избежать этих недостатков, в технологии изготовления изделий из смол, отверждающихся по реакции поликонденсации, предусмотрена дополнительная стадия (после смешения компонентов) - предотвращение связующего, осуществляемое при вальцевании или сушке. При этом сокращается длительность последующей выдержки материала в формах и повышается качество изделий, однако заполнение форм из-за понижения текучести связующего становится возможным только при давлениях 25-60 Мн/м<sup>2</sup> (250-600 кгс/см<sup>2</sup>).

Высокопрочные пластические массы с термостойкостью до 200°C производят, сочетая стеклянные волокна или ткани с отверждающимися олигоэфирными, феноло-формальдегидными или эпоксидными смолами. В производстве изделий, длительно работающих при 300°C, применяют стеклопластики или асбобластики с кремнийорганическим связующим; при 300-340 °С - полиимиды в сочетании с кремнезёмными, асбестовыми или углеродными волокнами; при 250-500 °С в воздушной и при 2000-2500°C в инертной средах - фенопласты или пластики на основе полиамидов, наполненные углеродным волокном и подвергнутые карбонизации (графитации) после формования изделий.

Высокомодульные пластические массы [модуль упругости 250-350 Гн/м<sup>2</sup> (25 000-35 000 кгс/мм<sup>2</sup>)] производят, сочетая эпоксидные смолы с углеродными, борными или монокристаллическими волокнами. Монолитные и лёгкие пластические массы, устойчивые к вибрационным и ударным нагрузкам, водостойкие и сохраняющие диэлектрические свойства и герметичность в условиях сложного нагружения, изготавливают, сочетая эпоксидные, полиэфирные или меламино-формальдегидные смолы с синтетическими волокнами или тканями, бумагой из этих волокон.

Наиболее высокие диэлектрические свойства (диэлектрическая проницаемость 3,5-4,0) характерны для материалов на основе кварцевых волокон и полиэфирных или кремнийорганических связующих.

#### СПИСОК ЛИТЕРАТУРЫ

- 1 Кербер М.Л. Химический Энциклопедический Словарь. Гл. ред. И.Л. Кнунянц. — М.: Советская энциклопедия, 1983—792 с.
- 2 Барштейн Р.С., Кирилович В.И., Носовский Ю.Е. Пластификаторы для полимеров, М., 1982.

Павлодарский государственный университет имени С. Торайгырова, г. Павлодар. Материал поступил в редакцию 08.05.2012.

Р.Б. АЙДАРГАЛИН, Д.Г. КАВЕРЗИН, Р.А. ХАЙБУЛИНА,  
В.А. ГЛАЗЫРИН  
ПЛАСТИФИКАТОРЛАР  
R.B. AIDARGALIN, D.G. KAVERZIN, R.A. KHAIBULINA,  
V.A. GLAZYRIN  
PLASTICIZERS

#### Түйіндеме

Мақалада әр түрлі пластификаторлар түрлері мен оны оңдеу көрсетілген. Пластификаторлар қазіргі кездегі политор

болып табылады, ол әр түрлі материалдар түрлерін қорғау үшін қолданылады. Бұл материал басқа қоспаларға қарағанда аса экологиялық жағынан таза болып табылады. Сонымен бірге физикалық және химиялық қасиеттерге ие.

#### Resume

The different types of plasticizers and their development are presented in the article. Plasticizers are one of modern polymers for defence of different sorts of materials. This material is considered more ecologically clean as compared to other connections. Also they possess high physical and chemical properties.

УДК 664

### К.Ш. АРЫНГАЗИН, Л.М. САРЛЫБАЕВА, А.С. СЫЗДЫКОВА ПРОЕКТИРОВАНИЕ АСПИРАЦИОННЫХ СЕТЕЙ ДЛЯ ПРЕДПРИЯТИЙ ПО ХРАНЕНИЮ И ПЕРЕРАБОТКЕ ЗЕРНА

На предприятиях хранения и переработки зерна все технологические процессы сопровождаются значительным пылевыведением. Объекты этой отрасли являются пожароопасными и взрывоопасными. В производственных помещениях концентрация пыли может достигать предельных значений, а при выделении в окружающую среду создавать концентрации, опасные для здоровья людей.

Уменьшение выбросов пыли в атмосферу, благодаря использованию высокоэффективных аспирационных установок, не только защищает окружающую среду, но и дает экономию ценных пищевых и кормовых продуктов, из которых состоит пыль.

Усовершенствование методов расчета аспирационных сетей с применением автоматизированных систем проектирования является основным направлением развития и совершенствования аспирационных установок в настоящее время.

Расчёт аспирационной сети является заключительным и наиболее трудоёмким этапом проектирования аспирационных сетей, при этом время проектирования может значительно увеличиваться, если расчётные данные по тем или иным причинам не удовлетворяют проектировщика и необходимо производить перерасчёт. В связи с этим проектирование может длиться от нескольких дней до нескольких недель в зависимости от сложности проекта, опыта и навыков проектировщика.



На основе перечня принимаемого оборудования, емкостей, матрицы связей и компоновочных решений выполняется оптимальная трассировка и расчет сети, которые являются основой для определения расхода материалов, составления спецификации сети и получения графической документации.

Входными данными являются:

- перечень основного технологического, транспортного и вспомогательного оборудования;
- координаты привязки оборудования;
- матрицы связей между оборудованием.

По переменным данным производится укрупненный расчет аспирации с целью определения потребного количества и номенклатуры аспирационного оборудования (пылеотделителей и вентиляторов), затем трассировка воздухопроводов, расчет потерь давления.

Выходными данными являются:

- перечень аспирационного оборудования по сети;
- трассы воздухопроводов на планах и разрезах;
- спецификация аспирационных сетей с ведомостью потребных материалов;
- графическое изображение разверток сетей на плоскости.

Предварительный подбор (расчет) вентиляционного оборудования (пылеотделителей) производят по расходу воздуха в сети и потери давления.

Расход воздуха  $n$ -ой сети определяется по формуле:

$$Q_e^n = k_Q \cdot \sum_{k=1}^l Q_k; \quad (1)$$

- где  $Q_k$  – расход воздуха в  $k$ -ой машине;  
 $l$  – число машин, входящих в  $k$ -ю сеть;  
 $k_Q$  – коэффициент подсоса воздуха в сети;  
 $n$  – номер сети.

По полученному  $Q_e^n$ , определяют тип и номер пылеотделителя, а также потери давления в нем –  $H_p^n$  по известным формулам.

Ориентировочное сопротивление сети можно найти, суммируя потери давления пылеотделителей и последовательности участков сети, принятых за главную магистраль. Потери давления на участке главной магистрали рассчитывается по формуле:

$$H_j^n = 1,5 \cdot l_j + HD_j \cdot \sum_{r=1}^{K\phi} \varphi_r + H_{Mj} \quad (2)$$

где  $j$  – номер участка, входящего в главную магистраль;

$l_j$  – ориентировочная длина  $j$ -го участка;

$\varphi_r$  – коэффициент потерь давления в местном сопротивлении (принимать  $\varphi_r = 0, 1$ );

$K_{\phi}$  – количество фасонных деталей на  $j$ -ом участке;

$H_{Mj}$  – потери давления в машине на  $j$ -ом участке;

$HD_j$  – потери скоростного напора на  $j$ -ом участке, рассчитанная исходя из условия.

Здесь  $V_j$  – скорость воздуха на  $j$ -ом участке,

$V_{min}$  – минимально допустимая скорость.

Потери давления в сети определяем по формуле:

$$H_i^n = \sum_{j=1}^m H_j^n + H_p^n \quad (3)$$

где  $\sum_{j=1}^m H_j^n$  – сумма потерь давления в главной магистрали;

По  $Q_e^n$  и  $H_p^n$  предварительно подбирается вентилятор с максимальным КПД и минимальным номером.

Оптимальная трассировка, которая выполняется после размещения аспирационного оборудования, заключается в следующем:

$$\sum_{j=1}^k l_j^n \rightarrow \min \quad (4)$$

где  $l_j^n$  – длина  $l$ -го участка  $n$ -ой сети;  
 $k$  – количество участков в сети.

На основе оптимальной трассировки производится оптимизационный расчет потерь давления сети, заключающийся в выборе оптимальной скорости движения воздуха, определяющей минимальную строительную и эксплуатационную стоимость сети:

$$S = A + B \quad (5)$$

где  $S$  – общие годовые расходы;  
 $A$  – годовые расходы на амортизацию;  
 $B$  – эксплуатационная стоимость сети.

Строительная стоимость воздухопроводов сети определяется по формуле:

$$A_1 = b \sum_{j=1}^m \pi d_{j,k} \cdot l_j \quad (6)$$

где  $b$  – стоимость 1 м<sup>2</sup> поверхности воздуховода (принимается по статистическим данным для соответствующих цен в данной местности);

$l_j$  – длина  $j$ -го участка сети.

Так как диаметр неизвестен, то от него требуется освободиться

$$d_j = \sqrt{\frac{4Q_j}{\pi v_j}} \cong 1,13 \sqrt{\frac{Q_j}{v_j}} \quad (7)$$

где  $Q_j$  – расход воздуха на  $j$ -ом участке (м<sup>3</sup>/сек.);

$v_j$  – скорость на  $j$ -ом участке.

Будем считать  $v_j = const$  (для всех участков постоянная).

Тогда:

$$A_1 = \frac{b \cdot \pi \cdot 1,13}{\sqrt{v}} \sum_{j=1}^n \sqrt{Q_j} \cdot l_j \quad (8)$$

где расходы на амортизацию составят:

$$A = \alpha \cdot A_1 \quad (9)$$

где  $\alpha$  – коэффициент годовой амортизации.

Годовые расходы на эксплуатацию сети определяем по формуле:

$$B = n \cdot r \cdot l \cdot N \quad (10)$$

где  $n$  – производительность годовой эксплуатации;

$r$  – стоимость 1 квт.ч. энергии;

$l$  – коэффициент, учитывающий оплату обслуживающего персонала;

$N$  – потребляемая мощность сетью:

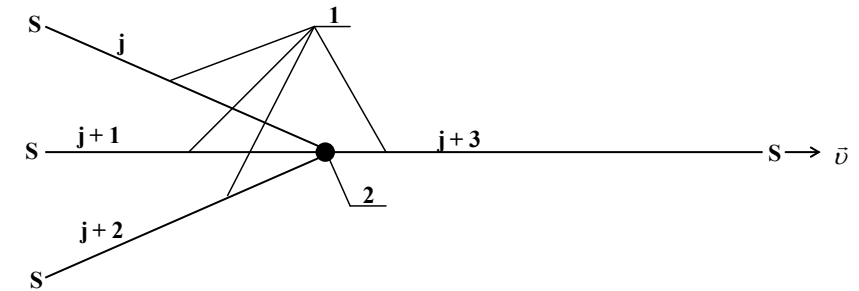
$$N = \frac{1,1 \cdot Q_c \cdot H_c}{102 \cdot \eta \cdot 3600} \quad (11)$$

Изменяя скорость ( $v$ ) в пределах от  $v_{min}$  до  $v_{max}$ , за некоторое число шагов можно достигнуть минимума величины скорости, при которой  $S=S_{min}$  является оптимальной для расчета потерь давления.

Введем некоторые определения:

а) участком называют часть сети, имеющую постоянный расход воздуха;

б) узлом будем называть начало и конец участка;



1 – участки, 2 – узел,  $\vec{v}$  – скорость движения воздуха,  $j$  – номер участка

Рисунок 1 – Схема трассировки сети

в) последовательным называют соединение входящих и выходящих участков в узел;

г) параллельным называем соединение входящих или выходящих участков в узел;

д) направлением будем называть последовательное соединение участков в сторону движения воздуха. В направление входят начальный и конечный участок;

е) главной магистралью называют направление, имеющее максимальное сопротивление, определяющее потери давления в сети в целом.

На данном рисунке три последовательных соединения:

$$[j, j+3]; [j+1, j+3]; [j+2, j+3];$$

и одно параллельное соединение

$$[j; j+1; j+2].$$

Задача оптимизации заключается в минимизации общего сопротивления сети и увязке потерь давления в листах параллельного соединения. В целом сеть можно представить в виде ориентированного графа, у которого вершины будут узлами, а дуги – участками. Под увязкой понимают устранение перепадов потерь давления между параллельными участками.

Проектная операция разбивается на несколько этапов:

а) по перечню оборудования и матрице связей производится укрупненный расчет аспирации с тем, чтобы ориентировочно определить потребность в аспирационном оборудовании;

б) по результатам предыдущего шага производится размещение аспирационного оборудования на этажах проектируемых объектов;

в) по результатам работы двух предыдущих шагов, перечню технологического, транспортного и прочего оборудования, матрице связей

и компоновочным решениям производится оптимальная трассировка воздухопроводов сетей;

г) на основе трассировки производится оптимальный расчет потерь давления сети, составляется спецификация и определяется расход материалов;

д) последним этапом следует получение графического изображения сетей на планах и разрезах и вычерчивание разверток.

### СПИСОК ЛИТЕРАТУРЫ

1 Арынгазин К.Ш., Алдунгарова А.К., Парипса И.М. Проектирование аспирационных сетей в рамках САПР-ПХПЗ. Сб. «V Сатпаевские чтения» Материалы научной конференции молодых ученых, студентов, школьников, Павлодар, ПГУ имени С.Торайгырова, 2005. – С. 277 – 283.

2 Арынгазин К.Ш., Изтаев А.И., Джанкуразов Б.О. Научно-практические основы технологического проектирования зерновых элеваторов с элементами САПР. Монография. Павлодар, Кереку, 2010. – 171 с.

Павлодарский государственный университет имени С. Торайгырова, г. Павлодар. Материал поступил в редакцию 12.03.2012.

Қ.Ш. АРЫНГАЗИН, Л.М. САРЛЫБАЕВА, А.С. СЫЗДЫКОВА  
АСТЫҚТЫ САҚТАУ ЖӘНЕ ҚАЙТА ӨНДЕУ БОЙЫНША  
КӘСІПОРЫНДАРДАҒЫ АСПИРАЦИОНДЫ ТОРАБЫ ЖОБАЛАУДЫҢ  
АВТОМАТИЗАЦИЯСЫ

K.SH. ARYNGAZIN, L.M. SARLYBAJEVA, A.S. SYZDYCOVA  
DESIGN OF ASPIRATION NETS FOR THE GRAIN STORAGE AND  
HANDLING ENTERPRISES

#### *Түйіндеме*

*Мақалада аспирационды тораптарды жобалаудың автоматтандырылған жүйесінің негізгі талаптары қарастырылады. Аспирационды тораптардың жолын тарту математикалық модель ұсынылған*

#### *Resume*

*The basic requirements of automated design system of aspiration nets are viewed in the article. And a mathematical model of the aspiration nets trace is suggested.*

УДК 621.3:620.178.162

### **А.Б. БОБЕЕВ, В.Е. ДЖУНДИБАЕВ, Г.С. ЖОЛДЫБАЕВА СНИЖЕНИЕ АБРАЗИВНОГО ИЗНОСА ЗАГРУЗОЧНЫХ И РАЗГРУЗОЧНЫХ УСТРОЙСТВ**

При непрерывной работе ленточных конвейеров даже при транспортировании ими зернистых, порошкообразных пылевидных грузов суммарная работа сил трения грузов о рабочие поверхности загрузочных и разгрузочных желобов получается весьма значительной. Рабочие поверхности желобов получается весьма значительной. Рабочие поверхности желобов быстро изнашиваются, если не приняты специальные меры по их защите от абразивного истирания. При транспортировании особо крупнокусковых абразивных грузов процесс износа желобов прогрессивно ускоряется. Существует три направления борьбы с износом желобов, спускных устройств и течек, с которыми взаимодействует транспортируемый груз: 1) футеровка рабочих поверхностей съемными стальными листами и защитными элементами; 2) изменение конструкции перегрузочного устройства; 3) снижение скорости грузопотока за счет демферирующих элементов.

В качестве защитных элементов несущую часть загрузочного и разгрузочного устройства от абразивного износа могут быть использованы: 1) закрепляемые на днищах и части боковых стенок течек полосы, чугуна, листов и плит из марганцовистой стали; 2) плиты из каменного литья (получаемого металлургическим способом и базальтов и диабазов); 3) футеровка рабочих поверхностей износостойкими антифрикционными полимерными материалами; 4) футеровка рабочих поверхностей путем их бетонирования для снижения коэффициентов трения; 5) футеровка за счет формирования защитного слоя из самого транспортируемого груза.

Достоинством загрузочных и разгрузочных желобов как транспортного средства является, то что они не имеют приводного устройства и, следовательно, не требует расхода электроэнергии и сложного ремонта.

Для борьбы с быстрым износом загрузочных и разгрузочных желобов применяется футеровка их стенок съемными стальными листами, прикрепленными к стенкам желобов посредством болтов с потайной головкой; для неабразивных транспортируемых грузов толщина футеровочных листов применяется до 10 мм.

В зависимости от крупности кусков транспортируемого груза, большого грузопотока, абразивности груза и характера его воздействия на рабочую его поверхность (ударное или безударное) принимается толщина стальной футеровки более 60 мм под нее на рабочую поверхность желоба следует

укладывать прослойку толщиной 160-200 мм [1]. Стальная футеровка к рабочей поверхности крепится болтами с потайной головкой.

Износостойкость плит из каменного лития в 15-20 раз выше чем у малоуглеродистой стали. Более того, при остеклении рабочей поверхности коэффициент трения груза по плитам из каменного лития меньше чем по стальным, поэтому долговечность и срок службы увеличивается. Недостатками этих загрузочных и разгрузочных желобов быстрый износ при транспортировании абразивных материалов, некоторое крошение и истирание транспортируемого груза, а также невысокая прочность каменного лития на ударные нагрузки.

Бетонируемые рабочие поверхности загрузочных и разгрузочных желобов армируются стальным прокатом по направлению движения транспортируемого груза.

Эффективным средством защиты загрузочных и разгрузочных желобов от абразивного износа при транспортировании мелкокусковых грузов при наличии в их составе песчаных фракции и глинистых включения устройство по ходу движения транспортируемого груза на рабочей поверхности желоба (рис. 1а). Промежутки, преграды заполненные самоуплотняющимся в процессе эксплуатации загрузочного и разгрузочного желоба материалом, образуют специальный защитный слой, надежно предохраняющий от износа несущие часть желоба.

Все выше описанные способы защиты рабочих поверхностей от абразивного износа транспортируемым грузом служат одновременно и для снижения уровня шумообразования, особенно такие средства защиты, как каменное литье, полиэтилен низкого давления. Дополнительными средствами являются устройство упругих прокладок во фланцевых соединениях, улучшением условий загрузки и разгрузки ленточных конвейеров, снижение динамической нагрузки на опорные конструкции, наружная обшивка желобов шумопоглощающими материалами.

Направление борьбы с абразивным износом загрузочных и разгрузочных желобов является выбор рациональной их форм, соответствующей траектории и поперечному сечению потока транспортируемого груза, а также выбор конструкции днища загрузочного и разгрузочного устройства. Экономичность эксплуатации ленточного конвейера прямо связана с долговечностью конвейерной ленты, а последняя в большой степени зависит от технического решения в пункте загрузки и разгрузки. В загрузочном и разгрузочном узле падающего конвейера на другой конвейерная лента разрушается под воздействием ударов падающих на нее крупных кусков транспортируемого груза, обладающих значительным запасом кинетической энергии.

Защитить конвейерную ленту от ударов абразивных кусков путем применения специальных загрузочных и разгрузочных устройств – питателей, демферирующие элементы, каскадный, имеющих целью

уменьшение высоты падения транспортируемого груза на ленту, придание абразивным кускам некоторой горизонтальной скорости и образование защитного слоя подсыпки из мелких фракции транспортируемого груза (отражатели, спускные желоба, бункерные питатели, ускорительные ленточные конвейеры – питатели, валковый и вибрационный грохоты питатели и т.д.). Кроме того в загрузочном комплексе конвейера оборудуется часто подавливыми роликоопорами различной конструкции, призванными амортизировать действие ударной нагрузки от загружаемых абразивных кусков. Опора скольжения для загрузочных устройств ленточных конвейеров включает эластичное опорное основание, армированное низкофрикционным материалом и расположенное под грузонесущей лентой конвейера. Опорное основание выполнено из ряда продольных модулей, распределенных по ширине ленты, каждый из которых содержит пару тросов с жестко закрепленными на них опорными блоками, смонтированными по всей длине тросов и отдельными один от другого дистанционными втулками.

В некоторых случаях, когда по конструктивно-компоновочным или каким-либо соображениям не удастся выполнить перегрузочную желоб с «охватом» потока груза, подаваемого в желоб (например, при разгрузке через приводной барабан), передняя стенка может быть снабжена отражателем, в который направляется поток транспортируемого груза (рис. 1б). За счет изменения направления движения транспортируемого груза, а также векторов скоростей, сразу решаются две задачи: снижения износа конвейерной ленты и разрушения конструкции желобов, а поток транспортируемого груза направление движения два раза меняет на 90°.

Павлодарский государственный университет имени С. Торайгырова, г. Павлодар. Материал поступил в редакцию 27.04.2012.

А. Б. БОБЕЕВ, В. Е. ДЖУНДИБАЕВ, Г. С. ЖОЛДЫБАЕВА  
ЖҮКТЕУШІ ЖӘНЕ ТҮСІРУ ҚҰРЫЛҒЫСЫНДАҒЫ АБРАЗИВТІҢ  
ТОЗУЫН ТӨМЕНДЕТУ  
A. B. BOBEYEV, V. E. JUNDIBAYEV, G.S. ZHOLDYBAYEVA  
DECLINE OF ABRASIVE WEAR OF LOADING AND UNLOADING  
DEVICES

#### *Түйіндеме*

*Мақалада жүктеуші және түсіру құрылғысын істен шықпауын қарастырады. Қондырғылардың тозуын зерттейді.*

#### *Resume*

*This article focuses on the reduction of wear the boot and handling devices, and gutters.*

## **С.А. ГЛАЗЫРИН, Д.Т. МУЗАПАРОВ ВЫБОР СИСТЕМЫ ОБОРОТНОГО ВОДОСНАБЖЕНИЯ**

Строительство тепловых электростанции (ТЭС) сопряжено с изменением природных условий района, использованием многих видов природных ресурсов (топлива, воды, воздуха, земли, строительных материалов) и изменением социальных структур и условий обитания. Комплексный подход к анализу влияния системы технического водоснабжения на окружающую среду предполагает учет не только влияния самой ТЭС, но и сопряженных отраслей хозяйства, обеспечивающих строительство электростанции и выработку энергии, таких, как: топливобывающая, машиностроительная, рудобывающая, металлургическая, транспортная, промышленность строительных материалов, химическая, коммунальное хозяйство и другие потребляющие природные ресурсы и загрязняющие среду часто в большей мере, чем ТЭС. Кроме того, необходим учет не только экономических, экологических и социальных факторов, действующих при строительстве и эксплуатации ТЭС, но и долговременных факторов, действующих и после окончания ее эксплуатации (после выработки оборудованием ресурса, истощения топливной базы, освоения альтернативных источников энергии и др.). До настоящего времени нет обобщающих объективных критериев количественной оценки экологических и социальных параметров воздушной, водной и ландшафтной сред, поэтому при выборе системы охлаждения помимо существующих экономических оценок и достаточно условных величин предельно допустимых концентраций (ПДК) загрязнений воздуха и воды приходится пользоваться субъективными качественными оценками экологических и социальных факторов.

В статье рассматриваются системы оборотного водоснабжения только паротурбинных электростанций на органическом топливе, которые преобладают в энергетике. Чем выше КПД тепловой электростанции, чем меньше материалоемкость, трудозатраты на строительство и эксплуатацию системы охлаждения, тем меньше затраты природных ресурсов и негативное влияние народнохозяйственного комплекса на окружающую среду. Максимальную экономичность современных конденсационных электростанций (КПД до 38%) при прочих равных условиях можно обеспечить минимальным противодавлением в конденсаторах паровых турбин (до 3 кПа) при минимальных температурах охлаждающей воды (воздуха).

Для районов с ограниченными водными ресурсами применяются оборотные системы технического водоснабжения. Из оборотных систем

технического водоснабжения наиболее целесообразной с точки зрения охраны окружающей среды представляются системы с водохранилищами-охладителями, так как помимо достаточно высоких технико-экономических и экологических показателей они обеспечивают регулирование и аккумулирование стока малых рек, существенно повышая водообеспеченность маловодных районов, обеспечивают перераспределение сброса солей, улучшая качество воды малых водотоков. Улучшают социальные условия обитания — комфортный ландшафт, возможность развития водного спорта, рыбоводства, поливного садоводства огородничества, зон отдыха и др. В засушливых безлесных районах водохранилища-охладители с лесопарковой водоохранной зоной вокруг акватории создают обитаемые оазисы (Экибастузские ГРЭС). Исследованиями и проектно-конструкторскими разработками последних лет отработаны оптимальные схемы объемной циркуляции охлаждаемой воды в водохранилищах-охладителях. Для создания объемной циркуляции применяются специальные конструкции глубинных водозаборов и поверхностных водовыпусков, использующие плотностное расслоение воды за счет разности температур нагретой сбросной и охлаждающей воды даже при глубинах, не превышающих 5 — 6 м. Такие схемы циркуляции позволяют полностью использовать теплоаккумулирующую способность водоема, располагая водозаборы и водовыпуски друг над другом непосредственно на пристанционном узле ТЭС и отказаться от строительства традиционных длинных подводящих и отводящих каналов. Зона нагретой акватории водохранилищ примыкает к площадке ТЭС, а на остальной акватории водохранилища температура воды близка к естественной. Для создания водохранилищ используются долины малых (пересыхающих летом или замерзающих зимой) рек, ручьев, оврагов, заболоченные участки пойм, прибрежные мелководья озера, котловины и другие не пригодные к использованию территории. Естественно, что при создании водохранилищ увеличивается туманообразование, влажность воздуха в приводном слое, требуются мероприятия по стабилизации уровня грунтовых вод в зоне подтопления, по предотвращению переработки берегов и др. Для строительства водохранилищ-охладителей в основном используются грунтовые материалы, разрабатываемые в пределах затопляемой территории, укладка грунта в дамбы ведется высокопроизводительными механизмами (часто способами гидромеханизации). Строительные работы заканчиваются к пуску первого энергоблока, что обеспечивает минимальное по длительности влияние процесса строительства на окружающую среду. Многолетний опыт эксплуатации ГРЭС с водохранилищами-охладителями доказал, что позитивное влияние водохранилищ преобладает над негативным и в долгосрочном аспекте влияние негативных факторов уменьшается, а позитивных увеличивается.

Однако применение водохранилищ в качестве водоохладителей оборотных систем испарительного охлаждения ограничивается возможностями занятия не пригодных к хозяйственному использованию земель или мелководных, заболоченных, антисанитарных акваторий.

Для районов с ограниченной территорией застройки в качестве охладителей оборотных систем водяного охлаждения могут успешно применяться брызгальные установки, обеспечивающие достаточно низкий уровень среднегодовых температур охлаждающей воды при плотностях орошения около  $1 \text{ м}^3/(\text{м}^2 \cdot \text{ч})$  (для северных районов плотность орошения может быть увеличена до  $3 \text{ м}^3/(\text{м}^2 \cdot \text{ч})$ ) и большую маневренность работы системы охлаждения особенно в зимний период. В условиях сухого жаркого климата брызгальные водоохладители в виде городских фонтанов давно применяются для бытового и промышленного хладоснабжения, одновременно улучшая экологическую обстановку и микроклимат окрестной зоны. Брызгальные охладители могут устанавливаться как над искусственными открытыми емкостями воды, так и над существующими акваториями озер, водохранилищ, каналов. Исследованиями последних лет определены оптимальные конструкции крупных разбрызгивающих сопл, их взаимное расположение и требуемое удаление от других зданий и сооружений. При температурах воздуха, близких к нулю и отрицательных, над брызгальными бассейнами образуется сплошной туман, при сильных ветрах — прилегающая территория на расстоянии до 200 м от разбрызгивающих устройств подвержена увлажнению и оледенению. Проводятся исследования специальных ограждений, позволяющих локализовать пар и влагу в пределах огражденной территории водоохладителя. Первый опыт эксплуатации показал, что с точки зрения теплопередачи и экономичности работы такой охладитель конкурентоспособен с другими типами водоохладителей, однако выявлены и неизбежные для головных образцов недостатки конструктивных решений. После всесторонних натурных испытаний и устранения недостатков можно ожидать, что негативное влияние брызгальных охладителей будет существенно снижено и они найдут применение в районах с резко континентальным и сухим жарким климатом (Средняя Азия, Кавказ, Сибирь, Урал, северные районы).

На стесненных (городских) территориях применяются наиболее компактные водоохладители — градирни. Уровень температур охлаждающей воды, обеспечиваемый современными башенными градирнями с противоточными пленочными оросителями при плотности орошения  $8\text{-}10 \text{ м}^3/(\text{м}^2 \cdot \text{ч})$  и при температурном перепаде около  $10^\circ\text{C}$  обеспечивают приемлемые температуры охлаждающей воды. Безвозвратное водопотребление из источников водоснабжения в оборотных системах с градирнями существенно выше, чем в прямоточных и в системах с водохранилищами, охладителями,

так как помимо увеличения испарения за счет снижения теплового КПД ТЭС вода теряется на капельный унос (при современных водоуловителях  $0,05\%$  от циркуляционного расхода) и частично на продувку системы. Следует отметить, что при испарительном охлаждении безвозвратно теряется не природная вода водоисточников, а конденсат — обессоленная вода. В этой связи существующие тарифы на потребление природной воды не пригодны для технико-экономических расчетов, так как стоимость конденсата во много раз превышает стоимость исходной подпиточной воды на величину затрат на обессоливание продувочной воды оборотных систем. С точки зрения охраны окружающей среда проблема сброса минерализованных продувочных вод оборотных систем техводоснабжения с градирнями в последние годы стала предельно острой. Градирни не имеют какой-либо аккумулирующей емкости, способной перераспределить сброс солей соответственно природным циклам солевого стока, поэтому сброс солей в источники в маловодные периоды приводит к существенному засолению поверхностных вод. Интенсивность теплового потока в атмосферу из башни градирни максимальна и достигает  $300\text{-}250 \text{ кВт/м}^2$ , выброс тепла, пара капельной влаги на высоту  $150\text{-}350 \text{ м}$  создает факел тумана, распространяющийся в направлении ветра на  $2\text{-}10 \text{ км}$  с наибольшей интенсивностью выпадет осадков на землю (для одиночной градирни) на расстоянии от одной до двух высот башни около  $40 \text{ г}/(\text{м}^2 \cdot \text{ч})$ , или в пересчете на соли до  $100 \text{ мг}/(\text{м}^2 \cdot \text{ч})$  и снижением интенсивности в 10 раз на расстоянии 5-6 высот башни. Для строительства градирен требуется повышенный расход промышленных (не грунтовых) строительных материалов, кроме того, требуется специальная опалубка, краны, оснастка, бетононасосы и прочая строительная техника. Добыча сырья, производство, транспортировка и строительство из этих материалов также сопряжены с потреблением природных и создаваемых ресурсов, а также загрязнением окружающей среды. Башенные градирни с факелами выбросов в сочетании с дымовыми трубами ТЭС являются сомнительным украшением ландшафтов. По окончании эксплуатации построенные градирни приходится сносить во избежание обрушения обветшавших башен. Относительно большие капвложения, эксплуатационные затраты и расходы природных ресурсов по системам охлаждения с башенными градирнями по сравнению с другими испарительными системами охлаждения, а также их большее негативное влияние на окружающую среду и социальные условия обитания определяют стремление к ограничению их строительства.

Уже сейчас в стране есть районы, где полностью отсутствует пресная вода и даже питьевую воду приходится добывать опреснением морской или минерализованной подземной воды. Опреснение воды — энергоемкое производство и наряду с другими отраслями хозяйства требует создания в этих районах паротурбинных электростанций. Кроме

того, освоение территорий, с длительной суровой зимой, где водные источники полностью перемерзают, но имеются огромные ресурсы холодного воздуха, диктуют применение систем воздушного охлаждения. Работы по созданию крупных воздушно-конденсационных установок (ВКУ) начались в СССР и за рубежом достаточно давно, но из-за относительно высокой стоимости и металлоемкости воздушных теплообменников и недооценки природоохранных факторов широкого применения в СССР еще не нашли. В мировой практике применяются две системы воздушного охлаждения конденсируемого пара турбин:

- прямая конденсация пара на внутренней поверхности разветвленного паропровода, оребренного со стороны потока охлаждающего воздуха (воздушный конденсатор);

- конденсация пара в смешивающем конденсаторе на поверхности впрыскиваемого в паровое пространство конденсата – промежуточного теплоносителя, охлаждаемого в водовоздушных теплообменниках.

Для передачи атмосферному воздуху теплоты конденсации 1 т/ч пара через современные радиаторные теплообменники [коэффициент теплопередачи 40-50 ккал/(м<sup>2</sup>·ч·град) при скорости воздуха 2-3 м/с] требуется поверхность теплопередачи со стороны воздуха примерно 1300 м<sup>2</sup>. Расходы пара в конденсаторы турбин составляют сотни тонн в час, поэтому габариты воздушных конденсаторов не позволяют разместить их вблизи турбоагрегата. Значительное удлинение и разветвленность вакуумных паропроводов за счет аэродинамических сопротивлений парового тракта резко увеличивают противодавление турбины и снижают ее экономичность. Поэтому системы прямой воздушной конденсации пара применяются для турбоагрегатов малой мощности. Для крупных энергоблоков в настоящее время более целесообразно использование систем воздушного охлаждения с промежуточным теплоносителем, позволяющим размещать радиаторные водоохладители (сухие градирни) достаточно далеко от машзала ТЭС. Такая система отвода тепла в атмосферу аналогична оборотной системе водяного охлаждения (конденсатор — циркуляционный насос — водоохладитель — конденсатор) с той разницей, что в системе циркулирует конденсат, а не техническая вода, и охлаждение конвективное — без контакта с воздухом, а не испарительно-конвективное — с открытой водной поверхностью. Опыт наладки и эксплуатации воздушно-конденсационных установок показал их достаточную надежность, экономичность и минимальное влияние на окружающую среду, несмотря на снижение мощности блоков в периоды высоких температур воздуха. В периоды высоких температур воздуха его относительная влажность низка и для этого система ВКУ может быть снабжена дополнительными пиковыми охладителями в случае необходимости. Работа таких пиковых брызгальных охладителей (фонтаны) одновременно создает

более благоприятный микроклимат на промплощадке. Проектные разработки комбинированных систем охлаждения пара, сочетающих преимущества и устраняющих недостатки конвективного и испарительного охлаждения, показывают возможности существенного повышения экономичности и снижения отрицательного влияния на окружающую среду паротурбинных ТЭС. Исследовательские, проектно-конструкторские работы и освоение производства оборудования для комбинированных систем охлаждения позволят повысить экономичность и обеспечить минимальное отрицательное влияние систем охлаждения на окружающую среду.

Павлодарский государственный университет имени С. Торайгырова, г. Павлодар. Материал поступил в редакцию 15.03.2012.

С.А. ГЛАЗЫРИН, Д.Т. МҰЗАПАРОВ  
СУДЫҢ ТИІМДІ ҚОЛДАНУЫ  
S.A. GLAZYRIN, D.T. MUZAPAROV  
THE CHOICE OF CIRCULATING WATER SUPPLY SYSTEM

#### *Түйіндемe*

*Бұл мақалада айналымды сумен қамту жүйесі таңдау қарастырылған.*

#### *Resume*

*The choice of circulating water supply system is described in this article.*

УДК 502.55:665.644.2-404

### **С.А. ГЛАЗЫРИН, Г.С. БЕКИШЕВА, Н.С. ГЛАЗЫРИНА ПРОБЛЕМЫ ВЫБРОСОВ УСТАНОВОК КАТАЛИТИЧЕСКОГО КРЕКИНГА НЕФТЕПЕРЕРАБАТЫВАЮЩИХ ЗАВОДОВ**

Защита окружающей среды от вредных выбросов является одной из острейших проблем современности. Увеличение выбросов вредных веществ в атмосферу могут повлечь за собой самые серьезные последствия, которые в настоящее время трудно предвидеть.

Значительная часть современных технологических процессов в химической и нефтехимической промышленности связана с применением порошкообразных материалов и сопровождается интенсивным выделением пыли.

Основными путями борьбы с пылевыми выбросами в атмосферу должны оставаться совершенствование технологических процессов с доведением

до минимума вредных выбросов и создание безотходных, замкнутых технологических циклов.

Одними из источников пыли являются установки каталитического крекинга нефтеперерабатывающих заводов. Пылевидными выбросами этих установок являются выбросы регенерированной катализаторной пыли.

Первыми катализаторами крекинга были кислые глины (монтмориллониты). Затем они были заменены более активными и селективными аморфными алюмосиликатными катализаторами, которые применялись более 30 лет. Крупным шагом в развитии технологии каталитического крекинга была разработка и широкое применение с конца 60-х годов цеолитсодержащих (алюмосиликатных кристаллических) катализаторов.

Отрицательное влияние пылевых выбросов подобных синтетических катализаторов мало изучено, в то время как по нормативам, ПДК катализаторной пыли приравнивается к ПДК пыли глинозема.

В процессе каталитического крекинга сырье превращается в бензин, газ, кокс и газойлевые фракции. Целевым продуктом является бензин. Значительная часть остальных продуктов крекинга, называемых побочными, используется для получения дополнительных количеств бензина, или для приготовления других товарных продуктов. Каталитические процессы осуществляют в условиях контакта газа, в котором происходят каталитические превращения, с твердым катализатором.

Катализаторами служат пористые мелкодисперсные алюмосиликатные активированные глины, или же применяют синтетические алюмосиликатные катализаторы. Они представляют собой сыпучий материал, легко транспортируемый потоками воздуха или паров сырья.

Крекинг нефтяных фракций сопровождается отложением кокса на развитой поверхности катализатора. Катализатор регенерируют, выжигая кокс в потоке воздуха в регенераторе. Регенерированный, в значительной степени освобожденный от кокса катализатор снова используется крекинг-процессе. Процесс проводят в адиабатических условиях, в паровой фазе при 450-500°, а процесс регенерации катализатора – в атмосфере воздуха или его смеси с продуктами сгорания при 540-680°C и давлении 0,01-0,16 МПа.

Первые промышленные установки с неподвижным слоем катализатора к настоящему времени вытеснены более экономичными с подвижным катализатором; последний циркулирует непрерывно через реактор и регенератор; перемещение производится пневматически – газовым потоком. В таких условиях катализатор помимо своей прямой роли выполняет также функции подвода теплоты для эндотермического процесса крекинга и вывода кокса из реактора. В системах с подвижным катализатором достигается непрерывность процесса, легкая регулировка температуры крекинга и регенерации. Активность катализатора благодаря непрерывному выводу

части дезактивированного катализатора и подводу свежего поддерживается на некотором постоянном уровне.

В газе, покидающем свободное (сепарационное) пространство над взвешенным слоем, содержатся частицы катализатора. Для улавливания катализатора с целью возврата в производство, а также для очистки выбрасываемых в атмосферу газов от катализаторной пыли установки каталитического крекинга оснащаются пылеуловителями. Пылеулавливающие устройства (циклоны) размещаются внутри реактора и регенератора. Для дополнительной очистки выбрасываемых в атмосферу дымовых газов до санитарных норм применяются выносные пылеуловители. Улавливание катализатора внутри технологических аппаратов и возврат его в производство является условием осуществления крекинг – процесса во взвешенном слое, а предотвращение потерь катализатора с выбросами в атмосферу улучшает экономические показатели установки и предупреждает загрязнение окружающей среды.

Способы размещения внутренних и выносных пылеулавливающих установок бывают разные. Могут быть применены одна или несколько ступеней улавливания пыли. Принятый способ размещения циклонов оказывает влияние на общую высоту установки.

Разгрузка циклонов производится через пылеспускные стояки, снабженные затворными устройствами. Последние обеспечивают непрерывный и периодический сброс пыли из стояка в псевдооживленный слой.

Для эффективной работы внутренних циклонов большое значение имеет создание в аппарате равномерного режима псевдооживления всего слоя и отсутствие значительных местных выбросов катализатора. Для этого аэрирующий поток должен быть равномерно распределен по сечению аппарата, а катализатор должен иметь определенный фракционный состав.

При средней скорости газового потока внутри регенератора над взвешенным слоем 0,61 м/с при хорошем псевдооживлении количество катализатора, выносимое из слоя, 2270 г/м<sup>3</sup>, при плохом – 5400 г/м<sup>3</sup>. Соответственно при скорости газа над слоем 0,73 м/с эти величины были 4750 г/м<sup>3</sup> и 8550 г/м<sup>3</sup> при хорошем и плохом псевдооживлении достигалось при работе на катализаторе следующего фракционного состава: содержание фракции 0-40 мкм – 6%, 40-80 мкм – 31%, крупнее 80 – 63%; при содержании этих же фракций 25%, 26% и 49% псевдооживление было неудовлетворительным.

Показательно, что потери катализатора, более мелкого и тем самым более благоприятного для псевдооживления, меньше, чем грубодисперсного. Так, на одной из зарубежных крекинг-установок с уменьшением среднего размера частиц катализатора с 73 до 65 мкм потери его снизились 4 до 2,5 т/сутки.

Циклоны внутри крекинг-аппаратов работают в условиях высокой температуры, значительной входной запыленности газов и подвержены



одновременному коррозионному воздействию со стороны газов и эрозионному со стороны катализатора. В реакторе температура газов 450 - 500°C; в регенераторе, в слое катализатора, газы имеют температуру примерно 600°C. В верхней части регенератора температура может подниматься до 700 - 1000°C за счет догорания окиси углерода. Для снижения температуры с целью защиты оборудования в верхнюю часть регенератора впрыскивается вода. Догорание окиси углерода в процессе эксплуатации крекинг-установок предупреждают, регулируя состав газов. Не допускается содержание кислорода в газе выше 0,5 - 1,0%. Для защиты от абразивного износа внутреннюю поверхность циклонов футеруют слоем жаростойкого цемента.

Пылеспускные стояки для разгрузки циклонов могут быть погружены в кипящий слой или размещены над ними. Иногда стояки циклонов первой ступени опускают в слой, а стояки циклонов второй ступени совершенно не опускают в слой или погружают на незначительную глубину.

Для нормального функционирования циклонов в пылеспускных стояках должен поддерживаться столб уловленного катализатора. Расстояние от уровня столба катализаторной пыли в стояке до бункера циклона должна быть не менее 16-19 диаметров стояка. Стояки, погруженные во взвешенный слой катализатора, имеют под выводным отверстием защитные козырьки, предупреждающие полное опораживание стояка и проскакивание газов в циклон через стояк. Стояки, не погруженные в слой, снабжаются затворами-мигалками горизонтального или вертикального типа. Газодинамические условия в системе циклоны-стояки должны быть сбалансированы таким образом, чтобы в стояках поддерживалось достаточно высокое статическое давление для предупреждения обратного проскока пылегазового потока в стояк и далее в выхлопную трубу циклона.

В качестве внутренних циклонов, подвешиваемых внутри реакторов или регенераторов на отечественных флюид-установках, чаще всего применяют нормализованные циклоны типа ЦН-15У. Они имеют достаточно большую пропускную способность, компактны и обладают сравнительно небольшим сопротивлением. Циклоны ЦН-15У применяются в обеих ступенях улавливания катализатора внутри технологических аппаратов. В настоящее время задача сокращения выбросов флюид-установок в атмосферу и обеспечения современных санитарных норм решается как путем совершенствования внутренних пылеуловителей, так и путем разработки более эффективной выносной ступени очистки газов.

В результате исследований, проведенных в Семибратовском филиале НИИОГАЗ, предложена двухступенчатая циклонная система улавливания катализатора внутри технологических аппаратов с псевдооживленным слоем.

В качестве первой ступени в ней использованы нормализованные циклоны ЦН-15У или ЦН-24, а в качестве второй – вновь разработанный спиральный

цилиндро-конический циклон НИИОГАЗ (СЦКН), отличительные признаки которого – наличие вставки в конусе циклона, спиральный входной патрубков и относительно малая высота.

Коэффициент гидравлического сопротивления циклона СЦКН равен 640. Рекомендуемые пределы скорости газового потока в сечении циклона: 2,5-3 м/с. Вставка в виде усеченного обратного конуса в нижней части циклона увеличивает статическое давление в спускном стояке. В сравнении со спирально-коническим циклоном СК-ЦН-38, на базе которого создавался циклон СЦКН, последний имеет почти вдвое меньший коэффициент гидравлического сопротивления за счет увеличения сечения входного патрубка. Благодаря повышенному статическому давлению в пылеспускном стояке длина стояка (высота запорного столба пыли) у циклона СЦКН может быть вдвое сокращена по сравнению с длиной стояка у циклона СК-ЦН-38.

В качестве выносной ступени пылеулавливания применяют электрофильтры (однопольные вертикальные типа СС и горизонтальные трехпольные типа ОГ и СГ) или циклоны большого диаметра. В ряде случаев применяют двухступенчатую систему выносных пылеуловителей, включающую и циклоны, и электрофильтр.

Наибольшее распространение в настоящее время получил электрофильтр типа СГ-15-3, представляющий собой горизонтальный трехпольный односекционный аппарат с стальным прямоугольным корпусом. Верхнюю часть корпуса составляет крышка с тремя конфузорами, на которых имеются патрубки со взрывными клапанами, в нижней части находится бункер для приема уловленной пыли. Для равномерного распределения газового потока по сечению электрофильтра на входе установлены две газораспределительные решетки с живым сечением 40% каждая. Привод механизма встряхивания решеток – ручной.

В качестве выносной ступени пылеулавливания применяют электрофильтры (однопольные вертикальные типа СС и горизонтальные трехпольные типа ОГ и СГ) или циклоны большого диаметра. В ряде случаев применяют двухступенчатую систему выносных пылеуловителей, включающую и циклоны, и электрофильтр.

Наибольшее распространение в настоящее время получил электрофильтр типа СГ-15-3, представляющий собой горизонтальный трехпольный односекционный аппарат с стальным прямоугольным корпусом. Верхнюю часть корпуса составляет крышка с тремя конфузорами, на которых имеются патрубки со взрывными клапанами, в нижней части находится бункер для приема уловленной пыли. Для равномерного распределения газового потока по сечению электрофильтра на входе установлены две газораспределительные решетки с живым сечением 40% каждая. Привод механизма встряхивания решеток – ручной.

Активная часть электрофильтра состоит из системы прутковых осадительных и коронирующих электродов. В каждом электрическом поле аппарата установлено 12 сборок осадительных электродов. По оси проходов для газов, образованных сборками осадительных электродов, размещаются ряды коронирующих электродов из нихромовой проволоки диаметром 2,2 мм. Электроды подвешены к верхней раме с шагом 200 мм, расстояние между рамами 300 мм..

Габаритные размеры электрофильтра СГ-15-3 14900Ч4000Ч13570 мм, активная поверхность осаждения 825 м<sup>2</sup>, активная суммарная длина коронирующих электродов 1930 м. Коронирующие электроды отряхиваются ударами штанги по наковальням на верхней раме подвеса. В электрическую цепь приводов механизмов отряхивания включено устройство, позволяющее регулировать режим отряхивания.

Обследование электрофильтров на ряде предприятий показало, что эффективность их работы зависит от температуры очищаемых газов. Достаточно устойчиво и эффективно электрофильтры работают при температуре не более 230°С.

Температуру дымовых газов понижают путем впрыскивания воды в газоход, если его объем достаточен для обеспечения испарения воды, или в специальные скрубберы-увлажнители. Снижение температуры газов благоприятно влияет на эффективность очистки вследствие уменьшения омического сопротивления слоя пыли на электродах, а также вследствие возрастания пробивного напряжения, что дает возможность работать при большей разности потенциалов на электродах. Однако снижать температуру газов можно только до некоторого предела, ограничиваемого точкой росы. Появление конденсата осложняет работу электрофильтра (пыль налипает на электродах и стенках аппарата) и, кроме того, интенсифицирует процесс коррозии аппарата, так как в газах присутствуют сернистые соединения.

Обследование выносных циклонов ангарской и кремненчугской крекинг-установок производилось при различных технологических режимах работы.

Измерялись показатели характеризующие работу циклонов при проектной производительности установок по сырью, при пониженной производительности установки, а так же в условиях догрузки катализатора в регенератор. В двух последних случаях происходило догорание окиси углерода. Некоторые результаты обследования работы циклонов приведены в таблице 1 после усреднения всей совокупности экспериментальных данных степени очистки газов при условной скорости потока в сечении циклонов 1,5-2,1м/сек составила 85% при проектной производительности установки по сырью, а на других режимах эксплуатации 77-96%. Гидравлическое сопротивление циклонов при скорости потока в сечении 1,0-2,3м/с составило соответственно 4,8-32,8 гПа. Пылевая нагрузка, приходящаяся на каждый из

четырёх выносных циклонов, оказалась не одинаковой, что свидетельствует о неидентичной работе групп циклонов внутри регенератора. Дисперсный состав алюмосиликатного катализатора на входе в выносные циклоны и после циклонов в диапазонах размеров частиц 0-10, 10-20 и 20-60 мкм соответственно был равен 25,40 и 34 и 70, 22 и 7% (масс). Концентрация катализатора в дымовых газах на уровне расположения входных патрубков циклонов внутри регенератора установки каталитического крекинга Ново-Ярославского нефтеперерабатывающего завода менялось от 1930 до 3620 г/м при скорости восходящего потока в сечении регенератора 0,37-0,47 м/с.

Таблица 1  
Усредненные показатели работы электрофильтров СГ-15-3 установок 1А/1М каталитического крекинга нефти

Измеряемые параметры	Ангарский НПЗ		Красноводский НПЗ		Ново-Ярославский НПЗ	
	1	2	1	2	1	2
Температура газов, °С	274	282	243	242	210	180
	231	239	203	200	180	150
Давление +, разряжение -, в газоходе, Па	+1640	+1650	+257	+150	-	-
	+70	+80	-186	-266	-	-
Расход газа, тыс. м <sup>3</sup> /ч При рабочих условиях	91,65	92,10	81,5	82,8	69,1	70,8
	82,20	82,20	83,4	88,3	65,0	69,0
При нормальных условиях	47,77	46,2	44,5	45,4	38,4	41,9
	41,32	40,8	48,4	51,4	38,5	43,8
Скорость газа в сечении аппарата, м/с	1,65		1,48-1,54		1,28-1,31	
Запыленность газа, г/м <sup>3</sup>	18,2	18,5	9,5	9,2	11,7	15,4
	1,5	2,21	0,6	0,3	0,16	0,26
Степень улавливания	0,88-0,92		0,94-0,97		0,98-0,985	

Примечание: В нижней строчке приведены данные измерений на входе в электрофильтр, в верхней на выходе.

Основные усредненные показатели работы электрофильтров СГ-15-3 установок 1А/1М каталитического крекинга приведены в таблице 1. Данные получены в процессе обследования эффективности улавливания алюмосиликатного катализатора на установках Ангарского, Красноводского и Ново-Ярославского нефтеперерабатывающих заводов. Фракционный состав алюмосиликатного катализатора на входе в электрофильтры следующий:

Таблица 2

1-5 мкм	16% (масс.)
5-10 мкм	27,5% (масс.)
10-20 мкм	41% (масс.)
20-30 мкм	10% (масс.)
30-40 мкм	3,5% (масс.)
40 мкм	2% (масс.)

При работе установки Ново-Ярославского нефтеперерабатывающего завода на цеолитсодержащем катализаторе после частичной модернизации электрофильтров СГ-15-3 и наладки агрегатов питания удалось достигнуть степени улавливания 93-98%.

### СПИСОК ЛИТЕРАТУРЫ

1 Суербаяев Х.А., Жубанов К.А. Каталитические процессы нефтеперерабатывающей промышленности//Алматы: «Қазақ университеті», 2002.- 153 с.

2 Мазур И.И., Молдаванов О.И., Шишов В.Н. Инженерная экология.: Справочное пособие//Под общ.ред. И.И. Мазура. М.: «Высшая школа», 1996г. - 665 с.

Павлодарский государственный университет имени С. Торайгырова, г. Павлодар. Материал поступил в редакцию 29.02.2012.

С.А. ГЛАЗЫРИН, Г.С. БЕКШЕВА, Н.С. ГЛАЗЫРИНА  
 МҰНАЙ ӨҢДЕЙТІН ЗАУЫТТАРДЫҢ КАТАЛИТИКАЛЫҚ  
 КРЕКИНГІНІҢ ҚОЮЛАРЫНЫҢ ЛАҚТЫРУЛАРЫ ЖӨНІНДЕГІ  
 МӘСЕЛЕЛЕР

S.A. GLAZYRIN, G.S. BEKISHEVA, N.S. GLAZYRINA  
 THE PROBLEM OF EMISSIONS UNITS OF CATALYTIC OIL REFINERIES

### Түйіндеме

*Бұл мақалада мұнай өңдейтін зауыттардағы каталитикалық крекинг мәселесі қарастырылған.*

### Resume

*This article describes the problem of catalytic cracking in refineries.*

УДК 621.18:628.539

## С.А. ГЛАЗЫРИН, А. КЫРЫКБАЙ, К.Ш. ЕРЖАНОВ АНАЛИЗ СУЩЕСТВУЮЩИХ МЕТОДОВ СНИЖЕНИЯ И ОЧИСТКИ ОТ ВЫБРОСОВ ОКСИДОВ СЕРЫ

Мировой опыт показывает, что ни одна из технологий сероулавливания не может быть успешно внедрена без опытной проверки в условиях реальной ТЭС. Поэтому длительное отставание с сооружением в нашей стране опытно-промышленных сероулавливающих установок усложняет и без того тяжелое положение с сероулавливанием в энергетике. Несмотря на то, что оснащение сероочистными установками повышает стоимость ТЭС на 25...30% и на 5...15% повышает стоимость тарифов на электроэнергию. В США, Японии, Германии, Австрии и др. странах эти установки обязательны для всех новых угольных блоков. Подлежат оснащению сероочистными установками и большинство действующих энергоблоков. Всего в мире оснащено сероочистными установками оборудование установленной мощностью более 135 ГВт.

В нашей стране из-за узковедомственного подхода к экономическому обоснованию затрат на сооружение электростанций, остаточному принципу выделения средств на природоохрану внедрению систем очистки дымовых газов от окислов серы не уделялось должного внимания. По этой причине до настоящего времени разработанные различными организациями технологии очистки выбросов от SO<sub>2</sub> не проверены в условиях эксплуатации, их проектные показатели уступают зарубежным, промышленное производство отечественных катализаторов не налажено.

Наибольшее распространение в мире получило направление снижение окислов серы – очистка дымовых газов в сероулавливающих установках. В настоящее время известно более 80-и модификаций способов удаления SO<sub>2</sub> из дымовых газов.

Наиболее часто применяются установки сероочистки с применением дешевых природных реагентов – извести (Ca(OH)<sub>2</sub> – гидрат оксида кальция) или известняка (CaCO<sub>3</sub> – карбонат кальция) с получением в виде конечного продукта гипса или сульфатно-сульфитной смеси.

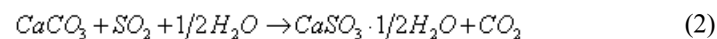
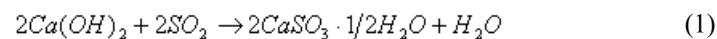
Среди традиционных методов десульфуризации низкоконцентрированных по SO<sub>2</sub> отходящих промышленных газов бесспорными лидерами по количеству построенных установок являются технологии с использованием известняка или извести является известняковый и известковый методы [1,2,3,4,5,6]. Данные методы применяют более чем на 80% установок десульфуризации, действующих в мире.

Следует отметить, что в первых системах десульфуризации в качестве сорбента использовали известь как более щелочной и, следовательно, более эффективный реагент по сравнению с известняком ( $\text{CaCO}_3$ ). В дальнейшем было показано, что достаточно эффективную очистку газа от  $\text{SO}_2$  можно получить, применяя гораздо более дешевый сорбент - известняк.

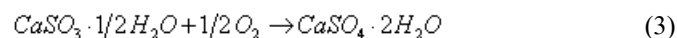
Преимущества известковой суспензии: высокая реакционная способность, обеспечивающая эффективную абсорбцию при малом соотношении абсорбент: газ; небольшие размеры абсорберов и капитальных затрат; меньший объем твердого осадка отработанного абсорбента; более низкое потребление воды.

Преимущества известняковой суспензии: дешевизна и доступность хемосорбента; небольшое потребление энергии (с учетом узла обжига известняка в известь).

Абсорбция  $\text{SO}_2$  водными растворами извести и известняка приводит к образованию одних и тех же продуктов, например:



Скорость образования сульфита кальция зависит от условий, согласно которым рН суспензии находится в пределах 4 - 7 и температура около  $100^\circ\text{C}$ . После стадии абсорбции суспензию обрабатывают воздухом в специальных емкостях. Кислород воздуха доокисляет сульфит кальция в нейтральный сульфат (гипс):



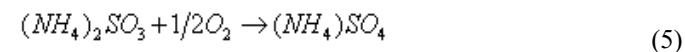
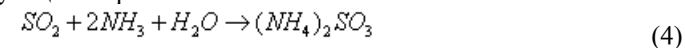
Первая в мире крупная промышленная установка, очищающая 3 млн  $\text{м}^3/\text{ч}$  аглозавов по известняковому методу, была введена в эксплуатацию на Магнитогорском металлургическом комбинате в 1961 г. Эта установка работает до настоящего времени, улавливая 100 тыс. т диоксида серы в год.

Методы аммиачной абсорбции диоксида серы [1,2,5,7,8]. Особое внимание заслуживают процессы с использованием водных растворов аммиака, относящиеся к абсорбционно-окислительным способам. Известно довольно большое число таких методов, которые могут быть как нерегенеративными, так и регенеративными. Технологии аммиачной абсорбции  $\text{SO}_2$  с получением  $(\text{NH}_4)_2\text{SO}_4$  могут приобрести первостепенное значение по ряду причин.

Мировое потребление сульфата аммония составляет 18 млн. т в год и прогнозируется увеличение его потребления. Почти 75% современной

поставки сульфата аммония представляет собой побочный продукт производства капролактама, промежуточного продукта для получения нейлона. Другими источниками  $(\text{NH}_4)_2\text{SO}_4$  являются батареи коксовых печей и целевое получение сульфата аммония аммонизацией серной кислоты. Эти источники  $(\text{NH}_4)_2\text{SO}_4$  исторически продолжали и продолжают уменьшаться из-за усовершенствований, связанных с сокращением количества производимого побочного продукта - сульфата аммония. Учитывая также, что  $(\text{NH}_4)_2\text{SO}_4$  отнесен к сложным удобрениям, так как содержит одновременно азот и серу [9], и в мировом сельском хозяйстве засвидетельствовано резкое снижение внесения доли серы от общего объема потребляемых удобрений [10], можно прогнозировать увеличение рынка сбыта сульфата аммония.

Абсорбция диоксида серы с последующим окислением может быть выражена следующим образом:



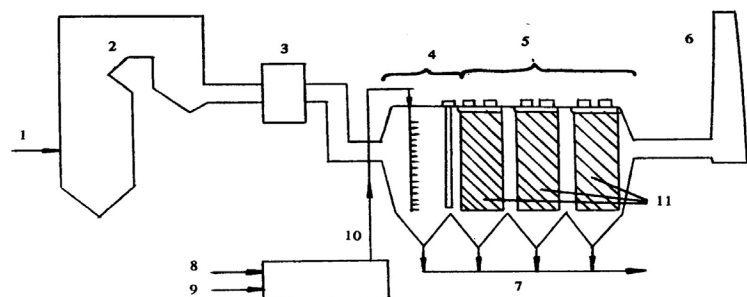
Абсорбционно-термические методы. Сущность данных процессов заключается в тонком распылении высокоактивного абсорбента (суспензия тонкоизмельченной извести, раствор соды, раствор гидроксида натрия ит.д.) в потоке горячего очищаемого газа. При этом наряду с очисткой газов от диоксида серы происходит полное испарение влаги из абсорбента за счет тепла дымовых газов. Часть воды переходит в твердую фазу в виде кристаллогидратов сульфата и сульфита кальция. Образующиеся сухие соли отделяют в электрофилт্রে или рукавном филт্রে.

Основной расход энергии при очистке газов приходится на распыление абсорбента, так как необходимый размер капель составляет 30-50 мкм. В установках применяют два вида распылителей - механический вращающийся, использующий центробежный эффект, и пневматический с применением сжатого воздуха. Выбор типа распылителя зависит от размеров реактора, т.е. определяется объемом очищаемых газов.

Метод E-SOx [4,11]. Схема технологии десульфуризации газов, разработанная Бабкок-Вилкоккс Макдермонтт компании (г. Алланс, шт. Огайо) на основе мокросухого процесса, показана на рисунке 1. При ее реализации часть электрофилтра используют как камеру для разбрызгивания сорбента. Это возможно, потому что многие электрофилтры в подобных системах выполнены с большим запасом, позволяющим использовать пространство одного из электрических полей. Эффективность остающихся электрополей может быть увеличена специальными мероприятиями.

В объем, созданный после удаления первого поля, инжестируют известковую суспензию. Диоксид серы связывается известью, имеющейся в каплях этой суспензии, капли затем высушивают, а сухие частицы осаждаются на оставшихся полях электрофильтра.

При демонстрации процесса E-SO<sub>x</sub> на ТЭС Р.Е. Бюргер компании (шт. Огайо, Эдисон) было достигнуто запланированное улавливание более 50% серы [11].

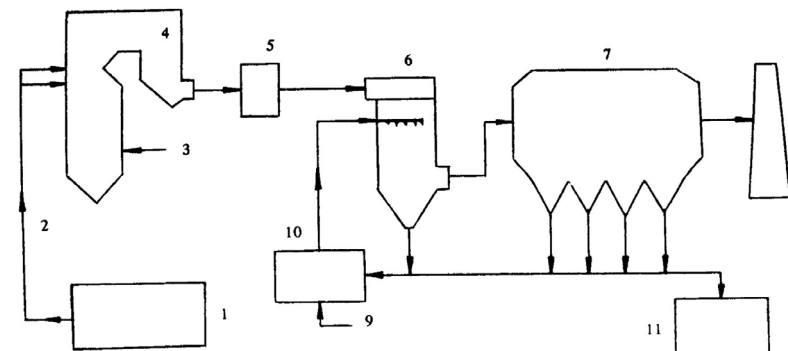


1-уголь; 2-котел; 3- воздухоподогреватель; 4-реактор; 5-многоступенчатый электрофильтр; 6-дымовая труба; 7-сухие отходы или возврат; 8- известь; 9-вода; 10-суспензия; 11-электрополя

Рисунок 1 - Схема процесса E-SO<sub>x</sub>

Метод LIDS [4,12]. Объединяет элементы технологии LIMB, представляющей из себя комбинацию технологий, включающую модификацию горелок, ввод извести в топку и увлажнение потока дымовых газов, с измененным мокросухим процессом. Метод LIDS так же, как метод E-SO<sub>x</sub> разработан Бабкок-Вилкокс Макдермонт компании.

Технологическая схема процесса показана на рисунке 2. Распыляемый известняк вводят в верхнюю часть топки, где он кальцинируется в оксид кальция и частично реагирует с SO<sub>2</sub>. Эффективность улавливания SO<sub>2</sub> составляет при этом 25 - 40%. Оксид кальция и безводный сульфат кальция проходят с дымовыми газами через котел, экономайзер и воздухоподогреватель в мокросухой реактор, где сухие частицы CaO реагируют с водяным паром и SO<sub>2</sub>. Эти сухие частицы связывают от 6 до 20% SO<sub>2</sub>, имеющегося в газе. Затем дымовые газы поступают в пылеуловитель, где улавливаются летучая зола, сухие продукты сероочистки и непрореагировавший CaO.



1-получение и приготовления известняка; 2-топка, ввод известняка и кальция; 3-уголь; 4-котел; 5-воздухоподогреватель; 6- реактор мокросухой сероочистки; 7-золоуловитель; 8- дымовая труба; 9-вода; 10-система подачи суспензии; 11-отходы на хранение.

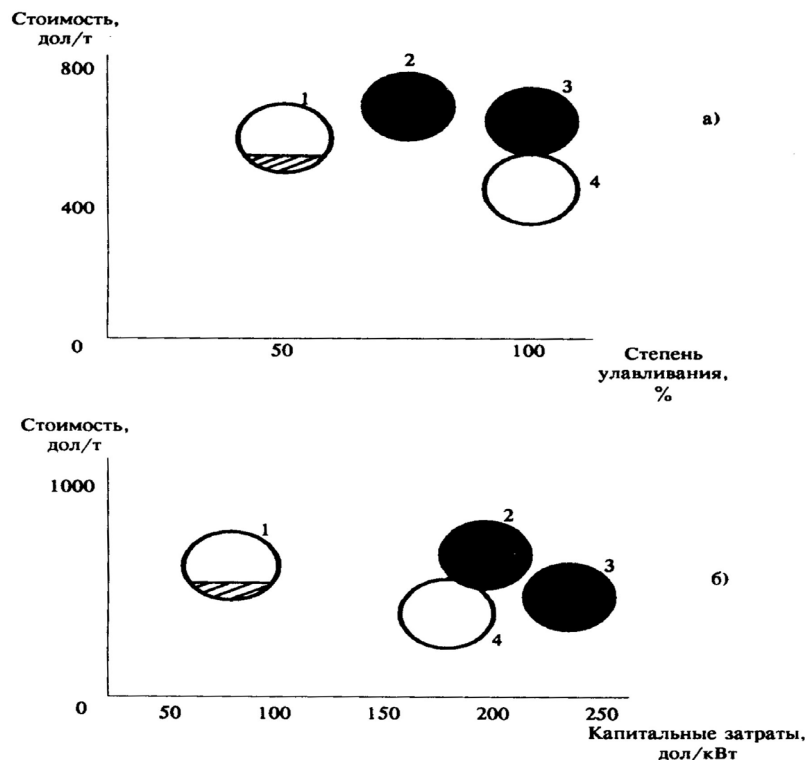
Рисунок 2 - Система LIDS. Ввод известняка (LIMB) и мокросухая сероочистка (E-SO<sub>x</sub>)

В качестве золоуловителя предпочтителен рукавный фильтр, потому что значительное количество SO<sub>2</sub> может быть связано избыточным количеством осевшей на поверхности рукавов извести (наблюдалось улавливание 70% SO<sub>2</sub> при относительной влажности около 50%). Однако в большинстве случаев пылеуловителями являются электрофильтры, которые позволяют улавливать до 20% SO<sub>2</sub>.

Последней операцией в этом процессе является сбор уловленного твердого материала и его гашение. Гашеную золу затем направляют в мокросухой реактор, где тонко разбрызгивают. Общая степень улавливания SO<sub>2</sub> в технологии LIDS при использовании электрофильтра может составлять 85% и более при отношении Ca : S = 2 и выходной температуре примерно на 10°C больше температуры точки росы водяных паров. С рукавным фильтром достигается улавливание более 92% SO<sub>2</sub> при аналогичной стехиометрии и температуре. Рассмотренные технологии E-SO<sub>x</sub> и LIDS - примеры новых систем, разработанных с целью реконструкции жидкофазных установок десульфуризации, работающих по известковому или известняковому методам. Они связывают SO<sub>2</sub> при существенно меньшей стоимости тонны уловленного SO<sub>2</sub>, чем в обычных системах жидкофазной известняковой очистки. Наряду с меньшими затратами на единицу удаляемой серы эти технологии требуют также меньших капитальных затрат (рисунок 3).

Метод фирмы «Лурги» [1] с циркулирующим кипящим слоем сорбента разработан в качестве альтернативы методу распылительной абсорбции.

Способ заключается в пропускании дымовых газов с обычной температурой 140-160°C через циркулирующий кипящий слой измельченного реагента, в качестве которого применяют гидрат оксида кальция.



1-LIMB (ввод известняка в топку); 2-мокротухлая сероочистка(E-SO<sub>x</sub>); 3-мокрая (известковая) сероочистка; 4- LIDS(LIMB+ E-SO<sub>x</sub>)

Рисунок 3 - Стоимость, эффективности удаления SO<sub>x</sub> (а) и капитальные затраты на удаление SO<sub>x</sub> (б)

Основное преимущество способа перед полусухой распылительной абсорбцией заключается в уменьшении габаритов оборудования. При диаметре реактора с циркулирующим кипящим слоем сорбента 9 м, через него можно пропускать свыше 600 тыс. м<sup>3</sup>/ч. Степень очистки составляет 95%.

При использовании циркулирующего кипящего слоя для очистки газа от SO<sub>2</sub> гидравлическое сопротивление аппарата составляет 2-3 КПа. Обеспыливание перед подачей газа в реактор определяют требованиями к продукту. Ввод известки может осуществляться как в виде суспензии, так и в сухом виде с последующим добавлением воды.

В целом можно отметить, что попытки снижения капитальных затрат при десульфуризации газов привели к созданию во многих странах систем полусухой очистки. Подобные процессы разработаны, проверены и внедрены рядом фирм: «Ниро Атомайзер» (Дания, Швеция); «Флэкт» (Финляндия, Швеция); «Лурги» (Германия); «Роквелл Интернэшнл» (США); «Джой Манафактуринг» (США); «Дженерал Электрик»(США) и др. [5]

В период освоения метода полусухой абсорбции предполагалось, что он станет универсальным процессом, пригодным для очистки газов с различными характеристиками. Этот прогноз не оправдался, и практически метод применяют только на электростанциях или котельных, сжигающих малосернистые угли. Не удалось также существенно поднять пропускную способность установок, что ограничило сферу применения метода котлоагрегатами мощностью 400 МВт и ниже (т.е. применяется для дымовых газов с низкой концентрацией SO<sub>2</sub> не более 0,1 – 0,15% об. и производительностью до 1 млн. м<sup>3</sup>/ч).

#### СПИСОК ЛИТЕРАТУРЫ

- 1 Носков А.С., Савинкина М.А., Анищенко Л.Я. Воздействие ТЭС на окружающую среду и способы снижения наносимого ущерба. - Новосибирск, - 1990. - 184 с.
- 2 Защита окружающей среды при производстве энергии на тепловых электростанциях /Под ред. Г.Г. Ольховского, Л.И. Кроппа. - М.: Энергоатомиздат, 1991. - 156 с.
- 3 Лазарев В.И. Очистка отходящих газов за рубежом: Перспект. анализ. докл. - М., ГКНТ СССР: ВИНТИИ, 1988. - 19 с.
- 4 Веччи С.Л., Воргол Д.Д., Кудлак Г.А. Технологии очистки газов на ТЭС, сжигающих уголь // Семинар "Сжигание топлив с минимальным воздействием на окружающую среду". - М., 1993. - 38 с.
- 5 Гладкий А.В. Современное состояние и перспективы мирового развития методов десульфуризации отходящих промышленных газов // Промышленная и санитарная очистка газов. - М.: ЦИНТИХИМНЕФТЕМАШ, 1990. - 28 с. (Сер. ХМ-14).
- 6 Коркоран Э. Очистка угля // В мире науки. - 1991.-N 7.-С. 66 - 79.
- 7 Saleem A., Janssen K.E., Ireland P. A. Аммиачная абсорбция SO<sub>2</sub> приобретает значение // Мир серы, N, P, K. - 1994. - N 4. - С. 23 - 29.
- 8 Жидкофазные абсорбционные каталитические методы сероочистки отходящих газов предприятий металлургии и энергетики / А. Ермакова, В.А. Кириллов, Н.Н. Кундо, Б.Н. Лукьянов, З.П. Пай // ЖВХО им. Д.И. Менделеева. - 1990. - Т. 35, N 1.-С. 22 - 32.
- 9 Schnug E. Sulphur nutritional status of European crops and consequences for agriculture / Sulphur Institute. - Washington, D.C., 1991.

10 Gosch H.W., Schulte W. - Energie.- 1988. - Bd 40, N 10. - S. 44 - 48.

11 Results from the E-SO<sub>x</sub> 5-MOo Pilot Demonstration / K.E. Redinger et al. // Presented at SO<sub>2</sub> Control Symposium. - New Orleans, Louisiana, 1990.

12 Pilot-Scale Demonstration of the LIDS System for SO<sub>2</sub> Control of High-Sulfur Coal / G. T. Amrhein et al. // Presented at the 17th International Conference on Coal Utilization and Slurry. Technologies, April, 1992.

Павлодарский государственный университет имени С. Торайгырова, г. Павлодар. Материал поступил в редакцию 23.02.2012.

С.А. ГЛАЗЫРИН, Ә. ҚЫРЫҚБАЙ, Қ.Ш. ЕРЖАНОВ  
ТӨМЕНДЕТУ ЖӘНЕ ТАЗАРТУДЫҢ ҚАЗІРГІ ӘДІСТЕРІНІҢ  
КҮКІРТТІҢ ОКСИДТЕРІНІҢ ЛАҚТЫРУЛАРЫНАН ТАЛДАУ  
S. GLAZYRIN, A. KYRYKBAY, K. ERZHANOV  
ANALYSIS OF THE EXISTING METHODS OF INCREASING  
AND CLEANING OF OUTCOMES FROM SULPHURS'S OXIDES

#### Түйіндемe

*Жылудық Электр станцияларына күкірттің оксидтерінен кететін газдардың тазартуы арналған көкейкесті және жұмыс істейтін әдістер қарап шығарылды.*

#### Resume

*There is an investigation of actual and active methods on the cleaning of leaving gases from sulphur's oxides at Thermal Electrical Stations in the article.*

УДК 504.064.47

### **А.И. ГЛАЗЫРИН, С.А. ГЛАЗЫРИН, А.Е. РАМАЗАНОВА, Г. БЕКИШЕВА ТВЕРДЫЕ БЫТОВЫЕ ОТХОДЫ И ОХРАНА ОКРУЖАЮЩЕЙ СРЕДЫ**

В городах отходы производства и потребления являются одним из факторов ухудшения качества окружающей среды. Это связано с тем, что образование твердых бытовых отходов является естественным процессом жизнедеятельности любого крупного населенного пункта.

В настоящее время количество и разнообразие отходов стремительно возрастает. Данные некоторых государств по производству бытовых отходов приведены в таблице 1.

Таблица 1

Производство бытовых отходов

Страна	Всего в год, тонн	На душу населения в день, кг
США (2004)	220.000.000	2.1
Западная Европа	123.300.000	-
Российская Федерация	26.000.000	0.117
Казахстан	18.000.000	0.9

В Республике накоплено более 14 млн.куб.м твёрдых бытовых отходов, ежегодно накапливается более 2,1 млн. куб.м.

Состав и объем бытовых отходов чрезвычайно разнообразны и зависят не только от страны и местности, но и от времени года и от многих других факторов.

Основная доля накопления промышленных отходов представлена вскрышными породами горнодобывающей промышленности, хвостами обогащения, золошлаковыми отходами. Многие месторождения полезных ископаемых были брошены или выведены из эксплуатации без учета экологических требований и сейчас представляют опасность для окружающей среды [5].

Наибольшее количество ТБО образуется в Южно-Казахстанской, Павлодарской областях и в г.Алматы. За 2008 год образовано в Южно-Казахстанской области 2 400,0 тыс. тонн ТБО, в Павлодарской области - 1 167,0 тыс. тонн, а в г.Алматы 510,2 тыс.тонн. Наименьший объем образованных за 2008 год ТБО отмечается в Жамбылской области (50,0 тыс. тонн), Акмолинской области (65,2 тыс. тонн) и Актыбинской области (70,0 тыс. тонн).

Таблица 2

Состав ТБО в Казахстане

Компоненты твердых бытовых отходов	Доля от общей массы,% вес
Бумага, картон	21,4-36,0
Пищевые отходы	27,5-31,0
Ветки, листья	1,6-4,1
Черные металлы	1,2-4,9
Цветные металлы	0,5-0,6
Кожа, резина	1,1-1,6
Текстиль	1,7-4,6
Стекло	4,4-13,5

Камни, керамика	0,9-1,5
Пластмасса	4,9-10,6
Продукты отсева менее 16 мм	8,7-18,4

В Казахстане основная масса ТБО без разделения на компоненты вывозится и складывается на открытых свалках, 97% которых не соответствуют требованиям природоохранного и санитарного законодательства. Метод размещения отходов на всех полигонах ТБО и поселковых свалках одинаков – навалом, без предварительной сортировки и выбора полезных и опасных компонентов. На свалках имеют место самовозгорания. Их размещение и обустройство в основном осуществлены без проектов и оценки воздействия на окружающую среду. Только около 5% твердых бытовых отходов в республике подвергается утилизации или сжиганию. Постоянно возрастающие объемы складываемых ТБО формируют новые техногенные ландшафты. Они отрицательно воздействуют на компоненты окружающей среды, загрязняя атмосферу, почвы, поверхностные и подземные воды токсичными компонентами (ртуть, мышьяк, сурьма и др.).

Сегодня, используя сложившиеся технологии, человечество имеет разнообразнейшую структуру всевозможных отходов бытового и промышленного происхождения. Эти отходы, постепенно накапливаясь, превратились в настоящее бедствие. Правительства развитых стран начинают все большее внимание уделять вопросам охраны окружающей среды и поощряют создание соответствующих технологий.

Наиболее распространенными методами переработки твердых бытовых отходов являются:

- Получение биогаза – извлечение биогазов с полигонов, использование их как источников энергии;
  - Повторное использование (рециклинг) – сортировка ТБО, извлечение вторичных ресурсов – металлов, пластмасс и т.д.;
  - Биологическая переработка – переработка ТБО в органическое удобрение, гумус;
  - Термическая переработка – сжигание, газификация и пиролиз с последующим экобетонированием – производством стройматериалов.
- Энергетическая переработка – термическая переработка твердых отходов с получением тепла и газа для выработки электроэнергии.

Из одной тонны ТБО среднего состава можно выставить на рынок:

- 92 кг жидкого товарного топлива или 212,7 кв.ч. электроэнергии,
- 32,4 кг сухого хлористого кальция,
- 50 кг жидкой углекислоты,
- 4 кг смеси солей тяжелых металлов и кокса или угля - 0,52 м<sup>3</sup> легкого шлакобетона.

Наиболее дорогостоящие технологии – термическая и энергетическая переработка ТБО – затраты составляют в среднем 100 долл. США за тонну [6].

## СПИСОК ЛИТЕРАТУРЫ

- 1 Игнатович Н.И., Рыбальский Н.Г. Что нужно знать о твердых бытовых отходах? - М.: РЭФИА, 1995. – С.54.
- 2 Некрасов В.Г., Горзиб И.М. Твердые бытовые отходы и проблемы их утилизации // Промышленная энергетика - №2 - 1992. - С. 46-48.
- 3 Примкулулы К. Проблемы отходов производства и потребления // Экология и устойчивое развитие - № 4 – 2004. - С. 4-10.
- 4 Ткаченко С.И., Ларюшкин Е.П., Степанов Д.В. Использование процесса биоконверсии для энергетически эффективной переработки отходов - Винницянский государственный технический университет – Винница, 1999. – С.45.
- 5 Черп О.М. Проблема твердых бытовых отходов: Комплексный подход - М.: Эколайн, 2004. - С.75.
- 6 Ашим Н.С. Доклад Министра охраны окружающей среды Республики Казахстан на Правительственном часе в Парламенте на тему «О проблемах комплексной переработки отходов. Реализация механизмов Киотского протокола» от 16 ноября 2009 года.

Павлодарский государственный университет имени С. Торайгырова, г. Павлодар. Материал поступил в редакцию 05.04.2012.

А.И. ГЛАЗЫРИН, С.А. ГЛАЗЫРИН, А.Е. РАМАЗАНОВА, Г. БЕКИШЕВА  
 ҚАТТЫ ТҰРМЫС КЕТУЛЕР ЖӘНЕ ҚОРШАҒАН ОРТАНЫҢ ҚҰЗЕТУІ  
 A.I. GLAZYRIN, S.A. GLAZYRIN, A.E. RAMAZANOVA, G. BEKISHEVA  
 THE FIRM HOUSEHOLD SCRAP AND PROTECTION OF ENVIRONMENT

### Түйіндеме

*Бұл мақалада автор қатты тұрмыс кетулер проблемаларының аспектерін қарастырады.*

### Resume

*In the given article the author analyzes the problems of the firm household scrap.*



УДК 621.182.1:504.062.2

**С.А. ГЛАЗЫРИН, Д.Т. МУЗАПАРОВ,  
А.К. АБЕНОВ, К.Ш. ЕРЖАНОВ  
РАЦИОНАЛЬНОЕ ИСПОЛЬЗОВАНИЕ ВОДЫ**

Рациональное использование водных ресурсов – сегодня важнейшая проблема. Разработка и внедрение систем использования воды по замкнутому циклу – основной путь ее решения. Это означает: комплексную переработку сырья, замену многостадийных процессов одностадийными, извлечение ценных веществ из сточных вод, переход технологических процессов переработки из жидкой фазы в газовую, использование вместо воды других растворителей.

Тепловое загрязнение поверхности водоемов и прибрежных морских акваторий возникает в результате сброса нагретых сточных вод электростанциями и некоторыми промышленными производствами. Сброс нагретых вод во многих случаях обуславливает повышение температуры воды в водоемах на 6-8 градусов Цельсия. Площадь пятен нагретых вод в прибрежных районах может достигать 30 км<sup>2</sup>. Более устойчивая температурная стратификация препятствует водообмену поверхностным и донным слоем. Растворимость кислорода уменьшается, а потребление его возрастает, поскольку с ростом температуры усиливается активность аэробных бактерий, разлагающих органическое вещество. Усиливается видовое разнообразие фитопланктона и всей флоры водорослей. На основании обобщения материала можно сделать вывод, что эффекты антропогенного воздействия на водную среду проявляются на индивидуальном и популяционно-биоценотическом уровнях, и длительное действие загрязняющих веществ приводит к упрощению экосистемы.

Решение данных проблем возможно с применением оборотного водоснабжения, а также использование воздушных конденсаторов на ТЭС.

Системы оборотного водоснабжения тепловых и атомных электростанций могут быть открытыми, закрытыми и комбинированными.

На ТЭС и АЭС преобладающее количество воды (90 - 95%) расходуется на охлаждение конденсаторов турбин. Для совершения полезной работы турбиной от нее отводится с отработанным паром часть тепла, которое передается в конденсаторе охлаждающей воде. Расход воды рассчитывается относительно расхода поступающего в конденсатор пара таким образом, чтобы отводимого от него тепла было достаточно для нагрева воды в среднем на 10 °С (летом на 7-8, зимой на 12 - 13 °С).

На современных турбоустановках ТЭС и АЭС давление отработавшего пара находится в интервале от 3 до 6 кПа, что соответствует температуре

насыщения (конденсации) водяного пара 24 - 40 °С. Недогрев охлаждающей воды до температуры конденсации не должен превышать 3 - 5 °С. С учетом этого обстоятельства оптимальный режим турбоустановок электростанций в летний период будет иметь место при температуре охлажденной воды, подаваемой в конденсатор с градирен, около 27-30 °С.

Учитывая большую зависимость КПД электростанций от теплотехнических параметров работы конденсаторов (таблица 1), выбор системы технического водоснабжения ТЭС и АЭС производится по результатам технико-экономического сравнения всех возможных вариантов, приведенных к сопоставимым условиям по отпуску электроэнергии и воздействию на состояние окружающей среды. В качестве альтернативного варианта должно рассматриваться наряду с природными водами использование для подпитки оборотных систем очищенных городских сточных вод. Принимается вариант с наименьшими приведенными затратами с учетом предотвращенного ущерба окружающей среде.

С экологической точки зрения наиболее совершенными являются системы охлаждения конденсаторов турбин оборотной водой, охлаждаемой, в свою очередь, на градирнях. Вентиляторные градирни в отрасли сохранились лишь на старых электростанциях; на новых они не применяются, поскольку потребляют на привод вентиляторов около 0,5 - 0,7% электроэнергии, вырабатываемой электростанцией.

Таблица 1  
Влияние температуры воды, охлаждающей конденсаторы турбин на КПД ТЭС

Показатель	Система водоснабжения				
	Прямоточная	Оборотная			
		Водохранилища-накопители	брызгальные бассейны	испарительные градирни	радиаторные градирни
Среднегодовая температура охлаждающей воды, °С	11	16	20	22	31
Температура конденсации пара, °С	26	31	36	39	43
Давление в конденсаторе турбины, кПа	3,4	4,5	6,5	7,1	8,7
КПД ТЭС, %	38,4	37,5	36,1	35,2	33,4

В местностях с недостатком воды даже на восполнение безвозвратных потерь на испарение и капельный унос при обычных испарительных

башенных градирнях, а также в особых случаях по технико-экономическим и экологическим соображениям применяются башенные радиаторные градирни или воздушно-конденсаторные установки, что делает системы охлаждения закрытыми. В зарубежной практике в последние годы интенсивно начали применяться системы охлаждения конденсаторов турбин электростанций с комбинированными градирнями, называемыми иногда гибридными. При их применении снижается видимый выпар из градирни (паровой факел), достигается экономия добавочной воды и улучшаются теплотехнические параметры конденсаторов в сравнении с башенными радиаторными градирнями и воздушно-конденсационными установками.

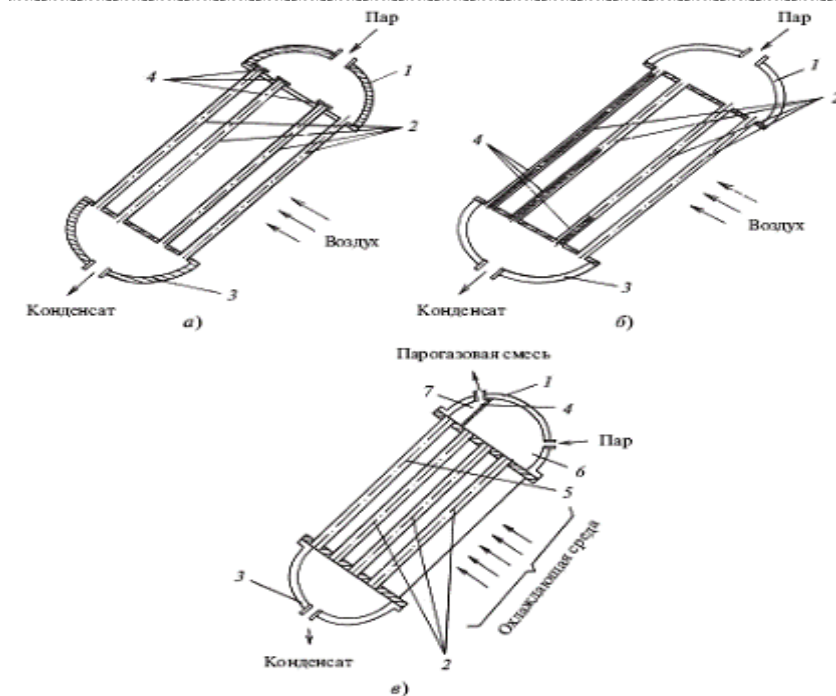
Также на ТЭС может использоваться комбинированная схема технического водоснабжения ТЭС, при которой конденсаторы турбин и воздухоохладители охлаждаются свежей водой из водоисточника по прямоточной схеме, а остальное техническое оборудование (маслоохладители, подшипники механизмов и др.), где оборотная вода загрязняется преимущественно нефтепродуктами по замкнутому циклу с градирней. Такая система применима только при наличии достаточно мощного поверхностного водоисточника.

При использовании воздушного конденсатора (ВК) в энергоустановке необходимое количество технической воды по сравнению с оросительной градирней меньше на 1 миллион тонн в год, следовательно, уменьшаются выбросы вредных веществ в атмосферу и обеспечивается благоприятный для населения микроклимат в районе электростанции. Необходимо также отметить, что при строительстве электростанций в промышленных регионах с недостатком водных ресурсов альтернативы ВК не существует.

Анализ экспериментальных данных показал, что первые по ходу охлаждающего воздуха трубы работают недостаточно эффективно: конденсация пара в основном завершается в верхней части трубы (на участке 60 — 70% общей длины), а в нижней части трубы происходит переохлаждение конденсата, тогда как в последних по ходу воздуха трубах имеет место неполная конденсация пара. В итоге поверхность первых труб используется неэффективно, и есть опасность замерзания конденсата и разрушения труб при низкой наружной температуре.

Этот недостаток предлагается устранить путем установки дроссельных шайб или вытесняющих стержней в последних по ходу воздуха рядах труб, повышающих гидравлическое сопротивление этих труб и, следовательно, увеличивающих расходы пара в их первых рядах.

Конструкции секционных аппаратов такого типа показаны на рисунке 1. Секция состоит из коллектора входа пара 1, нескольких рядов наклонных или вертикальных теплообменных труб 2, коллектора сбора конденсата 3 и дроссельных шайб 4 (или вытесняющих ставок).



а — с дроссельными шайбами; б — с вытесняющими стержнями;  
в — с дополнительным охлаждением парогазовой смеси.

Рисунок 1 – Конструкции аппаратов воздушного охлаждения

Аппарат работает следующим образом. Пар поступает в коллектор 1 и расходится по теплообменным трубам 2. В тех трубах, в которых установлены дроссельные шайбы, расход пара меньше по сравнению с расходом пара в первых по ходу воздуха теплообменных трубах. Вследствие перераспределения расхода пара конденсация имеет место практически по всей длине теплообменных труб, относящихся к разным рядам по ходу охлаждающего воздуха. Таким образом возрастает эффективность использования поверхности теплообмена и исключается опасность замерзания конденсата.

Для устойчивой работы газо- или воздухоудалющих устройств (эжектор, водокольцевой насос и др.) необходимо иметь минимальную температуру паровоздушной смеси на выходе из конденсатора. С этой целью в аппарате должна быть выделена часть поверхности для работы в режиме газоохладителя со встречным движением парогазовой смеси и конденсата.

Схема аппарата воздушного охлаждения секционного типа с газоохладителем представлена на рисунке 1в. Аппарат состоит из

парового коллектора 1, разделенного перегородкой 4 на паровой объем 6 и газовый объем 7. К паровому объему 6 присоединяются верхние концы труб 2, а к газовому объему — верхние концы вертикальных или наклонных теплообменных труб 5; нижние концы всех труб присоединены к конденсатному коллектору 3. Пар поступает в паровой объем 6 парового коллектора 1 и далее в вертикальные или наклонные теплообменные трубы 2 и частично конденсируется в них, передавая тепло охлаждающей среде. Конденсат собирается в конденсатном коллекторе 3 и отводится от него.

Парогазовая смесь с неконденсирующимися газами из конденсатного коллектора поступает в нижние концы вертикальных или наклонных труб 5, и при движении вверх по этим трубам пар практически полностью конденсируется. Образовавшийся конденсат стекает вниз в конденсатный коллектор и отводится от него. Неконденсирующиеся газы в смеси с остатками пара поступают в газовый объем 7 и удаляются из аппарата. Перегородка 4 отделяет паровой объем 6 от газового объема 7, препятствуя перетоку паровоздушной смеси. Ввиду того, что в вертикальных или наклонных теплообменных трубах 2 имеет место неполная конденсация пара, все трубы эффективно работают по всей длине, а вертикальные или наклонные трубы 5 образуют газоохладитель с минимальным содержанием пара в парогазовой смеси на выходе. При этом газоохладитель находится в зоне подогретого воздуха, что предотвращает замерзание труб.

Таким образом, принципиально новым в разработке и создании ВКУ является введение конструктивных элементов, обеспечивающих необходимое регулирование тепломассообменными и гидравлическими процессами.

Дополнительное преимущество можно получить, оснастив аппарат воздушного охлаждения измерительно-вычислительным комплексом и блоком управления, позволяющим оптимизировать частоту вращения вентиляторов и электродвигателя установки удаления неконденсирующихся газов в зависимости от расхода пара и температуры охлаждающего воздуха.

#### СПИСОК ЛИТЕРАТУРЫ

- 1 Градирни промышленных и энергетических предприятий // В.С. Пономаренко, Ю.И. Арефьев // М.: Энергоатомиздат, 1998. – 365 с.
- 3 Водоснабжение // Н.Н. Абрамов // М.: Стройиздат, 1974. – 474 с.
- 4 Тепловые электрические станции // В.Я. Рыжкин // М.: Энергоатомиздат, 1987. – 321 с.
- 5 Мильман О.О., Федоров В.А. Воздушноконденсационные установки. — М.: Издательство МЭИ, 2002. — 208с.

Павлодарский государственный университет имени С. Торайгырова, г. Павлодар. Материал поступил в редакцию 23.02.2012.

С.А. ГЛАЗЫРИН, Д.Т. МУЗАПАРОВ, А.Қ. АБЕНОВ, Қ.Ш. ЕРЖАНОВ  
 СУДЫҢ ТИІМДІ ҚОЛДАНУЫ  
 S.A. GLAZYRIN, D.T. MUZAPAROV, A.K. ABENOV, K.S. YERZHANOV  
 RATIONAL USE OF WATER

#### Түйіндеме

*Бұл мақалада судың тиімді қолдануы әдістері қарастырылған.*

#### Resume

*Methods of rational use of water are described in this article.*

УДК 621.311.13:004

### **В.Ф. ГОВОРУН, О.В. ГОВОРУН, Д.В. ГОВОРУН, И.С. КОПОТУН, В.В. КУНЦЕВИЧ ВЛИЯНИЕ ВЕЛИЧИНЫ НАПРЯЖЕНИЯ И НЕСИНУСОИДАЛЬНОСТИ ТОКА НА РЕЖИМЫ РАБОТЫ ФЕРРОСПЛАВНОЙ ПЕЧИ**

Электротермический способ производства сплавов является основным при производстве кремнистых, хромистых и марганцевых ферросплавов, электрокорунда, карбида кальция и др. Электроэнергия при этом способе производства сплавов непосредственно участвует в процессе плавки и является основной составляющей технологического процесса.

Электрические процессы, происходящие в печи, имеют ряд особенностей и требуют в некоторых случаях применения специфических способов их исследования. Это определяется условиями работы печи, которая характеризуется резкими и частыми колебаниями нагрузки отдельных фаз печи, большими величинами тока печи, несинусоидальностью напряжений и токов дуг, трудными условиями присоединения измерительных приборов. Кроме того, колебания токов печи оказывают неблагоприятное влияние на работу соседних с печью потребителей. Возникает необходимость исследования влияния этих колебаний. Токи мощных электропечных установок достаточно велики (тысячи ампер) и вызывают сильные магнитные поля и паразитные э.д.с. в электрической сети, а также в измерительных приборах. В тоже время, токи и напряжения печи несинусоидальны и содержат гармонические составляющие высших порядков. При некоторых условиях в напряжении и токе дуги появляется постоянная составляющая, увеличивающая потери электроэнергии в установке, что также вызывает необходимость применения комплексного подхода при решении задач электротехнических переходных процессов в печи.

Основными причинами резкого изменения тока и напряжения на электродах электропечи являются случайные факторы физико-химических процессов [1]: изменение проводимости шихты в зоне дугового пространства вследствие угара электродов; различные агрегатные состояния окислов; неравномерное формирование физического и химического состава шихты (влажности, гранулометрического состава и т. д.); вытеснение дуги в шихте из-под электродов к периферии; вибрация электродов и поддерживающего устройства; вентильный эффект при горении дуги переменного тока, а также изменение ионизации дугового пространства при плавлении и испарении шихты и т.п.

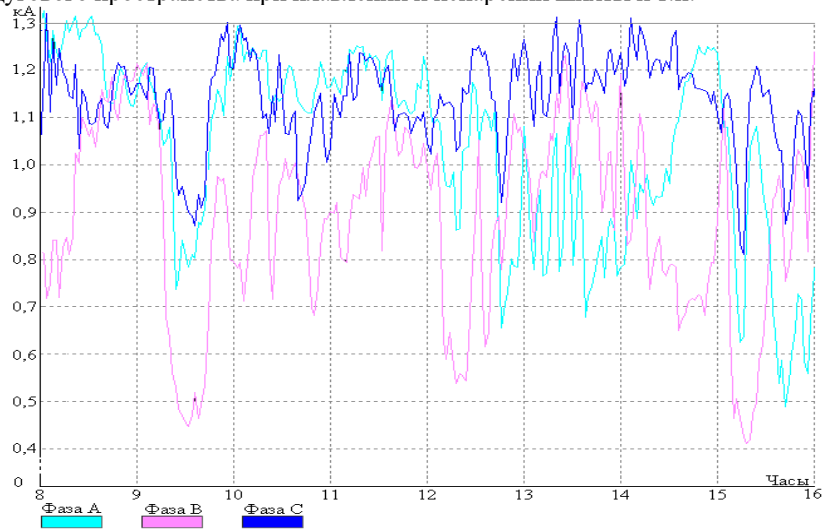


Рисунок 1 – Восьмичасовой график токов в печи

Как видно из рисунков, колебания токов в печи приводит к изменениям напряжения в распределительной сети 10 кВ, питающей РТП; в тоже время наиболее часто встречаются изменения токов в пределах 30 – 40% от  $I_{ср}$ .

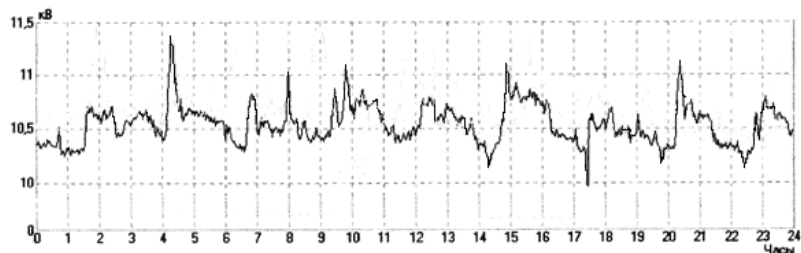


Рисунок 2 - График напряжения на шинах 10 кВ ГПП-1

Значительное изменение токов и напряжений РТП, кроме зависимости от факторов, указанных выше, обусловлено рядом причин нарушения технологического режима. Основными из них являются: обвалы шихты, свищи, настлы, обрывы электродов, движение металла и шлака, перемещение дуги при изменении напряженности магнитного и электрического поля, приводящие к резкому изменению положения электродов, усиливающему породившие его причины.

Для РТП целесообразно ввести понятие отношение короткого замыкания (ОКЗ), определяемое выражением [2]

$$K_{окз} = \frac{S_{к.з.}}{S_{гпп}}$$

где  $S_{к.з.}$  - мощность короткого замыкания на шинах ГПП,  $S_{гпп}$  - мощность на шинах низкого напряжения ГПП.

При  $K_{окз} > 3$  примыкающая система считается сильной, при  $K_{окз} < 3$  – слабой [2].

Для сильной системы искажениями напряжения на шинах примыкания можно пренебречь и считать, что напряжение на этих шинах синусоидально. Это допущение может быть применено для любой питающей энергосистемы, если считать что в состав компенсирующего устройства входит большое количество фильтров высших гармоник. Для слабой системы следует выполнить преобразование схемы присоединения системы и найти ее эквивалентную ЭДС, приложенную за эквивалентным сопротивлением и считать, что искажения ЭДС на этих шинах отсутствуют.

Как показано в [2], искажение тока и потребление реактивной мощности печью происходит при мгновенном уменьшении или увеличении сопротивления ванны, т.е. при  $dR_v/dt \neq 0$ . При этом потребление реактивной мощности происходит в цепи с РТП, даже если сопротивление печи чисто активное. Это вызвано тем, что при резких изменениях сопротивления ванны ток печи мгновенно измениться не может из-за большого индуктивного сопротивления цепей питания РТП.

Рассмотрим протекание переходного процесса при резком изменении активного сопротивления в ванне, например при обрыве дуги.

Упрощенная эквивалентная схема питания РТП приведена на рисунке 3. При составлении эквивалентной схемы не учтены емкостные проводимости из-за их малой величины. При этом учтены те параметры, которые оказывают наиболее существенное влияние на токи, возникающие при резком изменении  $R_v$ .

Вся энергосистема, к которой присоединена РТП, заменяется трехфазной системой ЭДС и эквивалентным сопротивлением каждой фазы, величина которого

$$Z_c = \frac{U_{л}^2}{S_{к.з}}$$

где  $U_{л}$  - линейное напряжение на шинах энергосистемы;  $S_{к.з}$  - мощность короткого замыкания на шинах примыкающей энергосистемы.

При этом введено допущение, что активные и индуктивные сопротивления, а также ЭДС всех фаз в установившемся режиме равны.

Кривые напряжения и тока при резком изменении сопротивления шихты в фазе А приведены на рисунке 4.

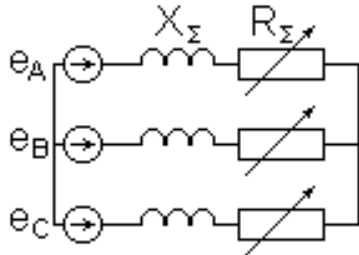


Рисунок 3 - Эквивалентная схема питания РТП

Допустим, что в установившемся режиме ток, протекающий между электродами фаз А и В, а также фаз А и С в некотором промежутке времени, лежащем внутри интервала  $t_1 - t_2$  имеет синусоидальный характер и совпадает по фазе с напряжением. При резком изменении сопротивления ванны в фазе А до бесконечности, начиная с момента  $t_1$  ток между фазами А и В, а также фазами А и С будет снижаться по закону

$$i(t) = i_0 \cdot e^{-\frac{t}{\tau_3}}$$

и при  $t_2$  будет равен нулю.

Здесь  $i_0$  - значение тока в момент времени  $t_1$ ;  $\tau_3 = \frac{X_\Sigma}{\omega_0 R'_\Sigma}$  - постоянная времени затухания тока;  $\omega_0 = 2\pi f_0$  - синхронная частота сети;  $R'_\Sigma$  - эквивалентное активное сопротивление без  $R_0$ ;  $f_0$  - частота сети;  $R_\Sigma = R_0 + R_{к.с.} + R_m + R_c \cdot K_m^2$ ,  $X_\Sigma = X_{к.с.} + X_m + X_c \cdot K_m^2$  - суммарные активное и индуктивное сопротивления фазы;  $R_0 = R_{ш} + R_0$  - активное сопротивление ванны, которое состоит из активных сопротивлений шихты и дуги;  $R_{к.с.}$ ,  $X_{к.с.}$  - активное и индуктивное сопротивление короткой сети;  $R_m$ ,  $X_m$  - активное и индуктивное сопротивление печного трансформатора, приведенное к вторичной обмотке;  $R_c$ ,  $X_c$  - эквивалентное активное и индуктивное сопротивление предвключенной сети от шин печного трансформатора до шин энергосистемы с постоянной ЭДС, приведенное через квадрат коэффициента трансформации к вторичной стороне печного трансформатора;  $K_m^2$  - коэффициент трансформации печного трансформатора.

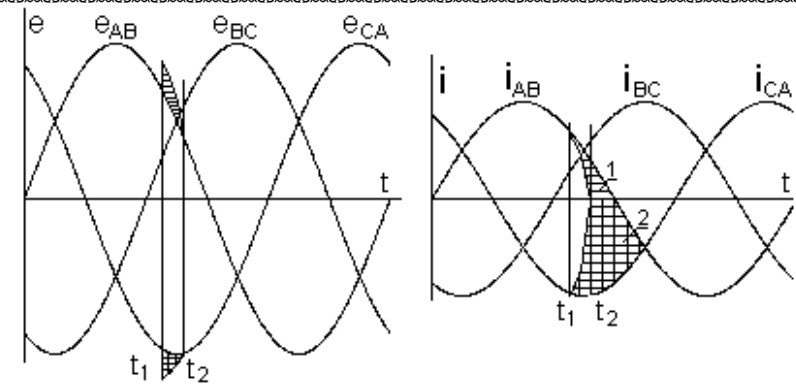


Рисунок 4 - Кривые напряжения и тока при резком изменении сопротивления шихты в фазе А

Следует отметить, что при разных сопротивлениях фаз, затухание токов будет происходить неодновременное.

Очевидно, что в некотором масштабе область 1 для тока  $i_{AB}$  и область 2 для тока  $i_{AC}$ , показанные на рисунке 4, отображают ток (мощность) искажения.

Исходя из рисунков 1 и 4, можно утверждать, что при любом резком изменении тока (сопротивления  $R_0$ ), в цепи каждой фазы появится дополнительная ЭДС  $\Delta e = X_\Sigma \frac{di}{dt}$ , которая будет искажать синусоидальность напряжения. Причем, при увеличении тока, эта ЭДС будет иметь отрицательный знак, а при его снижении - положительный. Как видно из формулы, величина этой ЭДС находится в прямой зависимости от величины суммарного индуктивного сопротивления  $X_\Sigma$  и отклонения тока. Следовательно, чем больше суммарное индуктивное сопротивление и амплитуда тока, тем медленнее будет протекать переходный процесс. При этом резкое изменение активного сопротивления шихты вызовет рост потребляемой печью реактивной мощности, а также изменение уровня и синусоидальности напряжения.

При учете в цепи емкостных проводимостей, переходные процессы при резких изменениях тока будут иметь более сложный характер, который зависит от величины  $R_{\text{эф}} = 2\sqrt{X_\Sigma} / \omega_0 \cdot C_0$ ,

где  $C_0$  - емкость двух фаз относительно земли, приведенная к вторичной обмотке трансформатора.

При  $R_\Sigma > R_{\text{эф}}$  в цепи будут происходить аperiodические, а при  $R_\Sigma < R_{\text{эф}}$  - колебательные переходные процессы.

Величина колебаний тока печи зависит от величины переменного сопротивления  $R_0$ , которое обусловлено технологическими параметрами режима и уровнем приложенного напряжения, т.е.

$$I = \frac{U_m}{\sqrt{R_\Sigma^2 + X_\Sigma^2}} \quad (1)$$

Также известно, что при резких изменениях мощности дуги напряжение и ток связаны соотношением

$$U_d = R_{\Sigma y} i_d + X_{\Sigma y} \frac{di_d}{dt}, \quad (2)$$

где  $U_o$  - линейное напряжение, приложенное к сопротивлению дуги;  $\frac{di_d}{dt}$  - изменение тока дуги;  $R_{\Sigma y}$ ,  $X_{\Sigma y}$  - суммарные активное и индуктивное сопротивления тех двух фаз, которые входят в контур, по которым протекает резко изменяющийся ток  $i_o$ .

Согласно [1] максимальная производительность печи при минимальном удельном расходе электроэнергии определяются оптимальным соотношением между активными токами дуги и шихтового слоя

$$\beta = I_o / I_{ш}$$

Из формул (1 - 2) следует, что увеличение производительности печи и уменьшение удельного расхода электроэнергии возможно при повышении линейного напряжения. Однако при этом необходимо увеличить ток на электродах так, чтобы сохранить оптимальное значение  $\beta$ .

На рисунке 2 приведен характерный график изменения напряжения фазы А на шинах 10 кВ ГПП из которого видно, что, несмотря на регулирование напряжения с помощью РПН понижающего трансформатора, установленного на ГПП, при резко переменной нагрузке, отклонение и колебания напряжения в течение суток варьируются в довольно большом диапазоне.

Таким образом, возникающие в сети отклонения и колебания напряжения будут оказывать существенное влияние не только на потери электроэнергии, несинусоидальность тока, производительность основного и дополнительного оборудования, но и на горение дуги электропечи, а, следовательно, на нарушение технологического режима работы печи, ее производительность и удельный расход электроэнергии. Это вызвано тем, что между отклонениями напряжения в распределительной сети и установлением вручную, с помощью переключателя ступеней напряжения печных трансформаторов, такой величины вторичного напряжения, при которой достигается максимальная производительность, проходит определенное время. Но и после переключения ступеней в связи с инерционностью технологического процесса для достижения нужного режима требуется продолжительное время. Даже при мгновенной реакции обслуживающего персонала на отклонение напряжения (что без автоматического регулирования невозможно) переключением ступеней напряжения не всегда удается достичь оптимального режима работы электропечи, особенно при значительном отклонении. В тоже время

при работе на максимальном регулировочном ответвлении трансформаторов существенно растет его индуктивное сопротивление, что приводит к увеличению времени переходных процессов, а, следовательно, к деформации синусоиды тока и напряжения. Увеличение производительности печи также ограничивается техническими требованиями, запрещающими длительную работу печных трансформаторов при напряжении, превышающем его номинальное значение на 10%.

Отсюда следует, что оптимальное значение среднего напряжения в период неуправляемой части технологического цикла, когда печь подключена на максимальное вторичное напряжение печного трансформатора  $U_{cp} = 1.1 U_{ном}$ , а оптимальное значение среднего напряжения на выводах печных трансформаторов в период плавного подъема мощности, когда незначительное изменение уровня напряжения в высоковольтной сети не отражается ни на производительности печей, ни на качестве продукции, находится в пределах от  $1,05 U_n$  до  $1,09 U_n$ .

Исследование производительности печи  $G=f(U)$  и удельного расхода электроэнергии  $P=f(U)$  в зависимости от приложенного напряжения имеет большое практическое значение, так как позволяет заранее определить способы повышения производительности печей и снижения удельного расхода электроэнергии, а следовательно, и экономический эффект от введения мероприятий по повышению качества напряжения в высоковольтных распределительных сетях завода с помощью изменения схемы электроснабжения или других способов стабилизации напряжения.

Полную активную мощность, потребляемую печью, можно представить следующим образом

$$P_{пол} = P_{ш} + P_d,$$

где  $P_{ш} = U_n^2 / R_{ш}$  - активная мощность, потребляемая в шихтовом слое на расплавление загруженных в печь материалов и покрытие тепловых потерь;

$P_d = U_n^2 / R_d$  - активная мощность дуги, которая расходуется на горение дуг между электродами и сплавом, а так же на возгонку и другие химические процессы.

Производительность печи  $G$  ( $m / сумки$ ) при выплавке ферросилиция в общем случае может быть представлена следующей формулой [1]

$$G = \frac{24 \cdot P_{пол} \cdot K_g \cdot K_m}{\omega_y},$$

где  $K_g = t_n / 24$  - коэффициент использования времени;  $t_n$  - время работы печи в течение суток;  $K_m$  - коэффициент использования максимальной мощности, учитывающий изменение мощности, вызванной электрическим режимом сети или технологическими причинами;  $\omega_y$  - удельный расход электроэнергии для данного сплава, кВт-ч/т.

Очевидно, что стабилизация оптимального уровня напряжения в высоковольтной распределительной сети и на шинах 10 кВ ГПП позволит значительно снизить потери электроэнергии, колебания напряжения, а также несинусоидальность тока, что положительно скажется на режимах работы внутривзводских систем электроснабжения (10-0.4) кВ и на повышение производительности электропечных установок и всего электрооборудования АЗФ.

Поскольку напряжение источников питания и нагрузка распределительной сети является случайной функцией времени, то изменение напряжений в узлах сети и на зажимах рудовосстановительных электроустановок также носит случайный характер. Подвергнув данные величин напряжения, и производительность печи, записанных приборами SCADA в компьютер, и в темпе реального времени, с помощью программы, вычислять статистический ряд распределения отклонений напряжения в виде гистограмм и зависимость производительности электропечи от уровня, подводимого напряжения. Их анализ позволит оценить качество напряжения, а так же определить экономичные режимы работы ферросплавных электропечей и обоснованно применять мероприятия, позволяющие снижать энергопотребления печью, улучшить качество электроэнергии на предприятии и т.п.

Очевидно, что часть гармоник в печи оказывает положительное влияние на скорость плавки металла, вызывая дополнительный нагрев шихты. Однако, гармоники создают магнитные поля, часть из которых вращается навстречу основному магнитному полю, вызывая срывы горения дуги, выброс шихты и т.п. Высокочастотные гармоники тока, протекая по обмоткам трансформатора (двигателя), создают соответствующие магнитные поля, которые вытесняются на пути рассеяния, что приводит к дополнительному нагреву стали и обмоток, а также увеличению потерь энергии. Это может быть причиной выхода из строя оборудования вследствие перегрева. Срок службы оборудования зависит от нагрева его частей и не позволяет при несинусоидальном токе использовать оборудование на всю его номинальную мощность. С ростом температуры в изоляционных материалах протекают химические реакции, приводящие к постепенному изменению их изоляционных и механических свойств, эти процессы ускоряются, сокращая срок службы оборудования. Происходит также ускоренное старение изоляции проводов и кабелей, и необоснованное срабатывание предохранителей и автоматических выключателей вызванное повышенным нагревом наружной поверхности тоководов, вследствие поверхностного эффекта и эффекта близости. Учащаются однофазные замыкания на землю. Возрастает недоучёт электроэнергии. Неправильно срабатывают устройства управления и защиты. Выходят из строя компьютеры и т.п.

## СПИСОК ЛИТЕРАТУРЫ

1 Клименко В. Ф., Кулинич И. В., Головачев Н. Г. и др. Параметры, определяющие производительность электрических установок // Сталь, 2002- №5 - С.30-34.

2 Говорун В. Ф., Говорун О. В., Клименко В. Ф.. Электромагнитная совместимость работы печи и примыкающей электрической системы // Павлодар. Вестник ПГУ, 2004, - №1.-С. 79-93.

3 Говорун В. Ф., Говорун О. В. Электромагнитная совместимость работы схемы электроснабжения завода ферросплавов с примыкающей энергосистемой // Материалы МНТК “ Электроэнергия и будущее цивилизации», Томск, 2004 – С. 65-71.

Павлодарский государственный университет имени С. Торайгырова, г. Павлодар. Материал поступил в редакцию 24.02.2012.

В.Ф. ГОВОРУН, О.В. ГОВОРУН, Д.В. ГОВОРУН, И.С. КОПОТУН, В.В. КУНЦЕВИЧ

ФЕРРОҚОРЫТПА ПЕШТИҢ ЖҰМЫС РЕЖІМДЕРІНЕ ТОК СИНУСОЙДАЛЫЛЫҚ ЕМЕСТІГІ МЕН КЕРНЕУ ШАМАСЫНЫҢ ТИГІЗЕТІН ӘСЕРІ

V.F. GOVORUN, O.V. GOVORUN, D.V. GOVORUN, I.S. KOPOTUN, V.V. KUNCEVICH

EFFECT OF UNSINUSOIDALITY OF THE CURRENT AND THE VOLTAGE'S LEVEL ON THE WORK REGIME OF THE FERROALLOY FURNACE

**Түйіндеме**

*БТҚС шиналарындағы кернеу деңгейінің пеш жұмысына тигізетін ықпалына талдау жүргізілді. БТҚС 10 кВ шиналарында кернеудің оңтайлы деңгейін ұстап тұру электрэнергия шығындарын, кернеу тербелістерін, сондай-ақ тоқтың синусоидальлық еместігін едәуір кемітуге мүмкіндік беретіндігі көрсетілді, ол зауыт ішіндегі тораптардың жұмыс режимінде және пештің өнімділігінің көтерілуіне оң пайдасын тигізеді.*

**Resume**

*The analysis of affection of voltage level on the main substation on furnace's work was made. Showed, that maintaining of optimal voltage level on 10 kV wires of the main substation let extremely decrease the level of losses of energy, voltage oscillations, and also current's unsinusoidality that positively impact to work regime of inner nets and on furnace performance.*

УДК 621.311.13:004

**В.Ф. ГОВОРУН, О.В. ГОВОРУН, Д.В. ГОВОРУН,  
И.С. КОПОТУН, В.В. КУНЦЕВИЧ**  
**ВЛИЯНИЕ НЕСИММЕТРИИ ТОКА И НАПРЯЖЕНИЯ  
НА РЕЖИМЫ РАБОТЫ ФЕРРОСПЛАВНОЙ ПЕЧИ**

Электротермический способ производства сплавов получил широкое применение на предприятиях черной металлургии и химической промышленности. Он является основным при производстве кремнистых, хромистых и марганцевых ферросплавов, электрокорунда, карбида кальция и др. Электроэнергия, при электротермическом способе производства сплавов, непосредственно участвует в процессе плавки и является существенной составляющей сырья.

Основными причинами резкого изменения тока и напряжения на электродах электропечи являются случайные факторы физико-химических процессов: изменение проводимости шихты в зоне дугового пространства вследствие угара электродов; различные агрегатные состояния окислов; неравномерное формирование физического и химического состава шихты (влажности, гранулометрического состава и т. д.); вытеснение дуги в шихте из-под электродов к периферии; вибрация электродов и поддерживающего устройства; вентильный эффект при горении дуги переменного тока, а также изменение ионизации дугового пространства при плавлении и испарении шихты и т. п [1].

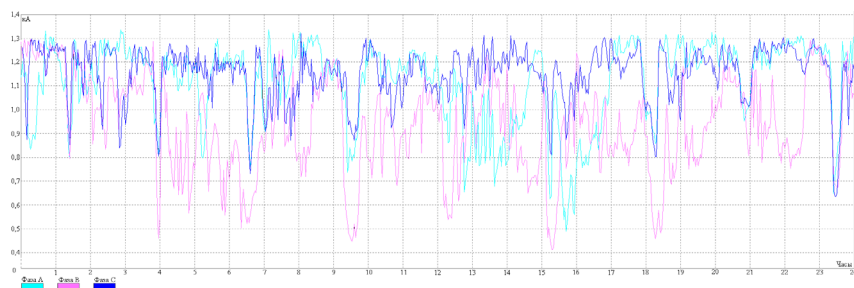


Рисунок 1 - Суточный график пофазного изменения тока

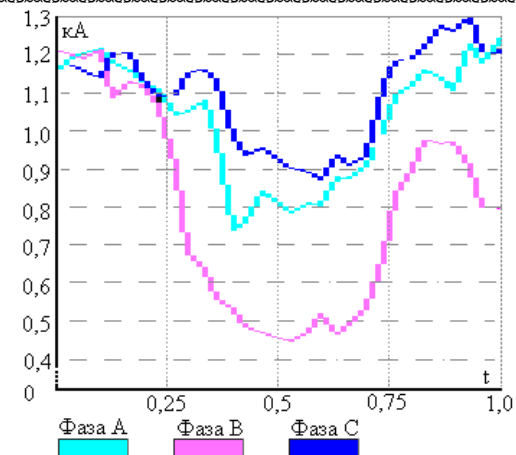


Рисунок 2 - Часовой график пофазного изменения тока

Как видно из рисунков размах изменений токов в печи, а следовательно и в распределительной сети 10 кВ, питающей рудотермической печи (РТП), достигает 50% и более от среднего значения тока. Наиболее часто встречаются изменения токов в пределах 20 – 30% от  $I_{cp}$ . Значительное изменение токов и напряжений РТП, кроме зависимости от факторов, указанных выше, обусловлено рядом причин нарушения технологического режима. Основными из них являются: обвалы шихты; свищи; настыли; обрыв электрода; движение металла и шлака; перемещение дуги при изменении напряженности электрического поля, приводящие к резкому изменению положения электродов, усиливающему породившие его причины. Пуск печи после ремонта или отключения, за время которых печь успела остыть, сопровождается чрезмерными колебаниями тока и несимметрией нагрузки. Дуговые ферросплавные печи являются мощными установками трехфазного тока, питание которых осуществляется от заводских ГПП кабельными сетями напряжением 10 кВ, которые работают с изолированной нейтралью. При работе РТП вследствие колебаний токов дуг действующие значения токов в любой момент времени образуют несимметричную систему. В тоже время несимметрия токов может, усугубляться различием уставок регуляторов тока отдельных фаз из-за неточности их настройки. Особенно сильно несимметрия токов проявляется в периоды расплавления. В тоже время вследствие конструктивной особенности печи, сопротивление короткой цепи фазы “В” меньше чем сопротивления цепей фаз “А” и “С”. Несимметрия токов столь мощных электроприемников приводит к несимметрии напряжения в питающих сетях, значительно ухудшая технико-экономические показатели предприятия в целом.



Следовательно, несимметрию токов и напряжений при работе РТП можно разделить на две составляющие: постоянную и случайную.

Постоянная составляющая вызывается неравенством сопротивлений короткой цепи печи, а случайная – колебаниями токов дуг в печи, т.е. также неравенством сопротивлений фаз печи.

Несимметрия напряжений в сетях с изолированной нейтралью характеризуется коэффициентом несимметрии напряжения по обратной последовательности в%

$$K_{U2} = \frac{U_{(2)}}{U_{(1)}} 100 \%$$

где  $U_{(2)}$  - действующее значение напряжения обратной последовательности основной частоты трехфазной системы напряжений, В;  $U_{(1)}$  - действующее значение напряжения прямой последовательности основной частоты, В.

Допустимые нормы несимметрии напряжений устанавливает Межгосударственный стандарт ГОСТ 13109-97 (Нормы качества электрической энергии в системах электроснабжения общего назначения). В этом стандарте нормально допустимое значение коэффициента несимметрии напряжений по обратной и нулевой последовательностям установлено на уровне 2%, а предельно допустимое значение – на уровне 4%. В Республике Казахстан система контроля над такими значениями находится в начальной стадии.

Как видно из рисунка 1, 2 несимметрия токов, а следовательно и напряжений значительно превышает предельно допустимые величины.

При анализе несимметричных режимов токов и напряжений коэффициент несимметрии целесообразно вычислять непосредственно через действующие значения напряжений или токов, которые в условиях эксплуатации РТП записываются приборами SCADA и вносятся в компьютер.

Исследование работы трехфазной печи при несимметрии фазных сопротивлений проведем применительно к схеме сети, приведенной на рисунке 1.

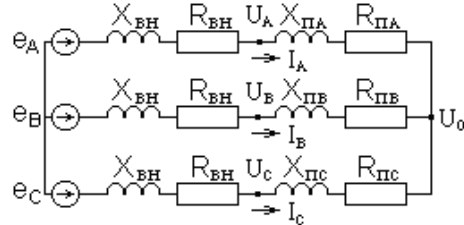


Рисунок 3 - Схема электрической сети с неравными сопротивлениями фаз печи

Для расчета рассматриваемой цепи удобнее всего воспользоваться методом узловых напряжений, так как в схеме содержатся всего лишь два узла. Для единственного узлового напряжения имеем уравнение

$$\dot{Y}_A + \dot{Y}_A + \dot{Y}_A = \dot{E}_A \cdot \dot{Y}_A + \dot{E}_B \cdot \dot{Y}_B + \dot{E}_C \cdot \dot{Y}_C,$$

из которого непосредственно находим напряжение в нейтральной точке  $U_0$

$$\dot{U}_0 = \frac{\dot{E}_A \cdot \dot{Y}_A + \dot{E}_B \cdot \dot{Y}_B + \dot{E}_C \cdot \dot{Y}_C}{\dot{Y}_A + \dot{Y}_A + \dot{Y}_A},$$

где

$$\dot{Y}_A = \frac{1}{(R_{BH} + R_{ПA}) + j(X_{BH} + X_{ПA})}; \quad \dot{Y}_B = \frac{1}{(R_{BH} + R_{ПB}) + j(X_{BH} + X_{ПB})};$$

$$\dot{Y}_C = \frac{1}{(R_{BH} + R_{ПC}) + j(X_{BH} + X_{ПC})} \cdot \dot{E}_A; \dot{E}_B; \dot{E}_C \text{ действующие фазные э.д.с.}$$

источника;  $\dot{I}_A; \dot{I}_B; \dot{I}_C$  - фазные токи;  $\dot{Z}_{BH} = R_{BH} + jX_{BH}$  - внешнее сопротивление, включающее в себя суммарное сопротивление электрической сети от шин источника до шин короткой сети печи, приведенное к одной ступени напряжения;  $\dot{Z}_{ПA} = R_{ПA} + jX_{ПA}$ ;  $\dot{Z}_{ПB} = R_{ПB} + jX_{ПB}$ ;  $\dot{Z}_{ПC} = R_{ПC} + jX_{ПC}$  - фазные сопротивления короткой сети печи, приведенные к одной ступени напряжения.

$$\text{Токи в цепи: } \dot{I}_A = (\dot{E}_A - U_0) \cdot \dot{Y}_A; \dot{I}_B = (\dot{E}_B - U_0) \cdot \dot{Y}_B; \dot{I}_C = (\dot{E}_C - U_0) \cdot \dot{Y}_C.$$

Для определения фазных напряжений можно записать:

$$\dot{U}_A = \dot{U}_0 + \dot{I}_A \cdot \dot{Z}_{ПA}; \dot{U}_B = \dot{U}_0 + \dot{I}_B \cdot \dot{Z}_{ПB}; \dot{U}_C = \dot{U}_0 + \dot{I}_C \cdot \dot{Z}_{ПC}.$$

Отсюда следует, что токи и напряжения во всех трех фазах несимметричной системы взаимозависимы, т.е. изменение сопротивления одной из фаз ведет к изменению тока и напряжения в остальных фазах, так как при этом изменяется напряжение  $U_0$ .

Учтя, что составляющие тока нулевой последовательности отсутствуют, определение  $U(1)$  и  $U(2)$  может быть произведено по заданным абсолютным значениям напряжений  $U_A, U_B, U_C$ , векторы которых при напряжении нулевой последовательности  $U(0)=0$  образуют замкнутый треугольник.

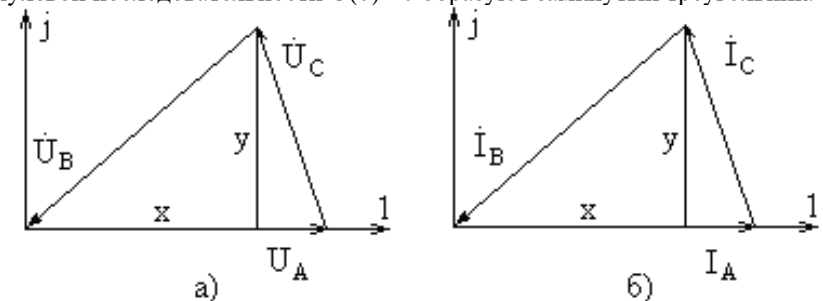


Рисунок 4 – Векторная диаграмма напряжений (а) и токов (б)

Из диаграммы:  $\dot{U}_A = U_A$ ;  $\dot{U}_B = (U_A - x) + jy$ ;  $\dot{U}_C = -x - jy$ ,

где  $y$  - высота треугольника,  $x$  - часть напряжения  $U_A$ , которую отсекает высота  $y$ .

При помощи метода симметричных составляющих, учитывая, что  $a = e^{j120^\circ} = -\frac{1}{2} + j\frac{\sqrt{3}}{2}$ ;  $a^2 = e^{j240^\circ} = -\frac{1}{2} - j\frac{\sqrt{3}}{2}$  можем написать:

$$\dot{U}_{(1)} = \frac{1}{3}(\dot{U}_A + a \cdot \dot{U}_B + a^2 \cdot \dot{U}_C) = \frac{1}{3}\left[\left(\frac{3}{2}U_A + \sqrt{3} \cdot y\right) - j\sqrt{3}\left(x - \frac{1}{2}U_A\right)\right],$$

$$\dot{U}_{(2)} = \frac{1}{3}(\dot{U}_A + a^2 \cdot \dot{U}_B + a \cdot \dot{U}_C) = \frac{1}{3}\left[\left(\frac{3}{2}U_A - \sqrt{3} \cdot y\right) + j\sqrt{3}\left(x - \frac{1}{2}U_A\right)\right].$$

Модули напряжений  $U(1)$  и  $U(2)$  после преобразований:

$$U_{(1)} = \frac{1}{3}\sqrt{3(U_A^2 + \sqrt{3} \cdot y \cdot U_A + y^2 + x^2 - x \cdot U_A)},$$

$$U_{(2)} = \frac{1}{3}\sqrt{3(U_A^2 - \sqrt{3} \cdot y \cdot U_A + y^2 + x^2 - x \cdot U_A)}.$$

Из диаграммы  $U_B^2 = x^2 + y^2$  и площадь треугольника

$$S_U = \sqrt{\Pi_U(\Pi_U - I_A)(\Pi_U - I_B)(\Pi_U - I_C)},$$

где  $\Pi_U = \frac{U_A + U_B + U_C}{2}$  - полупериметр треугольника.

Модули напряжений  $U(1)$  и  $U(2)$  при учете, что  $y = \frac{2S}{U_A}$  и  $x = \frac{U_A^2 + U_B^2 + U_C^2}{2U_A}$ , после преобразований, получим:

$$U_{(1)} = \frac{1}{\sqrt{6}}\sqrt{U_A^2 + U_B^2 + U_C^2 + 4 \cdot S_U \cdot \sqrt{3}},$$

$$U_{(2)} = \frac{1}{\sqrt{6}}\sqrt{U_A^2 + U_B^2 + U_C^2 - 4 \cdot S_U \cdot \sqrt{3}}$$

и коэффициент несимметрии напряжения по обратной последовательности в%

$$K_{U_2} = \sqrt{\frac{U_A^2 + U_B^2 + U_C^2 - 4 \cdot S_U \cdot \sqrt{3}}{U_A^2 + U_B^2 + U_C^2 + 4 \cdot S_U \cdot \sqrt{3}}} \cdot 100\%.$$

Аналогично коэффициент несимметрии тока по обратной последовательности [2] при

$$\Pi_I = \frac{I_A + I_B + I_C}{2}, \quad S_I = \sqrt{\Pi_I(\Pi_I - I_A)(\Pi_I - I_B)(\Pi_I - I_C)}$$

$$K_{I_2} = \sqrt{\frac{I_A^2 + I_B^2 + I_C^2 - 4 \cdot S_I \cdot \sqrt{3}}{I_A^2 + I_B^2 + I_C^2 + 4 \cdot S_I \cdot \sqrt{3}}} \cdot 100\%.$$

Следовательно, зная модули напряжения или тока, можно аналитически определить коэффициент несимметрии по обратной последовательности.

В настоящее время существует большой парк анализаторов показателей качества электрической энергии, который наряду с контролем и усреднением ряда параметров позволяет достоверно контролировать несимметрию напряжений.

Однако, значительно экономичнее и достовернее использовать данные приборов SCADA, которые вносятся в компьютер, и в темпе реального времени, с помощью программы, вычислять  $K_{U_2}$ . После ее внедрения можно будет получить истинную картину несимметрии напряжений в сетях предприятия.

Следует отметить, что с помощью, приведенного алгоритма трехфазной печи при несимметрии фазных сопротивлений можно выделить постоянную составляющую несимметрии, вызванную неравенством сопротивлений короткой цепи печи, и случайную – колебаниями токов дуг в печи, т.е. также неравенством сопротивлений в фазах печи.

Полученная информация позволит эксплуатационному персоналу оценить ее влияние, в разные периоды плавки, на качество ведения технологического процесса в печах и степень недовыпуска продукции за счет перекоса фаз, а также выбрать необходимые способы и схемы устройств по симметрированию тока и напряжения.

Следует отметить, что постоянную составляющую несимметрии необходимо определять в период полного расплавления ферросплава в печи.

Применение симметрирующих устройств сопровождается дополнительными капитальными затратами на их приобретение и монтаж, затратами на обслуживание и эксплуатацию.

Наиболее очевидным и малозатратным способом симметрирования является смещение переключающего устройства в фазе, имеющей меньшее сопротивление по сравнению с другими фазами, в регуляторе напряжения печного трансформатора. В случае, когда модули напряжения  $U_A = U_C > U_B$  снижение напряжения в фазе В:

– при известных действующих величинах фазных напряжений  $\Delta U = U_A - U_B$ ,

– при известных фазных токах и сопротивлениях  $\Delta U = I_A \cdot Z_A - I_B \cdot Z_B$ .

Следует отметить, что это смещение переключающего устройства в фазе должно быть тщательно отрегулировано и оставаться как при увеличении напряжения, так и при его снижении.

Случайная составляющая несимметрии определяется в период расплавления ферросплава.

Согласно [2] коэффициент несимметрии, при условии, что до начала плавки сеть была симметричной, в период расплавления принимает значения от 0 до 100% и средний коэффициент несимметрии  $K_{I_2}$  лежит в пределах (7 – 40)%. Подобная зависимость существует также между полной несимметрией и несимметрией средних токов; по мере проплавки междуфазных колодцев и к концу периода расплавления колебания токов постепенно снижаются, вместе с этим уменьшается и несимметрия токов. Наибольшие значения  $K_{I_2}$  приходятся на начало проплавки первых междуфазных колодцев и на начальный период после подвалки шихты. При значительном увеличении средних токов происходит уменьшение колебаний токов и несимметрии.

Снижение случайной несимметрии можно достичь соответствующим ведением технологического процесса, т.е.: предварительной подготовкой шихты по габаритам и маркам; сушкой и прокалкой поступающей шихты теплом отходящих из печи газов; правильной укладкой шихты в печи; внедрением скоростных плавков за счет изменения технологии; своевременной и быстрой замены электродов; улучшением теплоизоляции печей; автоматизацией печей; ведением режима плавки на одной высшей ступени напряжения при максимальных значениях мощности, длинах дуг и  $\cos \varphi$ ; применением схемотехнических решений и устройства для борьбы с существенной нелинейностью электрического контура РТП за счёт корректирующих ЭДС, компенсирующих несинусоидальности токов и напряжений, а также несимметрию электрической сети и др.

Известно, что при протекании тока в проводящей среде возникает намагничивающая сила, которая при максимальном значении тока равна  $F = I\sqrt{2}/2$ . Магнитный поток  $\Phi$  пропорционален намагничивающей силе  $F$  и обратно пропорционален магнитному сопротивлению  $R_m$ , т.е.  $\Phi = F/R_m$ . При переменном токе образуется круговое вращающееся поле.

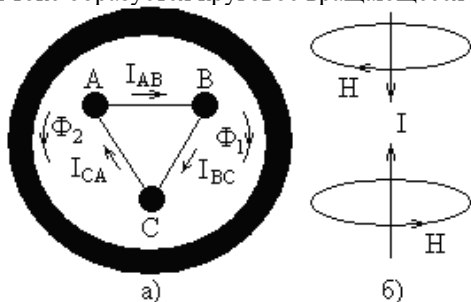


Рисунок 5 – Направление магнитных потоков (а) и напряженности поля (б) в печи

При несимметричной системе токов в фазах трехфазной системы возникают намагничивающие силы (н.с.), созданные каждой из симметричных составляющих данной системы токов. Токи прямой и обратной последовательностей создадут круговые н.с., вращающиеся в разные стороны. Результирующей этих н.с. будет эллиптическая вращающаяся н.с., т.е. пространственный вектор результирующей н.с. будет описывать эллипс. Токи нулевой последовательности будут создавать пульсирующую н.с. с пространственным периодом  $2/\nu$ , где  $\nu = 3, 9, 15$  и т.д. Для исследования ее действия она может быть заменена двумя круговыми н.с. с тем же пространственным периодом, вращающимися в разные стороны и имеющими половинную амплитуду.

Известно, что вращающееся магнитное поле вызывает вихревое движение среды, которое сопровождается повышением температуры среды в центре вихря и её понижением по периферии. При изменении направления магнитного поля направление вихревого движения меняется на противоположное движение. Может возникать как повышение температуры среды в центре вихря и уменьшение температуры на периферии, пришедшей в движение среды, - так и понижение температуры среды в центре вихря и возрастание температуры на периферии, вращающейся среды.

Следовательно, несимметрия токов, создавая обратное вихревое движение в печи, вызывает увеличение: продолжительности плавки ферросплава; расхода электроэнергии; расхода графитированных электродов; угара металла и ферросплавов; выбросов пыли; уровня шума; падения напряжения в токопроводах короткой сети; потерь электроэнергии и др.

Следует отметить, что энергия обратной последовательности не совершает полезную работу, а полностью расходуется на нагрев электрооборудования электрической сети. Таким образом, токи обратной последовательности создают не только увеличение потерь во всех элементах электрических сетей, но и существенно ухудшают условия работы всех потребителей электроэнергии, особенно двигателей. Поэтому симметрирование нужно рассматривать не только как средство повышения качества электроэнергии, но и как средство повышения экономичности и надежности работы потребителей электроэнергии в целом.

#### СПИСОК ЛИТЕРАТУРЫ

1 Бойко Ф.К., Майер В.Я., Сальников В.Г. Оптимизация электрических режимов систем электроснабжения металлургических предприятий. - Омск, 1977. – 272 с.

2 А.П. Михеев, Н.М. Ворошилов, Ю.Л. Рыжнев Анализ несимметричных режимов дуговых сталеплавильных печей // Промышленная энергетика, 1976,- №4, – С. 8-10.

3 В.Ф. Говорун, О.В. Говорун, В.Ф. Клименко. Электромагнитная совместимость работы печи и примыкающей электрической системы // Павлодар. Вестник ПГУ, 2004, - №1.-С. 79-93.

Павлодарский государственный университет имени С. Торайгырова, г. Павлодар. Материал поступил в редакцию 24.02.2012.

В.Ф. ГОВОРУН, О.В. ГОВОРУН, Д.В. ГОВОРУН, И.С. КОПОТУН, В.В. КУНЦЕВИЧ

ФЕРРОҚОРЫТПА ПЕШТИҢ ЖҰМЫС РЕЖІМІНЕ ТОК СИММЕТРИЯСЫЗДЫҒЫ МЕН КЕРНЕУДІҢ ТИГІЗЕТІН ӘСЕРІ

V.F. GOVORUN, O.V. GOVORUN, D.V. GOVORUN, I.S. KOPOTUN, V.V. KUNCEVICH

EFFECT OF ASYMMETRY OF THE CURRENT AND VOLTAGE ON THE WORK REGIME OF THE FERROALLOY FURNACE

#### **Түйіндемe**

*Пешидің үш фазалы сұлбасы параметрлерінің кері тізбектілік коэффициентіне тигізетін ықпалына талдау жүргізілді. Пешидің жұмысы кезінде пешидің қысқа тізбегі кедергілерінің теңсіздігімен, және кездейсоқ – пештегі догалар токтарының тербелістерімен шақырылған симметриясыздықтың тұрақты құраушылары туындайтыны көрсетілді. Сонымен бірге пешидің жұмысына фазалар қисаюының теріс ықпалы көрсетілді.*

#### **Resume**

*The influence of three-phase's parameters of oven on coefficient of back-sequence was analyzed. Shown, that at work of oven constant component of asymmetry, caused by unbalance of resistance of short-part circuit of oven and random by fluctuations of arcs' currents, was brined up. Also the negative influence phases' unbalance on furnace was shown.*

УДК 620.193.2

### **Д.Г. КАВЕРЗИН, Р.Б. АЙДАРГАЛИН, Р.А. ХАЙБУЛДИНА, В.А. ГЛАЗЫРИН АТМОСФЕРНАЯ КОРРОЗИЯ**

Атмосферная коррозия – это самопроизвольное коррозионное разрушение конструкций, оборудования, сооружений, эксплуатируемых в приземной части атмосферы в результате химического или физико-химического взаимодействия с окружающей средой. В общем случае это разрушение любого материала, будь то металл или керамика, дерево или полимер. Причиной коррозии служит термодинамическая неустойчивость конструкционных материалов к воздействию веществ, находящихся в контактирующей с ними среде. Атмосферная коррозия носит менее разрушительный характер, чем почвенная и морская.

Механизм возникновения коррозии. Все металлы содержат положительно заряженные ионы и отрицательно заряженные электроны. Некоторые положительные ионы переходят в раствор, при этом металл становится отрицательно заряженным (необходимо отметить, что все металлы становятся в определенной степени отрицательно заряженными в присутствии электролита, такого как вода). Анодные (отрицательно заряженные) и катодные (положительно заряженные) участки существуют в одном куске металла. По мере того, как отрицательный потенциал на поверхности металла возрастает вследствие перехода положительных ионов в раствор электролита, положительным ионам, находящимся в более глубоких слоях металла, становится все труднее перейти в раствор (т.к. противоположно заряженные частицы притягиваются), и процесс коррозии замедляется. Однако, в соответствии с тем же принципом притяжения противоположно заряженных частиц, электроны участков поверхности металла, имеющих наибольший отрицательный заряд (анод) переходят через электролит к участкам металла с положительным зарядом (катод). Отрицательный заряд на аноде при этом понижается, что делает возможным переход в электролит следующей «порции» положительных ионов, таким образом, процесс коррозии на аноде продолжается. В то же время отрицательный заряд на катоде не уменьшился т.к. электроны перешли с анода на катод, замедлив тем самым коррозию на катоде.

Скорость разрушение металлов под действием приземного слоя атмосферы зависит от климатических факторов (главным образом влажности и температуры воздуха. и концентрации примесей, загрязняющих атмосферу (оксиды серы, азота, выбросы химических производств и

др.), природы металла, окружающей его атмосферы, влажности воздуха. Атмосферную коррозию по степени увлажненности поверхности принято разделять на сухую, влажную и мокрую. Влажная и мокрая протекают по электрохимическому механизму, а сухая – химическому.

Сухая атмосферная коррозия наблюдается при отсутствии на поверхности металла пленки влаги и при относительной влажности воздуха ниже некоторой критической. Если относительная влажность воздуха составляет 40% и меньше (< 50% для чистой атмосферы) – протекает сухая атмосферная коррозия. При наличии в атмосфере примесей, способных образовывать гидраты с малым парциальным давлением водяных паров. Граница критической влажности смещается к более низким значениям. Механизм коррозионного разрушения – химический. На поверхности образуются защитные оксидные пленки, которые тормозят процесс коррозии.

Сухая атмосферная коррозия протекает по механизму низкотемпературного окисления, включающему следующие стадии: хемосорбция  $O_2$  и  $H_2O$  на поверхности металла с их диссоциацией. Образование зародышей кристаллизации оксидов и гидроксидов металла, тангенциальный рост кристаллов. слияние и образование сплошной, частично гидратированной оксидной пленки. При толщине пленки 2-5 нм дальнейшее окисление металла в чистой (без примесей) атмосфере прекращается. Сначала процесс протекает быстро (образование тонкой окисной пленки), потом – сильно замедляется и устанавливается постоянная, очень маленькая скорость коррозии. Такое явление обусловлено невысокой температурой окружающей среды. На металле почти сразу (может пару часов) образуется тонкая окисная пленка, которая приводит к потускнению поверхности. Толщина окисной пленки на поверхности нержавеющей стали может составлять 10-20 нм, железе – 30-40 нм. Предельная толщина слоя влаги при протекании сухой атмосферной коррозии может составлять 100 нм. Если в атмосфере присутствуют примеси агрессивных газов (например, сернистые газы) – скорость коррозии значительно возрастает.

Влажная атмосферная коррозия наблюдается при наличии на поверхности тончайшей пленки влаги и происходит по электрохимическому механизму. Толщина такой пленки составляет от 100 нм до 1 мкм (от 2-3 до десятков молекулярных слоев) адсорбционная пленка воды. Относительная влажность воздуха, при которой начинается образование влажной пленки, составляет около 40-50%. Значение, при котором начинается конденсация на поверхности влаги, называется критической влажностью. Критическая влажность зависит от загрязнения воздуха и состояния металла. Конденсация влаги при этом происходит по капиллярному, химическому либо адсорбционному механизму.

Катодная реакция имеет вид



где n, m, p - стехиометрические коэффициенты электрохимического восстановления.  $O_x$  –  $O_2$ ,  $O_3$ ,  $H_2O_2$  и др. окислители, Red - их восстановленная форма (может быть заряженной). Металл М окисляется по анодной реакции



где  $A^{z-}$  - анион ( $OH^-$ ,  $SO_4^{2-}$ ,  $Cl^-$  и др.), образующийся при растворении в воде примесей. В чистой атмосфере продукты анодной реакции – труднорастворимые гидроксиды, из которых формируется плотная защитная пленка, препятствующая дальнейшему развитию атмосферной коррозии (металл пассивируется). Примеси, способные растворяться в воде, активируют анодную реакцию вследствие образования легко растворимых солей. Поэтому скорость влажной атмосферной коррозии в загрязненной атмосфере в сотни и тысячи раз больше, чем в чистой.

Мокрая атмосферная коррозия протекает при относительной влажности воздуха около 100%. Мокрая атмосферная коррозия наблюдается при возникновении на поверхности металла фазовой (капельно-жидкой) пленки воды в результате выпадения дождя, конденсации атмосферной влаги (роса) или осадения тумана, и протекает по такому же электрохимическому механизму коррозии, как и в объемах электролитов. Мокрая атмосферная коррозия также наблюдается на конструкциях, которые обливаются водой либо полностью погружаются. При мокрой коррозии пленка влаги в толщину составляет более 1 мм. В начальных стадиях скорость атмосферной коррозии трудно пассивирующихся металлов определяется скоростью катодной реакции, но по мере накопления продуктов анодного растворения ионизация металла замедляется и скорость атмосферной коррозии уменьшается. Увеличение концентрации примесей в пленке воды стимулирует коррозию.

Факторы, усиливающие атмосферную коррозию: влажность воздуха при атмосферной коррозии; примеси в атмосфере (газы); твердые частицы в атмосфере; катодные включения в атмосфере; географический фактор; температура окружающей среды.

Особенностью протекания атмосферной коррозии является возможность свободного подхода кислорода к корродирующей поверхности. Это обусловлено малой толщиной пленки и за счет конвекции перемешивания электролита. Именно поэтому даже в подкисленных электролитах атмосферная коррозия протекает с кислородной деполяризацией. Также из-за тонкого слоя влаги на поверхности корродирующего металла анодный процесс идет с затруднением, а протекание катодного, наоборот, облегчается. При работе гальванопар небольшая толщина пленки влаги тоже играет свою

роль - увеличивается омическое сопротивление электролита. Атмосферная коррозия сплавов, в основу которых входит железо (например, сталь), протекает с анодно-катодно-омическим контролем. Но в зависимости от некоторых условий (толщина, электропроводность пленки влаги, ее состав, природа металла) анодно-катодно-омический контроль может переходить в преимущественно анодный, преимущественно катодный или омический.

На аноде ионы металла переходят в раствор:



На катоде проходит реакция восстановления: щелочные, нейтральные среды



подкисленная среда



Во многом стойкость металлов и сплавов, в условиях атмосферной коррозии, зависит от природы металла и состояния его поверхности.

Для защиты металлов и сплавов (стали) от атмосферной коррозии применяют различные методы.

Нанесение металлических или неметаллических покрытий. Неметаллическими защитными покрытиями могут выступать различные смазки, пасты, лакокрасочные материалы. Часто в их состав дополнительно вводят ингибиторы, пигменты, пассивирующие поверхность (например, цинк-хроматный пигмент для стали). Иногда поверхность превращают в труднорастворимый оксид или фосфат, обладающий защитными свойствами. Металлическими покрытиями служат цинковые, никелевые, многослойные.

Снижение относительной влажности воздуха. Очень эффективный способ защиты металла от коррозии. Удаление влаги осуществляют подогревом помещения (отопление) либо осушкой воздуха. Очень часто достаточно поддерживать влажность атмосферы до 50%. Если воздух содержит пыль, другие примеси, то 50% влажность очень велика.

При осушке воздуха или повышении температуры затрудняется конденсация влаги на металле, что приводит к значительному уменьшению скорости коррозии.

Для защиты металла от атмосферной коррозии применяют контактные и летучие ингибиторы.

Контактные ингибиторы наносятся непосредственно на поверхность защищаемого изделия (как пленка, например) или же ими пропитывают пропиточные материалы. К контактным можно отнести хроматы, нитриты, бензоаты, фосфаты и др. Это, в основном, неорганические соединения, состоящие из веществ, воздействующих на кинетику электродных реакций.

Перечень всех ингибиторов атмосферной коррозии и рекомендации по их применению можно найти в ГОСТ 9.014 – 78.

Контактные ингибиторы отличаются малой летучестью при нормальных температурах ( $1,33 \cdot 10^{-2}$  МПа при температуре 20–25 °С). Они гидрофобизируют поверхность металла, либо пассивируют ее (может и то и другое).

Летучие ингибиторы атмосферной коррозии самопроизвольно адсорбируются на поверхности защищаемого металла тонким мономолекулярным слоем, происходит его взаимодействие с металлом, находятся при нормальной температуре в летучем состоянии. Воздействуют на кинетику электродных реакций. К ним относятся соли слабых неорганических и органических кислот, аминов (бензоаты, нитриты, фосфаты, китоны, нитрофеноляты, нитробензоаты и др.)

В зависимости от класса ингибирующего соединения оно может ускорять катодную реакцию (переводит поверхность металла в пассивное состояние), либо тормозить анодную и катодную. Действие ингибитора зависит от его строения и состава, механизма испарения, давления насыщенного пара, адсорбционных свойств поверхности, самого ингибитора, способности изменять кинетику процесса.

Для защиты металлов от атмосферной коррозии во время перевозки, хранения и консервации очень часто используют ингибированную антикоррозионную бумагу. При производстве ингибированной бумаги, основным ее активным элементом является ингибирующее вещество.

Для защиты черных металлов, фосфатированной, хромированной и оксидированной стали от атмосферной коррозии широко применяется ингибированная упаковочная бумага, которая содержит ингибитор УНИ. Данная антикоррозионная бумага выпускается трех видов: УНИ-22-80, УНИ-14-40 и УНИ-14-80 по ГОСТ 16295-77. Нельзя применять в жестких коррозионных условиях для защиты цветных металлов, т.к. ингибитор будет способствовать усилению процессов коррозии.

Легирование металлов. Добавление в сталь небольшого количества никеля, хрома, алюминия, титана (переводят поверхность стали в пассивное состояние), меди (катодная добавка), фосфора тормозят анодную реакцию.

В реальных условиях наблюдаются все рассмотренные виды атмосферной коррозии. Защитные свойства слоя продуктов атмосферной коррозии, предохраняющего металл от дальнейшего разрушения, можно усилить легированием металла Ni, Si, Cr (низколегированные атмосферостойкие стали, сплавы на основе Cu, Al и др.). Для атмосферной коррозии характерны все виды коррозионного разрушения: равномерное, язвенное, питтинговое, щелевое, межкристаллитное, коррозионное растрескивание и др. По стойкости к атмосферной коррозии металлы и сплавы образуют ряд в такой же последовательности, как и по стойкости

к коррозии в нейтральных электролитах, а именно: благородные металлы, легко пассивирующиеся металлы, конструкционные сплавы на основе Fe, Ni, Cu, Cd. Для технических целей коррозионную агрессивность атмосферы оценивают по климатическим характеристикам и загрязненности. Основная климатическая характеристика – продолжительность сохранения на металлах адсорбционных ( $\tau_a$ ) или фазовых ( $\tau_f$ ) пленок воды. Соответственно различают климат сухой ( $\tau_f < 500$  ч/год), умеренно влажный ( $500 < \tau_f < 2500$ ) и влажный ( $\tau_f > 2500$ ). Скорость атмосферной коррозии [ $\text{г}/(\text{м}^2 \cdot \text{год})$ ] приближенно рассчитывают по уравнению:

$$k = (k_0 + b_i c_i) \tau_f \quad (6)$$

где  $k_0$  - скорость коррозии металла в сельской (условно чистой) атмосфере,  $b_i$  - ускорение коррозии примесью частиц  $i$ -го сорта,  $c_i$  - концентрация этой примеси. Реальная скорость атмосферной коррозии низкоуглеродистой стали от 30 (в сухой сельской атмосфере) до 8000 (в морской атмосфере), меди - от 1,7 до 65, цинка - от 1 до 95  $\text{г}/(\text{м}^2 \cdot \text{год})$ . Металлы защищают от атмосферной коррозии с помощью гальванических, металлизационных и лакокрасочных покрытий. Широко используют консервацию смазками и полимерными покрытиями, применяют летучие и контактные ингибиторы коррозии.

#### СПИСОК ЛИТЕРАТУРЫ

- 1 Розенфельд И.Л., Атмосферная коррозия металлов, М., 1960.
- 2 Михайловский Ю.Н., в кн.: Итога науки и техники. Коррозия и защита от коррозии, т. 3, М., 1974, с. 153-205.
- 3 Михайловский Ю.Н. [и др.]. «Защита металлов», 1980, т. 16, в. 4, с. 396-413.

Павлодарский государственный университет имени С. Торайгырова, г. Павлодар. Материал поступил в редакцию 08.05.2012.

Д.Г. КАВЕРЗИН, Р.Б. АЙДАРГАЛИН, Р.А. ХАЙБУЛИНА,  
В.А. ГЛАЗЫРИН  
АТМОСФЕРАЛЫҚ КОРРОЗИЯ  
D.G. KAVERZIN, R.B. AIDARGALIN, R.A. KHAIBULINA,  
V.A. GLAZYRIN  
ATMOSPHERIC CORROSION

#### Түйіндеме

Мақалада атмосфералық коррозия көрсетілген, оның үлгілері және күрестің әдістерінің металлдың өз бойынша коррозиялық үркінішілігімен атмосфераның жер бөлігінде болды.

#### Resume

*In the article atmospheric corrosion, her types and methods of fight, was considered against spontaneous corrosive destruction of metals in the ground part of atmosphere.*

УДК 621.365.5

### А.П. КИСЛОВ, А.Н. БЕРГУЗИНОВ, О.Г. ПОТАПЕНКО, М.Ж. МУСАГАЖИНОВ ИНДУКЦИОННЫЕ ЭЛЕКТРИЧЕСКИЕ ПЕЧИ И ОСНОВНЫЕ ПОКАЗАТЕЛИ ИХ ЭЛЕКТРИЧЕСКОЙ НАГРУЗКИ

Индукционный нагрев по сравнению с другими электротехнологическими методами обладает рядом преимуществ: передача электроэнергии в нагреваемое тело бесконтактным путем; получение практически любой требуемой температуры нагрева, высокая производительность труда; хорошие санитарно-гигиенические условия производства и исключение загрязнения воздушного бассейна.

Индукционные установки делятся на две группы: плавильные индукционные печи (ИП) и нагревательные установки. По частоте питающего тока их разделяют на:

- установки промышленной частоты, питающиеся непосредственно от сети 50 Гц или через специальные понизительные трансформаторы;
- установки повышенной частоты (150-10 000 Гц), питающиеся от тиристорных преобразователей частоты;
- высокочастотные установки (свыше 10 000 Гц), питающиеся от высокочастотных генераторов.

По режиму работы различают печи и установки непрерывного действия, а также печи и установки периодического действия.

Индукционные плавильные печи разделяются на канальные и тигельные. Основным отличительным признаком канальной печи является наличие замкнутого магнитопровода, на котором находится индуктор, и канала с жидким металлом, окружающего индуктор. Кольцевой канал выкладывается в кольцевой футеровке или подовом камне. Канал с расплавленным металлом образует короткозамкнутый виток и является вторичной обмоткой для индуктора. Металл, загружаемый в шахту печи, нагревается и плавится за счет тепла, выделяющегося в перегретом металле в кольцевом канале.

Тигельные печи представляют собой огнеупорный тигель с металлом, помещенный в пространство индуктора. В этом случае применить замкнутый магнитопровод невозможно, и поэтому схема этой печи подобна схеме воздушного трансформатора, у которого роль вторичной обмотки и нагрузки выполняет шихта и расплавленный металл в тигле.

Канальные печи из-за низкой стойкости футеровочных материалов применяют в основном для плавки металлов со сравнительно низкой температурой плавления - цветных и легких металлов (меди, латуни, цинка, алюминия) и в отдельных случаях - для плавки и подогрева чугуна в литейном производстве при непрерывном режиме работы. Тигельные печи используют для плавки черных металлов, для плавки металлов в вакууме и для плавки цветных металлов в открытой среде при периодическом режиме работы.

Разновидностью индукционных печей являются миксеры, которые служат для накопления жидкого металла, выравнивания его химического состава и температуры. Они работают в комплексе с другими печами. В отличие от обычных индукционных печей миксеры имеют меньшую удельную мощность.

Канальные индукционные печи работали на частоте 50 Гц. Рабочая частота тигельных печей может быть как промышленной, так и повышенной. Так как в основе принципа действия индукционных печей лежит передача электроэнергии посредством переменного магнитного поля, то необходимая для его создания и поддержания реактивная мощность может поступать из питающей сети или от местных источников реактивной мощности. В качестве последних в большинстве случаев применяют батареи конденсаторов, как наиболее дешевые и экономичные.

При незагруженной индукционной печи потребляется преимущественно реактивная мощность холостого хода. При заполнении печи с увеличением активной мощности растет и реактивная мощность. Поэтому батарея конденсаторов состоит из постоянно включенной группы конденсаторов и конденсаторов, подключаемых по мере необходимости.

Для характеристики индукционных печей как потребителей электроэнергии используют следующие показатели: емкость печи, потребляемую мощность, частоту питающего тока, число фаз, естественный и скомпенсированный коэффициент мощности, номинальные мощность и напряжение печного трансформатора (автотрансформатора), часовую производительность, удельный расход электроэнергии на расплавление и перегрев. Для канальных печей дополнительно указывают количество и мощность индукционных единиц.

Сложившийся ряд емкостей индукционных печей - 0,4; 1; 2,5; 6; 10; 16; 25; 40; 60; 100 и 160 т. Мощность трансформаторов индукционных печей составляет от 0,2 до 20 МВА.

Канальные печи могут иметь одну или несколько индукционных единиц: совокупность индуктора, магнитопровода и подового камня с плавильными каналами. Индукционные единицы выполняются однофазными или трехфазными.

Канальные печи подключаются обычно к цеховым электрическим сетям 380/220 В. При значительных мощностях (1000 кВт и более) печи подключают к заводским распределительным подстанциям напряжением 6-10 кВ. Однофазные печи небольшой мощности включаются в сеть по однофазной схеме. При слабых сетях и при большой мощности однофазных печей применяются симметрирующие устройства.

Для подключения к высоковольтной сети печь снабжается печным трансформатором, позволяющим регулировать мощность плавления за счет переключения ступеней напряжения. Подключение к сети низкого напряжения осуществляется обычно напрямую без промежуточного трансформатора. Регулирование мощности в этом случае производят за счет изменения схемы включения индукторов.

Компенсация реактивной мощности в канальных индукционных печах ввиду их сравнительно постоянных режимов осуществляется относительно просто: конденсаторы включают постоянно. Естественный коэффициент мощности составляет 0,3 - 0,7.

В качестве примера рассмотрим канальную печь для выплавки цинка типа ИЦК-14, работающую на одном из металлургических заводов. Печь применяется как ванна для оцинкования посуды. Группа из пяти таких печей установлена в цехе оцинкования. Технические данные печи ИЦК-14:

t.....	14
$S_{\text{ном}}$ , кВ.А.....	62
$U_{\text{ном}}$ , В.....	380
$f_{\text{ном}}$ , Гц.....	50
число фаз.....	3
$\tau_{\text{р max}}$ , °C.....	520
число индукторов (мощность).....	4(60)
$\text{COS } \varphi_{\text{ест}}$ .....	0,7
	М 2-0,38
	(25 кВар,
тип конденсаторов, применяемых в батарее.....	380 В)
число банок (общая мощность батареи, кВар).....	4 (100 вар)



Электродвигатели вспомогательных механизмов:

вентилятор обдува индукторов (мощность, кВт).....	1(10)
вентилятор вытяжной (мощность, кВт).....	1(10)
$P_v$ , т/ч.....	0,71
$e_r$ , кВт.ч/т.....	252

На рис. 1 показана схема питания рассматриваемой печи. Печь питается от трехфазной цеховой сети напряжением 380 В. Контроль температуры ванны осуществляется с помощью термоэлектрического термометра и электронного потенциометра. Поддержание рабочей температуры происходит автоматически за счет ступенчатого регулирования мощности печи.

С помощью контакторов  $K_1$ ,  $K_2$ ,  $K_3$  могут быть получены три ступени мощности: 1) 10,5 кВт - включен только контактор  $K_1$ , при этом все четыре индуктора соединены последовательно и подключены к фазам А и С; 2) 42 кВт - включены контакторы  $K_1$  и  $K_2$ , индукторы соединены попарно-последовательно ( $I_1$ - $I_2$  и  $I_3$ - $I_4$ ) и в таком сочетании подключены к фазам 1, 2 и 3, 2 («открытый треугольник»); 3) 168 кВт - включены контакторы  $K_1$  и  $K_3$ , индукторы подключены к питающей сети по схеме «треугольник», при этом к фазам 1 и 3 параллельно подключены два индуктора  $I_1$  и  $I_2$ . Таким образом, на всех трех ступенях мощности печная установка работает в несимметричном режиме. Показатели режимов включения электропечной установки приведены в табл. 1.

Для компенсации реактивной мощности используется постоянно подключенная к индукторам батарея трехфазных конденсаторов с суммарной установленной мощностью 100 квар. Частота включения той или иной ступени мощности зависит от размеров обрабатываемой посуды: при мелкосортной посуде чаще включают ступени 10,5 и 42 кВт, при крупносортной - ступени 42 и 168 кВт. Характер потребления электрической энергии печи существенно зависит от суточной программы выпуска по количеству и сортаменту обрабатываемых изделий. Схема обеспечивает ручное управление нагревом ванны (режим наладки, вывод на рабочую температуру), перегрев металла до температуры более 520 °С при вычерпывании осевшей на дно окиси цинка.

В комплект печной установки входят также вентиляторы вытяжки газов, обдува катушек индукторов, обдува рабочих мест холодным воздухом. Около печи расположены силовой шкаф с вводным автоматом, контакторной панелью и предохранителями для защиты индукторов от коротких замыканий, шкафы управления, контроля и автоматики, силовой шкаф с конденсаторами.

На рис. 2 приведен фрагмент суточного графика нагрузки одиночной печной установки.

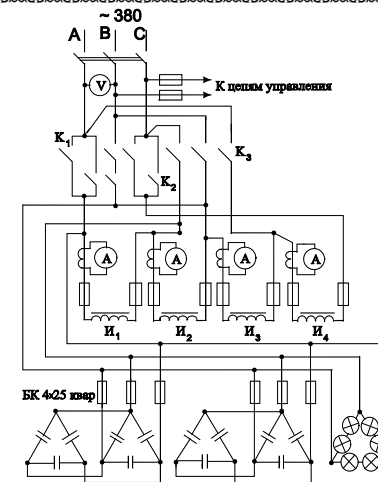


Рисунок 1 - Схема питания индукционной каналной печи для плавки цинка с четырьмя индукторами

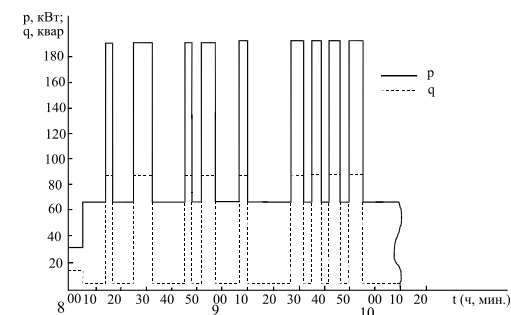


Рисунок 2 - График электрической нагрузки каналной печи типа ИЦК-14

Индивидуальные графики электрической нагрузки рассматриваемых печей получены на основании показателей режимов включения и хронометража длительностей этих режимов по ходу работы печей.

Результаты обработки приведены ниже:

**Показатели усредненного суточного графика нагрузки установки печи ИЦК-14**

$\bar{P}$ , кВт.....	97,19
$\bar{Q}$ , квар.....	28,57
$\bar{S}$ , кВ А.....	101,30

cos φ.....	0,959
$K_{\text{в}}$ .....	1

### Коэффициенты использования мощности

индукторов КИ,И.....	0,47
печи в целом КИ,ц.....	0,51

### Коэффициенты 30-минутного максимума:

$K_{\text{max P}}$ .....	1,27
$K_{\text{max O}}$ .....	1,47
$K_{\text{max S}}$ .....	1,30

### Коэффициенты формы:

$K_{\text{ф P}}$ .....	1,19
$K_{\text{ф O}}$ .....	1,62
$K_{\text{ф S}}$ .....	1,23

Приведенные данные показывают, что колебательность графиков нагрузки канальных ИП сравнима с колебательностью графиков нагрузки ДСП - коэффициенты формы здесь достигают значений 1,6 и выше. Однако, коэффициент включения канальных печей равен единице, и коэффициенты получасового максимума нагрузки не превышают величины 1,5, приближаясь по значению к коэффициентам максимума нагрузки ферросплавных печей.

Средневзвешенный коэффициент мощности установок канальных ИП достигает 0,959. Ступенчатость регулирования мощности БК и недопустимость режима перекомпенсации делает невозможной 100%-ную компенсацию реактивной мощности электропечной установки.

Таблица 1

### Показатели режимов включения плавильной печи ИЦК-14

Режим включения индукторов	Питающие фазы	№ индукторов	Схема включения индуктора	Потребляемая мощность									
				Индукторы печи			Вентиляторы		Печь в целом				
				$P_{\text{ном}}$ кВт	$Q_{\text{ном}}$ квар	$S_{\text{ном}}$ кВ·А	$P_{\text{дв}}$ кВт	$Q_{\text{дв}}$ квар	$P_{\text{ц}}$ кВт	$Q_{\text{ц}}$ кВт	$Q_{\text{ак}}$ квар	$S_{\text{ном}}$ кВ·А	cos φ
1	А, С	И <sub>1</sub> , И <sub>2</sub> И <sub>3</sub> , И <sub>4</sub>	Последовательно	10,50	10,71	15	18,40	9,94	28,90	20,65	12,5	30,03	0,962

2	А, В А, С	И <sub>1</sub> , И <sub>2</sub> И <sub>3</sub> , И <sub>4</sub>	Последовательно Последовательно	42,00	42,85	60	18,40	9,94	60,85	52,79	50	60,91	0,999
3	А, С В, С С, А	И <sub>1</sub> И <sub>2</sub> И <sub>1</sub> , И <sub>4</sub>	Последовательно Последовательно Последовательно	168,00	171,39	240	18,40	9,94	186,40	181,33	100	203,4	0,917

Коэффициенты использования установленной мощности индукторов и печи в целом определяют соответственно по формулам:

$$K_{\text{И,И}} = \bar{S}_{\text{И}} / S_{\text{ном,И}};$$

$$K_{\text{И,П}} = \bar{S}_{\text{П}} / S_{\text{ном,П}};$$

$$\bar{S}_{\text{И}} = (\bar{P} - \bar{P}_{\text{дв}}) / \cos \varphi_{\text{ест}};$$

$$\bar{S}_{\text{П}} = \sqrt{\bar{P}^2 + [(\bar{P} - P_{\text{дв}}) \operatorname{tg} \varphi_{\text{ест}} + \bar{Q}_{\text{дв}}]^2},$$

где  $\bar{S}_{\text{И}}$ ,  $\bar{S}_{\text{П}}$  - средние мощности индукторной части печи и печи в целом,  $S_{\text{ном,И}}$ ,  $S_{\text{ном,П}}$  - номинальные мощности индукторной части печи и печи в целом.

Установленная мощность электропечной установки и ее индукторов использовалась примерно на 50%.

Обследованный цех оцинкования посуды работал по трехсменному режиму с выходными днями. С учетом режимного фонда времени, горячих и холодных простоев печей (текущие и средние ремонты оборудования, замена индукторов, ликвидация утечек цинка в кольцевых каналах, срабатывания защит, организационные простои) средний годовой фонд рабочего времени отдельной печи составлял 6120 часов.

В нерабочие дни печи работали на холостом ходу для сохранения в жидком состоянии металла в каналах печи. В этот период температура печи поддерживалась в основном за счет чередования режимов включения 1 и 2. Средняя мощность индукторов при этом составляла 28 - 30 кВт.

Схемы и элементы электротехнической части установок тигельных ИП существенно зависят от используемой частоты. Индукционные тигельные печи выполняются однофазными. Ток к печам промышленной частоты подводится от специальных печных однофазных или трехфазных трансформаторов, выполняющих роль согласующих и регулирующих устройств. Регулировочный трансформатор при подключении к высоковольтным сетям 6-10 кВ выполняется обычно в виде двухобмоточного трансформатора, а при подключении к сетям низкого напряжения - в виде автотрансформатора. При высоких напряжениях питающей сети целесообразна установка двухтрансформаторного агрегата, состоящего из регулировочного автотрансформатора и согласующего печного трансформатора.

Трехфазные печные трансформаторы, используемые в комплекте с симметрирующими устройствами (обычно индуктивно-емкостными) обеспечивали снижение несимметрии электрической нагрузки, вызываемой подключением однофазной тигельной ИП. Применение их целесообразно, прежде всего, при питании мощных одиночных электропечей и при подключении печей к слабым сетям.

Печи повышенной частоты питаются от преобразователей частоты.

Тигельные печи имеют низкий естественный коэффициент мощности, составляющий для печей промышленной частоты 0,1 - 0,2 (большие значения относятся к печам малой емкости) и примерно в 2 раза ниже этих значений для печей повышенной частоты. В связи с этим компенсация реактивной мощности тигельных ИП требует повышенных затрат.

Конденсаторные батареи, устанавливаемые на тигельных печах, используют не только для повышения коэффициента мощности, но и одновременно с печным трансформатором для регулирования мощности печи. Батареи делятся на регулируемую и нерегулируемую части. Нерегулируемая часть подключена постоянно к индуктору и компенсирует в основном реактивную мощность холостого хода.

Переменная составляющая реактивной мощности, значение которой зависит от режима работы печи, свойств и состава загружаемого материала и степени заполнения тигля, регулируется за счет переключения секций регулируемой части БК. Число ступеней регулирования их мощности выбираются часто на основании имеющихся аналогов и корректируются в процессе эксплуатации печной установки.

В таблице 2 приведены основные данные трех видов тигельных печей, используемых на двух заводах: машиностроительном и металлургическом.

Электропечь типа ИАТ-0,4 предназначена для плавки алюминия и его сплавов. Группа из четырех таких печей установлена на электромашиностроительном заводе в литейном цехе, производящем алюминиевые литые детали для электрических машин и товаров народного потребления.

Питание печи осуществляется через однофазный автотрансформатор, присоединенный к цеховой сети напряжением 380 В. Автотрансформатор имеет четыре ступени напряжения, переключаемые дистанционно с помощью контакторов. Для компенсации реактивной мощности установлена четырехсекционная БК. Одна секция БК включается постоянно, три секции - регулируемые. Заданный электрический режим плавки поддерживается путем переключения ступеней напряжения на автотрансформаторе и регулирования мощности БК.

Таблица 2

Технические данные исследованных тигельных печей

Показатели	Печи		
	ИАТ-0,4	ИЛТ-1	ИЧТ-2,5
Емкость печи $g_{ном}$ , т	0,4	1,0	2,5
Тип печного трансформатора	АНО-180	ЭПОМ-350/10	ЭОМН-1500/10
Мощность $S_{ном}$ , кВ А	180	400	1300
Напряжение, В: первичное вторичное	380 420-110	6000 518-173	6000 1143-286
Частота тока $f_n$ , Гц	50	50	50
Потребляемая мощность, кВт: в режиме плавления $P_{max}$ при подогреве $P_x$	170 40	308 67	990 70
Напряжение на индукторе, В: номинальное $U_{ном,И}$ при подогреве $U_{под,И}$	350 170	485 216	1050 270
Коэффициент мощности: естественный $\cos \varphi_{ест}$ естественный $\cos \varphi$	0,172 1,0	0,175 0,96	0,200 1,0
Производительность по расплавлению и перегреву: часовая $P_t$ , т/ч суточная $G_{сут}$ , т/сут	0,24 3,5	0,67 10,0	2,0 28,0
Удельный расход электроэнергии на расплавление и перегрев $e_t$ , кВт/т	725	470	510
Время расплавления и перегрева $t_{п}$ , ч	1,70	1,48	1,25
Температура перегрева $\tau$	750	1200	1400

Из четырех печей, установленных в цехе, непрерывно работают три печи (одна из печей находится в ремонте или в резерве). Режим работы цеха - трехсменный с выходными днями. Годовой фонд рабочего времени каждой составляет в среднем 4800 часов. Характер электрической нагрузки печей непрерывно-циклический. На рис. 3 приведен график нагрузки печи за средний цикл.

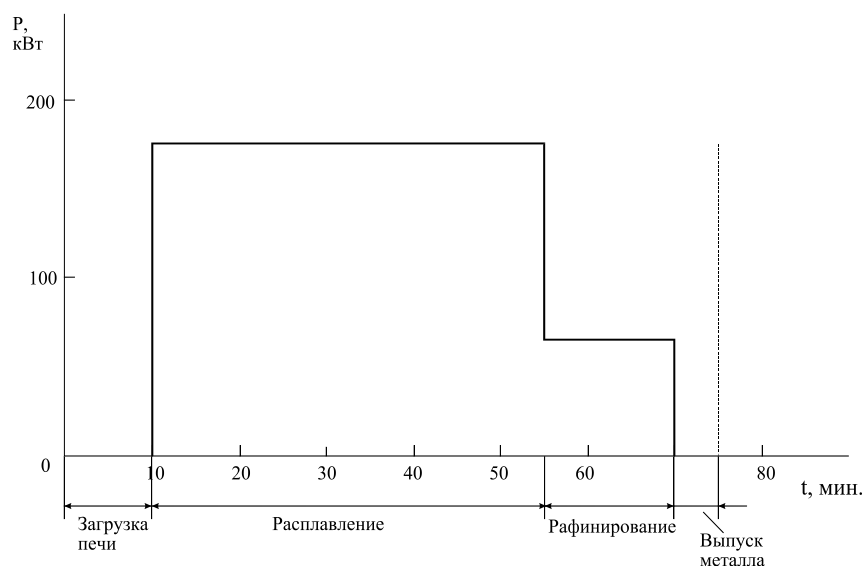


Рисунок 3 - График электрической нагрузки тигельной печи типа ИАТ-0,4

Печи типа ИЛТ-1 (одна печь) и ИЧТ-2,5 (две печи) установлены в фасонолитейном цехе металлургического завода. Питание отдельных печей осуществляется по типовой схеме рис. 4.

В печи ИЛТ-1 выплавляется латунь и бронза для технического литья и заливки подшипников. Объем производства в цехе таков, что печь работает только одну смену, давая 1-2 плавки. В конце каждого месяца печь ставится на профилактический ремонт. Годовой фонд рабочего времени печи не превышает 1000 ч. Усредненный график электрической нагрузки печи за смену с двумя плавками представлен на рис. 5.

Индукционные печи типа ИЧТ-2,5 предназначены для выплавки хромистого, легированного, серого и другого чугуна, идущего на литье деталей для других цехов и ремонтных нужд завода. Участок печей ИЧТ-2,5 работал по трехсменному режиму без выходных дней. При существовавших

потребностях в литье непрерывность работы участка обеспечивалась за счет наличия двух печей и трех индукторов к ним (один индуктор запасной).

Павлодарский государственный университет имени С. Торайгырова, г. Павлодар. Материал поступил в редакцию 16.08.2012.

А.П. КИСЛОВ, А.Н. БЕРГУЗИНОВ, О.Г. ПОТАПЕНКО, М.Ж. МУСАГАЖИНОВ

ИНДУКЦИОННЫЕ ЭЛЕКТРИЧЕСКИЕ ПЕЧИ И ИХ ОСНОВНЫЕ ПОКАЗАТЕЛИ ЭЛЕКТРИЧЕСКОЙ НАГРУЗКИ

A.P. KISLOV, A.N. BERGUZINOV, O.G. POTAPENKO, M.ZH. MUSAGAZHINOV

THE INDUCTION FURNACE AND ITS MAIN SIGNS OF ELECTRICAL LOAD

#### Түйіндемe

Пеишер жұмысының тиімділігін арттыру, олардың жылдық жұмыс уақыт қорын арттырудан, балқытудың рационалды электрлік режимдерін таңдау мақсатымен жұмыс сипаттамаларын зерттеуден тұрады.

#### Resume

Increase of working efficiency of furnaces consists in increase of their annual fund of working time, the performance analysis in order to choose the rational mode of electrical melting.

УДК 621.365.3

### А.П. КИСЛОВ, А.Н. БЕРГУЗИНОВ, О.Г. ПОТАПЕНКО, М.Ж. МУСАГАЖИНОВ ХАРАКТЕРИСТИКИ ПЕЧЕЙ СОПРОТИВЛЕНИЯ КАК ПОТРЕБИТЕЛЕЙ ЭЛЕКТРИЧЕСКОЙ ЭНЕРГИИ

В электротехнологических процессах применяется два вида нагрева сопротивлением: прямой нагрев, когда тепло выделяется в самом нагреваемом теле, и косвенный нагрев, при котором тепло выделяется в специальных нагревателях и передается нагреваемому телу по законам теплопередачи. В соответствии с этим электропечи сопротивления подразделяется на установки прямого нагрева и ПС косвенного нагрева. Печи сопротивления находят широкое применение в различных отраслях промышленности. В них осуществляются такие виды термических процессов, как нормализация,

отжиг, нагрев заготовок под ковку, штамповку и прокатку, прокатка и обжиг неметаллургических материалов, спекание металлокерамики, сушка материалов и покрытий, пайка, старение, закалка и отпуск, цементация, азотирование, плавка металлов.

По технологическому назначению ПС делятся на термические (термообработка материалов и изделий), плавильные (плавка цветных металлов и сплавов) и сушильные (сушка материалов и покрытий). При этом они могут быть самостоятельными технологическими установками или входить в состав других установок и агрегатов, играть роль вспомогательного оборудования, быть звеньями технологических линий или являться основным, ведущим технологическим оборудованием.

По рабочей температуре различают низкотемпературные (до 600-650°C), среднетемпературные (1200 - 1250°C) и высокотемпературные (выше 1250°C) печи.

По характеру работы ПС делятся на печи периодического действия (садочные) и печи непрерывного действия (методические).

Печи периодического действия работают циклично. Цикл работы включает в себя загрузку, тепловую обработку и выгрузку. За время нахождения в печи нагреваемое тело занимает неизменное положение. При длительной работе печи циклы следуют друг за другом.

В печах непрерывного действия нагреваемые тела непрерывным потоком проходят через печь и за время перемещения нагреваются по заданному закону. Печи непрерывного действия имеют большую производительность по сравнению с печами периодического действия и поэтому применяются преимущественно при массовых поточных производствах.

Конструктивно печи делятся: садочные - на камерные, шахтные, колпаковые, колодцевые, элеваторные, печи-электрованны; методические - на конвейерные, толкательные, рольганговые, барабанные, карусельные, протяжные.

Режим включения ПС может быть непрерывный, полунепрерывный, периодический, циклический, скоростной. При непрерывном режиме печь работает без отключений и футеровка ее достигает установившейся температуры. При полунепрерывном режиме в печах непрерывного действия нагреваемые изделия двигаются прерывисто, а в печах периодического действия осуществляется программное регулирование температуры.

По условиям нагрева футеровки этот режим близок к непрерывному. В периодических печах режимы отключений таковы, что футеровка достигает установившейся температуры. Циклический режим характеризуется такой частотой включения и отключения, при котором футеровка не успевает достигнуть установившейся температуры ни в процессе нагрева, ни в процессе охлаждения.

При скоростном режиме температура в рабочем пространстве печи существенно превышает конечную температуру загрузки в течение периода нагрева.

Основными электрическими параметрами ПС являются: номинальная мощность; число фаз; номинальные напряжения печи и нагревателей; число тепловых зон, их мощности; технические данные двигателей вспомогательных механизмов. В табл. 1 и 2 приведены параметры ПС двух исследованных заводов: металлургического (МЗ) и электромашиностроительного завода (ЭЗ).

Для обследования взяты цехи, в которых электрическая нагрузка ПС составляет существенную или преобладающую долю общей нагрузки цеха. На металлургическом заводе - это цехи металлоизделий и эмалирования посуды.

В цехе металлоизделий использовали конвейерные печи, установленные в технологических линиях по изготовлению термосов и фонарей, и камерная печь для нормализации мелких заготовок.

В цехе эмалирования посуды электропечная нагрузка составляла 85% нагрузки цеха. Здесь установлены мощные конвейерные печи для обжига и сушки металлических заготовок посуды, обжига и сушки грунтовых покрытий, обжига и сушки эмалевых покрытий и камерные печи для обжига художественных покрытий эмалированной посуды.

На электромашиностроительном заводе обследованы заготовительный цех и цех сушки и запечки изоляции электрических машин. В первом из них установлены конвейерные лак-печи для изоляционных покрытий заготовок из листов электротехнической стали и последующей их сушки, во втором - камерные печи.

Таблица 1

## Параметры конвейерных печей сопротивления

Завод	Печь			Нагреватели			Электроприводы вспомогательных механизмов																																					
	Назначение	Число	$P_{ном}^*$ , кВт	$U_{ном}^*$ , В	Число фаз	№ зоны	$R_{ном}^*/R_{рег}^{**}$ , кВт	$U_{ном}$ , В	$\tau$	Назначение привода	Число	$P_{ном}^*$ , кВт																																
1	2	3	4	5	6	7	8	9	10	11	12	13																																
													Обжиг посуды (грунт)	2	1538	220	3	3	208/102	127	980	1	7																					
																								Сушка и обжиг посуды (эмаль)	2	1430	220	3	3	260/130	127	890	1	7										
																																			Сушка посуды (грунт, эмаль)	2	1565	220	3	2	229/102	950	2	10
Сушка посуды (грунт, эмаль)	2	1430	220	3	4	220/110	850	2	7																																			
										Сушка посуды (грунт, эмаль)	2	1430	220	3	5	234/126	850	2	7																									
																				Сушка посуды (грунт, эмаль)	2	1430	220	3	7	106/0	820	2	7															
																														Сушка посуды (грунт, эмаль)	2	1430	220	3	1	128/0	850	2	10					
																																								Сушка посуды (грунт, эмаль)	2	1430	220	3
Сушка посуды (грунт, эмаль)	2	1430	220	3	3	116/58	850	2	10																																			
										Сушка посуды (грунт, эмаль)	2	1430	220	3	4	220/110	850	2	7																									
																				Сушка посуды (грунт, эмаль)	2	1430	220	3	5	220/110	850	2	7															
																														Сушка посуды (грунт, эмаль)	2	1430	220	3	6	108/108	850	2	7					
																																								Сушка посуды (грунт, эмаль)	2	1430	220	3

M3

ЭЗ	Лакировка и сушка заготовок	5	412	380	3	2	114/114 102/102	220	500	Вапильатор выглажной	1	5,5																																				
													Сушка термосов	2	123	380	3	1	32,8	220 220	140	Вапильатор выглажной	1	4,5																								
																									Сушка посуды (грунт, эмаль)	3	307	220	3	2	70/70	127	180	Вапильатор пещной	2	10												
																																					Отжиг заготовок посуды	1	610	380	3	1	190/000 220/110 190/100	220	950 1000	Компьютер	1	7
Сушка посуды (грунт, эмаль)	3	252	380	3	1	125/125	220	200	Компьютер нерегулируемый	1	1,7																																					
												Сушка посуды (грунт, эмаль)	3	199	380	3	1	96/32	220 220	165	Вапильатор выглажной	1	5,5																									
																								Сушка посуды (грунт, эмаль)	3	192	380	3	2	96/40	220 220	170	Компьютер	1	1,6													
																																				Сушка посуды (грунт, эмаль)	3	117	380	3	1	85/32	220 220	150	Компьютер	2	1,7	
																																																Сушка посуды (грунт, эмаль)
Сушка посуды (грунт, эмаль)	3	396	380	3	2	114/114 102/102	220	500	Компьютер	1	10																																					

\*В числителе - номинальная мощность электронагревательной установки, в знаменателе - суммарная номинальная мощность нагревателей.

\*\* В числителе - суммарная номинальная мощность нагревательной зоны, в знаменателе - регулируемая мощность зоны.

Параметры камерных печей сопротивления

Завод	Печь			Нагреватели			Электродвигатели вспомогательных механизмов					
	Назначение	Число	$P_{\text{ном}}$ кВт	$U_{\text{ном}}$ В	Число фаз	№ зоны	$P_{\text{ном}}/P_{\text{реп}}$ кВт	$U_{\text{ном}}$ В	t	Назначение привода	Число	$P_{\text{ном}}$ кВт
МЗ	Обжиг художественной посуды	4	90	220	3	1	85/85	127	900	Подъем дверцы	1	4,5
	То же	2	125	220	3	1	120/120	127	900	То же	1	4,5
ЭЗ	Обжиг посуды (грунт)	1	145	220	3	1	140/140	127	955	То же	1	4,5
	Нормализация мелких заготовок	1	117	380	3	1	117/95	220	900	-	-	-
	Сушка, запечка изоляции электромашин	6	Трансформатор 280 кВ·А	380	3	1	250/83	12/6	155	Вентилятор печной Перемоточная тележка	1	10
											1	5

Печи сопротивления не предъявляют специфических требований к роду тока, поэтому для их питания используют сети переменного тока с частотой 50 Гц. Подавляющее большинство печей сопротивления присоединяют к цеховым сетям напряжением 220 и 380 В, причем чаще используют 380 В.

Для питания мощных установок печей сопротивления перспективно использование напряжения 660 В.

Нагревательные элементы печей сопротивления включают в сеть непосредственно или через понижающие трансформаторы. Применение печных трансформаторов удорожает печную установку, снижает КПД и коэффициент мощности. Поэтому их применяют тогда, когда сопротивление нагревательных элементов очень мало или когда обрабатываемый материал (изделие) требует медленного нагрева.

В рассмотренном примере понижающие трансформаторы установлены на печах сушки и запечки изоляции электрических машин. Применение их позволило использовать в качестве нагревателей простые и дешевые материалы - стальные трубы.

Нагревательные элементы печей сопротивления собирают обычно в трехфазные группы, и печи работают как приемники трехфазного тока.

К приемникам электроэнергии в установках печей сопротивления, кроме нагревателей, относятся также электродвигатели различных вспомогательных механизмов: конвейеров, загрузочно-разгрузочных тележек, механизмов подъема дверец, крышек, насосов гидropодъемников, вакуум-насосов, вентиляторов вытяжки и циркуляции газов, обдува рабочих мест. Электропривод конвейеров, как правило, регулируемый, на постоянном токе. Для регулировки скорости используется система тиристорный преобразователь-двигатель.

Для электрооборудования печей сопротивления используется типовая аппаратура общепромышленного исполнения. Печи оснащаются индивидуальными щитами управления, на которых монтируется коммутационная и защитная аппаратура, аппаратура управления и автоматического регулирования, приборы контроля тока, напряжения и температуры. Двигатели вспомогательных механизмов получают питание от тех же щитов управления, что и нагревательные элементы.

На большинстве печей сопротивления применяется автоматическое регулирование температуры. Для возможности получения заданного температурного режима в рабочем пространстве печи разделены на тепловые зоны. Печи небольшой мощности имеют одну тепловую зону. В зонах устанавливаются температурные датчики – термоэлектрические преобразователи.

Автоматическое регулирование температуры ступенчатое - двух- и трехпозиционное. При двухпозиционном регулировании печь или ее

отдельная зона включается и отключается полностью. При трехпозиционном регулировании в период разогрева печь включается на полную мощность, а после достижения заданной температуры поддержание ее производится частичным включением и отключением мощностей зон. Для этой цели зоны оборудуются двумя-тремя секциями нагревателей, из которых одна ставится на автоматический режим регулирования, а остальные включены постоянно.

Режим электропотребления печей сопротивления характеризуется графиком активной нагрузки, режимом включения печи, удельным расходом электроэнергии, производительностью и годовым фондом рабочего времени. Дополнительно указывается время разогрева печи до рабочей температуры после ее остановки.

Печи сопротивления отличаются большим разнообразием графиков электрической нагрузки, форма и показатели которых зависят от вида печей сопротивления, технологического процесса, режима включения, числа температурных зон и методов регулирования температуры.

Для печей сопротивления характерны дежурные режимы и графики нагрузки выходных дней, когда печь для сохранения в ней тепла и исключения деформации футеровки не отключается в нерабочие периоды, работает вхолостую. При работе печей сопротивления по трехсменному режиму для характеристики электропотребления используются суточные графики нагрузки, а при работе по одно- и двухсменному режиму - сменные графики нагрузки.

Особую группу образуют графики нагрузки печей сопротивления в периоды их разогрева. Разогревы печей производят после их остановки на ремонты, в выходные дни и нерабочие смены. Как правило, нагрузка в периоды разогревов постоянна и максимальна, так как при разогреве включаются все нагреватели. Длительность разогрева зависит от длительности предшествующего простоя.

В качестве примера приведены фрагменты рабочих графиков нагрузки установок печей сопротивления: однозонной камерной печи для обжига посуды (рис. 1) и трехзонной конвейерной печи для обжига проволоки (рис. 2). Первый из них получен с помощью круговой температурной диаграммы, второй - на основании хронометража.

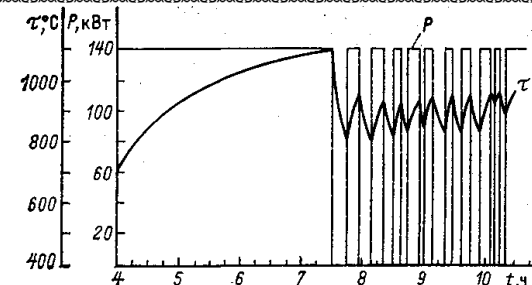


Рисунок 1 - График электрической нагрузки камерной ПС при двухпозиционном регулировании температуры

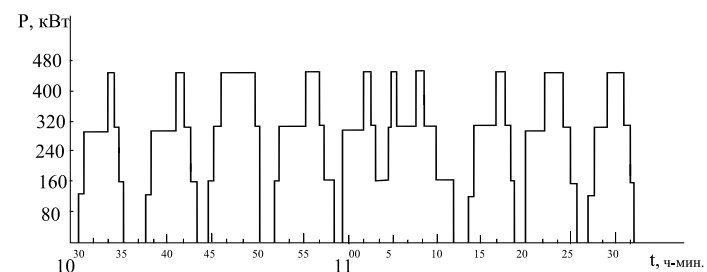


Рисунок 2 - График электрической нагрузки трехзонной конвейерной ПС при двухпозиционном регулировании температуры

В таблицах 3 и 4 приведены основные показатели графиков нагрузки печей. С учетом совместности питания нагревателей и двигателей вспомогательных механизмов в таблицах указаны два вида коэффициента использования:

$$\text{- в целом по печи } K_{и,п} = \bar{P}_п / P_п = (\bar{P}_п + \bar{P}_дв) / P_п;$$

$$\text{- отдельно по нагревателям } K_{и,н} = \bar{P}_н / P_{ном,н},$$

где  $\bar{P}_п$ ,  $\bar{P}_дв$ ,  $\bar{P}_н$  - средние мощности соответственно печной установки, двигателей вспомогательных механизмов и нагревателей;  $P_{ном}$ ,  $P_{ном,н}$  - номинальные мощности печной установки и нагревателей.

Для конвейерных ПС и камерных ПС, работающих непрерывно без отключений, характерны высокие значения  $K_{и,п}$  (0,6-0,8). Наиболее низкие значения  $K_{и,п}$  имели шахтная (0,43) и колпаковая печи (0,49). В этих печах снижение коэффициента использования мощности нагревателей связано с наличием бестоковых пауз в циклах нагрузки.



Таблица 3

Показатели режимов электропотребления конвейерных печей

Завод	Назначение печи	P <sub>ном</sub> <sup>п</sup> кВт	K <sub>эл</sub>	K <sub>эл</sub>	K <sub>эл</sub>	K <sub>б</sub>	Режимный фонд времени, сут., при числе смен			T <sub>рп</sub> <sup>п</sup> ч.	Время разогрева, ч.		P <sub>п</sub> <sup>п</sup> кВтч/т	ε <sub>п</sub> <sup>п</sup> кВтч/т
							1	2	3		t <sub>раз</sub>	t <sub>пер</sub>		
	Обжиг посуды (грунт)	1565	0,71	0,71	1,02	-	159	108	4595	12	2,5	2,00	849	
	Обжиг посуды (эмаль)	1457	0,71	0,71	1,02	-	159	108	4610	12	2,5	1,54	988	
	Сушка и обжиг посуды (эмаль)	864	0,73	0,73	1,03	-	159	108	4450	12	4,0	2,45	426	
	Сушка посуды (грунт)	307	0,75	0,74	1,05	-	159	108	4745	10	2,5	1,54	178	
МЗ	Ожиг заготовок посуды	610	0,73	0,73	1,02	-	159	108	4141	12	3,0	0,93	639	
	Сушка заготовок посуды	252	0,67	0,67	1,12	-	159	108	4141	8	2,5	0,93	224	
	Сушка отравителей	199	0,77	0,76	1,02	-	267	-	3965	10	2,0	1,10	179	
ЭЗ	Сушка термосов	123	0,76	0,75	1,01	-	267	-	3980	10	2,0	1,22	98	
	Лакировка и сушка листовых штамповок	412	0,70	0,71	1,07	-	-	267	5465	11,5	-	3,00	113	

Таблица 4

Показатели режимов электропотребления садочных печей

Завод	Назначение печи	№ печи	P <sub>ном</sub> <sup>п</sup> кВт	K <sub>эл</sub>	K <sub>эл</sub>	K <sub>б</sub>	K <sub>эл</sub>	K <sub>б</sub>	K <sub>эл</sub>	K <sub>б</sub>	t <sub>н</sub> мин, ч.	Режимный фонд времени, сут. при числе смен			T <sub>рп</sub> <sup>п</sup> ч.	Время разогрева		P <sub>п</sub> <sup>п</sup> кВтч/т	ε <sub>п</sub> <sup>п</sup> кВтч/т
												1	2	3		t <sub>раз</sub>	t <sub>пер</sub>		
МЗ	Обжиг художественной посуды	1, 2	90	0,68	0,70	1,20	0,68	0,63	0,62	1,26	6 мин	-	159	108	4790	8	2	0,19	377
		3										267	-	2080	8	4	0,16	695	
		4										-	267	-	3900	3	0,17	490	
		5, 6										-	159	108	4785	2,5	0,31	319	
ЭЗ	Обжиг посуды (грунт)	9	145	0,62	0,63	1,26	0,62	1,26	1,16	15 мин	-	159	108	4780	8	2,5	0,34	321	
		Нормализация мелких заготовок	-	117	0,69	0,69	1,16	0,69	1,16	4 ч	-	267	-	4155	8	3,5	0,09	1248	
ЭЗ	Сушка и запечка изделия	-	280	0,16	0,55	1,33	0,16	0,55	1,33	11-49 ч	-	-	365	6	-	200 ед/год	кВтч на ед.		

Вследствие ступенчатого регулирования мощности индивидуальные графики нагрузки однозонных ПС имеют резкопеременный характер, однако, в отличие от ДСП размахи колебаний мощности ПС имеют постоянное значение. Коэффициент формы графиков нагрузки однозонных ПС при двухпозиционном регулировании составляет 1,16-1,33.

С уменьшением коэффициента использования коэффициент формы возрастает. С увеличением числа зон и переходом на трехпозиционное регулирование график нагрузки ПС выравнивается. При числе зон 4 и более коэффициент формы графика нагрузки ПС не превышает 1,05.

Получасовые нагрузки ПС в период ее работы значительно ниже номинальной. Поэтому 30-минутные максимумы нагрузки ПС берут в периоды ее разогрева, когда одновременно включаются все нагреватели.

- С допустимой погрешностью можно принимать:
- для печей непрерывного действия  $P_{max(30)} = P_{ном,Н} + \bar{P}_{дв}$  ;
  - для печей периодического действия  $P_{max(30)} = P_{ном,Н}$  ,

где  $\bar{P}_{дв}$  - средняя мощность двигателей вспомогательных механизмов в период разогрева печи.

Годовой фонд рабочего времени и производительность печей, указанные в табл. 3, 4, определялись с использованием отчетно-статистических данных о работе ПС.

Обследование показало, что на большинстве установок ПС отсутствуют электрические счетчики, что осложняет контроль за технологическим удельным расходом электроэнергии. Поэтому, приведенные в табл. 3, 4 значения  $\epsilon_p$  определены, в основном, расчетным путем.

Покажем на примере камерных печей обжига посуды как в условиях проектирования и эксплуатации, используя технические параметры и показатели режимов электропотребления ПС, получили значения удельного расхода электроэнергии расчетным путем.

Годовое потребление печью электроэнергии складывается из расхода ее на технологические цели  $W_{техн}$  и на разогрев печи после холодных  $W_{рз,х}$  и горячих  $W_{рз,гор}$  простоев, после нерабочих смен  $W_{рз,см}$  и выходных дней  $W_{рз,в}$  :

$$W_{Г} = W_{техн} + W_{рз,х} + W_{рз,гор} + W_{рз,см} + W_{рз,в}$$

Расход электроэнергии на технологические цели, кВт.ч,

$$W_{техн} = \bar{P} T_{р,Г} = K_{И,П} P_{ном} T_{р,Г}$$

Расход электроэнергии на разогрев печи после холодных простоев, кВт.ч,

$$W_{рз,х} = m_{п,х} P_{ном,Н} t_{рз,х}$$

где  $m_{п,х}$  - число холодных простоев в год;  $P_{ном,Н}$  - суммарная номинальная мощность нагревателей печи, кВт;  $t_{рз,х}$  - время разогрева печи до рабочей температуры после ее полного охлаждения, ч.

Расход электроэнергии на разогрев печи после горячих простоев, кВт.ч,

$$W_{рз,гор} = m_{п,гор} P_{ном,Н} t_{рз,гор}$$

где  $m_{п,гор}$  - число горячих ремонтов в год;  $t_{рз,гор}$  - длительность разогрева печи после горячего простоя, ч.

Расход электроэнергии на разогрев после нерабочих смен, кВт.ч,

$$W_{рз,см} = m_{см} P_{ном,Н} t_{рз,см}$$

где  $m_{см}$  - число перерывов между рабочими сменами;  $t_{рз,см}$  - длительность разогрева печи после отключения ее в нерабочие смены, ч. В расчетах принимали  $t_{рз,см} = t_{рз,гор}$ .

Расход электроэнергии на разогрев печи после отключений ее в выходные дни, кВт.ч,

$$W_{рз,в} = n_{вых} P_{ном,Н} t_{рз,в}$$

где  $n_{вых}$  - число выходных и праздничных дней в году;  $t_{рз,в}$  - длительность разогрева печи после отключения ее в выходные и праздничные дни, ч.

С учетом условий охлаждения печи принимали  $t_{рз,в} = t_{рз,х}$  - при двухдневном перерыве;  $t_{рз,в} = t_{рз,см}$  - при однодневном перерыве.

Удельный технологический расход электроэнергии, кВт.ч/т, по отдельной печи составлял

$$e_t = W_t / G_t$$

где  $W_t$  - годовое потребление печью электроэнергии, кВт.ч;  $G_t$  - годовой выпуск продукции, т.

Результаты численных расчетов годового потребления электроэнергии и технологического удельного расхода по рассмотренным печам сведены в табл. 5.

Таблица 5

Годовое потребление электроэнергии камерными печами  
для обжига посуды

Статьи расхода электроэнергии	Расход электроэнергии по печам				
	№ 1	№ 3	№ 4	№ 5	№9
Wтехн:					
кВт.ч	293 148	127 296	238 680	394 763	429 722
%	85,5	73,1	73,5	83,5	82,5

Wрз,х:					
кВт.ч	1360 0,4	1360 0,6	1360 0,4	1920 0,4	2240 0,4
%					
Wрз,гор:					
кВт.ч	935	340	765	1440	1820
%	0,3	0,2	0,2	0,3	0,4
Wрз,см:					
кВт.ч	17 032	69 360	52 020	30 024	34 993
%	5,0	30,0	16,0	6,4	6,7
Wрз,в:					
кВт.ч	30 430	32 980	29 905	44 760	52 220
%	8,9	14,3	10,3	9,5	10,0
Wрз,е	49 757 14,6	104 040 45,0	85 850 26,5	78 144 16,5	91 273 17,5
Wг:					
кВт.ч	342 905	231 336	324 530	472 907	520 995
%	100	100	100	100	100
Gг, т	910,1	332,8	663,0	1483,4	1625,2
ег, кВт.ч/т	377	695	490	319	321

Данные таблицы свидетельствуют о том, что в ПС значительная часть электроэнергии расходуется на разогревы печи после выходных дней и отключений в нерабочие смены. Для однотипных печей одинаковой мощности с уменьшением годового фонда рабочего времени падала производительность печи, и ухудшались энергетические показатели. Так, у печи №3, используемой только в одну смену, потери электроэнергии на разогревы достигали 45% общего потребления электроэнергии в год, а удельный расход электроэнергии в 1,8 раза выше, чем у печи №1, работающей по двух-, трехсменному графику.

В печах, работающих в выходные дни и нерабочие смены на дежурных режимах, статьи расхода  $W_{рз,см}$  и  $W_{рз,в}$  заменяют статьей  $W_{деж}$  - расход энергии на дежурный режим. При этом, как правило,

$$W_{деж} > W_{рз,см} + W_{рз,в}$$

Основным мероприятием по экономии электроэнергии, снижению удельного расхода и повышению производительности ПС является повышение коэффициента использования ПС по времени.

Павлодарский государственный университет имени С. Торайгырова, г. Павлодар. Материал поступил в редакцию 16.08.2012.

А.П. КИСЛОВ, А.Н. БЕРГУЗИНОВ, О.Г. ПОТАПЕНКО,  
М.Ж. МУСАГАЖИНОВ

ХАРАКТЕРИСТИКИ ПЕЧЕЙ СОПРОТИВЛЕНИЯ КАК  
ПОТРЕБИТЕЛЕЙ ЭЛЕКТРИЧЕСКОЙ ЭНЕРГИИ

A.P. KISLOV, A.N. BERGUZINOV, O.G. POTAPENKO,  
M.ZH. MUSAGAZHINOV

ELECTRIC RESISTANCE FURNACES AS CONSUMERS OF  
ELECTRICAL ENERGY

#### *Tүйіндемe*

*Электр энергиясының тұтынушылары ретінде кедергі  
нейтeрiнiң сипаттамалары қарастырылған.*

#### *Resume*

*The article discusses the description of electric resistance furnace as  
consumers of electrical energy.*

УДК 621.311.1

**Б.Б. УТЕГУЛОВ, И.В. КОШКИН,  
А.Б. УТЕГУЛОВ, А.Б. УАХИТОВА**

### **АНАЛИЗ СОВРЕМЕННЫХ СРЕДСТВ ОПРЕДЕЛЕНИЯ МЕСТ ПОВРЕЖДЕНИЯ В СЕТЯХ НАПРЯЖЕНИЕМ 6-35 КВ**

Линии электропередачи – довольно часто повреждаемые элементы электроэнергетической системы. Выход из работы линии всегда сопровождается или недоотпуском электроэнергии, или снижением надежности, себестоимости и качества электроснабжения. Поэтому одной из важнейших задач линейных ремонтных служб предприятий электросетей является поиск места повреждения и организация ремонтно-восстановительных работ. До появления в энергосистемах приборов определения места повреждения поиск повреждения совершался путем визуальных осмотров. На это тратилось значительное время из-за характерных особенностей трассы линии электропередачи, и к тому же место повреждения иногда плохо различимо даже с близкого расстояния - на гирлянде изоляторов после перекрытия изоляции часто не остается значительных следов обгорания. Также еще сложнее обстоит дело с поиском места самоустраняющегося повреждения, при котором после автоматического повторного включения линия остается в работе [1].

Широкое внедрение электрической энергии в технологические процессы аграрного хозяйства обуславливает большую зависимость производства от надежности электроснабжения. Поэтому все большую актуальность приобретают работы, направленные на повышение надежности и бесперебойности потребителей, уровень которой в настоящее время не соответствует предъявляемым требованиям.

Известно большое количество различных методов по определению места повреждения (ОМП).

Рассмотрим дистанционные средства, применяющиеся в сельских распределительных сетях. Методы поиска места повреждения делятся на дистанционные и топографические. Дистанционные методы подразумевают использование приборов и устройств, устанавливаемых на подстанциях и указывающих расстояние до повреждения. Одним из наиболее используемых методов автоматического определения места повреждения является метод параметров аварийного режима. Также распространенным методом ОМП является локационный метод.

Метод гармонических колебаний реализует определение места замыкания на землю при измерении вблизи воздушной линии (ВЛ) уровня высших гармонических составляющих магнитного поля тока нулевой последовательности с помощью магнитного датчика. Сигнал с МД проходит через усилители, активный фильтр, усилитель и поступает на выходной преобразователь.

Диагностический метод регистрации частичных разрядов в настоящее время является наиболее прогрессивным, хотя и дорогим методом, применяемым для диагностики состояния ЛЭП, осуществляющий регистрацию или измерение параметров частичных разрядов.

На основании данных методов существует большое множество приборов, применяющихся в настоящее время для определения места повреждения.

Сравнительный анализ с характеристиками некоторых устройств из многочисленного спектра средств поиска места повреждения, представлен в таблице 1.

Данные средства дистанционного управления в большинстве своем имеют один и тот же недостаток в эксплуатации, а именно: не могут выделить направление поиска короткого замыкания (к.з.) на разветвленных сельских сетях, поэтому наибольший эффект дает их применение в комплексе с указателями повреждений, при этом необходимость в телепередаче показаний от указателя существенно уменьшается.

Дистанционно измеряющие средства поиска места повреждения нашли применение, прежде всего, в сетях напряжением 10 кВ и выше. Оснащенность сельских сетей Костанайской области средствами ОМП составляет на начало

2010 года всего 70%, к тому же морально и физически устаревших [2]. К тому же на некоторых подстанциях и РЭСах нарушен пункт 2.7 действующего РД 34.20.564 в оснащении устройствами ОМП.

Незначительное внедрение средств ОМП в сельских распределительных сетях объясняется, по-видимому, отсутствием достаточно точного и удобного в эксплуатации метода измерения, учитывающего специфику распределительных сетей: наличие нескольких радиальных воздушных линий, отходящих от одной секции шин, разветвленность, изолированная нейтраль, разнообразие марок и сечений проводов, дорогой стоимостью и др. В сельских распределительных сетях не нашли применения, например, высокочастотные методы измерения, а из методов, основанных на фиксации параметров аварийного режима, применимы только метод односторонних измерений.

Таблица 1

Сравнительный анализ средств ОМП

Устройства	Методы ОМП			
	Локационный	По параметрам аварийного режима	Устройства гармонических параметров	Устройства диагностики ЛЭП
Наименование, характеристика	АЛИМП-М – устройство определения мест повреждений на линиях электропередачи (автоматический локационный искатель мест повреждений). Устройство АЛИМП выполнено в корпусе, встраиваемом в стандартные шкафы релейной защиты.	Прибор ПАРМА РП 4.08 предназначен для регистрации аварийных, переходных и установившихся процессов в системах релейной защиты и автоматики на электрических станциях и подстанциях; а также для проведения различного вида измерений и исследований в электроцепях.	Квант - предназначен для контроля тока нагрузки и определения мест повреждения в распределительных электросетях	ОВМ-3 – прибор предназначен для диагностирования состояния изоляции трех фаз кабельных или воздушных линий под рабочим напряжением

Диапазоны измерения:	до 50км	силы тока, А ~0-120; =0-170; 0-10мА напряжения, В ~0-460; =0-650; 0-200Мв	Чувствительность к магнитному полю на частоте 550 Гц, не хуже $1,5 \times 10^{-4}$ А/м. Чувствительность к магнитному полю на частоте 50 Гц, не хуже $1,5 \times 10^{-2}$ А/м.	1–10,0 МГц (Частотный диапазон регистрируемых импульсов)
Напряжение питания, В	Два встроенных элементов питания E3336 (2*4.5В).	=110, =220, ~220	4,5 (Аккумулятор)	120 ÷ 260
Предел допускаемой основной погрешности	Погрешность определения расстояния до места понижения сопротивления изоляции менее 2% Погрешность определения расстояния до места обрыва менее 2%	Для одно-и двухфазных КЗ не более 6%, не более 4% для трехфазных КЗ	-	-
Масса кг размеры, мм	Не более 10/ 482,2 x 370 x 8,1	Не более 7 / 404x285x172	Не более 0,6 / 170x110x60	1,2/ 220x130x12
Диапазон рабочих температур, С/цена, тенге	диапазон рабочих температур: (-20...+40)°С/	+5 °С до +40 ° / 1075000	-20°С - +40° / 35000	-40 ÷ +60 / 2174750
Недостатки	Неудобство снятия показаний	Зависимость показаний от характера ответвлений сети	Низкая эксплуатационная надежность	Высокая стоимость, невозможность передачи данных на ПДУ.

Методы дистанционного измерения для сельских распределительных сетей должны удовлетворять требованиям простоты и экономичности. Однако, учет специфики данных распределительных сетей требует сложных и дорогих средств, обеспечивающих требуемую точность и удобство эксплуатации.

Анализируя аварийные ситуации в распределительных сетях, были сделаны следующие наблюдения и выводы. Применяемые методы и средства дистанционного поиска места повреждения не позволяют осуществить измерения при трехфазных к.з., т.к. при симметричном трехфазном к.з. ток обратной последовательности в месте повреждения отсутствует, а при несимметричном трехфазном - определяется главным образом соотношением переходных сопротивлений между фазами, учесть которое точно не представляется возможным. Кроме того, даже при двухфазных к.з. возможна также неоднозначность показаний, т.к. степень несимметрии, а следовательно, и ток обратной последовательности случайным образом зависят от переходного сопротивления в месте к.з. Также данные средства и методы не могут выдать результат, не требующий дополнительной обработки

Таким образом, требуется либо сложное вычислительное устройство, такое как регистратор аварийных событий, устанавливаемый на подстанциях сетей напряжением более 110 кВ, либо большой объем предварительных вычислений и дополнительной документации, причем, при изменении схемы, замене трансформатора и проводов и т.п. расчеты следует проводить заново, а некоторые случаи для проведения предварительных расчетов заранее предусмотреть вообще невозможно, например, работу подстанции в режиме, резервирования, в послеаварийном режиме, в период ремонта участков линии электропередачи.

Что касается точности названных методов, то погрешность измерения даже при отсутствии переходного сопротивления в месте повреждения может достигать порядка 5%. Это можно объяснить тем, что значительная часть тока обратной последовательности ответвляется в нагрузку и не может быть измерена на вводе к шинам подстанции. Особенно это относится к двигательной нагрузке, для которой сопротивление токам обратной последовательности в 5-7 раз меньше, чем прямой. Учесть влияние нагрузки, которое зависит от ее состава, мощности, пространственного распределения и изменяется в течение дня, месяца, года, названные методы не позволяют.

Остановимся подробнее на методах, основанных на измерении параметров поврежденных фаз. Эти методы предполагают определение искомого расстояния по току, полному или индуктивному сопротивлению петли к.з. Сопротивлением петли к.з. будем считать сопротивление проводов линии и переходного сопротивления в месте повреждения для тока в точке к.з. Данные методы и средства (ФПТ и ФИП) позволяют

осуществить однозначные замеры при двухфазных и трехфазных к.з., если измерять разность токов поврежденных фаз и напряжение между ними. Однако, погрешности определения расстояния по току и необходимость дополнительных расчетов препятствуют широкому распространению этого метода в сельских распределительных сетях. Также при осуществлении контроля по многим отходящим линиям данный метод может дать значительную погрешность, так как ток измеряемый включает в себя не только ток в месте к.з., но и ток нагрузок, который не несет информации о месте повреждения и служит источником погрешности.

Таким образом, современные средства дистанционного определения места повреждения в сельских сетях должны отвечать следующим основным требованиям:

- высокая точность измерения (в пределах 3%);
- многофидерный контроль за состоянием линий электропередачи;
- однозначность замеров при всех видах короткого замыкания и замыкания на землю;
- отсутствие дополнительной обработки результата измерения и предварительных расчетов (как в случае действующих на подстанциях приборах ФПТ(ФПН).
- возможность беспроводной передачи данных на пункт контроля и управления.

## СПИСОК ЛИТЕРАТУРЫ

- 1 Шалыт Г.М. Определение мест повреждения в электрических сетях. / – М.: Энергоиздат, 1982. – С.310.
- 2 «Журнал аварийных событий» ТОО МРЭТ, – Костанай, 2010. – С. 66.

Павлодарский государственный университет имени С. Торайгырова, г. Павлодар. Материал поступил в редакцию 02.04.2012.

Б.Б. ӨТЕҒҰЛОВ, И.В. КОШКИН, А.Б. ӨТЕҒҰЛОВ, А.Б. УАХИТОВА  
КЕРНЕУІ 6-35 КВ ЭЛЕКТР ТОРАПТА БҰЗЫЛУДЫҢ ОРЫНДАРЫНЫҢ  
АНЫҚТАУЫНЫҢ ҚАЗІРГІ ҚҰРАЛДАРЫНЫҢ ТАЛДАУЫ  
B.B. UTEGULOV, I.V. KOSHKIN, A.B. UTEGULOV, A.B. UAHITOVA  
ANALYSIS OF CURRENT DEFINITIONS OF FAULTS LOCATION IN  
NETWORKS WITH 6-35 KV VOLTAGE

### *Түйіндеме*

*Бұл жұмыста электр берілісі желілерінде апаттың орынна дейін қашықтықтың өлшеу құралдарының талдауы келтірілген. Талдаудың нәтижесінде ауылиаруашылық таратушы электр*

жәлдерінің қосалқы станцияларындағы апаттық жағдай бекіту ерекшелігі орнатылған.

### Resume

*The paper analyzes the means of measuring the distance to the place of the accident at the power lines. A result of the analysis of the peculiarities of fixing emergencies at rural substations, power distribution networks.*

УДК 665. 6/. 7. 023: 620. 197

## **Р.А. ХАЙБУЛИНА, Д.Г. КАВЕРЗИН, Р.Б. АЙДАРГАЛИН, В.А. ГЛАЗЫРИН ТЕХНОЛОГИЧЕСКИЕ МЕТОДЫ ЗАЩИТЫ ОТ КОРРОЗИИ РЕЗЕРВУАРНОГО ПАРКА И НЕФТЕГАЗОВОГО ОБОРУДОВАНИЯ**

Одной из основных причин выхода из строя нефтегазового оборудования на объектах добычи, подготовки, транспорта, переработки и хранения нефти является коррозия. Коррозия не только снижает срок службы резервуарного оборудования, но и непосредственно оказывает влияние на промышленную безопасность при его эксплуатации.

Опыт эксплуатации стальных товарных и технологических резервуаров показывает, что внутренняя поверхность, как правило, подвергается равномерной, язвенной, щелевой и ножевой (коррозия по границам зерен в зоне перегрева около сварного шва) коррозии.

Анализ эксплуатации резервуаров показал, что скорость равномерной коррозии резервуаров составляет от 0,04 до 1,1 мм/год, но при язвенной коррозии наиболее опасны сквозные поражения, приводящие к утечке продукта. Скорость язвенной коррозии при этом превышает равномерную в 3–6 раз и может достигать 8 мм/год.

С точки зрения коррозии резервуаров, днище — это наиболее опасный элемент конструкции, поскольку оно является наиболее тонкой ее частью, которая постоянно контактирует с подтоварной водой, насыщенной химически активными элементами, ускоряющими процесс коррозии. Результаты анализа аварий резервуаров говорят о том, что именно сквозные отверстия днищ и ножевая коррозия упорного узла (место соединения днища со стенкой), возникшие в результате повреждений защитных покрытий, были причиной наиболее крупных катастроф.

Важнейшее значение в решении задачи снижения скорости коррозии оборудования имеет повышение уровня противокоррозионной защиты, что,

в свою очередь, обеспечивает промышленную безопасность производства и его экономическую эффективность. Рассмотрим наиболее распространенные методы защиты от коррозии.

Также немаловажную роль играет оптимизация издержек на эксплуатацию и ремонт оборудования, что напрямую отражается на сокращении времени капитальных ремонтов и требованиях к сроку безостановочной эксплуатации оборудования. Все это приводит к повышению требований к защитным покрытиям внутренней поверхности оборудования.

Современный рынок покрытий для резервуаров в нефтегазовой отрасли можно разделить на группы в соответствии с температурой эксплуатации оборудования (до 60°C; 90°C; 120°C и выше) и назначением (хранение сырой нефти, нефтепродуктов и специальных химикатов).

Основными критериями выбора защитного покрытия внутренней поверхности резервуаров являются:

- стойкость к воздействию высоких температур в условиях погружения;
- химическая стойкость - способность противостоять воздействию широкого спектра агрессивных сред в широком интервале температур;
- высокая адгезия;
- стойкость к воздействию механических нагрузок - удар, абразивный износ;
- возможность однослойного нанесения;
- нанесение в условиях отрицательных температур;
- длительный срок службы;
- быстрый ввод покрытия в эксплуатацию в нормальных условиях.

**Антикоррозионная защита с применением изолирующих покрытий.** Изолирующее покрытие — это покрытие, отделяющее основной металл, из которого изготовлен резервуар, (чаще всего это ст.3 или 09Г2С), от агрессивной среды, и тем самым предотвращающее процесс коррозии основного металла. Изолирующие покрытия для защиты резервуаров могут наноситься с помощью окраски лакокрасочными материалами и газотермическими методами напыления коррозионностойких сталей и сплавов.

Преимущества применения лакокрасочных материалов:

- сравнительно невысокая стоимость материалов;
- низкие затраты на нанесение ЛКМ. Нет потребности в использовании горючих газов, необходимых при газотермических методах, или электроэнергии для нанесения металлизационных покрытий методом электродуговой металлизации.

Опыт эксплуатации лакокрасочных покрытий показывает, что средний срок службы лакокрасочных покрытий до проведения местных ремонтов покрытий находится в пределах от 5 до 10 лет, а общий срок службы покрытий до их замены находится в пределах от 8 и более лет.

Доказано, что возникновение местных дефектов лакокрасочных покрытий, приводящих к нарушению их целостности, вызывает уменьшение длины покрытия по отношению к длине стенки резервуара при снижении температуры окружающей среды, которая также значительно уменьшает пластичность лакокрасочных материалов. Так, например, при снижении с летней температуры +35°C до зимней температуры с - 40°C уменьшение длины окружности стальной стенки резервуара диаметром 10 метров составит 30 мм (КЛР = 13 x 10-6), а уменьшение длины окружности покрытия на эпоксидной основе, например Permakog128, составит 129 мм (КЛР = 55 x 10-6).

В пересчете на 1 метр разница в длине стенки и лакокрасочного покрытия составит 3,15 мм, что повышает вероятность образования микротрещин в лакокрасочном покрытии по сравнению с металлизационным.

Хорошим вариантом антикоррозионной защиты является использование в производстве резервуарного оборудования специальных металлов, имеющих полиуретановую основу. Полиуретановые смолы, входящие в состав покрытий, имеют необходимую степень адгезии не только с металлическими поверхностями, но и с неметаллическими. Они придают основе высокую стойкость к истирающим воздействиям, маслам, растворителям, а также эластичность и твердость. Отличает полиуретановую основу и следующие показатели: атмосферостойкость, газонепроницаемость, водостойкость, декоративность. Срок эксплуатации резервуарного оборудования покрытого полиуретановой основой значительно увеличивается, так срок службы самой основы составляет не менее 10 лет на внутреннем покрытии резервуаров, и не менее 15 лет на внешнем покрытии. Данное покрытие может наноситься при высокой влажности воздуха и температуре окружающей среды до плюс 500 °C как специальным аппаратом, так и ручным способом. Еще одним достоинством полиуретанового покрытия является высокая ремонтпригодность и стойкость к ультрафиолетовому излучению.

**Антикоррозионная протекторная защита.** При подземной установке емкостей и металлоконструкций, особенно во влажном грунте, вблизи промышленных предприятий, свалок, высоковольтных линий электропередач и др. рекомендуется принимать дополнительные меры по предотвращению коррозии металла резервуара. Для этих целей, наряду с антикоррозионным покрытием, рекомендуется дополнительно устанавливать специальное оборудование, которым обеспечивается катодная электрохимическая защита резервуаров и металлоконструкций. Электрохимическая катодная защита дает возможность продлить срок службы резервуаров, трубопровода и других металлоконструкций в несколько раз. Катодный ток значительно снижает значение электропотенциала, благодаря чему сильно уменьшает скорость коррозии.

Принцип протекторной катодной защиты заключается в том, что к защищаемой металлоконструкции присоединяют более электроотрицательный металл – протектор – который, растворяясь в окружающей среде, защищает от разрушения основную конструкцию.

Протекторную защиту применяют для борьбы с коррозией металлических конструкций в морской и речной воде, грунте и других нейтральных средах. При этом следует учитывать, что использование протекторов в кислых растворах нецелесообразно вследствие высокой скорости саморастворения.

Опыт антикоррозионной защиты резервуарных парков показал, что катодная защита металлоконструкций резервуаров магниевыми и алюминиевыми протекторами оказалась не эффективной по причине низкого срока службы (2-2,5 года).

**Металлизационные антикоррозионные покрытия.** Процесс металлизации распылением заключается в непрерывном плавлении металла, распылении его на мельчайшие частицы и нанесении на подготовленную методом абразивно-струйной обработки поверхность. Попадая на металлизированную поверхность, частицы деформируются, нагромождаются друг на друга и образуют металлизационное покрытие слоистого строения. При этом температура изделия в ходе напыления не превышает 120°C.

При металлизации сцепление частиц с основанием происходит вследствие шероховатости поверхности и под действием молекулярных сил и носит в основном механический (адгезионный) характер.

Основными недостатками металлизации считались ранее большая пористость, недостаточная адгезия и значительные потери металла при распылении (приводящие к высокой цене). Однако современные установки напыления позволяют снизить пористость до 5-7%, обеспечить коэффициент использования материала свыше 70%. Адгезия напыленного металла многократно превышает адгезию лакокрасочных и полимерных композиций. Для дальнейшего повышения плотности и уменьшения проницаемости покрытий используются разнообразные пропитки, стойкие к воздействию агрессивных сред, а также окраска. Стоимость нанесения металлических покрытий уже с сравнима со стоимостью качественных полимерных покрытий.

К преимуществам металлизационных покрытий, и в частности напыления алюминием, относятся следующие:

- более высокая адгезия, прочность и стойкость к механическим воздействиям по сравнению с лакокрасочными покрытиями;
- более длительный срок службы (до 10 раз) по сравнению с лакокрасочными покрытиями за счет высокой коррозионной стойкости, отсутствия процессов старения, механической прочности и коэффициента термического линейного расширения, близкого к коэффициенту основного металла, из которого изготовлен резервуар;

-----

- напыленный металл имеет высокую электропроводность, что исключает образование статического заряда в процессе налива и слива продукта;

- более высокая надежность за счет двойной функциональности покрытия: кроме изолирующих свойств, в случае повреждения покрытия до основного металла напыленное покрытие начинает работать как протекторная защита, выполняя функции жертвенного анода;

- металлизационные анодные покрытия обладают уникальным свойством самовосстановления при возникновении мелких, диаметром или шириной до 2 мм дефектов: процесс коррозии локализуется непосредственно на поврежденном участке, при этом образуются химически стойкие продукты коррозии, которые заполняют дефекты покрытия, восстанавливая его работоспособность;

- металлизационные покрытия являются единственным типом антикоррозионных покрытий, обладающих способностями самовосстановления. Поэтому им не страшны язвенная, щелевая, питтинговая и др. типы стесненных коррозий, оказывающих наиболее губительное воздействие на металлоконструкции.

На сегодняшний день практически все крупногабаритные конструкции в той или иной степени защищены металлизационными покрытиями. По данным некоторых источников, срок службы металлизационных покрытий в резервуарах может достигать 50 лет. Реальность такого срока службы металлизационных покрытий в условиях среды с высокой коррозионной активностью подтверждается данными Института электросварки имени Патона.

**Комбинированные антикоррозионные покрытия.** Металлизацию с последующей окраской, используемые для защиты стальных металлоконструкций, называют комбинированными покрытиями, представляющие собой двухслойные системы, нижний слой которых получен металлизацией, а верхний – нанесением лакокрасочного покрытия. Срок службы комбинированных покрытий за счет синергии существенно выше, чем сумма сроков службы каждого слоя в отдельности, поэтому их следует применять для долговременной защиты от коррозии стальных конструкций, которые будут эксплуатироваться в средне- и сильноагрессивных средах внутри зданий, на открытом воздухе и под навесами, а также в жидких органических и неорганических средах.

Особенности эксплуатации комбинированных антикоррозионных покрытий (преимущества и недостатки):

- при повреждении верхнего лакокрасочного слоя функции изолирующего покрытия начинает выполнять напыленный металлический слой;

- комбинированные покрытия сочетают в себе положительные свойства изолирующих покрытий и катодной защиты: при повреждении обоих слоев – лакокрасочного и металлизационного, металлизационный слой выполняет функцию жертвенного анода, предотвращая коррозию основного металла;

-----

- легкость в обнаружении местного дефекта покрытия, доходящего до основного металла по вспучиванию. При этом основной металл будет защищен от коррозии металлизационным слоем по принципу катодной защиты;

- более высокая надежность покрытий при эксплуатации в высокоагрессивных средах и жестких условиях по сравнению с лакокрасочными и металлизационными покрытиями, высокая адгезия лакокрасочных материалов с алюминиевым покрытием.

- общим положительным качеством всех перечисленных видов покрытия является их ремонтпригодность, то есть возможность локального восстановления в случае возникновения местных дефектов;

- исследование условий и причин разрушения металла и разработка мероприятий по повышению надежности эксплуатации нефтепромыслового оборудования являются актуальной проблемой.

### СПИСОК ЛИТЕРАТУРЫ

1 Гоник А.А., Калимулин А.А., Сафонов Е.Н. // Защита нефтяных резервуаров от коррозии - г. Уфа: РИЦ АНК «Башнефть». 1996.

2 Фришберг И.В., Юркина Л.П., Субботина О.Ю. и др. // Лакокрасочные материалы и их применение. 1997. № 2.

3 Люблинский Е.Я. Протекторная защита морских судов и сооружений от коррозии. // Е.Я. Люблинский. – Л.: Судостроение, 1979.

Павлодарский государственный университет имени С. Торайгырова, г. Павлодар. Материал поступил в редакцию 04.05.2012

Р.А. ХАЙБУЛИНА, Д.Г. КАВЕРЗИН, Р.Б. АЙДАРГАЛИН,  
В.А. ГЛАЗЫРИН

СҮЙЫҚҚОЙМАЛАР ЖИЫНТЫҒЫН ЖӘНЕ МҰНАЙ ГАЗ  
ЖАБДЫҚТАРЫН КОРРОЗИЯДАН ҚОРҒАУДЫҢ ТЕХНОЛОГИЯЛЫҚ  
ТӘСІЛДЕРІ

R.A. KHAIBULINA, D.G. KAVERZIN, R.B. AIDARGALIN,  
V.A. GLAZYRIN

TECHNOLOGICAL METHODS OF CORROSION PROTECTION OF  
TANK FARM AND NATURAL GAS EQUIPMENT

#### Түйіндеме

Осы мақалада сұйыққоймалар мен мұнайгаз жабдықтарының коррозиясының ерекшеліктері қорсетілген. Сонымен қатар коррозиядан қорғаудың технологиялық тәсілдері жан-жақты қарастырылған.

#### Resume

The paper presents the features of corrosion of tanks and oil and gas equipment. The technological methods of protection against corrosion considered in detail.



**Р.А. ШАГИЕВА, К.Л. БАЛУЕВ**  
**НАДЕЖНОСТЬ ПРОГРАММНЫХ СРЕДСТВ**  
**ЗАЩИТЫ ИНФОРМАЦИИ**

Одной из наиболее серьезных проблем, затрудняющих применение современных информационных технологий, является обеспечение их информационной безопасности. Потенциальная уязвимость информационных систем (ИС) по отношению к случайным и преднамеренным отрицательным воздействиям выдвинула проблемы информационной безопасности в разряд важнейших, стратегических, определяющих принципиальную возможность и эффективность применения ряда ИС в гражданских и военных отраслях. Требования по обеспечению безопасности в различных ИС могут существенно отличаться, однако они всегда направлены на достижение трех основных свойств:

- целостность – информация, на основе которой принимаются решения, должна быть достоверной и точной, защищенной от возможных непреднамеренных и злоумышленных искажений;
- доступность (готовность) – информация и соответствующие автоматизированные службы должны быть доступны, готовы к работе всегда, когда в них возникает необходимость;
- конфиденциальность – засекреченная информация должна быть доступна только тому, кому она предназначена.

Опыт создания и применения компьютерных систем защиты информации в последние десятилетия выявил множество ситуаций, при которых сбои и отказы их функционирования были обусловлены дефектами комплексов программ, что наносило большой ущерб. Поэтому для обеспечения надежности программных средств (ПС) защиты информации необходима разработка и применение эффективных методов и средств, предупреждающих и выявляющих дефекты, а также удостоверяющих их надежность.

Компьютерные системы защиты информации представляют в большинстве своем программные или программно-аппаратные средства, поэтому по отношению к ним можно применить некоторые термины, присущие ПС:

- надежность – свойство объекта выполнять заданные функции, сохраняя во времени значения установленных эксплуатационных показателей в заданных пределах, соответствующих заданным режимам и условиям использования;
- работоспособность – свойство объекта выполнять заданные функции с параметрами, установленными технической документацией;

- устойчивость – способность к безотказному функционированию;
- восстанавливаемость – способность восстановления и возобновления нормального функционирования ПС в процессе перезапуска [1].

Тестирование – основной метод измерения качества, определения корректности и реальной надежности функционирования программ на любых этапах разработки. Результаты тестирования и измерения показателей качества должны сравниваться с требованиями технического задания или спецификаций для определения степени соответствия предъявлявшимся требованиям, полученным разработчиком от заказчика.

Важная особенность тестирования ПС – необходимость достаточно полной их проверки при ограниченной длительности испытаний. Это определяет целесообразность тщательного планирования тестирования. При планировании основная задача состоит в достижении максимальной достоверности испытаний, в определении качества и надежности ПС при ограниченных затратах ресурсов на проведение тестирования.

Большое значение имеет учет особенностей тестирования сложных программ. С этой позиции основными особенностями процесса тестирования программ являются:

- отсутствие полностью определенного достоверного эталона-программы, которому должны точно соответствовать все результаты тестирования проверяемой программы;
- высокая сложность комплексов программ и принципиальная невозможность построения полных комплектов тестовых наборов, достаточных для их исчерпывающей проверки, в том числе на надежность функционирования;
- относительно невысокая степень формализации критериев качества процесса тестирования и достигаемых при этом корректности и надежности функционирования объектов испытаний.

В настоящее время средства тестирования находят наибольшее применение в следующих направлениях: генерация тестов, имитация угроз, анализ текстов программ [2].

Генераторы стохастических тестов эффективно применяются, прежде всего, при исследовании качества и надежности функционирования ИС. Стохастические методы тестирования предполагают использование исходных данных в виде совокупностей случайных величин, описываемых их распределениями и основными параметрами распределений. Таким распределениям исходных данных должны соответствовать эталонные распределения результатов, которые в совокупности образуют тесты. Полученные в процессе тестирования данные обобщаются и представляются распределениями случайных выходных величин, которые сопоставляются с эталонными распределениями. При этом отдельные конкретные результаты

исполнения тестов не контролируются. Оценка качества функционирования программ и результатов тестирования производится по степени соответствия полученных распределений и их параметров эталонным распределениям [4].

Применительно к анализу безопасности ИС более удобными являются генераторы целенаправленных тестов. Помимо испытаний функциональных механизмов безопасности, областью применения генераторов тестов является также анализ текстов программ для выявления недеklarированных возможностей и закладных элементов. Имитаторы угроз предназначены для натурального моделирования воздействия на ИС типовых угроз. Посредством имитаторов угроз проверяются механизмы защиты от программных вирусов, средства экранирования от проникновения из внешних вычислительных сетей и т.д.

Исходные данные могут быть получены путем выполнения ряда тестов, имитирующих попытки несанкционированного доступа (НСД) к защищаемой системе [5].

Пусть  $E$  – множество всех возможных атак на компьютерную систему;  $E_c$  – множество удачных атак. В процессе тестирования было проведено  $N$  атак  $E_i$ . Таким образом, вероятность  $P$  того, что атака приведет к нарушению безопасности системы, равна вероятности того, что атака  $E_i$  принадлежит множеству  $E_c$ . Если обозначить через  $n_c$  число атак, содержащихся в  $E_c$ , то

$$P = \frac{n_c}{N} \quad (1)$$

есть вероятность того, что атака  $E_i$ , случайно выбранная из  $E$  среди равновероятных, закончится нарушением безопасности. При этом

$$R = 1 - P = 1 - \frac{n_c}{N} \quad (2)$$

есть вероятность того, что атака  $E_i$  будет отражена.

Однако в процессе реального функционирования системы защиты информации выбор атак из множества  $E$  обычно осуществляется не с одинаковыми вероятностями, а диктуется определенными условиями попытки проникновения в систему. Эти условия могут быть охарактеризованы некоторым распределением вероятностей  $p_i$  того, что будет сделан выбор именно атаки  $E_i$ .

Вероятность  $P$  может быть определена через  $p_i$  с помощью переменной  $y_i$ , которая принимает значение 0, если атака отвергается, и 1, если она заканчивается успешно. Тогда

$$P = \sum_{i=1}^N p_i y_i \quad (3)$$

есть вероятность того, что атака  $E_i$ , выбранная с распределением вероятностей  $p_i$ , закончится нарушением безопасности, и

$$R = 1 - P = \sum_{i=1}^N p_i (1 - y_i) \quad (4)$$

есть вероятность того, что атака будет отвергнута.

Так как  $R$  – вероятность того, что единичная атака завершится неудачей, то вероятность успешного отражения  $n$  атак при их независимом выборе будет равна

$$R(n) = R^n = (1 - P)^n \quad (5)$$

Надежность системы защиты  $Q$  равна вероятности того, что в последовательности из  $n$  атак ни одна из них не будет успешной

$$Q = R(n) = \prod_{j=1}^n (1 - P_j) \quad (6)$$

Однако при расчете надежности функционирования системы защиты информации следует учитывать не только нарушение безопасности системы вследствие атаки злоумышленника, но и внутренние ошибки и недоработки самой системы защиты. Надежность работы программных компонент системы защиты  $Q_1$  можно определить путем их прогона на  $n$  наборах входных данных (при равновероятном выборе наборов) и рассчитать по формуле

$$Q_1 = 1 - \frac{n_c}{n} \quad (7)$$

где  $n_c$  – число наборов входных данных, при которых произошли отказы.

Учитывая возможность возникновения нарушений в функционировании системы защиты, из (6) и (7) получаем

$$Q_{\text{общ}} = Q * Q_1 \quad (8)$$

Из приведенных расчетов видно, что любая удачная атака на защищаемую систему значительно снижает ее надежность. Однако не все нарушения функционирования могут быть настолько критичными для системы. Для достоверной оценки надежности системы защиты необходимо учитывать, насколько нарушение в ее нормальном функционировании критично для защищаемой системы.

Создание анализаторов исходных текстов программ представляет собой сложную задачу. Опыт применения анализаторов программ показал их исключительно высокую эффективность.

К сожалению, целостная система, позволяющая, в полной мере оценить качество и надежность функционирования ПС защиты информации до сих пор не создана, и ее создание является на сегодняшний день очень актуальной задачей.

## СПИСОК ЛИТЕРАТУРЫ

- 1 Липаев В.В. Надежность программных средств. - М.: СИНТЕГ, 1998. – 117 с.
- 2 Барсуков В.С., Водолазский В.В. Современные технологии безопасности. – М.: Нолидж, 2000. – 231 с.
- 3 Эдрион В., Брэнстэд М., Чернявский Дж. Валидация, верификация и тестирование программного обеспечения. // Computing Surveys, 1982. – 98 с.
- 4 Завгородний В.И. Комплексная защита информации в компьютерных системах. - М.: Логос, 2001. – 411 с.
- 5 Тейер Т., Липов М., Нельсон Э. Надежность программного обеспечения. – М.: Мир, 1981. – 179 с.

Инновационный Евразийский университет, г. Павлодар. Материал поступил в редакцию 05.04.2012.

Р.А. ШАГИЕВА, К.Л. БАЛУЕВ  
 АҚПАРАТТЫ ҚОРҒАУҒА АРНАЛҒАН БАҒДАРЛАМАЛЫҚ  
 ҚҰРАЛДАРДЫҢ БЕРІКТІЛІГІ  
 R.A. SHAGIEVA, K.L. BALUEV  
 RELIABILITY OF PROGRAM MEANS OF INFORMATION'S  
 PROTECTION

**Түйіндеме**

*Мақалада ақпарат қорғауды жүйенің жұмыс жасауын сенімділіктің бағасының сұрақтарын қаралады. Бастапқы деректер жолымен еліктейтін тесттер алынған.*

**Resume**

*In the article questions of assessment of reliability of the software of information protection are considered. Basic data are received by means of simulating tests.*

УДК 621.311.027.51.6.019.3

**Ю.Э. ШАРАФЕЕВ**  
**МЕТОД РЕЗИСТИВНОГО ЗАЕМЛЕНИЯ НЕЙТРАЛИ**  
**С ПРИМЕНЕНИЕМ КАБЕЛЕЙ С ИЗОЛЯЦИЕЙ**  
**ИЗ СШИТОГО ПОЛИЭТИЛЕНА**

В условиях замены кабелей традиционного исполнения с бумажно-масляной изоляцией (БМИ) на кабели с изоляцией из сшитого полиэтилена

(СПЭ-кабели) в единой, электрически связанной распределительной сети – городской, сети электроснабжения промышленных предприятий, схеме выдачи мощности электростанций и т.д. – могут оказаться кабели с различными механизмами пробоя и деградации электрической изоляции. Инструкции производителей по сооружению и эксплуатации СПЭ-кабелей не предусматривают специальных требований к их испытаниям в комбинированной сети, не выработан и единый подход к уровням испытательных напряжений (в частности, выпрямленного) [1, 2]. После успешно проведенных испытаний в СПЭ-изоляции возможно развитие спровоцированных дефектов, что будет способствовать снижению ее электрической прочности в эксплуатации. С другой стороны, длительность воздействующих на СПЭ-изоляцию внутренних перенапряжений, а значит, интенсивность ее старения, в значительной мере определяются режимом заземления нейтрали сети.

За рубежом кабельные сети эксплуатируются в основном с резистивно-заземленной нейтралью, и при возникновении режима однофазного замыкания на землю (ОЗЗ) поврежденный фидер отключается с переводом потребителя на резервное электроснабжение. Следовательно, изоляционная конструкция «здоровых» фаз кабеля СПЭ не находится длительное время под линейным напряжением, то есть не создаются дополнительные условия для прорастания трингов в толще твердой СПЭ-изоляции. В зависимости от величины емкостного тока замыкания на землю отечественные кабельные сети 6–35 кВ эксплуатируются с изолированной нейтралью либо нейтралью, заземленной через дугогасящий реактор (ДГР) или резистор. При возникновении в них режима ОЗЗ изоляция «здоровых» фаз СПЭ-кабелей может длительно (2–6 часов) подвергаться воздействию линейного напряжения. Поэтому конструкция отечественных СПЭ-кабелей была адаптирована к более тяжелым условиям эксплуатации за счет увеличения толщины изоляции кабеля: например, для кабеля номинальным напряжением 10 кВ с 3,4 до 4 мм [1]. Фактически при этом просто увеличилось время зарождения и развития трингов, что и определяет электрическую прочность и остаточный ресурс СПЭ-кабелей. Однако не все производители приняли необходимость усиления основной изоляции КЛ и реализовали ее при производстве СПЭ-кабелей [2].

Согласно исследованиям [3, 4], в зависимости от значения емкостных токов ОЗЗ, возникающие в распределительной сети с кабелями БМИ замыкания фазы на землю на начальной стадии вследствие «заплывания» канала электрического пробоя могут самоустраниться через несколько периодов промышленной частоты либо перейти в режим устойчивого горения дуги длительностью в единицы и десятки секунд, с последующим переходом в режим глухого металлического замыкания.

На начальном этапе ОДЗ повторные пробои в дуговом промежутке происходят при напряжении  $(0,6-1,0)U_{\text{фн}}$  и в дальнейшем, с науглероживанием канала электрического пробоя, снижаются до  $(0,6-0,8)U_{\text{фн}}$ . При достаточно хорошей компенсации емкостного тока в сети с ДГР возникающие в переходном процессе при ОДЗ перенапряжения не превысят  $(2,3-2,5)U_{\text{фн}}$ . Если же нейтраль изолирована, перенапряжения могут достигать  $(3,0-3,2)U_{\text{фн}}$  [5]. Эти условия неприемлемы для несамовосстанавливающейся изоляции – сшитого полиэтилена, в котором скорость роста триингов (рис. 1) напрямую определяется характером воздействующих перенапряжений [6]. Как показывает анализ свойств сшитого полиэтилена [7, 8], он в отличие от бумажно-масляной изоляции более чувствителен к воздействию высокочастотных перенапряжений. Изоляция кабеля СПЭ может подвергаться воздействию как грозových, так и внутренних перенапряжений (коммутационные и перенапряжения при ОЗЗ, в том числе дуговые; частотой от единиц кГц до десятков МГц). Высокочастотные внутренние перенапряжения представляют опасность для СПЭ в сетях 6–35 кВ. При резком вводе энергии в твердый диэлектрик происходит разрыв связей между молекулами углерода и водорода в местах повышенной напряженности электрического поля, например, на кончике триинга, где напряженность электрического поля на 2–3 порядка может превышать среднюю напряженность [9].

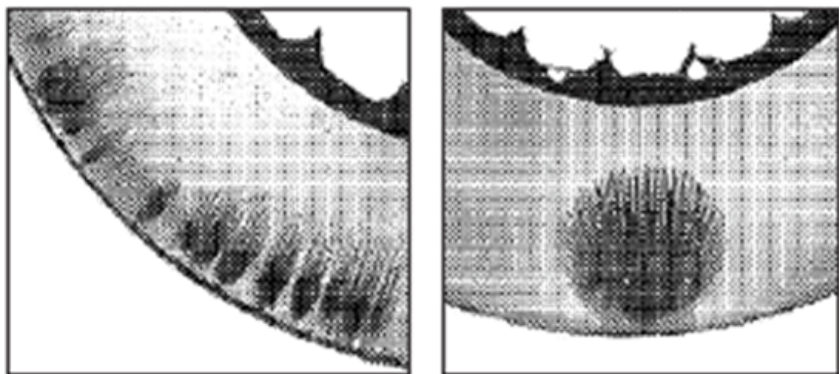


Рисунок 1 – Типичная картина в изоляции СПЭ-кабеля, находившегося в эксплуатации

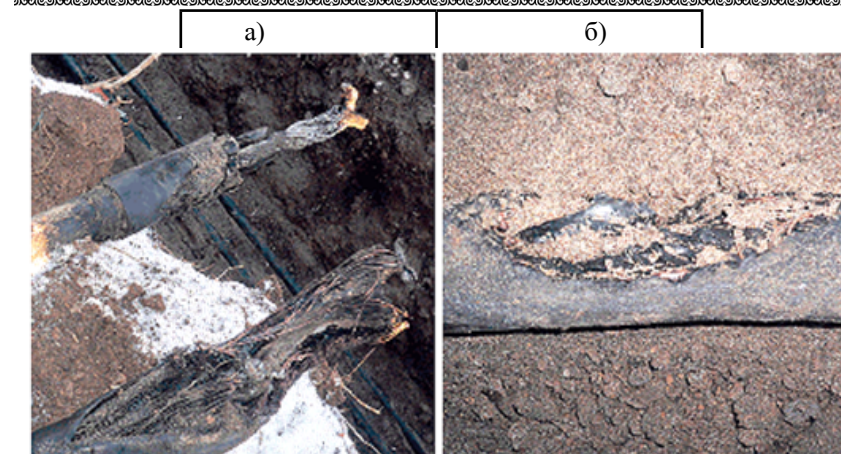


Рисунок 2 – Повреждение соединительной муфты одной фазы линии 35 кВ СПЭ (а) и фазы, проходящей рядом (в той же траншее) другой линии СПЭ 35 кВ (б)

Это приводит к изменению структуры и физико-механических свойств СПЭ и возникновению внутри него новых микрополостей, которые способствуют дальнейшему развитию электрического триинга в толще твердого диэлектрика в виде дендрита – древовидного образования, имеющего повышенную проводимость и приводящего к прогрессирующему разрушению изоляции. Следовательно, необходимо подавить высокочастотные перенапряжения и максимально ограничить время воздействия напряжения промышленной частоты на СПЭ-изоляцию соответственно в переходном и установившемся режимах замыкания на землю. Этого можно добиться при переходе к низкоомному резистивному заземлению нейтрали, когда при возможности обеспечения резервного питания поврежденный кабель практически сразу же отключается.

При этом достигается не только существенное ограничение перенапряжений (за счет малого номинала резистора), но и точное определение поврежденного фидера с его последующим отключением (за счет организации селективной и чувствительной защиты от ОЗЗ). Как следствие, срок эксплуатации СПЭ-кабелей в сети с низкоомным заземлением нейтрали может быть значительно увеличен. Вышеизложенная концепция перехода к режиму резистивного заземления нейтрали справедлива не только для комбинированных сетей 6–35 кВ, где одновременно эксплуатируются СПЭ-кабели и БМИ-кабели, но и для проектируемых сетей, базирующихся на использовании только кабелей с изоляцией из СПЭ.

### Заключение

Одним из важнейших условий, необходимых для продления срока эксплуатации сети со СПЭ-кабелями, является рациональный выбор режима заземления нейтрали.

Глухое заземление нейтрали сети 6–35 кВ, как было показано выше, неприемлемо по причине возникновения сверхтоков в экранах СПЭ-кабелей (как при коротких замыканиях на землю, так и в нормальном режиме, сопровождающемся, например, бросками тока нагрузки) и нарушения термической стойкости экранов.

Достаточно давно ведется активное обсуждение необходимости исключения из практики эксплуатации режима изолированной нейтрали, для чего имеется целый ряд веских оснований [10, 11].

Если нейтраль заземлена через ДГР, возможно возникновение значительных уровней перенапряжений при ОДЗ, а наличие автоматических систем настройки компенсации не всегда решает проблему множественных повреждений оборудования при замыканиях на землю [12]. К тому же такие способы заземления нейтрали подразумевают возможность длительного сохранения режима ОЗЗ без отключения потребителей.

Воздействие линейных напряжений на «здоровые» фазы СПЭ-кабеля приводит к увеличению средней напряженности электрического поля в СПЭ-изоляции и созданию благоприятных условий для развития трингов в электрически ослабленных местах, локально распределенных по толщине изоляции и длине кабеля. Это в свою очередь способствует накоплению и развитию дефектов в изоляционной системе СПЭ-кабелей, а в конечном итоге – повышению аварийности рассматриваемых сетей.

Наиболее приемлемым вариантом является режим заземления сети со СПЭ-кабелями через низкоомный резистор, работающий в комплексе с релейной защитой и гарантирующий быстрое отключение поврежденного фидера при однофазном замыкании на землю. Для этого необходимо обеспечить резервирование участков сети, которые могут быть отключены при ликвидации ОЗЗ.

### СПИСОК ЛИТЕРАТУРЫ

- 1 Инструкция по прокладке кабелей силовых с изоляцией из сшитого полиэтилена на напряжение 10, 20 и 35 кВ. РУКАВ/ID 23-2-019 (ABB Москабель).
- 2 Инструкция. Прокладка силовых кабелей на напряжение 10 кВ с изоляцией из сшитого полиэтилена. ИМ СК-20-03 (Камкабель).
- 3 Кадомская К.П., Качесов В.Е., Лавров Ю.А., Овсянников А.Г., Сахно В. В. Диагностика и мониторинг кабельных сетей среднего напряжения // Электротехника. – 2000. – № 11. – С. 48–51.

4 Ильиных М.В., Ширковец А.И., Сарин Л.И. Компенсированная и комбинированно заземленная нейтраль. Опыт эксплуатации сети 6 кВ металлургического комбината // Новости ЭлектроТехники. – 2007. – № 2 (44).

5 Лихачев Ф.А. Замыкания на землю в сетях с изолированной нейтралью и с компенсацией емкостных токов – М.: Энергия, 1971.

6 Публикации МЭК 60502-2-1997 «Кабели силовые с экструдированной изоляцией и арматура к ним на номинальное напряжение от 1 до 30 кВ».

7 Кожевников А.С. Стойкость к трингам подтверждена испытаниями // Новости ЭлектроТехники. – 2006. – № 2(38). – С. 128–129.

8 Бустром Д.О. Сополимерные композиции сшитого полиэтилена для высоконадежных кабелей среднего напряжения // Кабели и провода. – 2005. – № 5(294). – С. 7–22.

9 Лавров Ю.А. Кабели 6–35 кВ с пластмассовой изоляцией // Новости ЭлектроТехники. – 2006. – № 6(42); 2007. – № 1(43).

10 Глушко В., Ямный О., Ковалев Э., Бохан Н. Белорусские сети 6–35 кВ переходят на режим заземления нейтрали через резистор // Новости ЭлектроТехники. – 2006. – № 3(39) – С. 37–40.

11 Титенков С.С. России стоило бы подумать над аналогичным документом. Оценки и прогнозы // Новости ЭлектроТехники. – 2006. – № 3(39) – С. 42.

12 Софинский А.В., Кучеренко В.И., Хуртов И.И. и др. Резистивное заземление нейтрали в сети собственных нужд Энгельской ТЭЦ-3 «Саратовэнерго» // Электрические станции. – 2003. – № 2.

АО «Павлодарский нефтехимический завод». Материал поступил в редакцию 03.05.2012.

Ю.Э. ШАРАФЕЕВ

НЕЙТРАЛДЫҢ РЕЗИСТИВТІ ЖЕРЛЕНДІРУІНІҢ ӘДІСІ МЕН  
КӘБІЛДЕРДІ ҚОЛДАНУМЕН ТІГУЛІ ПОЛИЭТИЛЕННЕН АЖЫРАТУ  
Ү.Е. SHARAFEYEV

MODE OF RESISTANCE NEUTRAL GROUNDING CABLE WITH XLPE  
INSULATION

### Түйіндеме

*Қысқа нейтралдың резистивті жерлендіруінің қолданысының негізгі абзалдықтары 6-35 ауларда кВ мен қолданыс кәбілдердің оқшаумен тігулі полиэтиленнен көрінеді. Сенімділік және қызметтің мерзімі при СПЭ-кәбілдің қанаушылығының және әрекетте кәбілдермен орындауда қағаз-майлы оқшаумен анықталған.*

*Resume*

*Briefly describes the main advantages of neutral grounding resistor networks 6-35 kV cables with XLPE insulation. Reliability and service life of the operation of XLPE cables in combination with the cables in the performance of paper-oil insulation.*

УДК 621.316.925.1

**Ю.Э. ШАРАФЕЕВ**  
**МЕТОДОЛОГИЯ ВЫБОРА АКТИВНОГО**  
**СОПРОТИВЛЕНИЯ И ЗАЩИТА ОТ ОДНОФАЗНЫХ**  
**ЗАМЫКАНИЙ НА ЗЕМЛЮ В СЕТЯХ С РЕЗИСТИВНЫМ**  
**ЗАЗЕМЛЕНИЕМ НЕЙТРАЛИ**

**Определения номинала резистора.**

Вопрос выбора режима заземления нейтрали в сетях со СПЭ-кабелями должен быть решен однозначно: только включение в нейтраль резистора, эффективно ограничивающего перенапряжения и создающего ток, которого будет достаточно для быстрого/мгновенного срабатывания защиты от ОЗЗ, позволит продлить срок службы СПЭ-кабелей и минимизировать затраты на их восстановление.

Иначе говоря, наиболее приемлемым вариантом является перевод любого возникающего в сети ОЗЗ в устойчивое с отключением поврежденного фидера и его последующим ремонтом. В противном случае длительное воздействие высокочастотных перенапряжений при неотключенном ОЗЗ (например, при горении прерывистой дуги) гарантирует накопление и развитие дефектов в изоляции СПЭ и приведет в дальнейшем к множественным пробоям с необходимостью замены больших участков кабеля на одном или нескольких присоединениях.

Отметим также следующее. Поскольку определение места повреждения КЛ зачастую определяется с помощью прожига (для снижения переходного сопротивления), изоляция поврежденного кабеля все равно будет нарушена. При этом может пострадать СПЭ-изоляция кабелей, расположенных рядом в траншее или кабельном канале.

Подобная ситуация имела место, в частности, при развитии повреждения кабеля 35 кВ АПвП-6(1.150/50) двухцепной кабельной вставки длиной 680 м в городских электрических сетях г. Новокуйбышевска. В результате поиска места повреждения КЛ-35 по одной цепи в результате неоднократного прожига из-за термического воздействия произошло полное разрушение соединительной муфты и была повреждена фаза соседнего кабеля другой цепи 35 кВ.

Компенсация емкостного тока в сети 6–35 кВ со СПЭ-кабелями нецелесообразна, поскольку выше было показано, что поддержание режима ОЗЗ даже в течение небольшого времени крайне неблагоприятно для твердой изоляции из СПЭ. Кроме того, при возникновении двухместного ОЗЗ и/или значительных расстройках компенсации в сети с ДГР из строя могут выйти сразу несколько СПЭ-кабелей, а изоляция оставшихся в работе линий будет подвергаться деградации в течение всего времени существования замыкания за счет развития имеющихся (либо возникших) дефектов. К тому же самогашение дуги в кабелях СПЭ даже при очень хорошей компенсации емкостного тока ОЗЗ неэффективно, поскольку «заплывания» канала пробоя не происходит.

Нелишним будет упомянуть и о включении СПЭ-кабелей в комбинированные сети с БМИ-кабелями и ДГР, когда поиск поврежденного присоединения, даже при современном уровне автоматизации, может происходить путем поочередного отключения фидеров. Каждая коммутация выключателем, особенно вакуумным, присоединения с СПЭ-кабелем приводит к генерации высокочастотных перенапряжений, также сокращающих изоляционный ресурс кабеля СПЭ. Переход к глухому заземлению нейтрали тоже необоснован: при высоких уровнях токов однофазного короткого замыкания на землю и двустороннем заземлении экрана СПЭ-кабеля возможно перегорание экрана. Хотя допустимый ток односекундного КЗ для медного экрана сечением 16–95 мм<sup>2</sup> довольно велик и составляет (3,3–19,3) кА [1], фактически такие значения достигаются только при грамотном проектном решении и качественном монтаже КЛ с двусторонним заземлением экранов.

Однако при таком варианте заземления экрана одножильного СПЭ-кабеля по экрану возможно протекание тока, составляющего значительную долю от номинального тока присоединения даже в нормальном режиме работы. Система «жила–изоляция–экран» является «трансформатором», коэффициент передачи которого зависит от параметров кабеля и расстояния между осями соседних фаз при их расположении в вершинах равностороннего треугольника [2] (рис. 1).

Например, при расчетном коэффициенте передачи 0,3 и токе нагрузки порядка 1000 А ток в экране составит 300 А. Такие значения были зафиксированы при осциллографировании токов в экранах фаз кабеля 35 кВ АПвП-6(1.630/35) длиной 1250 м фидера «ДСП» (ПС «Электросталь», Металлургический завод им. А.К. Серова). Частые коммутации печной установки – до 400 раз в сутки – с бросками тока нагрузки, отсутствие активного демпфера высокочастотных колебаний на направлении «КЛ–ПС» и ошибки монтажа (неправильная опрессовка жил на концевых заделках) привели к множественным повреждениям кабеля вследствие множественного ослабления электрической прочности СПЭ-изоляции (рис. 2), необходимости установки дополнительных муфт. При отсутствии резервного питания

на время ремонтных работ (3–4 часа) питание дуговой сталеплавильной установки прекращалось.

В работе [2] убедительно показано, что токи в экранах однофазных кабелей 6–35 кВ из сшитого полиэтилена представляют опасность для этих кабелей. Для снижения токов в экране в зависимости от длины кабеля осуществляется заземление экранов только в одной точке либо применение N циклов транспозиции экранов с установкой в расщелки специальных ОПН.

Поэтому при выборе резистора для заземления нейтрали в сети со СПЭ-кабелями необходимо найти компромиссное решение. С одной стороны, следует обеспечить термическую стойкость экранов КЛ, т.е. фактически ограничить ток однофазного КЗ, с другой – создать условия для максимально быстрого отключения поврежденного кабеля, используя резистор «разумного» номинала (т.е. не завышая чрезмерно достаточный для срабатывания РЗА тока).

Обе эти задачи могут быть успешно решены при следующем условии: номинал резистора выбирается таким образом, чтобы ток, создаваемый им в точке ОЗЗ, был примерно равен фазному току самого мощного присоединения:

$$I_{R_N} \cong I_{\text{фазМАХ}} \quad (1)$$

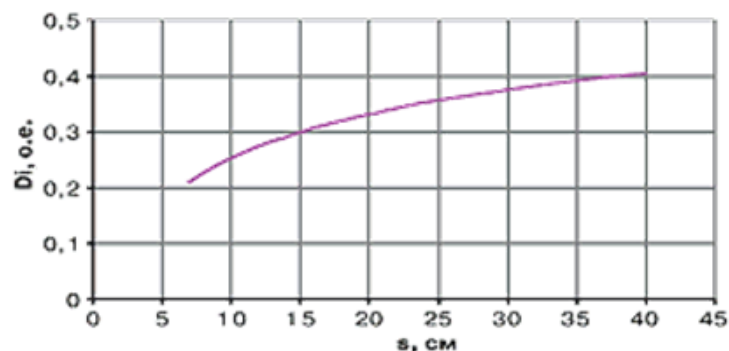


Рисунок 1 – Доля тока в экране однофазного СПЭ-кабеля 10 кВ – 240/35 мм<sup>2</sup> по отношению к току в жиле:

s – расстояние между осями соседних фаз в случае расположения в вершинах равностороннего треугольника

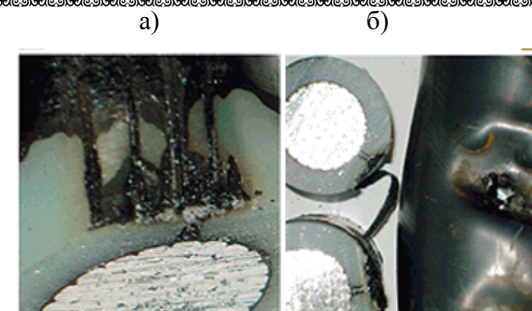


Рисунок – 2 Радиальный пробой – жила-экран – (а) и прогорание внешней оболочки (б) кабеля СПЭ 35 кВ присоединения к дуговой сталеплавильной печи металлургического завода

Приняв этот тезис за исходный, необходимо разрешить вопрос организации селективной и чувствительной защиты от ОЗЗ. В качестве базового примера рассмотрим новый проект установки отключаемых резисторов в нейтрали сети 20 кВ ТЭЦ-16 и ПС «Сити-2» «Мосэнерго», выполненной кабелями с изоляцией из сшитого полиэтилена. Номинал каждого резистора – 12 Ом – обеспечивает создание активного тока в месте замыкания величиной

$$I_{R_N} \cong 1000 A$$

что сопоставимо с током нагрузки

$$I_{\text{фазМАХ}} \cong 800 - 900 A$$

В данных сетях, вследствие достаточного уровня резервирования, при ОЗЗ поврежденное присоединение отключается.

#### Защита от однофазных замыканий в сети с низкоомным заземлением.

Исходить нужно из следующего: при однофазных замыканиях на землю должна срабатывать специальная защита от ОЗЗ, а при междуфазных КЗ – своя соответствующая защита. Такое исполнение защит позволит быстрее устранить аварию.

Если значение тока ОЗЗ, определяемое сопротивлением резистора в нейтрали, будет соизмеримо с токами нагрузки, поврежденное присоединение можно будет отключать с выдержкой времени. Выполнение защиты только с действием на сигнал нецелесообразно. Современная практика проектирования предусматривает возможность установки в ячейках КРУ трех трансформаторов тока (ТТ), на базе которых могут быть собраны трехтрансформаторные фильтры тока нулевой последовательности. Это связано с применением СПЭ-кабелей большого сечения и невозможностью охвата стандартными ТТ нулевой последовательности фазных кабелей.

Обратим внимание на следующие ключевые моменты:

1. Большие токи междуфазных КЗ (20–60 кА) приводят к появлению в трехтрансформаторных фильтрах тока нулевой последовательности значительных токов небаланса  $I_{нб}$ , от которых необходимо отстраивать ток срабатывания защиты от ОЗЗ, если она не имеет соответствующей выдержки времени:

$$I_{нб} = k_{одн} \varepsilon I_{КЗ \max} \quad (2)$$

где  $k_{одн} = 1,0$  – коэффициент однотипности ТТ;

$\varepsilon = 0,1$  – предельная погрешность ТТ

$I_{КЗ \max}$  – максимальный ток междуфазного КЗ, который будет протекать по фильтру;

$$I_{СЗО} = k_n I_{нб} \quad (3)$$

где  $k_n = 1,1 \dots 1,2$  – коэффициент запаса.

2. Чувствительность защиты оценивают коэффициентом чувствительности  $k_v$ :

$$k_v = \frac{I_{ОЗЗ}}{I_{СЗО}} \quad (4)$$

где  $I_{ОЗЗ}$  – ток однофазного замыкания на землю, определяемый сопротивлением резистора для заземления нейтрали.

Чувствительность защиты считается удовлетворительной, если  $k_v \leq 1,5$ .

При  $I_{КЗ \max} = (20–60)$  кА получаем  $I_{СЗО} = (2,2–7,2)$  кА. Если ток резистора 1000 А, что близко к току нагрузки, защита от ОЗЗ оказывается нечувствительной. Для обеспечения минимально необходимого  $k_v = 1,5$  ток резистора должен быть (3,3–10,8) кА, что представляет сложности с точки зрения обеспечения термической стойкости оборудования – в частности, кабельных экранов.

Заметим: даже при включении в схему токоограничивающих реакторов (а их использование в сетях со СПЭ-кабелями целесообразно при токах трехфазного КЗ свыше 15–20 кА) и соответствующем повышении  $k_v$  чувствительность защиты от ОЗЗ будет недостаточной. Это следует из того, что для получения минимального  $k_v = 1,5$  в рассматриваемых сетях ток должен быть ограничен согласно (2), (3), (4) до величины  $I_{КЗ \max} \leq 6, I_{ОЗЗ}$ , что представляется труднодостижимым.

3. Поскольку при заданных условиях чувствительность защиты оказалась ниже требуемой, выполнить защиту от ОЗЗ можно с выдержкой времени  $\Delta t_{ОЗЗ}$ , превышающей выдержку времени защиты от междуфазных КЗ  $\Delta t_{КЗ}$  на ступень селективности  $\Delta t$ :

$$\Delta t_{ОЗЗ} = \Delta t_{КЗ} + \Delta t \quad (5)$$

Выдержку времени защиты от междуфазных КЗ примем  $\Delta t_{КЗ} = 0,1$  с; ступень селективности  $\Delta t = (0,3–0,4)$  с. Тогда выдержка защиты от ОЗЗ составит  $\Delta t_{ОЗЗ} = (0,4–0,5)$  с.

При этом выражение (2) запишется в виде:

$$I_{нб}^I = k_{одн}^I \varepsilon I_{НАГР \max} \quad (6)$$

где  $k_{одн}^I$  принимается равным 0,5...1,0;

$I_{НАГР \max}$  – максимальный ток нагрузки, который оценочно можно принять равным номинальному первичному току установленных на защищаемом фидере ТТ  $I_{1 \text{ ном ТТ}}$ .

При  $I_{1 \text{ ном ТТ}} = (200–1500)$  А значение тока небаланса в соответствии с (6)  $I_{нб}^I = (10–150)$  А, ток срабатывания защиты согласно (3)  $I_{СЗО} = (11–180)$  А.

При токе резистора 1000 А чувствительность защиты от ОЗЗ будет обеспечена с большим запасом.

Таким образом, селективная и чувствительная защита от ОЗЗ в кабельных, в том числе комбинированных сетях со СПЭ-кабелями, может быть выполнена в виде ненаправленной токовой защиты нулевой последовательности. Защита реагирует на основную гармонику тока 3I0, протекающего по нулевому проводу трехтрансформаторного фильтра ТТ.

### Заключение

Анализ особенностей изоляционной среды рассматриваемых кабельных линий – сшитого полиэтилена, специфических факторов ее старения и зависимости этого процесса от режима заземления нейтрали сети – позволил предложить в качестве наиболее рационального способа заземления резистивное. Учитывая это, считается целесообразным рекомендовать для включения в перспективные планы развития и модернизации кабельных сетей 6–35 кВ (в том числе сетей крупных промышленных предприятий и городов) с использованием СПЭ-кабелей:

1. установку в нейтраль трансформаторов головных ПС (ТП) со стороны 6–35 кВ низкоомного резистора, выбранного из условия обеспечения им активного тока в месте ОЗЗ, близкого по величине фазному току наиболее мощного присоединения на шинах ПС (ТП). При этом обеспечивается ограничение перенапряжений и подавление резонансных и феррорезонансных явлений, инициируемых однофазными дуговыми замыканиями на землю.

2. организацию селективной релейной защиты от ОЗЗ для сети со СПЭ-кабелями на базе включенного в нейтраль резистора. Ток срабатывания защиты определяется номиналом выбранного резистора и для сетей 20 кВ может быть принят на уровне 150–200 А. Защита должна иметь выдержку времени, превышающую выдержку времени резервной ступени защиты от междуфазных КЗ, установленной на том же фидере.



## СПИСОК ЛИТЕРАТУРЫ

1 Кабели силовые с изоляцией из сшитого полиэтилена на напряжение 10, 20, 35 кВ. Технические условия. ТУ 16.К71-335-2004 (ОАО ВНИИКП).

2 Дмитриев М.В., Евдокунин Г. А. Заземление экранов однофазных силовых кабелей высокого напряжения/ 6-е заседание международной научно-технической конференции «Современные средства защиты электрических сетей предприятий нефти и газа от перенапряжений». Труды конф. – Самара, 2007.

АО «Павлодарский нефтехимический завод». Материал поступил в редакцию 03.05.2012.

Ю.Э. ШАРАФЕЕВ

НЕЙТРАЛДЫ РЕВИСТИВТИ ЖЕРГЕ ҚОСУЫ БАР ЖЕЛПІЛЕРІНДЕГІ ЖЕРДЕГІ БІРФАЗАЛЫҚ ТҮЙІСУДЕН ҚОРҒАУ ЖӘНЕ БЕЛСЕНДІ КЕДЕРГІНІ ТАҢДАУ МЕТОДОЛОГИЯСЫ

Y.E. SHARAFEYEV

THE CHOICE OF RESISTANCE AND PROTECTION AGAINST SINGLE-PHASE EARTH FAULT IN NETWORKS WITH RESISTIVE GROUNDED NEUTRAL

**Түйіндеме**

*Бейтараптың жерге қосуы үшін резистордың номиналының таңдауының шешімі тігілген полиэтиленнен изоляциясы бар кабелдерінің қолдануында қарап шыққан. Сонымен бірге жердегі бір фаза түйықталуларынан таңдаулы және сезгіш қорғаудың сенімді ұйымының талдау және таңдауы жасалған.*

**Resume**

*The solution of choice for the nominal neutral grounding resistor when using cables with XLPE insulation. And also analyzed the organization and selection of reliable selective and sensitive protection against single-phase earth fault.*

## НАШИ АВТОРЫ

**Абенов Асет Каршигаевич** - магистрант теплоэнергетики, Павлодарский государственный университет имени С. Торайгырова, г. Павлодар.

**Айдарғалин Рустам Берикович** – студент, Павлодарский государственный университет имени С. Торайгырова, г. Павлодар.

**Арынгазин Капар Шакимович** - к.т.н., профессор, зав кафедрой «Безопасности жизнедеятельности и защиты окружающей среды» Павлодарский государственный университет имени С. Торайгырова, г. Павлодар.

**Балуев К.Л.**

**Бекишева Гульден Сансызбаевна** – магистрант, Павлодарский государственный университет имени С. Торайгырова, г. Павлодар.

**Бергузинев Асхат Нурланович** - старший преподаватель, магистр теплоэнергетики, Павлодарский государственный университет имени С. Торайгырова, г. Павлодар.

**Бобеев А.Б.** - к.т.н. профессор.

**Глазырин Александр Иванович** – д.т.н., профессор, Павлодарский государственный университет имени С. Торайгырова, г. Павлодар.

**Глазырин Василий Александрович** – преподаватель, Павлодарский государственный университет имени С. Торайгырова, г. Павлодар.

**Глазырин Сергей Александрович** – к.т.н., доцент, заведующий кафедрой «Теплоэнергетика», Павлодарский государственный университет имени С. Торайгырова, г. Павлодар.

**Глазырина Наталья Сергеевна** – старший преподаватель кафедры «Автоматизированная система обработки информации и управления», магистр информатики, Инновационный Евразийский университет, г. Павлодар.

**Говорун Владимир Федорович** – д.т.н., профессор, кафедра «Электроэнергетика», Павлодарский государственный университет имени С. Торайгырова, г. Павлодар.

**Говорун Дмитрий Владимирович** – инженер, Аксуский завод ферросплавов ОАО ТНК «Казхром», г.Аксу.

**Говорун Олег Владимирович** – к.т.н., доцент, ТОО «ЭНЭКО».

**Джундибаев В.Е.** - д.т.н., профессор

**Ержанов Калый Шаймерденович** – к.т.н., доцент, кафедра «Энергетика», Институт нефти и газа, Каспийский государственный университет технологии и инжиниринга имени Ш. Есенова.

**Жолдыбаева Г.С.** – к.т.н.

**Каверзин Дмитрий Георгиевич** – студент, Павлодарский государственный университет имени С. Торайгырова, г. Павлодар.

*Кислов Александр Петрович* - к.т.н., профессор декан энергетического факультета, Павлодарский государственный университет имени С. Торайгырова, г. Павлодар.

*Копотун Игорь Сергеевич* - магистрант кафедры «Электроэнергетика», Павлодарский государственный университет имени С. Торайгырова, г. Павлодар.

*Кошкин Игорь Владимирович* - к. т. н., доцент кафедры «Электроэнергетика и физика», Костанайский государственный университет имени А. Байтурсынова, г. Костанай.

*Кунцевич Виталий Викторович* - магистрант, кафедра «Электроэнергетика», Павлодарский государственный университет имени С. Торайгырова, г. Павлодар.

*Кырыкбай Амир* - магистрант, Павлодарский государственный университет имени С. Торайгырова, г. Павлодар.

*Музапаров Даурен Токжанович* - магистрант теплоэнергетики, Павлодарский государственный университет имени С. Торайгырова, г. Павлодар.

*Мусагажинов М.Ж.*

*Потапенко Олег Григорьевич* - к.т.н., профессор, зав. кафедрой «Вычислительная техника и программирование», Павлодарский государственный университет имени С. Торайгырова, г. Павлодар.

*Рамазанова Азелла Ермековна* – старший преподаватель кафедры «Теплоэнергетика», Павлодарский государственный университет имени С. Торайгырова, г. Павлодар.

*Сарлыбаева Лиман Мансуровна* - к.т.н., доцент кафедры «Биотехнология», Павлодарский государственный университет имени С. Торайгырова, г. Павлодар.

*Сыздыкова А.С.* - магистрант, Павлодарский государственный университет имени С. Торайгырова, г. Павлодар.

*Уахитова Айгуль Ботановна* - к. т. н., доцент кафедры «Электроэнергетика», Павлодарский государственный университет имени С. Торайгырова, г. Павлодар.

*Утегулов Арман Болатбекович* - к.т.н., доцент кафедры «Электроэнергетика», Павлодарский государственный университет имени С. Торайгырова, г. Павлодар.

*Утегулов Болатбек Бахитжанович* - д.т.н., профессор кафедры «Электроэнергетика», Павлодарский государственный университет имени С. Торайгырова, г. Павлодар.

*Хайбулина Рузалия Аликовна* – студент, Павлодарский государственный университет имени С. Торайгырова, г. Павлодар.

*Шагиева Р.А.*

*Шарафеев Юрий Эсхатович* - бакалавр электроэнергетики, АО «Павлодарский нефтехимический завод», г. Павлодар.

## ПРАВИЛА ДЛЯ АВТОРОВ

### ПРАВИЛА ДЛЯ АВТОРОВ

#### «ВЕСТНИК ПГУ», «НАУКА И ТЕХНИКА КАЗАХСТАНА», «ӨЛКЕТАНУ- КРАЕВЕДЕНИЕ»)

1. В журналы принимаются статьи по всем научным направлениям в 1 экземпляре, набранные на компьютере, напечатанные на одной стороне листа с межстрочным интервалом 1,5, с полями 30 мм со всех сторон листа, название статьи: кегль - 14 пунктов и дискета со всеми материалами в текстовом редакторе «Word 7,0 (97, 2000, 2007) для Windows».

2. Общий объем статьи, включая аннотацию, литературу, таблицы и рисунки, не должен превышать 8-10 страниц.

3. Статья должна сопровождаться рецензией доктора или кандидата наук для авторов, не имеющих ученой степени. Для статей, публикуемых в Вестник химико-биологической серии, требуется экспертное заключение.

#### Статьи должны быть оформлены в строгом соответствии со следующими правилами:

1. УДК по таблицам универсальной десятичной классификации;
2. Название статьи - на казахском, русском и английском языках, заглавными буквами жирным шрифтом, абзац центрованный;
3. Имя, отчество, фамилия (-и) автора(-ов), полное название учреждения;
4. Резюме на казахском, русском и английском языках: кегль - 10 пунктов, курсив, отступ слева-справа — 1 см, интервал 1,0; для Вестников химико – биологической серии требуется также экспертное заключение (см. образец);
5. Текст статьи: кегль - 14 пунктов, гарнитура - Times Nev Roman (для русского, английского и немецкого языков), KZ Times Nev Roman (для казахского языка).
6. Межстрочный интервал 1,5 (полуторный);
7. Список использованной литературы (ссылки и примечания в статье обозначаются сквозной нумерацией и заключаются в квадратные скобки). Список литературы должен быть оформлен в соответствии с ГОСТ 7.1-84 (см. образец).

#### На отдельной странице

В бумажном и электронном вариантах приводятся:

- сведения об авторе: - Ф.И.О. полностью, ученая степень и ученое звание, место работы (для публикации в разделе «Наши авторы»);
- полные почтовые адреса, номера служебного и домашнего телефонов, E-mail (для связи редакции с авторами, не публикуются);
- название статьи и фамилия (-и) автора (-ов) на казахском, русском и английском языках (для «Содержания»).

1. Иллюстрации. Перечень рисунков и подрисуночные надписи к ним представляют по тексту статьи. В электронной версии рисунки и иллюстрации представляются в формате TIF или JPG с разрешением не менее 300 dpi.

2. Математические формулы должны быть набраны как Microsoft Equation (каждая формула - один объект).

3. Автор просматривает и визирует гранки статьи и несет ответственность за содержание статьи.

4. Редакция не занимается литературной и стилистической обработкой статьи. Рукописи, диски и дискеты не возвращаются. Статьи, оформленные с нарушением требований, к публикации не принимаются и возвращаются авторам.

5. Оплата за публикацию в Вестнике составляет 5000 (Пять тысяч) тенге.

6. Статью (бумажная, электронная версии, оригинал квитанции об оплате) следует направлять по адресу:

140008, Казахстан, г. Павлодар, ул. Ломова, 64, Павлодарский государственный университет имени С. Торайгырова, Издательство «Кереку», каб. 137

Тел. 8 (718-2) 67-36-69, (внутр. 147; 183) факс: 8 (718-2) 67-37-02.

E-mail: kereky@mail.ru

Наши реквизиты:

РГКП Павлодарский государственный РНН 4 5 1 8 0 0 0 3 0 0 7 3

университет имени С. Торайгырова БИН 990 140 004 654

АО «Цеснабанк» ИИК 579 9 8 F T B 0 0 0 0 0 3 3 10

Код сектора экономики – 6 БИК T S E S K Z K A

Признак резиденства -1

### ОБРАЗЕЦ К ОФОРМЛЕНИЮ СТАТЕЙ:

ISSN 1811-1815. Вестник ПГУ. Сер. гум., 2010. № 2  
УДК 316:314.3

## А.Б. ЕСИМОВА СЕМЕЙНО-РОДСТВЕННЫЕ СВЯЗИ КАК СОЦИАЛЬНЫЙ КАПИТАЛ В РЕАЛИЗАЦИИ РЕПРОДУКТИВНОГО МАТЕРИАЛА

Одной из актуальных проблем современности является проблема демографическая. Еще в XX веке исследователи активно занимались поиском детерминант рождаемости, выявлением факторов, определяющих реализацию репродуктивных планов семей, индивидов. ....

*Продолжение текста публикуемого материала.*

*Пример оформления таблиц, рисунков, схем:*

Таблица 1

Суммарный коэффициент рождаемости отдельных национальностей

	СКР, 1999 г.	СКР, 1999 г.
Всего	1,80	2,22

Диаграмма 1

Показатели репродуктивного поведения

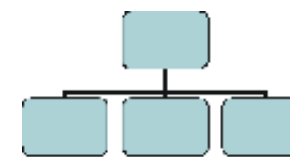
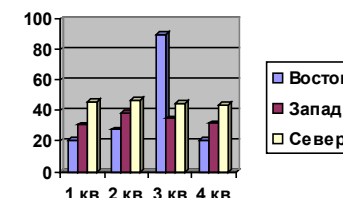


Рисунок 1 – Социальные взаимоотношения

### СПИСОК ЛИТЕРАТУРЫ

- 1 Этнодемографический ежегодник Казахстана. Статистический сборник. – А., 2006. – С.424.
- 2 Бурдые П. Формы капитала // Экономическая социология. – Т.3, №5. – 2002.-С.66.

*Место работы автора (-ов):*

Международный Казахско-Турецкий университет имени Х.А. Яссави, г. Туркестан.

*А.Б. ЕСИМОВА*

*ОТБАСЫЛЫҚ-ТУЫСТЫ ҚАТЫНАСТАР РЕПРОДУКТИВТІ МІНЕЗ-ҚҰЛЫҚТЫ ЖҮЗЕГЕ АСЫРУДАҒЫ ӘЛЕУМЕТТІК КАПИТАЛ РЕТІНДЕ*

*A.B. YESSIMOVA*

*THE FAMILY-RELATED NETWORKS AS SOCIAL CAPITAL FOR REALIZATION OF REPRODUCTIVE BEHAVIORS*

**Түйіндеме**

*Бұл мақалада автор Қазақстандағы әйелдердің отбасылық –туыстық қатынасы арқылы репродуктивті мінез-құлықында айырмашылықтарын талдайды.*

**Resume**

*In given article the author analyzes distinctions of reproductive behaviour of married women of Kazakhstan through a prism the kinship networks.*

Теруге 14.10.2012 ж. жіберілді. Басуға 24.10.2012 ж. қол қойылды.  
Форматы 70x100 1/16. Кітап-журнал қағазы.  
Көлемі шартты 7 б.т. Таралымы 300 дана. Бағасы келісім бойынша.  
Компьютерде беттеген О.А. Гладкий  
Корректорлар: Б.Б. Әубәкірова, А. Елемесқызы, А.Р. Омарова  
Тапсырыс №1923

Сдано в набор 14.10.2012г. Подписано в печать 24.10.2012 г.  
Формат 70x100 1/16. Бумага книжно-журнальная.  
Объем 7 ч.-изд. л. Тираж 300 экз. Цена договорная.  
Компьютерная верстка О.А. Гладкий  
Корректоры: Б.Б. Аубакирова, А. Елемесқызы, А.Р. Омарова  
Заказ №1923

«КЕРЕКУ» баспасы  
С. Торайғыров атындағы  
Павлодар мемлекеттік университеті  
140008, Павлодар қ., Ломов к., 64, 137 каб.  
67-36-69  
E-mail: [publish@psu.kz](mailto:publish@psu.kz)