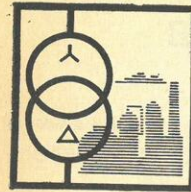


ISSN 0033-1155

ПРОМЫШЛЕННАЯ ЭНЕРГЕТИКА





ПРОМЫШЛЕННАЯ ЭНЕРГЕТИКА

ОРГАН МИНИСТЕРСТВА ЭНЕРГЕТИКИ И ЭЛЕКТРИФИКАЦИИ СССР
И ЦЕНТРАЛЬНОГО ПРАВЛЕНИЯ НАУЧНО-ТЕХНИЧЕСКОГО ОБЩЕСТВА
ЭНЕРГЕТИКИ И ЭЛЕКТРОТЕХНИЧЕСКОЙ ПРОМЫШЛЕННОСТИ

3 1979
Март

Журнал основан в 1944 году

СОДЕРЖАНИЕ

ЭКОНОМИЯ ЭНЕРГЕТИЧЕСКИХ РЕСУРСОВ

- Писарев Г. К. — Экономическая учеба — важный фактор использования резервов экономии энергетических ресурсов 2
Лактюшин В. А. — Оценка последствий внезапных перебоев электроснабжения обогатительных фабрик 3
Черный И. А. — Экономические характеристики асинхронных двигателей общепромышленных серий 5
Ибрагимов Г. И. — Экономия природного газа и тепловой энергии — задача первостепенной важности 9

ЭКСПЛУАТАЦИЯ, МОНТАЖ И НАЛАДКА

- Мальковский Г. Д., Эйдельмант В. Л., Максим А. Д., Ершов А. Г. — Реконструкция схем электроснабжения доменных печей 11
Маракушин Н. П., Бескровный И. Е. — Модернизация системы электропривода питателей сырого угля 15
Чернер Ю. Я. — Прибор для проверки трехфазных электросчетчиков 16
Луидор И. И. — Крупноточное производство напыленки к конвертору 17
Курилов Г. В., Афонников А. Е., Шимко Л. В. — Энергетическое обоснование применения холодильной вакуумдеаэрационной установки 18
Мягкий Д. Д., Мороз С. И., Панкратова Э. Ю., Позднякова О. П., Сегодин А. П. — Фильтровальная станция с пескоподстирными фильтрами для очистки сточных вод закалочных машин 20
Елфимова Г. В., Бочков В. А. — Восстановление и повторное использование регенерационных растворов Na-каатионных фильтров 22

ПРОЕКТЫ И ИССЛЕДОВАНИЯ

- Тополянский А. Б. — Задачи электроснабжения строительных площадок 25

- Сидоров А. Г. — Влияние отклонения напряжения на показатели работы ферросплавной печи 27
Долин А. П. — Экспериментальные исследования электродинамической стойкости шинных конструкций 28
Панкратов В. Ф., Нотыч А. Г. — Сжигание мазута в мартеновских печах, оборудованных выносными горелками-реформаторами 32
Дубровин А. В., Русина Е. Д., Бойцова Н. Г. — Информационное обеспечение энергетических служб предприятий цветной металлургии 34

ЭЛЕКТРОБЕЗОПАСНОСТЬ

- Карелин В. И. — Размещение заземлителей в водоемах в условиях Крайнего Севера 36
Цапенко Е. Ф., Аракелян М. К. — Электробезопасность бытовых сетей 37
Щуцкий В. И., Дзюбан В. С., Прудников В. С., Воронцов Ф. М. — Метод расчета устойчивости аппаратуры защитного отключения 39
Желиховский Х. М., Чунайленко А. А., Остапенко Н. И. — Автоматический контроль исправности цепи зануления Ползуков В. И. — О программированном контроле знаний на производстве 43

ХРОНИКА

- Нормирование расходов электроэнергии промышленными предприятиями 45

СПРАВОЧНИК ЗАВОДСКОГО ЭНЕРГЕТИКА

- Токоограничивающие предохранители с кварцевым наполнителем 47

РЕДАКЦИОННАЯ КОЛЛЕГИЯ

О. Н. Багров, Б. Д. Белый, С. И. Веселов (главный редактор), Н. И. Волощенко, П. И. Головкин, В. Л. Громова, Е. А. Джапаридзе, А. П. Егоричев, Б. А. Константинов, С. С. Лазарев, Б. Д. Макашкин (зам. гл. редактора), В. В. Михайлов, Г. Б. Онищенко, М. Н. Павлов, Ю. Л. Рыжнев, Н. И. Рябцев, В. И. Савин, Б. В. Сазанов, Б. А. Соколов, И. А. Шадрухин (зам. гл. редактора).



Адрес редакции: 103012, Москва, Б. Черкасский пер., 2/10. Телефон 221-56-04.

на a (табл. 2) на выплавку 45%-ного феррера 4964 кВт·ч/т, а на выплавку 65%-ного — 7545 кВт·ч/т.

дом узла нагрузки ФСП на ВЛ2 заметно хнологический процесс — относительно стаь посадка электродов и график нагрузки. тся сужением зоны суммарного размаха апряжения в узле нагрузки ФСП до 12,34% ено в точке присоединения печного трансестети до 13,64%. Кроме того, стандартное апряжения снизилось в узле нагрузки до

1,5%, а в точке присоединения печного трансформатора — до 1,62%. При выплавке 45%-ного ферросилиция удельный расход электроэнергии уменьшился на 2,42% (до 4844 кВт·ч/т), производительность возросла на 0,34%, а при выплавке 65%-ного ферросилиция удельный расход снизился на 2,31% (до 7371 кВт·ч/т), а производительность увеличилась на 9,6%.

Результаты эксперимента дают возможность сделать вывод о том, что стабилизация питающего напряжения позволяет сэкономить электроэнергию и повысить производительность печи.



УДК [621.316.35+621.315.623].016.001.4

ЭКСПЕРИМЕНТАЛЬНЫЕ ИССЛЕДОВАНИЯ ТЕКТРОДИНАМИЧЕСКОЙ СТОЙКОСТИ ШИННЫХ КОНСТРУКЦИЙ

Инж. ДОЛИН А. П.

Московский энергетический институт

ние годы интенсивно разрабатываются методы шинных конструкций на электродинамическую. Большинство авторов в качествеемы пролета шины принимает балку с определенной массой на жестких [Л. 1, 2] датливых [Л. 2, 3] опорах. При этом ся, что напряжение в шинах при к. з. не редела текучести, т. е. линейно (по закону t от деформации. Ряд статей [Л. 4, 5 и и исследованию поведения шин при к. з. тругопластических деформаций (за пределом). В некоторых зарубежных работах] приводятся результаты экспериментальных электродинамической стойкости шинций.

стране испытания токопроводов и других электроустановок проводят, например, в Натальском центре по испытанию высокоаратуры Минэнерго СССР (НИЦ ВВА). ментальной проверки методики расчета ической стойкости шинных линий, изучеия шин при токах к. з., значительно превыустимые, определения влияния некоторых их особенностей шинных линий на электую стойкость, исследования рассеяния колебания шинных конструкций и оценки к свойства стальных кожухов были проведменты на специальных шинных линиях (двухпроводные конструкции)¹.

описана пятипроводная шинная линия с гина ОФ-10-375У3, установленными на ребрамоугольного сечения 60×8 мм² марки (ержателями, выполненными из профильной ная масса шины $m=1,301$ кг/м, времен-

сдения экспериментальных работ большую показали сотрудники НИЦ ВВА Р. В. Базыкин, и др.

ное сопротивление разрыву $\sigma_{\text{раз}}=68,6$ МПа (согласно ГОСТ 15176-70), допустимое напряжение $\sigma_{\text{доп}}=0,7\sigma_{\text{раз}}=48$ МПа (в соответствии с ПУЭ).

При статических испытаниях образцов на растяжение модуль упругости E и предел текучести $\sigma_{\text{т}}$ были приблизительно равны $7 \cdot 10^4$ и 59 МПа. При статических испытаниях на изгиб образцов на шарнирных опорах момент в пластическом шарнире достигал примерно 105 Н·м, что соответствует пределу текучести 107 МПа. Расстояние между фазами макета составляло 0,25 м, длины пролета — 0,45 и 0,65 м. Испытания проводили при нормально затянутых болтах опорных изоляторов, при ослабленных болтовых соединениях, а также при установке под изоляторы резиновых прокладок. В ряде опытов испытывали конструкцию с компенсатором тепловых расширений во втором пролете.

Для оценки влияния опорных изоляторов на электродинамическую стойкость, а также для изучения поведения шин в области упругопластических деформаций использовали также модификацию описанной выше шинной конструкции с практически абсолютно жесткими опорами. При этом шинодержатели крепили непосредственно к опорным швеллерам, электрическую изоляцию осуществляли текстолитовыми прокладками. Испытания проводили при длине пролета шины 0,45 м, расстояние между фазами оставляли прежним.

Другая конструкция была создана на базе шестипролетного четырехпроводного промышленного шинпровода типа ШРА-73 напряжением 0,4 кВ, в котором были демонтированы две средние шины (рис. 1). Остальные элементы оставили без изменений. Для придания конструкции большей жесткости изоляторы крепили к полу специальными скобами. Длина пролета составила 0,44 м, расстояние между фазами — 0,135 м, сечение шин из алюминиевого сплава АД31Т—80××5 мм², погонная масса — 1,084 кг/м, временное сопротивление разрыву материала шины (по ГОСТ

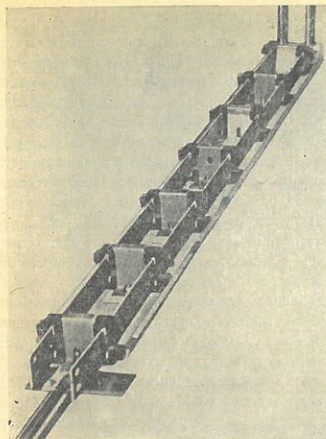


Рис. 1.

15176-70)—127,5 МПа, допустимое напряжение — 89 МПа. Испытания проводили как со стальным кожухом, так и без него.

Деформацию шин измеряли проволочными тензодатчиками типа 2ТКБ-10-100ГВ (в средних пролетах шинных конструкций), включенными по неполной мостовой схеме, с использованием тензометрической станции типа УТЧ-1 и осциллографа типа К-105. При испытании шинной линии с опорными изоляторами ударный ток $i_{\text{т}}$ изменялся от 15 до 65 кА, при исследовании модификации этой конструкции без опорных изоляторов — от 30 до 150 кА, а при экспериментах с конструкцией на базе шинпровода типа ШРА-73 — от 9 до 35 кА. Продолжительность действия тока к. з. колебалась от одного полуцикла до 0,3 с, постоянная времени затухания аперодической составляющей тока к. з. T_a варьировалась от нуля (чисто синусоидальный ток) до 0,05 с.

Согласно теоретическим исследованиям [Л. 1, 3] колебание шины при к. з. в области упругих деформаций описывается дифференциальным уравнением четвертого порядка в частных производных. В результате решения этого уравнения нагрузки, N , на изоляторы и напряжения, P_a , в материале шины (независимо от того являются опоры шин абсолютно жесткими или обладают упругой податливостью) можно представить в следующем виде [Л. 3]:

$$R(t) = \frac{aI}{a} I^2 m R_a(t);$$

$$\sigma(x, t) = \frac{aI^2}{12aW} I^2 m \sigma_a(x, t),$$

где $a=2 \cdot 10^{-7}$ Н/А²; l — длина пролета шины, м; a —

расстояние между фазами, м; I_m — амплитуда периодической составляющей тока к. з., А; W — момент сопротивления шины, м³; t — время, с; x — координата сечения шины; R_a — относительная нагрузка на изоляторы; σ_a — относительное напряжение в материале шины.

Наибольшие значения $R_a(t)$ и $\sigma_a(x, t)$ называются соответственно коэффициентами максимальной нагрузки на изоляторы и напряжения в материале шины [Л. 3]. В общем случае эти коэффициенты зависят от частоты собственных колебаний системы шина — изоляторы и постоянной времени T_a . В свою очередь частота собственных колебаний шинной конструкции является функцией параметров $c_{\text{оп}} l^3 / EI$ и $M_{\text{оп}} / ml$ [Л. 3, 6], где J — момент инерции шины, м⁴; $c_{\text{оп}}$ — жесткость опоры, Н/м; $M_{\text{оп}}$ — приведенная масса опоры, кг. Наибольшие напряжения возникали в сечениях шины, проходящих через ось изоляторов, однако результаты теоретических и экспериментальных исследований сравнивали по напряжениям в середине пролета. Это объясняется тем, что использованные в опытах тензодатчики имеют длину рабочей базы порядка 1 см и дают усредненные показания деформации шины на этом участке. Кривые распределения напряжений по длине шины в близких к осям изоляторов областях характеризуются большой крутизной, однако в середине пролета они имеют плавный перегиб. Поэтому при длине пролета шины 0,45 м максимальные показания тензодатчика, расположенного по оси изолятора, по крайней мере на 15% ниже значений деформации в опорном сечении шины. При установке тензодатчика в середине пролета отклонение его показаний от значений деформации в средней точке не превышает 2%.

Теоретические и экспериментальные значения частот собственных колебаний конструкции на базе шинпровода типа ШРА-73 составили 135 и 130—133 Гц. Жесткость опор шин принимали здесь бесконечно большой, частоту колебаний конструкции на опорных изоляторах типа ОФ-10-375У3 вычисляли с учетом упругой податливости опор. Результаты этих расчетов сопоставлены с экспериментом в [Л. 6].

Испытания показали, что деформация материала шины при к. з., характер и частота собственных колебаний незначительно отличаются от расчетных [Л. 1, 3]. В качестве примера на рис. 2 приведены осциллограммы деформации ϵ шины (в середине пролета) с опорными изоляторами типа ОФ-10-375У3 при $l=0,45$ м и затягивающем моменте крепежных болтов изолятора $\mu=40$ Н·м (кривые 1—4) и макета на базе шинпровода типа ШРА-73 (кривые 5—7).

Кривая 2 получена для шинной линии с резиновыми прокладками под опорными изоляторами, а кривые 1, 3 и 4 — для конструкции с обычными картонными прокладками, причем кривая 1 соответствует неповрежденной конструкции, кривая 3 — образованием незначительных трещин в двух изоляторах, находящихся в соседних с контрольным пролетах, кривая 4 — разрушению этих изоляторов. Кривые 5 и 6 получены при неповрежденной линии, а кривая 7 — при поломке изолятора. Время отключения тока к. з. для кривой 3

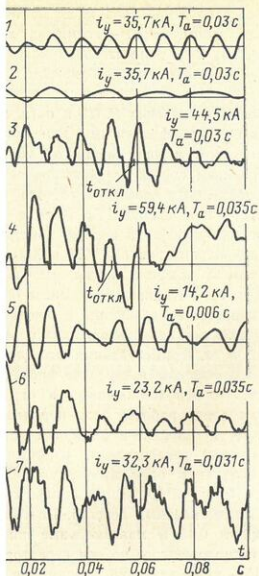


рис. 2.

коло 60 мс, для кривой 4—50 мс, а для ивных — более 100 мс. Даны значения максимальных напряжений в контрольных пролетах шин, коны в результате экспериментов и аналичетов, проведенных на ЭВМ. Погрешность конструкций, указанных в п. 1, 5 и 6, — 15%. Электродинамическую стойкость шин п. 2—4 оценивали приблизительно по периментально частоте собственных колеблния между расчетными и опытными значениями напряжения не превышала 28%.

На макете без опорных изоляторов исследовали поведение шин за пределами текучести их материала. Допустимый (согласно ПУЭ) для этой конструкции ударный ток приблизительно равен 48 кА. Максимальный достигнутый в опытах ток превышал допустимое значение более чем в 3 раза. После прохождения тока 60 кА были зафиксированы остаточные деформации. При дальнейшем увеличении тока в заземленных у кромки шинодержателя образовывался пластический шарнир, наблюдался рост остаточных деформаций и прогибов. Например, при ударном токе 150 кА максимальный прогиб шины достигал 6,5 см, что составляет 25% расстояния a между фазами. В том же опыте остаточные прогибы в середине пролета составляли 10% a , или 5,5% длины пролета. Поскольку условия заделки концов шин (граничные условия) в крайних пролетах отличаются от условий в среднем пролете, остаточные прогибы в этих пролетах были выше.

На рис. 3 показана шинная линия после воздействия на нее ударного тока 150 кА. Образование пластического шарнира в центре пролета зафиксировано не было. Несмотря на большие остаточные деформации, шины могут быть легко выправлены. Таким образом, опыты подтвердили, что при малом количестве нагружений запас шин по механической прочности велик.

Результаты испытаний конструкции, выполненной на базе промышленного шинпровода типа ШРА-73, показали, что в качестве расчетной схемы таких шинпроводов можно использовать балку с равномерно распределенной по длине массой и заделанными концами. Полученные осциллограммы колебаний шин при ударных токах к. з. приблизительно до 20 кА практически не отличались от расчетных. При увеличении тока появлялись дополнительные колебания, и кривые деформации шин приобретали пилообразный характер (см. кривую 6 на рис. 2), что обусловлено, по-видимому, ударами шин об изоляторы. Тем не менее максимальные амплитуды колебаний в этих случаях не превышали расчетных значений.

При установке кожуха механические напряжения в материале шин снижались. Отношение максимальных амплитуд деформаций шины в опытах без кожуха и с ним составило 1,09—1,25 (в среднем 1,15). Постоян-

ная времени T_a , изменявшаяся в пределах 0,005—0,03 с, практически не влияла на отношение этих амплитуд.

Испытания подтвердили, что наиболее слабым звеном шинных конструкций с точки зрения их электродинамической стойкости являются изоляторы. Иногда поломки изоляторов типа ОФ-10-375УЗ были связаны с усилением затяжки и недостаточной длиной крепежных болтов. При этом наблюдалось разрушение арматуры изоляторов и окружающего ее фарфора. Если нагрузки значительно превышали допустимые, у изоляторов выворачивались цементные вставки с арматурой (у головки или основания) либо возникали глубокие продольные трещины. На рис. 4 представлены наиболее характерные повреждения изоляторов типа ОФ-10-375УЗ. Изоляторы шинпровода типа ШРА-73 имеют невысокую прочность — их поломка возможна даже в процессе монтажа при затягивании болтовых соединений. Электродинамическая стойкость шин этих шинпроводов значительно выше, чем изоляторов.

При возникновении неглубоких трещин, срывах резьбы крепежных болтов и других незначительных повреждениях изоляторов максимальные напряжения в материале шин, как правило, не возрастали, а иногда даже снижались в результате дополнительных вибраций. Разрушение изоляторов при к. з. приводило к значительному возрастанию напряжения в материале шин, возникновению остаточных деформаций и прогибов (см. кривые 4 и 7 на рис. 2).

Эксперименты позволили приблизительно (по осциллограммам свободных колебаний шин) оценить логарифмический декремент затухания, значения которого для испытывавшихся линий указаны в таблице. Для конструкции с жесткими опорами логарифмический декремент затухания невелик (не превышает 0,05). У шинпровода типа ШРА-73 он несколько выше. Наличие опорных изоляторов увеличивало рассеяние энергии, ослабление болтовых соединений (как и установка резиновых прокладок) приводило к значительному возрастанию рассеивающих диссипативных сил. С ростом тока к. з. (т. е. с увеличением амплитуды деформации шины и изоляторов) логарифмический декремент затухания несколько возрастал.

Эксперименты на различных шинных конструкциях подтвердили основные положения методики расчета изоляторов и шин на электродинамическую стойкость [Л. 1, 3] для принятых критериев расчета и позволили сделать следующие выводы:

1. Возможна работа шин за пределами допускаемых напряжений. При малом количестве нагружений механическая прочность шин высока. В области упругих и неглубоких упругоэластических деформаций характер колебания шин одинаков.

2. Принятые граничные условия для балки с заделанными концами [Л. 1] и упругоподатливыми опорами [Л. 3] справедливы для расчетов средних пролетов многопролетных (больше трех — пяти) шинных конструкций. В крайних пролетах и пролетах, примыкающих к компенсаторам тепловых расширений, граничные условия иные, однако максимальное напряжение в них

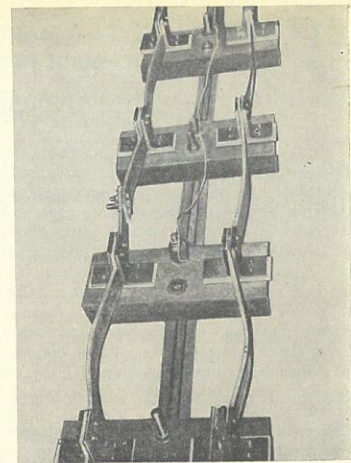


рис. 3.

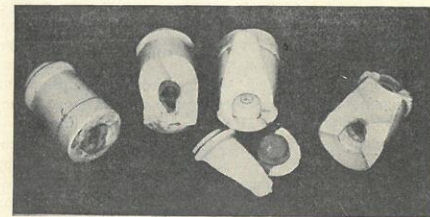


рис. 4.

обычно превышает напряжение средних пролетов не больше чем на 20—25%. В инженерных расчетах это можно не учитывать.

3. Логарифмический декремент затухания, как правило, невелик. Расчеты без учета рассеяния энергии вполне допустимы в нерезонансных зонах и без учета АПВ.

4. Параметры шинной конструкции в значительной степени зависят от жесткости изоляторов, которая в свою очередь зависит от затяжки крепежных болтов.

СПИСОК ЛИТЕРАТУРЫ

1. Кудрявцев Е. П., Долин А. П., Васильев А. А. Методика расчета шин и опорных изоляторов распределительных устройств напряжением до 35 кВ на электродинамическую стойкость. — Промышленная энергетика, 1975, № 11.
2. Palante G. Study and conclusions from the results of the enquiry on the thermal and dynamic effects of heavy short-circuit currents in high voltage substations. — Electra (France), 1970, № 12.

сод. монтажа шинной линии	$l, м$	$N, м$	Логарифмический декремент затухания	Частота собственных колебаний, Гц		$i_y^*, кА$	$I_{m}^*, кА$	$T_a^*, с$	Значение σ_{max} , МПа		$\frac{\Delta \sigma}{\sigma_{расч}}$, %
				экспериментальная	расчетная				экспериментальное	расчетное	
рельс изоляторов типа О-375УЗ	0,45	35—40	0,1—0,4	88,1	35,7	20,8	0,03	21,5	18,6	13	
	0,45	10	0,6	63,3	35,7	20,8	0,03	26,7	22,0	17	
	0,65	35—40	0,075—0,15	59(105—115)*	73,2	17,6	0	30,3	24,0	12	
				(132)*	29,7	27,3	0				
рельс изоляторов с резиновыми прокладками	0,45	35	>1	42	55,3	35,7	20,8	0,03	19,1	24,5	28
«эластично» жесткие опоры	0,45	—	0,02—0,05	210—212	205,5	41,4	24,3	0,028	19,0	20,0	5
						50,8	27,9	0,05	26,0	29,5	13
шпинпровода ШРА-73	0,44	—	0,03—0,15	130—133	135	14,2	13,0	0,008	14,1**	14,6	3,5
						21,0	12,0	0,036	21,5**	21,7	1

ик указана частота третьей гармоники. для макета без стального кожуха.

в 40 коп.

Индекс
70734

• ЭНЕРГИЯ •

