

## РАЗВИТИЕ МОДЕЛЬНОГО РЯДА И МЕТОДОВ РАСЧЕТА БЛОКОВ РЕЗИСТОРОВ

**А.Д. Костромин, канд. техн. наук, генеральный директор**

**Г.А. Горобец, главный конструктор**

ООО НПП «Электрические аппараты», г. Бендеры (Молдова)

*Рассмотрены конструктивные особенности и характеристики блоков резисторов новой серии БМ, БЗ в сравнении с предшествующими моделями, обеспечивающих повышенные показатели удельной мощности, надежности и ресурса работы, а также позволяющих оптимизировать выбор резисторов для электропривода крановых механизмов. Предложена уточненная методика определения постоянной времени нагрева, разработанная для тепловых расчетов повторно-кратковременных и кратковременных режимов работы блоков.*

Пуско-тормозные и регулировочные резисторы в крановых электроприводах используются при параметрических методах регулирования. Получение необходимых механических характеристик достигается регулированием тока за счет введения ступеней активных сопротивлений в цепи обмоток двигателей [1]. В составе различных схем электропривода резисторы работают в прерывисто-продолжительном (ПВ100 %), повторно-кратковременном или кратковременном режимах. В процессе работы они нагреваются выделяющимся в активном сопротивлении теплом, подвергаются воздействию ударных и вибрационных нагрузок. Необходимость обеспечения минимальных массы и габаритов, ведет к значительному увеличению нагрева и, соответственно, требует более интенсивного охлаждения. Указанные особенности работы – циклическое воздействие высоких температур и вибрационных нагрузок – определяют основные требования, предъявляемые к конструкции резисторов и применяемым в них изоляционным материалам, которые должны обеспечивать высокую надежность и длительный ресурс использования.

Наибольшее распространение получили резисторы с активным материалом (резистивным элементом) из

фехральной ленты (рис. 1). Она обладает высоким удельным сопротивлением, имеет размеры от 0,8x8 до 1,6x15 мм и допустимую максимальную температуру нагрева 850°C. Намотанная на ребро лента укладывается в пазы расположенных внутри элемента изоляторов. Два ряда диаметрально противоположных изоляторов фиксируются держателем.

Блок резисторов (рис. 2) состоит из нескольких резисторов, смонтированных на унифицированном каркасе,

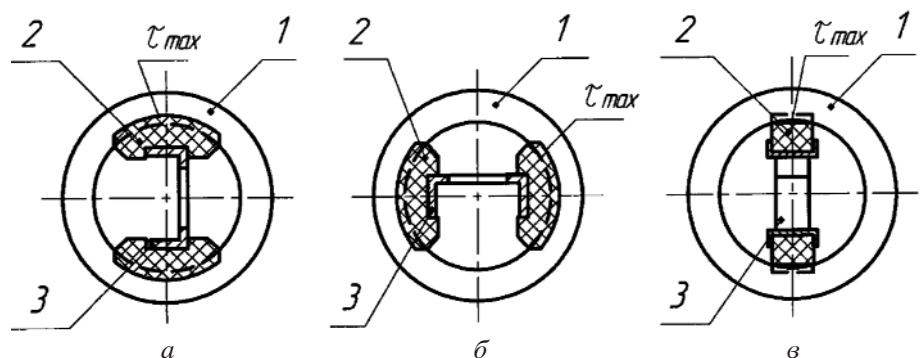


Рис. 1. Конструктивные схемы резисторов для блоков: а - КФ, ЯС; б - НФ-1А, Бб, БРФ; в - БМ, БЗ; 1 - резистивный элемент (фехральная лента, навитая на ребро); 2 - изолятор; 3 - держатель

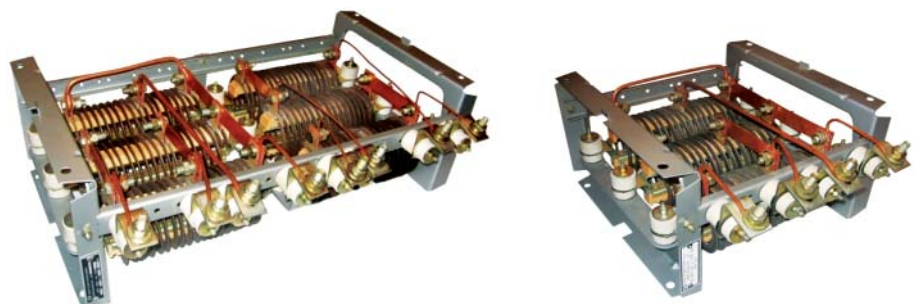


Рис. 2. Блоки резисторов БМ (слева) и БЗ (справа)

электрически соединенных по заданной схеме и снабженных кабельными выводами для присоединения к электрической цепи. Для рационального размещения блоки резисторов закрепляют друг над другом в этажерки до 4-х, а при необходимости и более этажей и устанавливают в специальных стеллажах, в которых предусматривают свободные промежутки (тепловые разрывы) через каждые три этажа.

Основными рабочими параметрами блоков резисторов при проектировании являются номинальное сопротивление  $R_H$  и ток продолжительного установившегося режима  $I_y$ , при котором максимальное превышение температуры резистивного элемента не должно быть более предельной величины - 350°C. Параметры  $I_y$  и  $R_H$  определяют номинальную мощность  $P_H \leq I_y^2 R_H$  в установившемся режиме, соответствующую количеству выделяемого и рассеиваемого тепла.

В настоящее время в эксплуата-

Таблица 1

Тип блока	КФ, ЯС	НФ-1А	Б6, БРФ	Б6М	Б3
$P_{max}$ , кВт	4,6	5,2	6,2	6,8	3,4
Число резисторов	5	5	6	6	3

ции находятся блоки резисторов ЯС, КФ, НФ – 1А, Б6, БРФ и новые блоки Б6М (табл. 1), взаимозаменяемые между собой по установочным и габаритным размерам. При разработке и развитии новых блоков резисторов серии Б учитывались недостатки предшествующих серий, которые были выявлены в процессе сбора и анализа данных об эксплуатации, замечания и пожелания разработчиков схем электропривода. На базе унифицированных секций блока Б6М разработаны и освоены в производстве типоразмера Б3 (см. рис. 2), являющиеся, по существу, половиной блока Б6М и обеспечивающие дополнительно расширение номенклатурного ряда.

Из приведенных данных видно, что удельная мощность (отношение  $P_H \leq P_{Hmax}$  к объему или площади блока) у резисторов Б6М превосходит другие аналоги в 1,1 - 1,62 раза, прежде всего, за счет более совершенной конструкции. В них (рис.1 в, рис. 2) изоляторы и держатель меньше экранируют резистивный элемент при прохождении через резистор охлаждающих потоков воздуха, что, по сравнению с Б6, увеличивает теплоотдачу на 10 - 12 %, способствует снижению (при одинаковой нагрузке по мощности) максимальной температуры на 10-12 % и уменьшает неравномерность распределения температуры по периметру резистивного элемента (с 25-30 % до 10-12 % от максимального значения).

Как показали испытания, во время работы блоков Б6М (Б3) в составе этажерок, увеличивается на 5%, по сравнению с блоками Б6, коэффициент изменения нагрузки по току  $K_3 = I_{y3} / I_y$  (табл. 2), где  $I_{y3}$  – допустимый ток в блоке при его работе в составе этажерки, не вызывающий запредельного нагрева. То есть при ра-

боте Б6М в этажерке имеет место дополнительное, по сравнению с Б6, увеличение теплоотдачи на 10 %, а общее увеличение удельной мощности составляет 20 %.

При проектировании и выборе блоков особое внимание требуется уделять надежной фиксации резистивного элемента, изоляторов и держателя. К разряду конструктивных недостатков резисторов для блоков НФ-1А и Б6 следует отнести отсутствие компенсации зазоров между жестким держателем, резистивным элементом и изоляторами, достигающих 2 - 3 мм из-за допусков на изготовление. Некомпенсированные зазоры в сочетании с недостаточной опорой изолятора на горизонтальную поверхность (основание) держателя, как показывают испытания и опыт эксплуатации, являются причиной расстыковки изолятора и держателя при воздействии вибрационных нагрузок.

В отличие от резисторов Б6 в резисторах Б6М полки держателя регулируются в радиальном направлении, а их горизонтальные поверхности, контактирующие с изоляторами, снабжены выступами, фиксирующими каждый изолятор от осевого перемещения, что обеспечивает стойкость к вибрационным нагрузкам.

Таблица 2

Тип блока	Коэффициент изменения нагрузки по току $K_3 = I_{y3} / I_y$ для порядкового номера этажа снизу			
	1	2	3	4
НФ -1А, Б6, БРФ	1.0			
		1.0		
			0.9	
Б6М, Б3				0.9
	1.05			
		1.05		
			0.95	
			0.95	

В блоках резисторов ЯС, КФ, НФ – 1А, Б6, БРФ применяют фарфоровые ребристые изоляторы с рабочей температурой 350°C и стойкостью к тепловым ударам до 150°C. Результаты сравнительных экспериментальных исследований долговечности (количества теплосмен) ребристых изоляторов из фарфора и кордиерита в зависимости от температуры перегрева [2] приведены на рис. 3. Они свидетельствуют о преимуществах применения кордиерита в качестве материала изоляторов. Его рабочая температура доходит до 900°C, стойкость к тепловым ударам не менее 600°C. Этот материал применен в резисторах Б6М, Б3. Таким образом, их конструкция, наряду с лучшей теплоотдачей и вибростойкостью, обеспечивает значительный запас термостойкости на случай отклонения реальных величин превышения температуры от их расчетных значений, определяемых при проектировании схем электропривода.

В технической документации блоков резисторов приведены номинальные нагрузки по току  $I_y$  для продолжительного режима работа ПВ 100 %, в то время, как пуско-тормозные резисторы работают в диапазоне ПВ от 5 % до 15 % и в кратковременных режимах. В связи с этим при проектировании схем электропривода возникает необходимость расчета допустимых нагрузок блоков резисторов по току в повторно-кратковременных  $I_{пкр}$  и кратковременных  $I_{кр}$  режимах работы. При определении значения коэффициента перегрузки  $K_{п}$  по току  $K_{пкр} = I_{пкр} / I_y$ ,  $K_{кр} = I_{кр} / I_y$  использовали общепринятый метод расчета нагрева резисторов, основанный на экспоненциальном законе изменения температуры по времени [1, 3]

$$t = \tau_{уст} (1 - e^{-t/T}) + \tau_0 e^{-t/T}$$

где  $t$  - время нагрева,  $\tau_0$  - начальное превышение температуры,  $T$  – постоянная времени нагрева,  $\tau_{уст}$  –



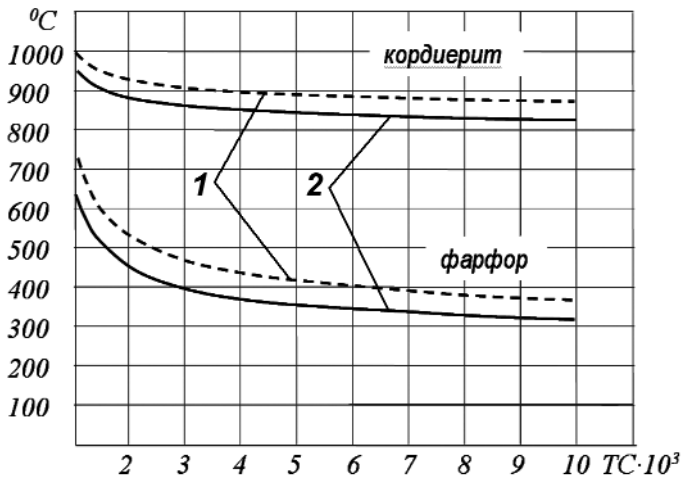


Рис. 3. Долговечность (количество теплосмен) ребристых изоляторов резисторов в зависимости от перегревов: 1 - по среднему значению; 2 - по минимальному количеству теплосмен до разрушения

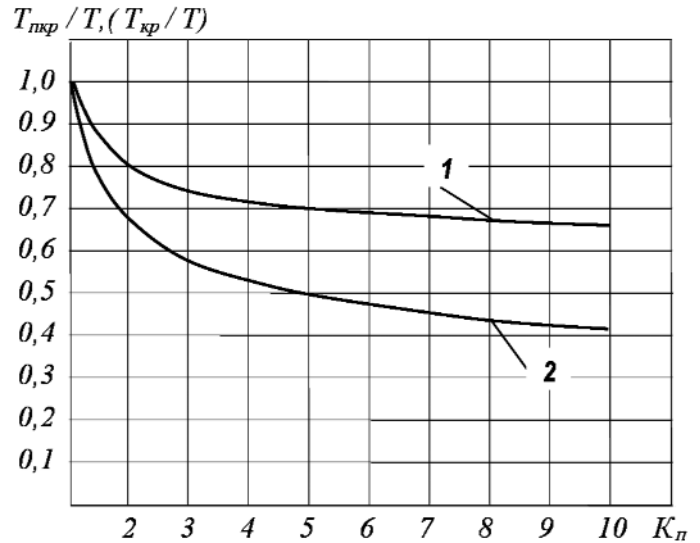


Рис. 4. Характер изменения относительного значения постоянной времени в зависимости от коэффициента перегрузки  $K_{п}$  для резисторов блоков Б6М, Б3 с резистивным элементом из фехралит: 1 - 1,6×15 (18 витков)  $T_a = 130$  с,  $B = 0,606$ ; 2 - 0,8×8 (22 витка)  $T_a = 50$  с,  $B = 1,86$

максимальное превышение температуры в установившемся режиме при прохождении по резистивному элементу тока  $I_y$

$$T = C / A,$$

здесь –  $C = C_{и} + C_a$  – соответственно теплоемкость резистора, резистивного элемента и изоляторов,  $A$  – количество тепла, отдаваемого поверхностью резистора за 1 с при разнице температур между поверхностью и окружающей средой  $1^{\circ}C$ .

Согласно вышеупомянутому методу  $T$  принято определять по экспериментальным кривым нагрева. При этом принимают, что  $T = const$  для процессов нагрева и охлаждения.

На основании результатов записи температур в процессе эксплуатации В.С. Сонин [2] пришел к выводу, что максимальные температуры перегрева могут превышать расчетные примерно в 1,5 раза. В ООО НПП «Электрические аппараты» провели анализ причин большой погрешности максимальных превышений температуры и установили, что они являются следствием недостоверных значений расчетного параметра – постоянной времени нагрева  $T$  (определенной по вышеупомянутой методике) для повтор-

но-кратковременных и кратковременных режимов работы. В основе определения  $T$  было взято допущение о том, что резистор является идеальным (сплошным) телом и  $T = const$ . В действительности резистор является двухмассовой системой с тепловым разрывом между резистивным элементом и изоляторами. При повторно-кратковременных и кратковременных нагрузках изоляторы не успевают нагреваться до температуры нагрева резистивного элемента, т. е. постоянная  $T$  должна в реальных условиях уменьшаться в зависимости от коэффициента перегрузки  $K_{п}$  и соотношения  $B$  теплоемкостей изоляторов  $C_{и}$  и резистивного элемента  $C_a$ .

Анализ результатов проведенных экспериментальных исследований изменения температуры резистивного элемента при нагреве в различных режимах работы позволил разработать новую методику определения постоянной времени  $T = var$ .

Сначала определяют  $\tau_{max}$  при нагревании блока резисторов ( $R$ ) номинальной нагрузкой  $I_y$  (в режиме ПВ 100 %) до установившегося режима. Затем по экспериментальным данным для блока резисторов определяют

теплоотдачу блока  $A = I_y^2 \cdot R / \tau_{max} = P / \tau_{max}$  и находят расчетные значения  $T_a = C_a / A$ ,  $B = C_{и} / C_a$ ,  $T = (1 + B) \cdot T_a$ , где  $T_a$  – постоянная времени нагрева резистивного элемента без учета влияния изоляторов,  $T$  – постоянная времени резистора при ПВ 100 %.

Значение постоянной времени для повторно-кратковременного  $T_{пкр}$  и кратковременного  $T_{кр}$  режимов предлагается определять эмпирической зависимостью

$$T_{пкр} = T_{кр} = (1 + B / K_{пп}) \cdot C_a / A = (1 + B / K_{пп}) \cdot T_a.$$

Для резисторов Б6М, Б3  $T_a = 50 - 130$  с,  $B = 06 - 1,86$ .

На рис. 4 представлен характер и диапазон изменения  $T_{пкр} / T$  ( $T_{кр} / T$ ) при изменении коэффициента перегрузки  $K_{п}$  ( $K_{пкр} = I_{пкр} / I_y$ ,  $K_{кр} = I_{кр} / I_y$ ).

Проведенные экспериментальные исследования подтвердили, что предлагаемая методика определения постоянной времени и коэффициента перегрузки дает приемлемую для практики точность расчета. Методика апробирована в проектных расчетах электропривода при модернизации мостовых кранов Рыбницкого металлургического завода. При необходи-

мости могут быть предоставлены данные по допустимым перегрузкам Кп для конкретных режимов работы оборудования любого заказчика, что обеспечит схемы электропривода от некачественной работы комплекта блоков резисторов.


Важную роль в оптимальном выборе комплекта блоков резисторов играет его суммарная удельная мощность. Для того, чтобы максимально приблизить ее к удельной мощности отдельных блоков, необходимо расширить типоразмерный ряд стандартизованных блоков по номинальным значениям  $I_y$ ,  $R$ , уменьшая при этом интервал изменения этих параметров.

Увеличение номенклатуры типоразмеров блоков Б6М было проведено на базе освоенных в производстве резисторов, нормализованных по се-

чению фехралевой ленты и количеству витков в резистивном элементе. За счет новых вариантов коммутации резисторов в секции, состоящей из трех резисторов, номенклатура блоков увеличена с 14 до 41, а за счет различных сочетаний нормализованных секций - на 1404 исполнения. Совместно с блоками БЗ создан новый, расширенный на два порядка, типоразмерный ряд блоков резисторов более совершенной конструкции, не требующих больших дополнительных затрат на подготовку производства, отличающихся повышенной удельной мощностью, высокими показателями термостойкости и вибростойкости, расширяющих возможности создания оптимальных комплектов для электропривода крановых механизмов. Этому должно способствовать также исполь-

зование новой методики определения постоянной времени нагрева, впервые разработанной для тепловых расчетов повторно-кратковременных и кратковременных режимов работы блоков и позволяющей повысить их точность.

## Литература

1. Яуре А.Г., Певзнер Е.М. Крановый электропривод. Справочник. Москва, Энергоатомиздат, 1988 г.
2. Сонин В.С. О допустимой температуре пуска-тормозных сопротивлений электроподвижного состава. Электротехника, 1970 г. № 9.
3. Вешеневский С.Н. Характеристики двигателей в электроприводе. Москва, Энергия, 1977 г. 

## ПРОБЛЕМЫ ЭЛЕКТРОСНАБЖЕНИЯ БАШЕННЫХ КРАНОВ ОТ АВТОНОМНЫХ ИСТОЧНИКОВ ЭНЕРГИИ

**Е.В. Попов, канд. техн. наук, заведующий лабораторией**  
ООО «Кранприборсервис», г. Москва

*Рассмотрены особенности работы электропривода крана при снабжении его электроэнергией от автономного источника - дизель-генератора. Установлено, что они плохо соответствуют друг другу, и требуется осуществление ряда технических решений и организационных мероприятий для улучшения условий эксплуатации кранов при автономном энергоснабжении.*

Электроснабжение большого количества башенных кранов на строительных площадках осуществляется передвижными электростанциями (ПЭС). При этом в качестве источника электроэнергии используется дизель-генератор, мощность которого соизмерима с мощностью кранового электропривода. Выбор типа и мощности ПЭС часто производится без учета особенностей этого привода и самого автономного источника, в результате чего не обеспечиваются ус-

ловия надежной работы кранов и ПЭС.

Особенностью электропривода крановой грузовой лебедки как потребителя электроэнергии является присущая большинству кранов при опускании груза с номинальной скоростью рекуперация энергии, возвращение ее части в питающую сеть; причем при управлении приводом по системе генератор-двигатель (Г-Д) и тиристорный преобразователь-двигатель (ТП-Д) у башенных кранов (модели

КБ-503, КБСМ-503, КБ-504, КБ-515, КБ-474, КБ-674, КБ-676) электроэнергия отдается в сеть при скоростях меньше номинальной, а также в переходных процессах. Для этого привода характерно значительное время работы вхолостую и при малой нагрузке. При управлении по системе ТП-Д возникает вероятность аварийных режимов – опрокидывания инвертора при рекуперации и недостаточной мощности сети, резких и частых набросов и сбросов нагрузки при пуске в направлении подъема, с низкими значениями (до 0,2) при набросе нагрузки, неблагоприятного изменения гармонического состава напряжения питающей сети.

При использовании дизель-генератора как источника электроэнергии возможность приема рекуперированной энергии ограничена, ее мощность