

КОМПОЗИЦИОННЫЕ РЕЗИСТОРЫ В СХЕМАХ, ПОВЫШАЮЩИХ ЭЛЕКТРОМАГНИТНУЮ ПОМЕХОЗАЩИЩЕННОСТЬ ЭЛЕКТРООБОРУДОВАНИЯ

С.В. Горелов, Е.В. Иванова

В настоящее время эффективность применения технических средств, ограничивающих коммутационные перенапряжения на распределительном устройстве 6 кВ с высоковольтными двигателями, невысокая, в основном из-за несоответствия их условиям электромагнитной обстановки в электрической сети [1–2]. Поэтому для повышения надежности электроснабжения приемников электрической энергии на напряжении 6 кВ предложены мероприятия по повышению помехозащищенности узла нагрузки электрической сети 6 кВ как рецептора, т.е. технического устройства, реагирующего на кондуктивную коммутационную электромагнитную помеху. В соответствии с мероприятиями техническое обеспечение электромагнитной совместимости рекомендуется принимать на основе учета разработанных научных положений.

1. Местом возникновения кондуктивной коммутационной электромагнитной помехи на распределительном устройстве 6 кВ являются расходящиеся контакты выключателя в момент коммутации высоковольтного электродвигателя. Наиболее значительные перенапряжения наблюдаются при отключении высоковольтного асинхронного двигателя с заторможенным ротором. Поэтому коммутация этого электродвигателя принята за базисную при расчете коэффициента временного коммутационного перенапряжения как при применении малообъемных масляных выключателей, так и при применении вакуумных выключателей.

2. Мощность кондуктивной коммутационной электромагнитной помехи обуславливается энергией, накопленной в магнитном поле индуктивности электродвигателя и в электрическом поле емкости в момент среза тока в выключателе. К моменту максимума напряжения энергия магнитного поля превращается в электрическую энергию, которая, таким образом, становится источником кондуктивной коммутационной электромагнитной помехи.

Соображения о месте установки средств, ограничивающих кондуктивную коммутационную электромагнитную помеху на распределительном устройстве 6 кВ с высоковольтными двигателями, изложим в виде ретроспективного анализа различных технических решений.

Наиболее эффективными средствами минимизации кондуктивной коммутационной электромагнитной помехи являются нелинейные ограничители перенапряжений и защитные RC-цепочки. Эффективность этих средств защиты от коммута-

ционных перенапряжений зависит не только от уровня ограничения, но и от места установки. На рисунке 1 показаны варианты размещения на распределительном устройстве 6 кВ средств ограничения коммутационных перенапряжений.

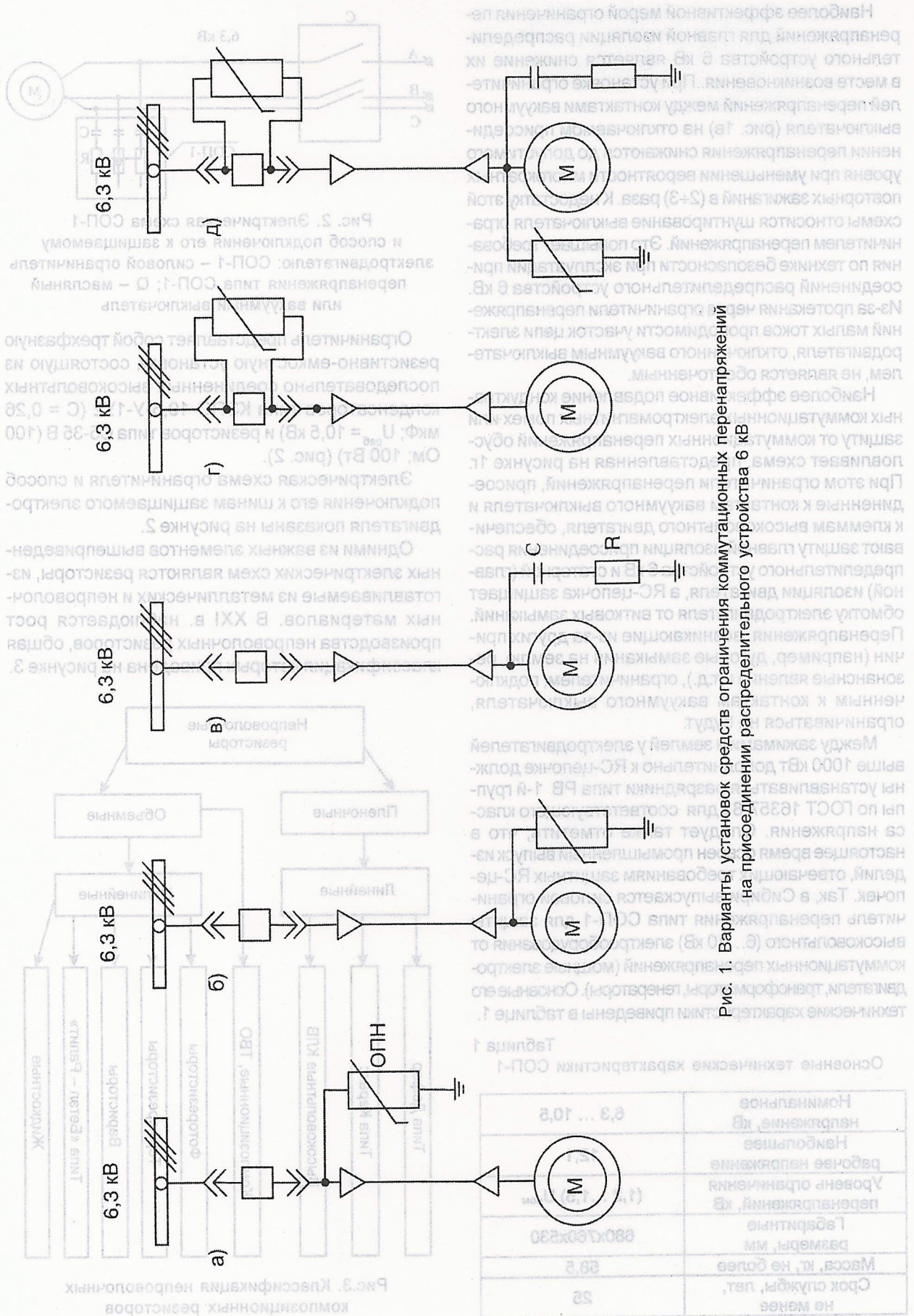
Установка ограничителей перенапряжений у вакуумного выключателя со стороны присоединения при длинах кабеля более 100 м не позволяет снизить перенапряжения на двигателе до безопасного уровня. Так, при напряжении на аппарате типа MWK-6 (ABB УЭТМ), равном $2,7U_{фм}$, напряжение на двигателе составляет $3,0U_{фм}$ ($P_{дв} = 500 \text{ кВт}$, $l_{каб} = 500 \text{ м}$, $K = 20 \text{ кВ/мс}$, $t_0 = 300 \text{ мкс}$, $d_i / dt = 100 \text{ А/мкс}$).

Установка ограничителей перенапряжений у отключаемого электродвигателя (рис. 1а) позволяет ограничить опасные для основной изоляции двигателя перенапряжения до приемлемого уровня. Однако из-за высокочастотных процессов при повторных зажиганиях дуги в вакуумном выключателе возможен выход из строя витковой изоляции двигателя.

Применение RC-цепочки с параметрами $R = 200 \text{ Ом}$, $C = 0,3 \text{ мкФ}$ обеспечивает глубокое ограничение перенапряжений до уровня около $1,4U_{фм}$ (рис. 1б). Однако в случае малой скорости восстановления электрической прочности межконтактного промежутка и собственно при повторных зажиганиях дуги оснащение двигателя RC-цепочкой не обеспечивает ограничения перенапряжений на главной изоляции двигателя до допустимого уровня. Это связано с тем, что эффективная настройка RC-цепочки одновременно на средней и высокой частотах невозможна. Поэтому сохраняется вероятность выхода из строя и витковой изоляции. Кроме этого, следует иметь в виду, что оснащение RC-цепочками большей части двигателей приводит к увеличению тока однофазного замыкания на землю.

Сравнение эффективностей применения ограничителей перенапряжений и RC-цепочки позволяет сделать вывод, что при отсутствии повторных зажигания наиболее эффективно применение защитной RC-цепочки; при эскалации же перенапряжений целесообразно применение ограничителей перенапряжений. Однако ни та, ни другая мера в ряде случаев не позволяет защитить витковую изоляцию двигателя.

КОМПОЗИЦИОННЫЕ РЕЗИСТОРЫ В СХЕМАХ, ПОВЫШАЮЩИХ ЭЛЕКТРОМАГНИТНУЮ ПОМЕХОЗАЩИЩЕННОСТЬ ЭЛЕКТРООБОРУДОВАНИЯ



Наиболее эффективной мерой ограничения перенапряжений для главной изоляции распределительного устройства 6 кВ является снижение их в месте возникновения. При установке ограничителей перенапряжений между контактами вакуумного выключателя (рис. 1в) на отключаемом присоединении перенапряжения снижаются до допустимого уровня при уменьшении вероятности многократных повторных зажиганий в (2÷3) раза. К недостатку этой схемы относится шунтирование выключателя ограничителем перенапряжений. Это повышает требования по технике безопасности при эксплуатации присоединений распределительного устройства 6 кВ. Из-за протекания через ограничители перенапряжений малых токов проводимости участок цепи электродвигателя, отключенного вакуумным выключателем, не является обесточенным.

Наиболее эффективное подавление кондуктивных коммутационных электромагнитных помех или защиту от коммутационных перенапряжений обуславливает схема, представленная на рисунке 1г. При этом ограничители перенапряжений, присоединенные к контактам вакуумного выключателя и к клеммам высоковольтного двигателя, обеспечивают защиту главной изоляции присоединения распределительного устройства 6 кВ и статорной (главной) изоляции двигателя, а RC-цепочка защищает обмотку электродвигателя от витковых замыканий. Перенапряжения, возникающие из-за других причин (например, дуговые замыкания на землю, резонансные явления и т.д.), ограничителем, подключенным к контактам вакуумного выключателя, ограничиваться не будут.

Между зажимами и землей у электродвигателей выше 1000 кВт дополнительно к RC-цепочке должны устанавливаться разрядники типа РВ 1-й группы по ГОСТ 16357-83 для соответствующего класса напряжения. Следует также отметить, что в настоящее время освоен промышленный выпуск изделий, отвечающих требованиям защитных RC-цепочек. Так, в Сибири выпускается силовой ограничитель перенапряжения типа СОП-1 для защиты высоковольтного (6...10 кВ) электрооборудования от коммутационных перенапряжений (мощные электродвигатели, трансформаторы, генераторы). Основные его технические характеристики приведены в таблице 1.

Таблица 1
Основные технические характеристики СОП-1

Номинальное напряжение, кВ	6,3 ... 10,5
Наибольшее рабочее напряжение	12,1
Уровень ограничения перенапряжений, кВ	(1,2 ... 1,5) U _{ном}
Габаритные размеры, мм	680x760x530
Масса, кг, не более	58,5
Срок службы, лет, не менее	25

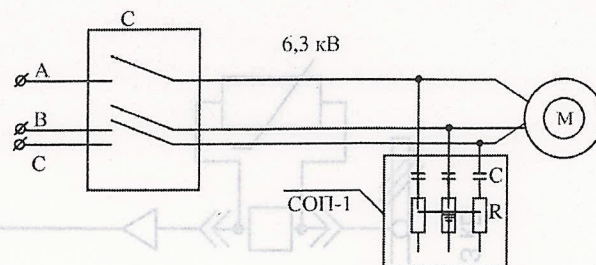


Рис. 2. Электрическая схема СОП-1 и способ подключения его к защищаемому электродвигателю: СОП-1 – силовой ограничитель перенапряжения типа СОП-1; Q – масляный или вакуумный выключатель

Ограничитель представляет собой трехфазную резистивно-емкостную установку, состоящую из последовательно соединенных высоковольтных конденсаторов типа КЭПО 10,5-У-1У2 ($C = 0,26$ мкФ; $U_{\text{раб}} = 10,5$ кВ) и резисторов типа С5-35 В (100 Ом; 100 Вт) (рис. 2).

Электрическая схема ограничителя и способ подключения его к шинам защищаемого электродвигателя показаны на рисунке 2.

Одними из важных элементов вышеприведенных электрических схем являются резисторы, изготавливаемые из металлических и непроволочных материалов. В XXI в. наблюдается рост производства непроволочных резисторов, общая классификация которых приведена на рисунке 3.

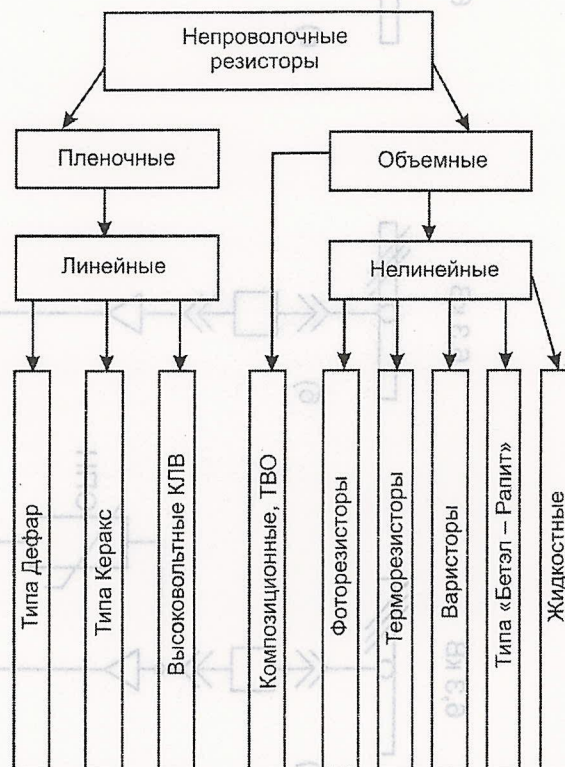


Рис.3. Классификация непроволочных композиционных резисторов

КОМПОЗИЦИОННЫЕ РЕЗИСТОРЫ В СХЕМАХ, ПОВЫШАЮЩИХ ЭЛЕКТРОМАГНИТНУЮ ПОМЕХОЗАЩИЩЕННОСТЬ ЭЛЕКТРООБОРУДОВАНИЯ

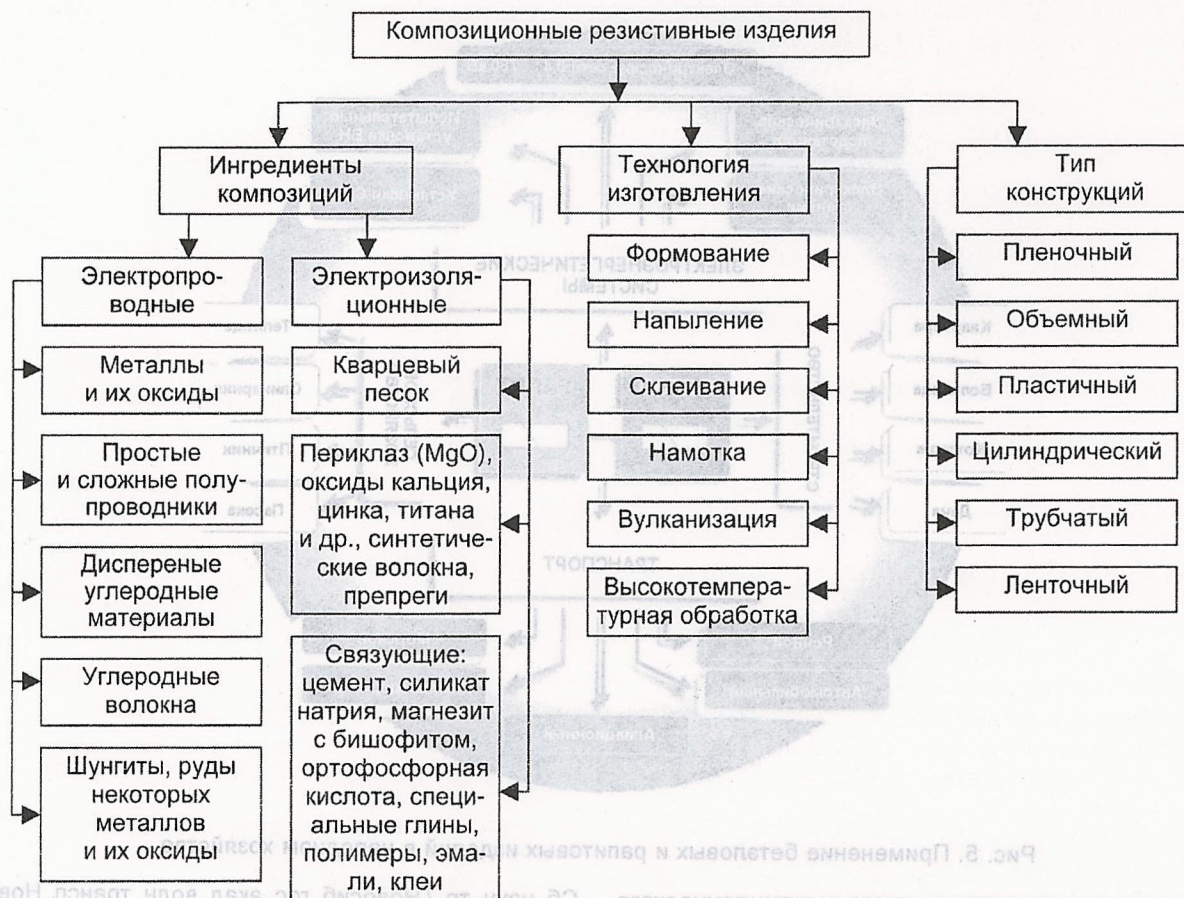


Рис. 4. Общая классификация композиционных резистивных изделий

В свою очередь многообразие резисторов, связанных с областями их применения, вызывает необходимость более детальной классификации с учетом их технологических и конструктивных особенностей. Механическое смешивание ингредиентов сложных составов объясняет значительное отличие объемных резисторов от пленочных.

В России (СибНИИЭ, НГАВТ, Алт ГТУ) сегодня проводятся обширные исследования структурообразования, закономерностей его изменения для композитов на основе силикатных и полимерных связей, получивших название бетэл и рапит (рис. 4).

В процессе эксплуатации электрооборудования станций и электрических сетей возникла необходимость разработки мощных резисторных устройств, заземлителей, электронагревателей, линейных электроизоляционных конструкций. Применение резисторов из композиционного материала – **бетэла**, позволило решить ряд задач по ограничению токов короткого замыкания, электрическому торможению генераторов, защите батарей конденсаторов и поперечной компенсации и т.п. Использование гетерогенной системы для бетэла, состоящей из электроприводной фазы, силикатных связей (цемент, жидкое стекло) и диэ-

лектрических наполнителей, позволило создать бетэловые резисторы с большой энергией рассеяния при минимальной индуктивности. Высокая температурная стойкость ингредиентов бетэла позволяет эффективно использовать изделия в режимах импульсного и кратковременного включения под электрическое напряжение, а также в режиме длительного включения. Были разработаны резисторы с регулируемой нелинейностью вольт-амперных характеристик и получен **магнитобетон** для токоограничивающих реакторов [3–6].

Дальнейшее развитие технической промышленности стало возможным благодаря получению новых композиционных материалов, обладающих комплексом повышенных электро-, тепло- и физико-механических характеристик. Производство таких материалов ежегодно увеличивается, что, по мнению ряда ученых, превратит XXI в. в годы массового применения композиционных материалов. Они все больше используются на транспорте, в строительстве и энергетике, в нефтяной и газовой промышленности (рис. 5).

В рассматриваемом нами случае целесообразно в силовых ограничителях перенапряжений в электрических сетях применять резисторы из бе-

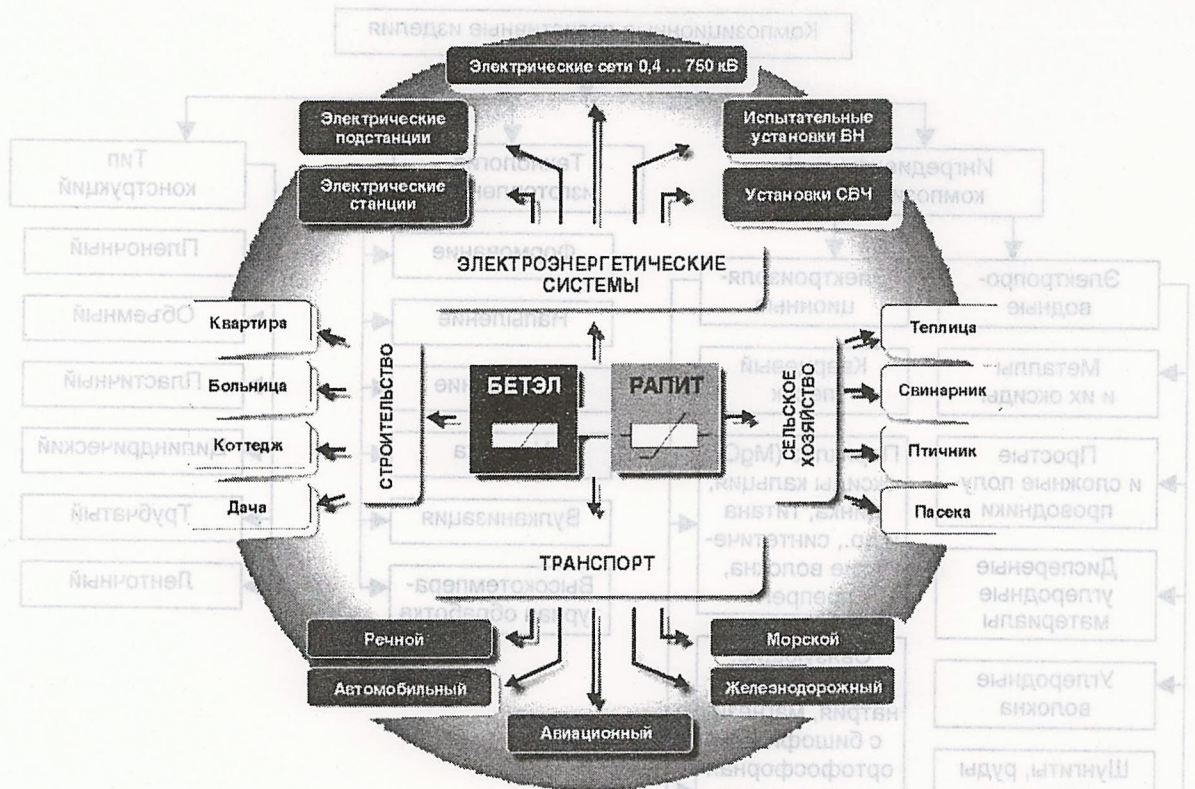


Рис. 5. Применение бетэловых и рапитовых изделий в народном хозяйстве

тэла или рапита пластинчатого и цилиндрического типов.

В заключение следует отметить, что резервом повышения помехозащищенности присоединений распределительного устройства 6 кВ с высоковольтными двигателями как рецептора является величина несоответствия технических данных ОПН, РС-цепочек и других ограничивающих перенапряжения средств характеристикам электромагнитной обстановки в электрической сети. Многочисленные расследования причин повреждаемости технических средств, ограничивающих коммутационные перенапряжения, свидетельствуют о том, что техническое обеспечение электромагнитной совместимости технических средств в электрической сети принималось без учета кондуктивной коммутационной электромагнитной помехи. Эта помеха является интегральным показателем распределения коэффициента временного коммутационного перенапряжения в узле нагрузки.

Литература

1. Горелов В.П. Влияние коммутационных перенапряжений в распределительных устройствах металлургических предприятий на их электроснабжение / В.П. Горелов, П.В. Горелов, М.Н. Иванов // Электроснабжение, электрооборудование, автоматика речных судов и промышленных предприятий:

Сб. науч. тр. / Новосибир. гос. акад. водн. трансп. Новосибирск, 1997. С. 3–4.

2. Горелов С.В. Коммуникационные перенапряжения при отключении высоковольтных асинхронных двигателей / С.В. Горелов, В.П. Горелов, М.Н. Иванов // Электрофизика, автоматика и экология промышленных предприятий и речных судов: Сб. науч. тр. / Новосибир. гос. акад. водн. трансп. Новосибирск, 1998. С. 28–39.

3. Горелов С.В. Композиционные материалы на транспорте и агропромышленных комплексах / С.В. Горелов, В.В. Горелов, Е.В. Крысталев и др. // Энергетика, экология, энергосбережение, транспорт: Тр. 2-й междунар. науч.-техн. конф. Тобольск, 8–11 сент. 2004 г. Новосибирск, 2004. Ч. 2. С. 69–72.

4. Технология конструкционных электротехнических материалов: Учеб. пособие: В 2-х кн. / С.В. Горелов, П.В. Горелов, Н.А. Коваленко и др.; Под ред. В.П. Горелова, М.Н. Иванова; Новосибир. гос. акад. водн. трансп. 2-е изд. доп. Новосибирск, 2005. Кн. 1. 354 с.

5. Технология конструкционных электротехнических материалов: Учеб. пособие: В 2-х кн. / П.В. Горелов, Е.Ю. Кислицын, Н.А. Коваленко и др.; Под ред. В.П. Горелова, М.Н. Иванова; Новосибир. гос. акад. водн. трансп. 2-е изд. доп. Новосибирск, 2005. Кн. 2. 239 с.

6. Контактные устройства резисторов из композиционных материалов: Учеб. пособие / П.В. Горелов, С.В. Горелов, Л.И. Суругин и др.; Под ред. В.П. Горелова; Новосибир. гос. акад. водн. трансп. 2-е изд. доп. Новосибирск, 2003. Ч. 1. 255 с.