

УДК 621.3

**ИСПОЛЬЗОВАНИЕ МОДУЛЬНЫХ АВТОМАТИЧЕСКИХ  
ВЫКЛЮЧАТЕЛЕЙ И АВТОМАТИЧЕСКИХ ВЫКЛЮЧАТЕЛЕЙ В  
ЛИТОМ КОРПУСЕ ДО 100 А В СЕТЯХ 0,4/0,23 КВ  
USE OF MODULAR CIRCUIT BREAKERS AND CIRCUIT BREAKERS IN  
MOLDED CASE UP TO 100 A IN 0.4/0.23 KV NETWORKS**

А.Д. Решетов, Н.Д. Бань

Научный руководитель – Т.М. Жуковская, преподаватель  
Белорусский национальный технический университет, г. Минск

A. Reshetau, M. Dfn

Supervisor – T. Zhukouskaya, Lecturer  
Belarusian national technical university, Minsk

**Аннотация:** В данной статье рассмотрены вопросы принципа работы автоматических выключателей. Методы расчёта и критерии их выбора. Описаны сфера использования и применение модульных автоматических выключателей и выключателей в литом корпусе. Произведён анализ преимуществ и недостатков модульных автоматических выключателей и выключателей в литом корпусе и сделан вывод по рациональному, экономическому и эффективному использованию данных автоматических аппаратов.

**Annotation:** This article discusses the principles of operation of circuit breakers, selection criteria, and calculation methods. It describes the scope of use and application of modular circuit breakers and molded case circuit breakers. An analysis of the advantages and disadvantages of modular circuit breakers and molded case circuit breakers is provided, along with a conclusion on the personal economical and efficient use of these automatic devices.

**Ключевые слова:** модульные автоматические выключатели, автоматические выключатели в литом корпусе, ток теплового расцепителя, ток электромагнитного расцепителя.

**Key words:** modular circuit breakers, molded case circuit breakers, thermal tripping current, electromagnetic tripping current.

### **Введение**

Выключатели модульные стали неотъемлемой частью современных электрических систем. Их использование охватывает широкий спектр применений, от бытовых до промышленных. В данной статье мы рассмотрим основные характеристики модульных выключателей, их преимущества и недостатки, а также проведем сравнение с автоматическими выключателями в литом корпусе с  $I_n \leq 100$ .

Автоматический выключатель – это коммутационный аппарат, способный включать, проводить и отключать номинальные токи в цепи при нормальных условиях, а также включать, проводить в течение установленного нормативного времени и отключать токи при указанных ненормальных условиях в цепи, таких как короткого замыкания.

Что такое модульные выключатели? Модульные выключатели – это устройства, размещенные в стандартных монтажных коробках и используемые для управления электрическими цепями. Они могут быть однофазными и трехфазными, а также отличаться по номинальному току и напряжению.

### Основная часть

Принцип работы модульных выключателей.

Напряжение источника питания подается сверху (рис. 5), ток протекает по следующей цепи: винтовой зажим 4, гибкая связь 6, металлическая пластина теплового расцепителя 5, катушка электромагнитного расцепителя 7, неподвижный силовой контакт, подвижный силовой контакт, нижний винтовой зажим 4. При протекании тока, превышающего номинальное значение автоматического выключателя не менее чем в 1,13 раза, левый конец биметаллическая пластины теплового расцепителя, изгибаясь вверх, приводит в движение механизм расцепления, при этом подвижный силовой контакт отходит от неподвижного силового контакта и цепь разрывается. Пластмассовый рычаг ручного привода 1 опускается вниз. При протекании по виткам катушки 7 электромагнитного расцепителя тока силой, превышающей значение уставки, электромагнитное поле, создаваемое этой катушкой, достигает величины, которой достаточно для втягивания стального сердечника 3, который перемещается вниз и приводит действие через двухплечий рычаг расцепления автомата, подвижный силовой контакт отходит от неподвижного силового контакта и цепь разрывается. Возникающие при этом электрическая дуга под действием магнитного поля катушки 7 втягивается в дугогасящую камеру 8, которая имеет набор параллельных металлических пластин для охлаждения и гашения электрической дуги.

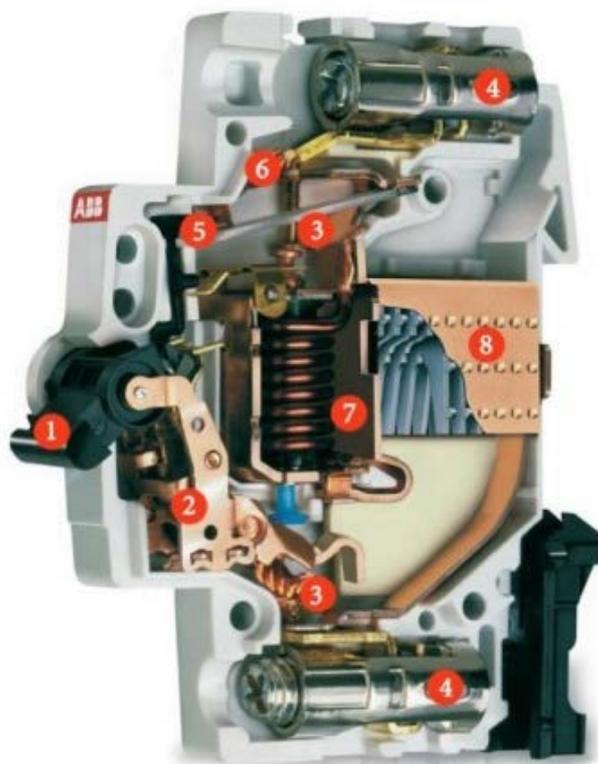


Рисунок 1 – Устройство модульного автоматического выключателя

Выбор автоматических выключателей.

Выбор автоматического выключателя производится с учетом следующих условий:

- номинальное напряжение  $U_n \geq U_{\text{сети}}$ ;
- номинальный ток  $I_{\text{нома}} \geq I_p, I_{\text{ном т.р}} \geq I_p / K_n K_t$ , где  $K_n$  – коэффициент, зависящий от количества установленных автоматических выключателей в ряду,  $K_t$  – коэффициент, зависящий от температуры окружающей среды,  $I_p$  – длительный рабочий или расчетный ток в защищаемой электрической цепи, А.
- по уставке срабатывания электромагнитного расцепителя  $I_{\text{ср.э.р}}$  при токе КЗ  $I_{\text{ср.э.р}} \geq K I_{\text{пик}}$ , где  $K I_{\text{пик}}$  – коэффициент, учитывающий погрешность расчета пикового тока и разброс защитных характеристик электромагнитного расцепителя автоматического выключателя.

Для большинства автоматических выключателей  $K I_{\text{пик}} = 1,25$ , коэффициент обеспечивает невозможность ложного отключения линии при пуске электродвигателя при разбросе времятоковых характеристик.

При определении номинального тока электромагнитного расцепителя, защищающего ответвление к одиночному электродвигателю, в выражениях в качестве  $I_p$  принимается номинальный ток двигателя, а в формуле вместо  $I_{\text{пик}}$  подставляется пусковой ток  $I_{\text{пуск}}$ .

Ток срабатывания автоматического выключателя, как правило, устанавливается изготовителем в зависимости от  $I_{\text{ном т.р}}$ :

$$I_{\text{ном э.р}} = K_{\text{то}} \cdot I_{\text{ном т.р}} \quad (1)$$

где  $K_{\text{то}}$  – кратность тока отсечки, принимаемая по технической документации.

Для модульных автоматических выключателей  $K_{\text{то}}$  электромагнитного расцепителя по отношению к току теплового расцепителя обозначают буквой:

- В от 3  $I_{\text{ном т.р}}$  до 5  $I_{\text{ном т.р}}$
- С от 5  $I_{\text{ном т.р}}$  до 10  $I_{\text{ном т.р}}$
- D от 10  $I_{\text{ном т.р}}$  до 20  $I_{\text{ном т.р}}$

Следовательно, для модульных автоматических выключателей кратность тока электромагнитного расцепителя определяется по условиям:

- условие несрабатывания автоматического выключателя при пиковых нагрузках:

$$K_{\text{то}} \geq 1,25 I_{\text{пик}} / I_{\text{ном т.р}} \quad (2)$$

где  $K_{\text{то}}$  выбирается по нижним пределам, т.е В-3, С-5, D-10.

- гарантированное срабатывание автоматического времятоковая характеристика выключателя при  $I_{\text{кз}}$ :

$$K_{\text{то}} < I_{\text{кз}} / I_{\text{ном т.р}} \quad (3)$$

где  $K_{\text{то}}$  выбирается по верхним пределам, т.е В-5, С-10, D-20

Времятоковая характеристика (В, С или D (рис.2)), отражающая зависимость времени срабатывания выключателя  $t$  от кратности тока нагрузки  $I$  по отношению к номинальному току теплового расцепителя  $t = f(I/I_{ном т.р})$

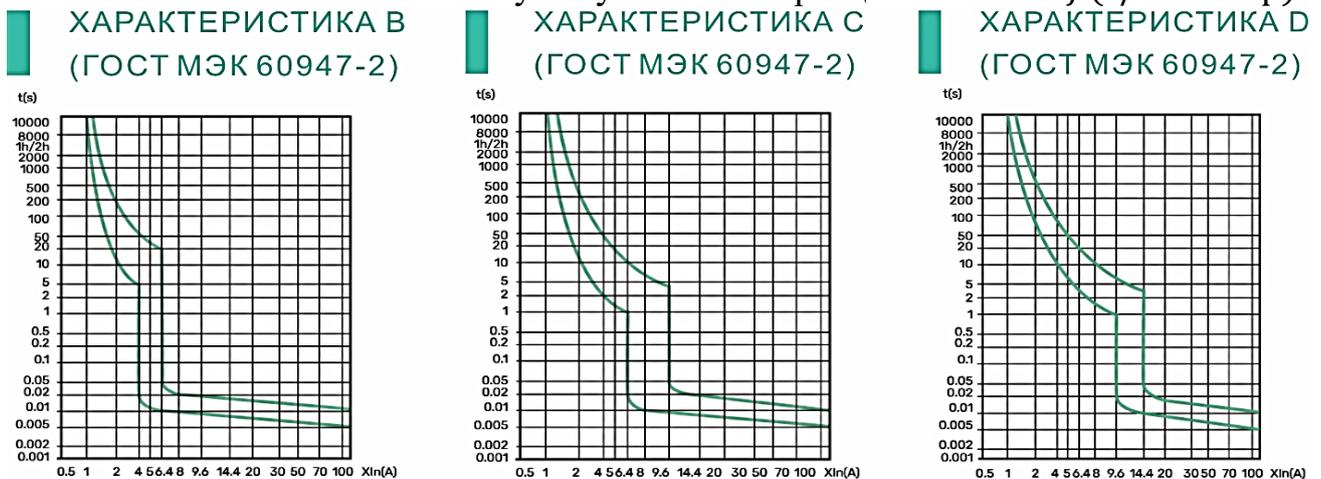


Рисунок 2 – Времятоковая характеристика

Проверка выбираемых автоматов в общем случае состоит в обеспечении соответствия технических характеристик автомата значениям тока КЗ в защищаемой цепи.

При выборе автоматического выключателя следует также учитывать:

- электрические и технические характеристики электроустановки, для которой выбирается автоматический выключатель;
- условий его эксплуатации, таких как температура окружающей среды, размещения в здании подстанции или корпусе распределительного щита, климатические условия и др.;
- эксплуатационных требований: селективного отключения, требований к дистанционному управлению, а также индикации, наличию соответствующих вспомогательных контактов, дополнительных расцепителей;
- МЭК, в частности требований в отношении обеспечения защиты людей;
- по чувствительности к току однофазного КЗ;
- отключающим способностям при коротких замыканиях,
- по условию селективности срабатывания;
- число полюсов: одна-, двух-, трех-, четырехполюсные;
- характеристик нагрузки, тип В применяется для защиты линий освещения или линии имеющих большой протяженность, тип С применяется для защиты розеточных групп или линий потребителями с умеренными пусковыми токами, тип D применяется для защиты трансформаторов или линий с потребителями с большими пусковыми токами.

Сфера применения автоматических выключателей.

Автоматические выключатели до 100 А находят широкое применение в различных областях, обеспечивая защиту электрических цепей и оборудования. Рассмотрим основные сферы их применения:

- Жилые и коммерческие здания. Автоматические выключатели используются в распределительных щитах для защиты домашних и офисных электрических сетей. Они предотвращают перегрузки и короткие замыкания, обеспечивая безопасность пользователей и оборудования.
- Промышленность. В производственных помещениях автоматические выключатели защищают электродвигатели, трансформаторы и другое оборудование. Они позволяют избежать повреждений в случае аварийных ситуаций, что снижает риск простоев и финансовых потерь.
- Строительство. Во время строительства автоматические выключатели обеспечивают временное электроснабжение и защиту строительных инструментов и оборудования. Это особенно важно на крупных строительных площадках, где используется множество электрических устройств.
- Системы освещения. В системах освещения автоматические выключатели обеспечивают защиту цепей освещения, предотвращая перегрев и возможные пожары. Они могут использоваться как в жилых, так и в коммерческих помещениях.
- Электрические установки для бытовой техники. Автоматические выключатели часто устанавливаются в домашних электросетях для защиты таких устройств, как стиральные машины, холодильники и другие мощные бытовые приборы. Это способствует долговечности техники и безопасности эксплуатации.
- Системы безопасности. В системах сигнализации и видеонаблюдения автоматические выключатели защищают оборудование от перепадов напряжения и коротких замыканий, обеспечивая надежность работы систем безопасности.
- Автоматика и управление. В приложениях автоматизации, таких как системы управления производственными процессами, автоматические выключатели играют важную роль в защите управляющих цепей и оборудования от повреждений.

Автоматические выключатели до 100 А являются незаменимым элементом в современных электрических системах. Они обеспечивают безопасность, надежность и долговечность работы различных устройств и установок, что делает их важной частью как в быту, так и в промышленности.

Преимущества модульных выключателей.

Модульные аппараты более компактные (рисунок 3), имеют ширину модуля 18мм, что обеспечивает удобство монтажа и экономию места в электрических щитах.

Модульное оборудование соответствует МЭК 60898–1 и МЭК 60898–2. К модульным автоматическим выключателям предъявляются более жёсткие требования по безопасности, что позволяет их безопасно использовать неквалифицированным персоналом. Также модульные автоматические

выключатели соответствуют стандарту МЭК 60947–2, что говорит о возможности их использовании в промышленных объектах.

### ГАБАРИТНЫЕ И УСТАНОВОЧНЫЕ РАЗМЕРЫ

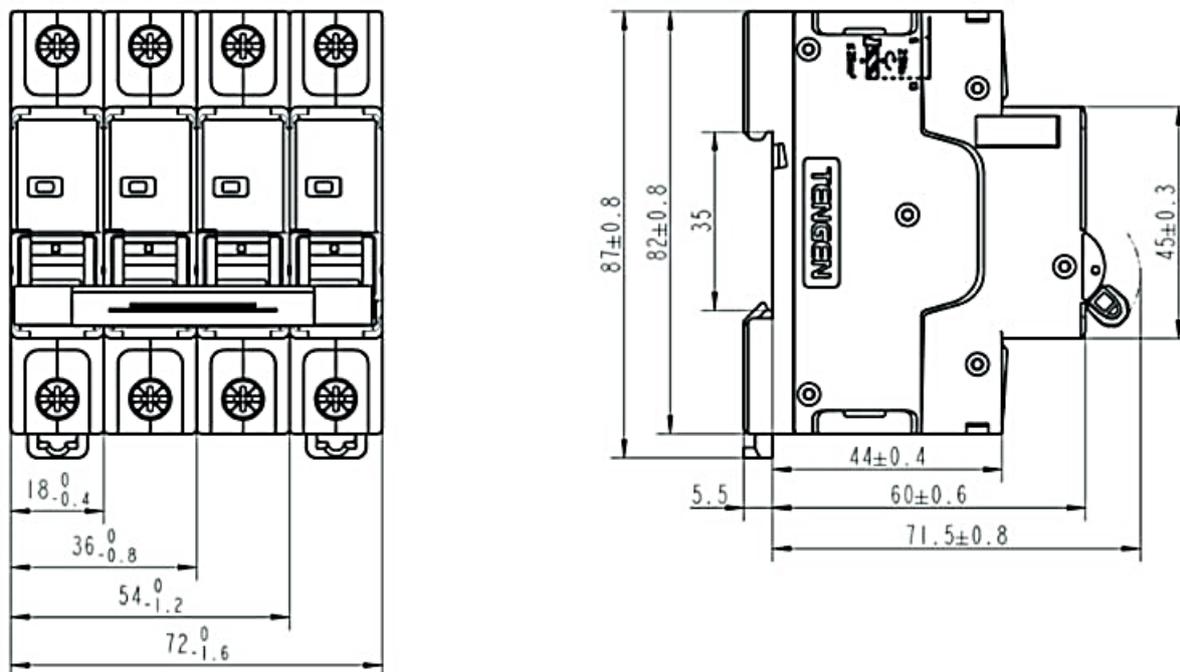


Рисунок 3 – Модульный автоматический выключатель серии TGB1N-125H, бренд TENGEN

Основные характеристики:

- по отключающей способности классифицируются: 4,5, 6, 10, 15, 20, 25кА
- имеют время токовые характеристики В, С, D, К, Z.
- номинальные токи от 0,5 до 125А

Такой выбор позволяет использовать их в различных установках - от бытового назначения до ответственных промышленных объектов, где необходима повышенная надежность автоматики.

Среди преимуществ можно отметить: подключение питания как сверху так и снизу, произвольное монтажное положение, монтаж на DIN-рейку, возможность выбора характеристики для точной селективности. Габаритный размер одинаков у всех производителей модульных автоматических выключателей, что дает удобство монтажа и проектирования щитов.

Имеются также различные аксессуары для модульного оборудования (независимые расцепители, вспомогательные блок-контакты, расцепители минимального напряжения, сигнализация положения, для автоматизации контроля состояния), которые легки в установке и имеют компактные размеры. Имеется возможность установки соединительных шин на все автоматические выключатели.

Модульные аппараты также имеют дифференциальную защиту типы: А, АС, В, F. Это даёт возможность защищать не только оборудование, но и человека.

Большое разнообразие модульной аппаратуры дает возможность для сборки разнообразных бытовых и промышленных решений под любые нужды, при этом экономя в цене и не теряя в качестве.

Хочется также отметить появление на рынке нового витка развития модульного оборудования (рисунок 4), которое имеет дистанционное управление (к примеру, со смартфона), может считывать и передавать различные параметры (ток, напряжение, мощность). Можно с уверенностью сказать, что данная технология получит большую популярность и широкое применение в будущем.



Рисунок 4 – Модульный автоматический выключатель умного поколения Schneider Electric Reflex iC60

Преимущества автоматических выключателей в литом корпусе.

Для сравнения был выбран автоматический выключатель TGM1N от бренда TENGGEN, который имеет те же основные технические параметры, что и выбранный нами модульный автомат.

### Габаритные и установочные размеры

ГАБАРИТНЫЕ И УСТАНОВОЧНЫЕ РАЗМЕРЫ ВЫКЛЮЧАТЕЛЯ С ПЕРЕДНИМ ПОДКЛЮЧЕНИЕМ

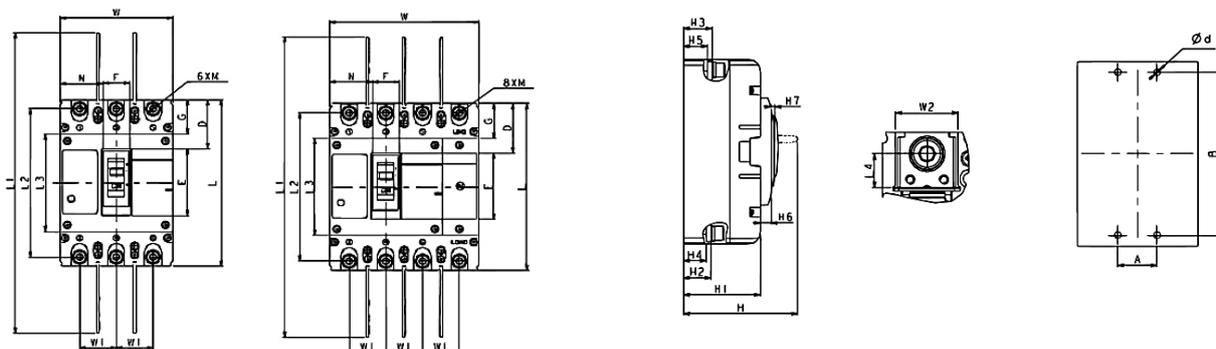


Рисунок 5 Автоматический выключатель в литом корпусе

По характеристикам выделяются основные преимущества литого корпуса:

- возможность использовать на напряжение 660/690 В;
- номинальное напряжение изоляции 8 кВ;
- возможность выбора уставки от тока замыкания  $I_i$ ;
- отключающая способность от 25 до 70 кА;
- механическая износостойкость до 40000 циклов.

## ОСНОВНЫЕ ТЕХНИЧЕСКИЕ ХАРАКТЕРИСТИКИ

Типоразмер		63				125			
Число полюсов		3P, 4P				3P, 4P			
Номинальная частота (f), Hz		50/60				50/60			
Номинальное рабочее напряжение (Ue), V		230/240/380/400/415 660/690				230/240/380/400/415 660/690			
Номинальное напряжение изоляции (Ui), V		800				800			
Номинальное импульсное выдерживаемое напряжение (Uimp), kV		8				8			
Номинальный ток (In), A		10, 16, 20, 25, 32, 40, 50, 63				10, 16, 20, 25, 32, 40, 50, 63, 80, 100, 125			
Уставка тока защиты от короткого замыкания мгновенного срабатывания II		6In, 8In, 10In, 12In							
Отключающая способность		L	M	H	R	L	M	H	R
Номинальная предельная наибольшая отключающая способность (Icu), kA	380/400/415 V	25	35	50	70	25	35	50	70
	660/690 V	5	5	8	10	5	5	8	10
Номинальная рабочая наибольшая отключающая способность (Ics), kA	380/400/415 V	18	25	35	50	18	25	35	50
	660/690 V	5	5	8	10	5	5	8	10
Категория применения		A				A			
Механическая износостойкость, не менее циклов	Без тех. обслуживания	20000				20000			
	С тех. обслуживанием	40000				40000			
Электрическая износостойкость, не менее циклов		10000				10000			
Расцепитель		Электромагнитный				Электромагнитный			
		Термомагнитный				Термомагнитный			

Рисунок 6 – Основные технические характеристики

Также преимуществами перед модульными выключателями являются:

- болтовое присоединение проводника на наконечник (это же и недостаток);
- подключение проводника сечением до 70мм<sup>2</sup> в габарите 63/125 при помощи выносных шин. (Такое высокое сечение на номинальных токах до 63 А необходимо в случаях, когда нагрузка и питание находятся далеко друг от друга и из-за падения напряжения необходимо увеличивать сечение проводника);
- большой выбор аксессуаров как внутренней, так и внешней установки;
- возможность работы в высоких температурных диапазонах от -35 до +60 с учетом поправочных коэффициентов.

Среди недостатков:

- габаритные размеры;
- подключение под болт;
- установка на монтажную панель, на DIN-рейку – только с адаптером.
- большое количество дополнительной оснастки (межфазные перегородки, клеммные крышки, задние/передние выводы, основания втычного исполнения, выкатные корзины, моторные привода, выносные рукоятки и т.д.) внешней установки, так и аксессуары внутренней установки (вспомогательные контакты, аварийные, независимые расцепители);
- отсутствие выбора времятоковой характеристики, модульные выключатели в плане селективности более гибкие;
- сложность монтажа, требуется наличие сложного набора инструментов для установки.

Сравнение стоимости автоматических выключателей.

Для сравнения экономических затрат на приобретение оборудования выбраны следующие модели: TGM1N-250L/3300 (100А, 415VAC, 35kA,  $I_i=10 \cdot I_n$ , тип TM) и TGB1N-125H (100А, хар-ка C, 10kA, 4.5M).



Рисунок 7 – Стоимость аппаратов

Как видно, стоимость схожих по техническим характеристикам моделям различается в 2 раза, при этом экономичнее будет покупка именно модульного автоматического выключателя.

### **Заключение**

Основные преимущества использования модульных автоматических выключателей перед выключателями в литом корпусе до 100 А:

- Компактность и гибкость Модульные автоматические выключатели имеют меньшие размеры и могут быть установлены в стандартные распределительные щиты. Это позволяет более эффективно использовать пространство и легко модифицировать системы защиты по мере необходимости.
- Удобство монтажа и замены Модульные выключатели легко устанавливаются и заменяются без необходимости демонтажа всей системы. Это упрощает обслуживание и ремонт, что особенно важно в условиях, где время – критический фактор.
- Модульность и расширяемость Модульные автоматические выключатели позволяют легко добавлять новые цепи или изменять конфигурацию существующих. Это дает возможность адаптироваться к изменяющимся потребностям электрической сети.
- Более высокая степень защиты Модульные устройства часто имеют более высокие значения IP-степени защиты, что делает их более устойчивыми к воздействию внешней среды, пыли и влаги, чем выключатели в литом корпусе.
- Лучшие характеристики защиты Модульные автоматические выключатели могут обладать различными типами защиты (перегрузка, короткое замыкание, дифференциальная защита), что позволяет обеспечить комплексную защиту цепей и устройств.
- Легкость в диагностике Модульные выключатели часто имеют индикаторы состояния, что позволяет быстро выявить наличие проблемы (например, сработку) без необходимости дополнительных инструментов.
- Экономия энергии и ресурсов. Часто модульные устройства более энергоэффективны и позволяют снизить потери энергии, что в долгосрочной перспективе может привести к снижению эксплуатационных расходов.
- Экологичность и безопасность Современные модульные автоматические выключатели разрабатываются с учетом экологических стандартов и имеют безопасные материалы, что делает их более устойчивыми к воздействию окружающей среды.

В свою очередь, целесообразно использовать аппараты в литом корпусе на низкие номинальные токи, где возможны высокие токи КЗ, н-р вблизи трансформатора, также, где есть требование на подключение кабельного наконечника, свободное пространство в шкафу.

В заключение: модульные автоматические выключатели представляют собой более современное и гибкое решение по сравнению с выключателями в

литом корпусе. Их преимущества делают их идеальным выбором для различных применений, обеспечивая надежность и безопасность электрических систем.

### Литература

1. Шнейдер Электрик [Электронный ресурс] / Руководство по устройству электроустановок «Шнейдер Электрик». – Режим доступа: <https://www.se.com/kz/ru/download/document/MKP-CAT-ELGUIDE-19/> – Дата доступа: 15.10.2024.

2. Нова систем [Электронный ресурс] / Автоматические выключатели бренда TENGEN». – Режим доступа: [https://novasystem.by/catalog/avtomaticheskie\\_vyklyuchateli/filter/brand-is-tengen/apply/](https://novasystem.by/catalog/avtomaticheskie_vyklyuchateli/filter/brand-is-tengen/apply/) – Дата доступа: 15.10.2024.

3. Выбор электрооборудования систем электроснабжения промышленных предприятий. Авторы: В.Н. Радкевич, В.Б. Козловская, И.В. Колосова. Минск, 2017

4. ГОСТ IEC 60898-1–2020 Межгосударственный стандарт. Аппаратура малогабаритная электрическая. Автоматические выключатели для защиты от сверхтоков бытового и аналогичного назначения. Часть 1 Автоматические выключатели для переменного тока.

5. ГОСТ IEC 60947-2-2021 Межгосударственный стандарт. Аппаратура распределения и управления низковольтная. Часть 2 Автоматические выключатели.