

# КОМПЛЕКСНЫЕ РЕШЕНИЯ ДЛЯ ЭЛЕКТРОПИТАНИЯ И ОБСЛУЖИВАНИЯ СЕТЕЙ ОПЕРАТИВНОГО ПОСТОЯННОГО ТОКА (СОПТ) ЭЛЕКТРИЧЕСКИХ СТАНЦИЙ И ПОДСТАНЦИЙ

**ПОНОМАРЕНКО И. С.**, к.т.н., доцент, Московский энергетический институт (ТУ) – ООО «НПФ «Энергоконтроль»

**СУМИН А. Г.**, ст.н.с., Московский энергетический институт (ТУ) – ООО «НПФ «Энергоконтроль»

**БУРКОВСКИЙ А. Е.**, н.с., Московский энергетический институт (ТУ) – ООО «НПФ «Энергоконтроль»

Системы оперативного постоянного тока (СОПТ) релейной защиты и автоматики электрических станций и подстанций играют все более значимую роль в надежности функционирования современных электроэнергетических систем. Это связано с широким внедрением современных высокоинтеллектуальных электронных устройств систем релейной защиты и автоматики, сокращением количества обслуживающего персонала на этих объектах и т.д. Широкое применение в последнее время на этих объектах малообслуживаемых аккумуляторных батарей (АБ) нового типа (преимущественно типа Grogе и подобных) позволило значительно продвинуться на пути совершенствования СОПТ. Однако, наряду с большим количеством преимуществ данных батарей, по сравнению с широко применявшимися ранее батареями типа СК, они имеют и ряд недостатков, например, повышенные требования к устройствам их заряда-подзаряда.

Как оказалось, применявшиеся ранее зарядно-подзарядные устройства не обеспечивают правильную эксплуатацию новых батарей, что приводит к значительному сокращению их срока службы по сравнению с заложенным их производителями. В связи с этим, возникла задача разработки и производства нового поколения комплекса устройств, предназначенных для электропитания и обслуживания СОПТ, отвечающего современным требованиям. В том числе:

- обеспечение паспортного срока службы аккумуляторных батарей;
- высокая надежность;

- максимальная простота эксплуатации;
- всестороннее информационно-измерительное обеспечение СОПТ;
- быстрая локализация возможных повреждений и высокая ремонтпригодность;
- приемлемая стоимость.

Данная задача была решена путем создания комплекса устройств под общим названием ИПТ-МЭИ.80 (ИПТ). Все устройства сертифицированы и имеют достаточно большой опыт эксплуатации на различных реальных объектах в энергосистемах.

Основу комплекса составляет зарядно-подзарядный агрегат, пред-

назначенный для поддерживающих подзарядов, а также для ускоренных и уравнивающих зарядов АБ. В первую очередь он ориентирован на работу в электрических станциях и подстанциях, для питания СОПТ. Состоит (в базовой комплектации) из двух отдельных стоек, каждая из которых содержит по 6 автономных силовых блоков, выдающих 12,8 А постоянного тока (возможно 6 блоков по 9 А или 4 блока по 20 А).

Все 12 силовых блоков работают параллельно на одну систему шин постоянного тока независимо друг от друга. При этом имеется возмож-

ность поэтапного увеличения (или уменьшения) количества блоков при необходимости, что позволяет легко менять суммарную мощность ИПТ в зависимости от потребности соответствующего оборудования на объекте. Предусмотрена возможность изменения и задания необходимого уровня выходного напряжения эксплуатационным персоналом самостоятельно в процессе эксплуатации, без привлечения производителя или организации поставщика. Его основные параметры приведены в таблице.

При возникновении короткого замыкания в сети постоянного тока ИПТ на определенное время ( $t \leq 0,5$  с) остается в работе с ограничением величины выпрямленного тока, после чего он автоматически отключается. После исчезновения КЗ он автоматически возвращается в режим нормальной работы.

Кроме того, в предлагаемом агрегате каждый блок может использоваться независимо, в виде выносного мини-зарядного устройства, когда необходимо осуществить подзаряд или другие необходимые действия для отдельно стоящих и удаленных АБ.

Пределы изменения напряжения питания, при которых ИПТ устойчиво функционирует, составляют от  $-30\%$  до  $+20\%$  от  $U_{ном}$ . Это особенно важно, учитывая нестабильность напряжения питающей сети для некоторых существующих подстанций. При этом ИПТ практически не чувствителен к несимметрии питающего напряжения и может продолжать нормально работать даже при полном исчезновении одной фазы этого напряжения.

Предел регулирования выходного напряжения составляет  $\pm 20\%$ , что необходимо для обеспечения правильного формирующего заряда, когда АБ только включается в работу.

При наличии «хвостовых» элементов поставляются одна–две дополнительные стойки сокращенного размера (по 2–3 блока в каждой) для обслуживания этих элементов. Это позволяет гибко конфигурировать систему под любую реально существующую схему подстанции. Эти дополнительные блоки могут быть выполнены на напряжения 24 В, 48 В, 110 В и т.д. Они могут быть использованы при необходимости как отдельные устройства для выполнения специально заданных функций.

### ДОПОЛНИТЕЛЬНЫЙ БЛОК ПРЕОБРАЗОВАТЕЛЯ ПОСТОЯННОГО НАПЯЖЕНИЯ

Так как СОПТ обычно имеют большую протяженность, надежно защитить их от возможных повреждений изоляции, которые могут быть обусловлены проблемами с прокладкой сети при монтаже, агрессивной средой, наличием грызунов и насекомых и т.п., достаточно сложно. Кроме того, имеются проблемы с локализацией мест возникновения повреждения. На это могут уйти дни и даже недели, а это значительно снижает надежность функционирования всей СОПТ.

Одни из перспективных и кардинальных способов решения данной проблемы – разделение всей СОПТ на несколько гальванически развязанных между собой участков (фрагментов сети). Уже в настоящее время для некоторых участков СОПТ, которые наиболее подвержены повреждениям изоляции (например, питание цепей оперативной блокировки), устанавливаются автономные независимые источники напряжения постоянного тока. Это позволяет за счет «отсечения» отказов этих наиболее часто повреждающихся участков значительно повысить надежность других участников СОПТ, от которых питается наиболее важная для жизнеобеспечения всей системы управления часть оборудования. Недостаток такого решения – их высокая стоимость, т.к. такие источники питания являются достаточно технически сложными и доро-

гостоящими устройствами. Кроме того, при пропадании питания собственных нужд подстанции, пропадает питание и этих участков СОПТ.

Для решения данной проблемы был разработан специализированный преобразователь постоянного напряжения (ГПН), обеспечивающий гальваническую развязку между отдельными участками СОПТ. Места его установки в СОПТ определяются количеством гальванически развязанных участков и не зависят от места расположения основного источника постоянного тока.

Преобразователь выполнен в едином металлическом корпусе с размерами  $600 \times 800 \times 1400$  мм. Содержит:

- два блока преобразования постоянного напряжения;
- прибор общего контроля уровня изоляции питаемого участка СОПТ (аналог БМ-2);
- прибор для определения (локализации) участка сети с поврежденной изоляцией;
- защитная и коммутационная аппаратура питания самого преобразователя и отходящих к потребителям линий (стандартно 8 линий с возможностью расширения до 30 линий).

Каждый блок-преобразователь гальванически развязывает «вход-выход» и обеспечивает затухание высокочастотной помехи на уровне 25 дБ. Напряжения входа и выхода  $=220$  В /  $=220$  В, или  $=100$  В /  $=100$  В. Величина постоянного тока 10 А или 15 А. Оба блока работают

Таблица. Основные параметры ИПТ-МЭИ.80

№ п/п	Параметр	Значение
1	Номинальное входное напряжение	380 В ( $-30\% \div +20\%$ )
2	Номинальная частота входного напряжения	50 Гц ( $\pm 10\%$ )
3	Номинальный выходной ток одного блока	12,8 А
4	Номинальный выходной ток одной стойки (6 блоков)	80 А
5	Возможность работать параллельно для всех блоков	Да
6	Номинальное выходное напряжение (диапазон регулирования)	220 В ( $\pm 20\%$ )
7	Точность поддержания выходного напряжения	0,1 %
8	Кэффициент пульсаций выходного напряжения	Не более 0,1 %
9	Кэффициент полезного действия	98 %
10	Отдельный канал для заряда «хвостовых» элементов	Да
11	Наличие развитой системы мониторинга всех режимов, в т.ч. <ul style="list-style-type: none"> <li>■ местная;</li> <li>■ интегрированная в АСУ ТП;</li> <li>■ центральная (резервная).</li> </ul>	Да
12	Контроль изоляции сети оперативного постоянного тока и автоматизированный поиск мест ее повреждения	Да
13	Рабочий температурный диапазон	$-25$ °С $\div$ $+40$ °С
14	Габаритные размеры (одной стойки)	$600 \times 1400 \times 800$ мм
15	Масса (одной стойки)	250 кг

параллельно и независимо, обеспечивая «горячее» взаимное резервирование.

Рассмотрим более подробно, каким образом обеспечиваются указанные ранее требования к современной системе питания СОПТ.

### ОБЕСПЕЧЕНИЕ ПАСПОРТНОГО СРОКА СЛУЖБЫ АККУМУЛЯТОРНЫХ БАТАРЕЙ

Один из важнейших параметров, влияющих на срок службы современных АБ – величина переменной составляющей тока заряда, которая вызывает нагрев активной массы и ее преждевременное разрушение. В соответствии с требованиями ЕвроБАТа, она не должна превышать уровня 5 А на каждые 100 А·ч АБ.

В разработанном ИПТ величина коэффициента пульсаций выходного напряжения не превышает значения 0,1 %, что обеспечивает минимальную величину амплитуды пульсирующего тока. Для применяемых реально АБ она существенно меньше обозначенных требований. А чем меньше коэффициент пульсаций выпрямленного напряжения, тем меньше величина переменной составляющей тока через АБ, тем меньше внутренний нагрев и, соответственно, тем больше срок службы АБ.

На самом деле этот коэффициент еще меньше, но определить точно его значение затруднительно вследствие того, что предел точности измерительной аппаратуры при таких величинах сопоставим с уровнем шумов и не обеспечивает возможность проведения более точных измерений.

Частота пульсаций выходного напряжения в данном устройстве составляет около 600 кГц. При таких частотах, вследствие эффекта вытеснения, переменная составляющая тока в большей части проходит по поверхности проводника, т.е. не вызывая нагрева внутри него. Поэтому, с практической точки зрения, можно считать, что данное устройство имеет величину коэффициента пульсации выпрямленного напряжения равную нулю  $K_p \rightarrow 0$ .

Широко применяемые в настоящее время устройства заряда имеют, как правило, величину коэффициента пульсаций выпрямленного напряжения в пределах 1,0–5,0 %. Этого явно недостаточно. Кроме того, даже при незначительном отклонении напряжения

питания от номинального или при возникновении его несимметрии (а в реальных подстанциях это обычное явление),  $K_p$  значительно увеличивается. Для разработанного ИПТ такая проблема отсутствует (см. таблицу).

Другой важный фактор, влияющий на срок службы АБ – поддержание точного уровня выпрямленного напряжения заряда. При его отклонении в ту или иную сторону срок службы АБ снижается. Разработанный ИПТ поддерживает его с точностью 0,1 %, что обеспечивает практически идеальные условия функционирования АБ.

### ВЫСОКАЯ НАДЕЖНОСТЬ

В существующих аналогах зарядных устройств обычно имеются две стойки, каждая из которых выполнена в виде моноблока (моноблочная структура). При возникновении неисправности в одной из них вся стойка выводится из работы. Для ее восстановления необходимо вызывать производителя, либо отправлять всю стойку в ремонт. Если в это время происходит повреждение и другой стойки или она оказывается неисправной и не может «подхватить» функцию поврежденной, вся система оперативного постоянного тока оказывается неработоспособной.

Более надежной является блочная структура, когда вся система разбита на несколько параллельно работающих блоков. При отказе одного из них (или нескольких) вся система остается работоспособной. По их исполнению они подразделяются на две разновидности:

- блочно-иерархическая (с сосредоточенным интеллектом);
- блочно-роевая (с распределенным интеллектом).

В блочно-иерархической структуре один из блоков «ведущий», в нем и сосредоточен весь «интеллект», а остальные блоки – «ведомые», работают под его управлением. Эта структура значительно надежнее моноблочной, но и она содержит ряд недостатков.

Во-первых, при повреждении «ведущего» блока вся система оказывается либо неработоспособной, либо функции этого поврежденного блока должен взять на себя другой блок, который до этого был «ведомым». Но это многократно усложняет алгоритм управления каждым блоком и всей системой в целом. Требования к сложности про-

цессора каждого блока и используемым схемотехническим решениям резко увеличиваются.

Во-вторых, требование к обязательной информационной связи между всеми блоками («ведущий» – «ведомые») на физическом уровне приводит к тому, что появляются электрические связи, выходящие за пределы каждого блока. А так как агрегат работает в «агрессивной» электромагнитной среде, с сильными электромагнитными помехами и возмущениями, мы неминуемо «впускаем» эти наводки и возмущения внутрь каждого блока. При этом не всегда спасает положение даже использование оптической развязки на вводе в каждый блок. Выходом из положения является использование оптоволоконных линий связи. Но это приводит к существенному усложнению всей системы, со всеми вытекающими из этого последствиями.

Наиболее надежной является блочная структура, где каждый блок работает независимо от остальных, отсутствуют физические информационные связи. Роевые – по аналогии с термином «рой» (рой пчел, муравейник и т.д.). В этом случае отсутствует единый управляющий и координирующий центр. Интеллект как бы распределен между всеми блоками поровну. Координация их взаимодействий заложена в самом алгоритме управления каждым блоком, т.е. не на физическом, а на логическом, алгоритмическом уровне. При этом появляется возможность использовать более простые процессоры с жесткой логикой, которые гарантируют от сбоев и «зависаний» в их работе. А так как физические информационные связи отсутствуют, отказ всей системы в целом из-за электромагнитных наводок и возмущений практически равняется нулю. Может отказать один блок, несколько, но вся система в целом будет продолжать устойчиво работать дальше. Пятилетний опыт практической эксплуатации нескольких десятков таких ИПТ наглядно это продемонстрировал. За все это время не было зарегистрировано ни одного отказа в работе всей системы.

### МАКСИМАЛЬНАЯ ПРОСТОТА ЭКСПЛУАТАЦИИ

При отказе любого блока эксплуатационный персонал просто вынимает неисправный блок (при этом вся стойка не отключается от СОПТ и продолжает

функционировать в рабочем режиме) и заменяет его на резервный, работоспособный, а неисправный передается изготовителю для последующего ремонта на заводе.

### ВСЕСТОРОННЕЕ ИНФОРМАЦИОННО-ИЗМЕРИТЕЛЬНОЕ ОБЕСПЕЧЕНИЕ СОПТ

ИПТ имеет развитую систему контроля режимов работы. Блок мониторинга БМ-1 (рис. 1) контролирует и фиксирует в архиве все параметры и режимы основных элементов сети постоянного тока (состояние АБ, ее режимы заряда-разряда, регистрограммы толчковых токов и т.д.), параметры питающей сети, а также контроль состояния изоляции сети постоянного тока.

Текущая отображаемая информация (текущие значения) включает в себя следующие параметры:

- токовая нагрузка ИПТ по сети питания;
- токовая нагрузка сети постоянного тока;
- токовая нагрузка аккумуляторной батареи (АБ);
- постоянное напряжение сети постоянного тока;
- коэффициент пульсации напряжения постоянного тока;
- контроль изоляции сети постоянного тока;
- температура окружающего воздуха в аккумуляторной;
- напряжения трех фаз питающей сети;
- коэффициент несинусоидальности напряжения питающей сети;
- коэффициенты несимметрии напряжения питающей сети по обратной и нулевой последовательностям.

Архивная информация включает в себя следующие характеристики:

- регистрограммы толчковых токов в цепи АБ – 100 последних регистрограмм;
- то же для толчковых напряжений сети постоянного тока – 100 последних регистрограмм;
- регистрограммы и параметры 100 последних провалов напряжения питающей сети (в каждой фазе отдельно –  $3 \cdot 100 = 300$ ), с указанием времени возникновения провала (год, месяц, число, час, мин., сек.), глубины провала (% от номинального напряжения), и его длительности;
- суточные, осредненные за каждые 0,5 часа, средние, максимальные и ми-

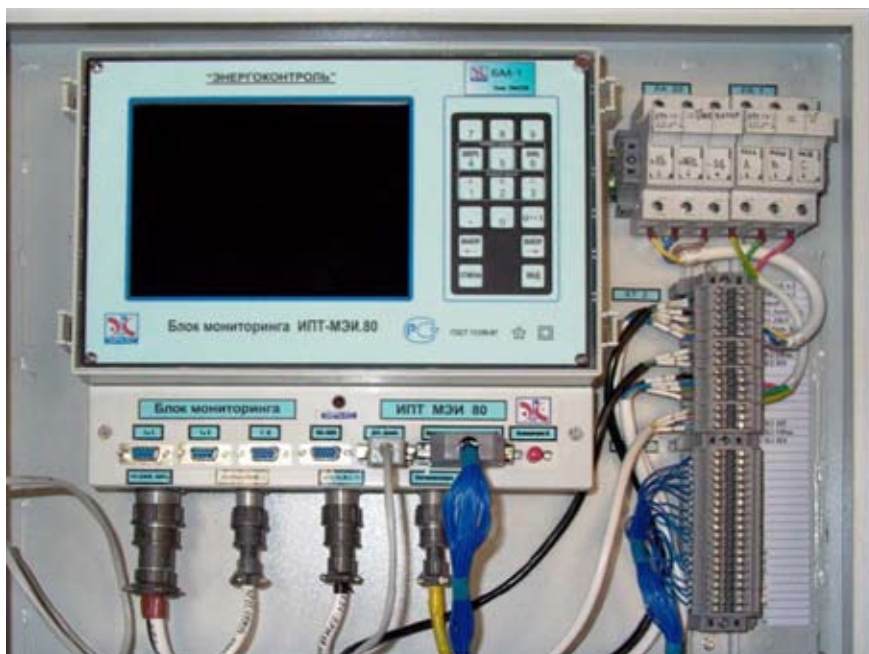


Рис. 1. Блок мониторинга БМ-1

нимальные значения графиков изменения напряжения в сети постоянного тока – для последних 45 суток;

■ то же для токовой нагрузки ИПТ, сети ПТ и аккумуляторной батареи (АБ) а также для других регистрируемых параметров;

■ таблица срабатываний сигналов о неисправности ИПТ и срабатывания сигналов на включение выключателей с указанием точного времени прохождения каждого сигнала (год, месяц, число, час, мин., сек.).

Следует отметить, что БМ-1 может контролировать не только суммарное выходное постоянное напряжение, но и две его составляющих относительно средней точки АБ. Их постоянное сопоставление дает возможность контролировать исправность отдельных элементов АБ и сигнализировать об отклонении их параметров от заданных при нарушении баланса этих двух составляющих напряжения.

Блок мониторинга выполнен в едином корпусе с габаритными размерами  $320 \times 260 \times 130$  мм, массой – 4,5 кг., оснащен клавиатурой и ЖК дисплеем. Работает автономно от ИПТ. Никаких электрических и информационных связей между БМ-1 и ИПТ нет. Это сделано для максимального повышения надежности работы ИПТ.

Имеет два идентичных синхронных выхода типа «сухой контакт», один из

которых, например, «Сигнал 1», может быть использован в системе автоматического контроля и управления, а другой, «Сигнал 2», для подключения внешнего устройства (зуммер, световой индикатор), сигнализирующего о выходе контролируемых параметров (набор параметров настраивается пользователем) за допустимые пределы.

Доступ к архивной информации, клавиатуре БМ-1 и его настройка осуществляются только с ПЭВМ ДП. Разработано специализированное сервисное программное обеспечение для удобного просмотра текущих и архивных данных, а также для его включения в SCADA верхнего уровня через RS-485 порт или GSM модем.

БМ-1 осуществляет непрерывный контроль уровня изоляции СОПТ и при ее снижении ниже допустимого предела выдает сигнал о возникновении аварийной ситуации.

Для подстанций 35 кВ, у которых СОПТ, как правило, работает на постоянном напряжении 24 В или 48 В, разработан специализированный вариант блока мониторинга БМ-2. Отличается от базового БМ-1 отсутствием некоторых его функциональных возможностей (например, отсутствует архив, контроль срабатывания выключателей и т.д.), не являющихся критичными для такого класса подстанций. БМ-2 существенно дешевле, чем БМ-1.





Рис. 2. Прибор для поиска мест повреждения изоляции в сети оперативного постоянного тока «ЭРИС-ПКИ.01»

При необходимости определения отходящего фидера, на котором произошло снижение изоляции ниже допустимого уровня, используется специализированный БМ-3. Число контролируемых фидеров может достигать 128 штук.

### БЫСТРАЯ ЛОКАЛИЗАЦИЯ ВОЗМОЖНЫХ ПОВРЕЖДЕНИЙ И ВЫСОКАЯ РЕМОНТОПРИГОДНОСТЬ

Прибор для поиска мест повреждения изоляции в сети оперативного постоянного тока «ЭРИС-ПКИ.01» (рис. 2) предназначен для локализации участка повреждения изоляции кабеля в СОПТ систем релейной защиты и автоматики электрических станций и подстанций. Прибор позволяет локализовать участок СОПТ, в котором сопротивление изоляции снизилось до величины, меньшей 250 кОм, а также участок сети, где произошло замыкание проводника на землю.

Конструктивно прибор выполнен в виде двух блоков, один из которых представляет собой генератор опорного напряжения (ГЕНЕРАТОР), который подключается к заземляющей клемме и одной из шин СОПТ. Второй является индикатором проводимости (ИНДИКАТОР) и служит для непосредственной локализации участка повреждения кабеля СОПТ.

**ГЕНЕРАТОР** опорного напряжения имеет следующие характеристики:

- частота выходного напряжения ( $16 \pm 0,5$ ) Гц;

- выходное напряжение  $7 \pm 23$  В (эфф.);
- выходное сопротивление 240 Ом;
- питание от сети переменного тока 220 В, потребляемая мощность не более 8 Вт;

- габариты (без сетевого кабеля и выходных клемм с подключёнными к ним кабелями): 200 (Д) × 120 (Ш) × 80 (В) см.

**ИНДИКАТОР** имеет следующие характеристики:

- диапазон регистрируемых токов  $10 \text{ мкА} \div 20 \text{ мА}$ , что при напряжении опорного сигнала 20 В позволяет локализовать участок СПТ с сопротивлением изоляции до 2 МОм;

- время непрерывной работы от полностью заряженного встроенного аккумулятора до следующей подзарядки – не менее 8 часов;

- габариты корпуса блока индикации (без учета выступающих разъемов, кабелей и отдельных элементов) составляют 170 (Д) × 120 (Ш) × 55 (В) см.

Снабжен двумя щупами для измерения напряжения вблизи проверяемого участка и токовыми клещами для регистрации протекающего по проверяемому участку кабеля тока от генератора опорного напряжения. В результате измерения двух данных параметров прибор вычисляет и отображает на жидкокристаллическом дисплее активную и реактивную составляющие проводимости цепи в точке замера (или величину протекающего тока от генератора опорного

напряжения в случае короткого замыкания). Выбор режима отображения проводимости цепи или величины протекающего по ней тока осуществляется автоматически в соответствии с превышением или понижением величины напряжения относительно порогового значения.

Также может отображать величину напряжения в контролируемой точке и степень разряженности встроенного аккумулятора, обеспечивающего автономную работу прибора.

На основе анализа результатов измерений в соседних точках проверяемого участка кабеля, можно судить о наличии или отсутствии повреждений изоляции на данном участке СОПТ.

Прибор устойчиво и правильно работает в СОПТ с емкостью полюсов относительно земли от 1,5 до 80 мкФ. Этот диапазон покрывает практически все реально существующие СОПТ высоковольтных подстанций.

Безопасно работает (не вызывая ложных срабатываний) со всеми широко распространенными микропроцессорными терминалами релейной защиты.

### СТОИМОСТЬ

Стоимость основных блоков разработанного комплекса, как правило, не превышает стоимости аналогичных устройств, выпускаемых в настоящее время. Однако, учитывая единое комплексное решение всей задачи, а также их более высокие функциональные возможности, такое решение представляется вполне конкурентоспособным в современных условиях.

### ВЫВОДЫ

Разработан весь основной комплекс технических средств, необходимых для обеспечения электропитания АБ и СОПТ, а также удобства и надежности их эксплуатации. Данный комплекс позволяет решить следующие основные задачи:

- обеспечение безаварийного функционирования АБ в течение всего паспортного срока их службы (20–25 лет) и предотвращение их преждевременного выхода из строя;
- максимально возможная надежность питания АБ и СОПТ;
- минимизация времени и средств на весь процесс эксплуатации АБ и СОПТ.

**Реклама (полоса)**  
**210x290 мм (+ 5 мм с каждой стороны для обреза)**