

# Электронные системы фиксации сейсмической активности, сейсмометры, геофоны и датчики в системах контроля и безопасности

Антти Суомалайнен

Электронные сейсмические устройства и оборудование для геофизических исследований, сейсморазведки, автоматизированного мониторинга несущих конструктивных элементов зданий и сооружений, нефтегазовых трубопроводов, искусственных хранилищ запасов, необходимых для жизнедеятельности человека, подземных баз критической инфраструктуры для жизнеобеспечения в случае техногенных, природных и иных катаклизмов на основе современных исследований сейсмических явлений особенно востребованы разработчиками РЭА. В статье рассматриваются методы усиления безопасности объектов критической инфраструктуры с помощью электронных устройств с сейсмодатчиками и перспективы их совершенствования с помощью отечественной инженерной мысли.

## Актуальная необходимость контроля

Сейсмический мониторинг способен за несколько километров определять движение и классифицировать объект – по массе, динамике движения (последовательности), направлению, скорости и даже форм-фактору. Согласно пресс-релизу от апреля 2023 года, цифровое электронное устройство сейсмического мониторинга разработано специалистами концерна «Созвездие» («Росэлектроника»). Датчики засекают движение, на основе особенностей сцепления объекта с почвой классифицируют его как технику или человека, передают данные оператору, принимающему решение о реагировании. Уникальность устройства для сейсмического мониторинга достигается за счёт работы коэффициента выравнивания – особого алгоритма, измеряющего распределение шумовой энергии полос радиочастот. Это позволяет использовать его в любых, даже самых агрессивных погодных условиях, в том числе при повышенной влажности, в болотистой местности или под водой. Благодаря небольшому размеру устройства и отсутствию ретрансляторов изделие легко маскируется на местности. Разработка была отмечена золотой медалью Московского международного салона изобретений и инновационных тех-

нологий «Архимед». Есть перспективы применения систем безопасности на основе датчиков сейсмической активности для охраны обширных территорий промышленных объектов и раннего предупреждения о несанкционированном проникновении. Сейсмический мониторинг может эффективно дополнять или даже заменять видеонаблюдение на дальних расстояниях. Радиус действия (связи) некоторых устройств, способных контролировать от 50 до 70 датчиков, пока заявлен в пределах 10 км, при этом зона результативной и корректной работы составляет до 400 метров [3].

Контроль за движением участков поверхности земли, деформацией при землетрясениях, взрывах – результатах естественных или техногенных факторов – в 2023 году значительно усилен в связи с рисками террористической опасности вокруг нефте- и газопроводов федерального и международного значения, а также на территории добывающих и транспортирующих районов нефтегазовой промышленности. Проблематика обеспечения сейсмобезопасности жителей и объектов экономики России обоснована новыми вызовами времени, угрозами безопасности со стороны внешних сил и особенно тем, что значительная часть территории России в южных и восточных рай-

онах находится в зоне тектонических движений. Применительно к опасным природным и техногенным процессам понятия «опасность» и «риск» относятся соответственно к возможным воздействиям на объект и его реакции на воздействия («уязвимости») [9]. Вероятность возникновения колебаний грунта определённой интенсивности (сотрясения, поверхностные разрывы, взрывы, оползни, обвалы, цунами, иные сильные повреждения механическим и даже кумулятивным воздействием и др.) является элементом оценки сейсмического риска, фактором, влияющим на нормальную жизнедеятельность. Это то, что касается статичных неподвижных объектов. Представим себе новые методы защиты подземных хранилищ на примере резервуаров питьевой воды, расположенных в черте мегаполисов и в городах-спутниках. Хранилища критичных запасов нужны для повышения выживаемости граждан и органов управления в критичной ситуации современных угроз. Основные попытки вывести из строя критическую инфраструктуру будут направлены именно на такие объекты длительного хранения запасов обеспечения жизнедеятельности. К этому надо готовиться. На рис. 1 представлен вид на неприметный подземный резервуар запасов питьевой воды в Ленинградской области (для примера).

По той же аналогии читатель понимает, что мощные (объёмные) резервуары нефтепродуктов, ГСМ, продуктов питания и воды – как основной потребности для жизни человека – расположены в разных местах и в разных объёмах, а самые важные из них должны быть обеспечены круглосуточной охраной. В данном случае обеспечение сейсмоконтроля удалённых объектов, там, где нельзя или невозможно в силу ряда причин обеспечить их круглосуточную физическую охрану или нет возможности контро-



Рис. 1. Вид подземного резервуара запасов питьевой воды в Ленинградской области



Рис. 2. Датчик детонации для автомобиля

для видеонаблюдения, позволит повысить уровень их защиты даже в регионах с нетипичной сейсмоактивностью. Особенно актуальной становится безопасность трубопроводов – наземных и подземных. Мониторинг трубопроводных систем, по которым осуществляется транспортировка продуктов добычи и переработки нефтегазовой промышленности, может осуществляться на основе измерения напряжённо-деформированного состояния (НДС). Сейсмодатчики, зафиксировав внешнее воздействие и передав в режиме реального времени аварийный сигнал на пульт контроля, позволят более точно относительно промежуточных пунктов контроля трубопроводов по уровню давления определить место воздействия и, таким образом, способствуют сокращению времени на локализацию аварии. На взрывные воздействия электронные датчики сейсмической активности реагируют так же, как при деформации почв и пород природного (естественного) свойства. Разведка с применением вероятностного анализа сейсмической опасности (ВАСО) – метод, сочетающий в себе альтернативные модели определения повторяемости сейсмических явлений, зависимости затухания сейсмического эффекта с расстоянием, а также явные и случайные неопределённости в вероятностной модели сейсмической опасности, также может быть полезен. Диагностика и мониторинг состояния строительных конструкций до и после взрывных воздействий – ещё одна сфера применения сейсмоконтроля с помощью электронных датчиков.

Мониторинг сейсмической и вулканической активности с решением задачи предупреждения в реальном времени о катаклизмах с помощью соответствующего ПО позволяет

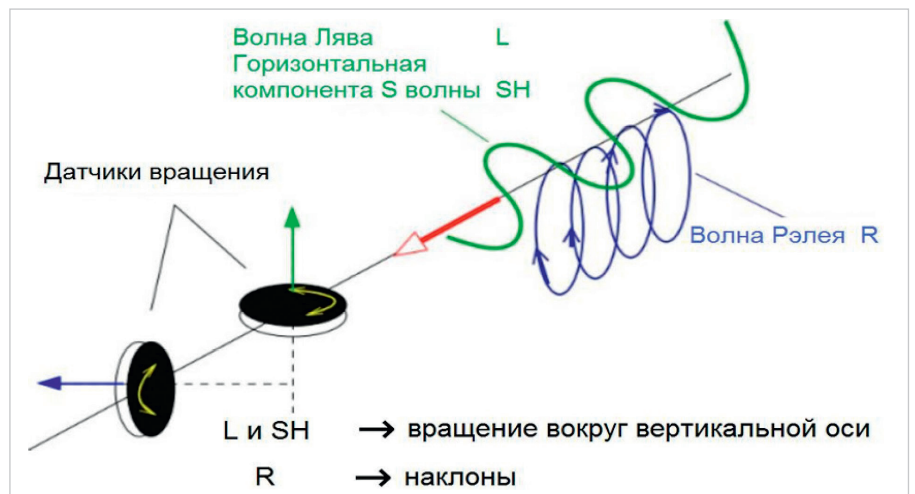


Рис. 3. Принцип работы датчика сейсмической активности, реализованного по принципу фиксации вращения и угла отклонения

определять эпицентр, рассчитывать силу и опасность – амплитуду виброускорения, виброскорости и виброперемещения. На территории России действует Федеральная специализированная система сейсмологических наблюдений и прогноза землетрясений (ФССН) с функциями сбора (регистрации), хранения, передачи и обработки сейсмической и геофизической информации. В соответствии с директивой и требованиями ЕС 2011/65/EU (ROHS, ROHS II) об ограничении использования опасных веществ в электронном оборудовании сейсмодатчики и диагностическое оборудование изготавливаются в России по бессвинцовой технологии. Для условно точного расчёта эпицентра и определения магнитуды необходимо иметь минимум две сеймостанции (лучше 5–8), расположенные на расстоянии до 10 км друг от друга. Для более обширного мониторинга подключают несколько локальных сейсмометрических станций, объединяя их в сеть, и осуществляют мониторинг сейсмических событий в регионе.

### Современные сейсмографы и сейсмодатчики

Перспективные разработки актуальны по следующим направлениям: совершенствование линейно-спектрального метода, применимого для интегрального и дифференцированного сейсмического движения (и сопутствующей проблематики) и моделирование пространственно-временных волновых полей движения грунта в виде ротаций от волн Рэлея и Лява, соответствующих заданным акселерограммам и грунтовым условиям конкретной местности [7]. Условно простейший датчик детонации элементов ДВС (двигателя) для автомобиля ВАЗ-21214 (и др.) представлен на рис. 2.

Принцип работы датчика сейсмической активности, реализованного по принципу фиксации вращения и угла отклонения, представлен на рис. 3.

Регистраторы сейсмических сигналов применяются автономно или в составе автоматизированных систем мониторинга для проведения сейсмических и сейсмологических исследований методами преломлённых,



Рис. 4. Внешний вид широкополосного трёхкомпонентного автономного сейсмографа ZET 7152-N версии 3



Рис. 5. Сейсмометр модели 7156 с диапазоном рабочей частоты 0,2...40 Гц



Рис. 6. Дополнительный модуль к сейсмометру 7156



Рис. 7. Внешний вид дополнительного модуля 7177

отражённых волн и широкополосного сейсмозондирования (МОВ, МПВ, ГСЗ) от искусственных и от естественных источников, методами обменных волн землетрясений (МОВЗ), а также при инженерно-геологических изысканиях. На рис. 4 представлен внешний вид широкополосного трёхкомпонентного автономного сейсмографа ZET 7152-N версии 3.

В устройстве не предусмотрена программная и аппаратная блокировка портов TCP 7176, 7177, UDP 7176 (MULTICAST). Представленный на рис. 5 цифровой короткопериодный сейсмометр модели 7156 с диапазоном рабочей частоты 0,2...40 Гц позиционируется как цифровой трёхосевой геофон. Частотный диапазон 0,3...100 Гц, интерфейс CAN 2.0.

Широкополосный трёхкомпонентный автономный сейсмограф ZET 7152-N версии 3 с условно большим динамическим диапазоном предназначен для мониторинга движений грунта эквивалентной шкале Рихтера в диапазоне 1...10, а также используется при контроле локальных сетей, временных

установок, мониторинга строительных конструкций и инженерной сейсмологии. Устройство оснащено трёхкомпонентным цифровым короткопериодным сейсмодатчиком ZET 7156 в едином герметичном корпусе. В базовый комплект ZET 7152-N входит GPS-антенна, ЗУ с номинальным напряжением 19 В, соединительные кабели с разъёмами формата USB 3.0 и Ethernet, ПО, выполненное отечественными разработчиками.

На рис. 6 представлен дополнительный модуль-сейсмограф к датчику 7156.

Запись оперативной информации осуществляется дополнительно на внутренний сменный носитель SD-карту объёмом 64 Гбайт. Благодаря встроенному и дополнительному оборудованию сейсмографы могут работать и по локальной сети Ethernet, и по сети GSM с передачей данных на интернет-сервер по сети 4G в реальном времени, за счёт дополнительного внешнего модуля ZET 7177 (рис. 7).

Преобразователь интерфейса CAN 2.0 модели 7177 обеспечивает переда-

чу данных по основному и резервному каналам на ПК по сети GSM (2G-4G). Синхронизация нескольких сейсмографов в составе измерительной сети осуществляется приоритетно и автоматически сразу по определению спутников GPS/ГЛОНАСС. Так, с помощью модуля синхронизации 7175 с GPS-антенной обеспечивается синхронизация сигналов времени, а взаимная синхронизация сейсмографов в локальной сети осуществляется по протоколу PTP (IEEE1588), настраиваемому в ручном режиме через ПК оператора с помощью «мастера синхронизации» в сети.

### Принцип действия и разработки

Сейсмодатчики могут фиксировать не только детонацию, но и информацию о вращательных движениях. Так, совместный контроль поступательной и вращательной составляющей помогает в интерпретации сейсмического сигнала:

- может быть достигнуто улучшение отношения сигнал/шум для сейсмических наблюдений;

- повышается качество сейсмических записей линейных перемещений за счёт коррекции чувствительности приборов к вращательным движениям;
- возможна уверенная идентификация фаз землетрясения и определение направления на источник, отчето существенно повышается чёткость вступления поперечных волн.

При исследовании свойств очага и строения среды совместное рассмотрение поступательной и роторной составляющих помогает определять положение плоскости разрыва в очаге и повышает возможности томографии. Изучение распределения и величины вращательных движений в сейсмоопасных зонах необходимо для оценки ситуации при внешних (в том числе взрывных) воздействиях, при землетрясениях и при изучении влияния свойств грунта непосредственно под источником сигнала, а также нелинейных эффектов в сейсмоопасных зонах.

### Принцип работы

На графике (рис. 8) приведены обобщённые характеристики собственных шумов измерительных частей сейсмографа ZET 7152-N, сейсмического регистратора ZET 048-C со встроенным сейсмоприёмником BC 1313 и сейсмического регистратора ZET 048-C со встроенным сейсмометром CME 4211 в сравнении со стандартными усреднёнными характеристиками естественных микросейсм (по Петерсону).

Как видно из рис. 6, на низких частотах уровень шумов ZET 7152 значительно превышает по мощности минимальный природный уровень. На средних и высоких частотах уровень шумов примерно равен среднему природному уровню.

Минимум природных микросейсм наблюдается только в некоторых районах Земли и в исключительных случаях (при отсутствии естественных и техногенных помех). Поэтому сейсмограф ZET 7152 по уровню собственных шумов и динамическому диапазону пригоден для регистрации даже слабых и удалённых землетрясений, микросейсм малого и среднего уровня, а также вибрации производственного и промышленного уровней. Всё это делает его востребованным и незаменимым в электронных устройствах-контроллерах сейсмоактивности и анализаторах механических и взрывных воздействий на наземных и подземных

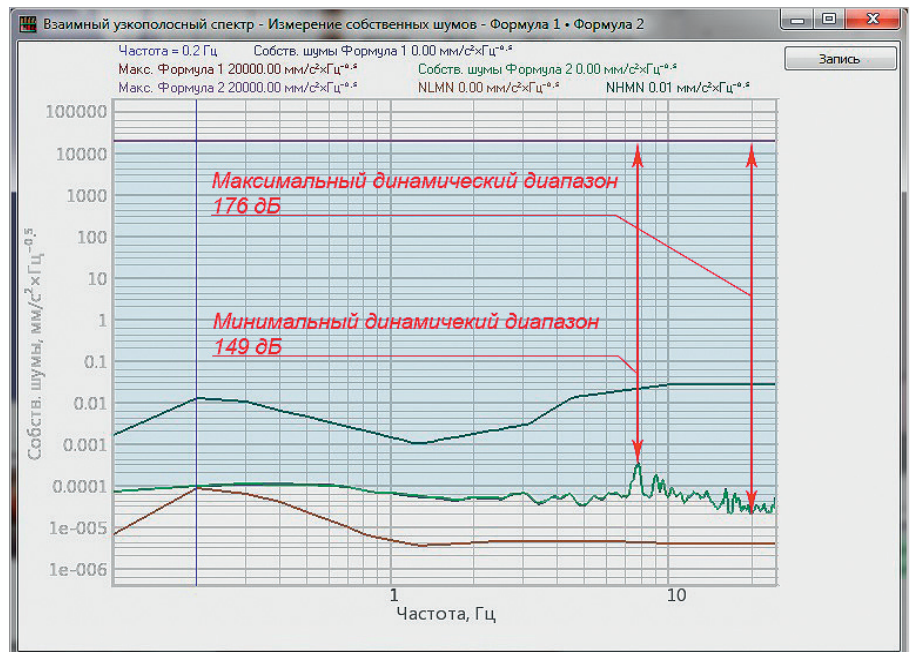


Рис. 8. Характеристики собственных шумов сейсмографов и регистраторов моделей ZET 7152-N, ZET 048-C со встроенным сейсмоприёмником BC 1313 и со встроенным сейсмометром CME 4211

объектах. Сейсмографы устанавливаются на жёсткую поверхность и крепятся при помощи пластин, идущих в комплекте. При креплении на горизонтальную плоскость требуется регулировка – поворот устройства по азимуту (в пределах 360°) и углу места (в пределах ±3°). Комплект эксплуатационной документации и визуализация работы сейсмографа в режиме реального времени доступны на портале сейсмологических наблюдений в [11].

Международная федерация сетей цифровых сейсмографов (FDSN) объединяет членов разного формата и форм собственности в профессиональные группы (в разных странах), обслуживание сейсмографов отлажено как в пределах конкретных географических границ, так и по всему миру. Это способствует продолжающимся исследованиям глобальной сейсмической активности Земли, в частности, в местах, где требуется обеспечить повышенную безопасность ввиду нахождения там критической инфраструктуры или её элементов: тоннелей, мостов, путепроводов, высотных зданий, аэродромов, атомных станций, шахт базирования военной техники, газо- и нефтепроводов. Сигналы с локальных сейсмологических станций транслируются на монитор оператора в режиме реального времени. Для просмотра сигналов доступны сейсмостанции, расположенные в разных точках страны: в арктическом поле, Аркти, Кисловод-

ске, Ловозере, Обнинске, Билибино, Магадане, Петропавловске-Камчатском, Тикси, Якутске, Южно-Сахалинске и др. Данные обновляются с периодичностью 1 раз в 4 секунды [10]. Для прочностного расчёта на пространственные нагрузки по интегральной и дифференцированной моделям воздействия необходимо совершенствовать методы расчётов. Линейно-спектральный метод (ЛСМ) обобщён на случай волнового сейсмического движения как для интегральной дилатационно-ротационной, так и для дифференцированной модели движения грунта [7]. Разработан метод моделирования пространственно-временного поля поверхностных волн Лява и Рэлея, включая ротационные компоненты, по акселерограмме, заданной в точке упругого грунтового основания. Этой проблемой в России занимаются многие учёные, достигшие прорывных успехов в совершенствовании защиты конструкций мостов, в числе которых к.т.н. А.А. Белый из ПГУПС Императора Александра I, описавший анализ технического состояния эксплуатируемых железобетонных мостовых сооружений [1].

Системы сейсмологического мониторинга на базе сейсмографов ZET 048-C и ZET 7152-N точно анализируют сигналы локальных сейсмометрических станций, что позволяет рассчитать эпицентр и магнитуду подземных толчков, а ПО позволяет отображать и использо-

Таблица 1. Технические характеристики сейсмографов отечественных разработчиков моделей ZET 7152-N и ZET 7156

Параметр	Значение
Тип сейсмоприёмника	ZET 7152-N ZET 7156
Количество осей	3 для ZET 7152-N 3 для ZET 7156
Частотный диапазон	0,2...400 Гц
Максимальный регистрируемый уровень сигнала	± 8 g (ZET 7152-N) до 5 мм/с (ZET 7156)
Уровень шума	0,2 mg (ZET 7152-N) 0,0001 мм/с (ZET 7156)
Количество измерительных каналов	6
Частота дискретизации по каналам	50, 100, 200, 2500 Гц (ZET 7152-N) 50, 100, 200, 500, 1000 Гц (ZET 7156)
Динамический диапазон	80 дБ (ZET 7152-N) 106 дБ (ZET 7156)
Скорость обмена по шине Ethernet	100 Мбит/с
Встроенная система электрического возбуждения чувствительных элементов с помощью актюатора	Для всех измерительных каналов согласно ISO 16063-32
Источники синхронизация регистрируемых сигналов	GPS/ГЛОНАСС (возможность переключения на Galileo или BeiDou)
Синхронизация устройств внутри локальной сети	PTP (IEEE1588)
Точность синхронизации по GPS	3 мкс
Точность синхронизации по PTP	10 мкс
Время выхода приёмника GPS в режим	2...15 мин
Время работы в автономном режиме, не менее	12 ч
Объем встроенной энергонезависимой памяти	До 64 Гбайт
Время записи SD-карту объемом 64 Гбайт по 4 каналам при частоте дискретизации 500 Гц	Более 1000 ч
Скорость чтения с SD-карты (по USB)	> 10 Мбайт/с
Напряжение питания: во время работы во время зарядки	12...27 В 16...27 В
Потребляемая мощность	4 Вт
Формат записанных данных	MiniSEED; ANA/ANP доступно конвертирование в форматы CSV и SEG-Y через ПО
Степень защиты от попадания пыли и влаги	IP68
Заявленный срок службы	10 лет
Масса, не более	5 кг
Габаритные размеры, не более	260×160 мм
Варианты исполнения	Стандартное исполнение с расширенным диапазоном температур и специальное исполнение (см. ниже)
Рабочий температурный диапазон	-10...+50°C (стандартное исполнение) -40...+60°C (расширенный диапазон температур)

вать в расчётах сейсмические данные не только со станций, расположенных на территории РФ, но и данные с других сейсмостанций, расположенных на неограниченном удалении (по всему миру). Техническое оснащение станций уже позволяет записывать данные с разрешением 25...50 бит в длительных временных интервалах с частотой выборки более 20...50 Гц (опросов в секунду). Это достигается благодаря разработанному универсальному стандарту SEED (Standard for Exchange of Earthquake Data) обмена сейсмическими широкополосными данными и сопутствующей параметрической информацией.

### Практическое применение сейсмографов ZET 7152-N

Устройство с контролем питания встроенного сейсмоприёмника и индикацией синхронизации по GPS сочетает функции акселерометра и велосиметра. ZET 7152-N представляет собой сейсмограф с встроенным цифровым акселерометром с широким динамическим диапазоном и сейсмометром ZET 7156 с диапазоном рабочих частот 0,05...400 Гц, имеющий до 512 измерительных каналов и регистратор сейсмических сигналов с датчиком СМЕ-6111; диапазон частот 0,0167...50 Гц. «Младшая» модель – цифровой сейсмограф ZET 7152-N VER.2 – предназна-

чен для осуществления работ в шахтах; обладает диапазоном рабочих частот 3...200 Гц, в том числе для проведения сейсмического микрорайонирования достаточно плотно застроенных территорий – измерение и регистрация микросейсм природного и антропогенного происхождения проводятся трёхкомпонентным сейсмографом по методу Накамуры (Nakamura, 1989). Сейсмограф перемещается в контрольные точки наблюдений по исследуемой территории с длительностью одной записи 1–2 часа. Так за условно короткий период первично фиксируют характеристики грунта для дальнейших инженерно-геологических исследований. Метод Накамуры – один из вариантов метода спектральных отношений горизонтальной компоненты записанных микросейсм к вертикальной (HVSRRM). Спектральное отношение горизонтальной и вертикальной компонент понимается как аналог амплитудно-частотной характеристики, передаточной функции разреза грунтов в проекции на определённую толщу слоя земли.

*Отличительные признаки и основные преимущества сейсмометров:*

- широкий динамический диапазон – 176 дБ за счёт использования двух датчиков, работающих в разных частотных и амплитудных диапазонах для точного одновременного измерения как слабых (определение дальних землетрясений), так и сильных сигналов (расчёт баллов сейсмоактивности по шкале MSK-64, а также по шкале сейсмической интенсивности ШСИ-17, согласно ГОСТ Р 57546-2017);
- бездемонтируемая калибровка с использованием резонансного тестирования (ISO 16063-32: 2016) и калибровка с использованием ускорения свободного падения (ISO 16063-42:2014);
- возможность подключения дополнительных внешних датчиков;
- удобная в использовании панель управления;
- различные варианты интерфейса: автономная запись до 18 часов (стандартно), интерфейс LAN (стандартно), интерфейс GSM (опционально, с установкой дополнительного внешнего модуля);
- относительно высокая скорость передачи данных.

В табл. 1 представлены технические характеристики сейсмографов отечественных разработчиков моделей ZET 7152-N и ZET 7156.



Рис. 9. Внешний вид сейсмостанции Z-048E с датчиком SME-6111



Рис. 10. Сейсмометр модели 7054 и 7154



Рис. 11. Цифровой датчик деформации фирмы «Спектрон»



Рис. 12. Модель цифрового датчика деформации 7110 DS

Похожий форм-фактор имеют и сейсмограф Z-048C, и сейсмостанция Z-048E, и (вариант) ZET 048-I регистратора сейсмических сигналов с датчиком SME-6111 (рис. 9).

Регистраторы сейсмических сигналов с датчиком SME-6111 применяются автономно или в составе автоматизированных систем мониторинга для проведения сейсмических и сейсмологических исследований методами преломлённых, отражённых волн и глубоководного сейсмозондирования (МОВ, МПВ, ГСЗ) от искусственных и от естественных источников, методами обменных волн землетрясений (МОВЗ), а также при инженерно-геологических изысканиях [8]. В базовый комплект поставки регистратора сейсмических сигналов с датчиком SME-6111 (кроме цифрового регистратора) входят:

- сейсмоприёмник SME-6111 с кабелем для подключения (2 м);
- кабель USB;
- кабель Ethernet;
- блок питания для регистратора А04-19;
- GPS-антенна;
- встроенная карта памяти для записи сигналов в автономном режиме;

- программное обеспечение сейсмоконтроля и ПО для записи и воспроизведения данных;
- SD-карта на 64 Мбайт (установлена внутри регистратора);
- комплект эксплуатационной документации.

ZET 048-C регистратор сейсмический цифровой имеет встроенный сейсмоприёмник SME-4211 с диапазоном рабочих частот 0,033...50 Гц. Анализ изменения динамических характеристик грунтов, фундаментов, зданий и сооружений в процессе эксплуатации на базе мобильного комплекса сейсмостанции ZET 048-C обеспечивает ситуационный контроль в месте техногенной катастрофы, аномалии и военных действий, в частности после пожара, взрыва, в аварийно-опасных сооружениях или зданиях, где срок эксплуатации требует частых проверок.

Сейсмостанции выпускаются с разным количеством измерительных каналов: 4, 8 и 16. Сейсмометры моделей 7054 и 7154 представляют собой цифровой инклинометр с встроенным первичным преобразователем и интерфейсом CAN2.0 с элементом СМИК и измеряемым углом наклона. Внешний вид устройства представлен на рис. 10.

К сейсмометрам моделей 7054, 7154 и 7110 DS применяют цифровой датчик деформации, представленный на рис. 11.

Датчик рассчитан на четырёхпроводной шлейф подключения со следующей распиновкой разъёма:

- питание +9...+24 В постоянного тока – красный провод;
- выход А – зелёный провод;
- выход В – синий провод;
- GND – жёлтый провод.

При подключении провода можно не экранировать.

Модель цифрового датчика 7110 DS деформации с интерфейсом передачи данных CAN 2.0 и режимом самодиагностики (рис. 12) разработана для испытаний конструкций на растяжение.

Иллюстрации возможных креплений датчиков детонации и сейсмометров представлены на рис. 13 и рис. 14.

Мобильный (переносной) комплект для производства сейсморазведочных работ состоит из регистратора, цифровых геофонов, соединяемых магистральным кабелем в линию приёма и специализированного пакета программного обеспечения для регистрации и анализа данных. Комплект дат-

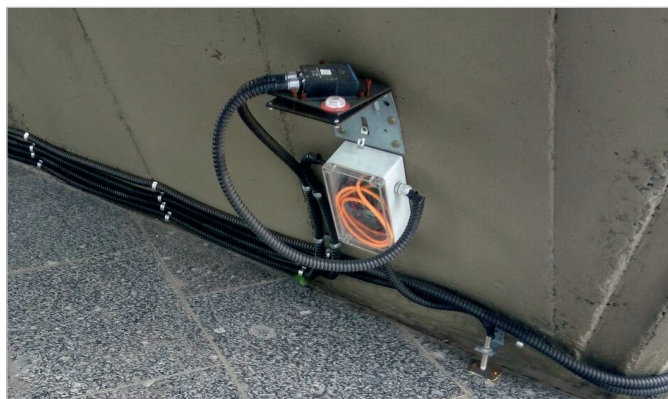


Рис. 13. Иллюстрации возможного крепления датчиков детонации и деформации



Рис. 14. Иллюстрации возможного крепления датчиков детонации и деформации



Рис. 15. Вид на датчики-геофоны

чиков выглядит так, как представлено на рис. 15.

Комплект для сейсморазведочных работ предназначен для работ в полевых условиях в различных климатических зонах. Подключение геофонов осуществляется через брызгозащитные разъёмы GSC-4H (Herma-4). Применение телеметрического 4-жильного кабеля диаметром 6,5 мм обеспечивает минимальный вес сейсмокосы 3,14 кг на 100 м кабеля. Шаг между кабельными отводами (соответственно, между подключаемыми геофонами) может варьироваться [9].

Из зарубежных аналогов уместно отметить датчик сейсмической активности фирмы SISMALOCK модели SDT21, разработанный для использования в бытовых/жилых газораспределительных сетях; они чувствительны, способны обнаруживать сотрясения (сейсмические волны) и сигнализировать о них. Могут применяться в обособленном виде. Когда сигнал с датчика достигает определённого порогового значения, с помощью усилителя – токового ключа активируется релейный выход, коммутирующий электрическую цепь исполнительного устройства (электромагнитные газовые клапаны, сирены, смс-оповещение и т.д.). Опреде-

ление порогового значения регулируется так, что «сигнал тревоги» формируется только в том случае, если ожидаемое «землетрясение» (воздействие) может иметь разрушительные последствия для людей и окружающей среды. Ещё один вариант – EVO SDT22 специально разработан для промышленного и гражданского использования. Отличительная особенность в том, что сейсмодатчик имеет двойную MEMS, а также обладает двумя адресными выходами по протоколу ModBus: выход управления с макс. выходным током 4...20 мА и коммутация релейного выхода с током до 5 А, в том числе для электрической сети 230–240 В. Первое устройство реализуется по цене 350 USD, а второе почти в 5 раз дороже. Тем не менее универсальные возможности для бытового назначения делают этот датчик удобно согласуемым с другими системами АСУ ТП на производстве и в системах безопасности для предотвращения возникновения нежелательных последствий (таких как случайное отключение электроэнергии, остановка промышленных процессов и др.).

В непрофессиональной электронике нашли активное применение молекулярно-электронные датчики. Один из них – многокомпонентный сейсмодатчик СМЕ-206С. Его особенности (кратко) таковы:

- нечувствителен к линейным движениям;
- нечувствителен к поперечным вращениям;
- разрешение  $3 \times 10^{-7}$  рад / с<sup>2</sup> / Гц<sup>1/2</sup>;
- динамический диапазон > 120 дБ;
- частотный диапазон 0,05–20 Гц;
- чувствителен к поперечным вращениям – 2%;
- разрешение  $6 \times 10^{-5}$  рад/с<sup>2</sup>;
- динамический диапазон 80 дБ при  $f > 1$  Гц.

## Инновационные аккумуляторы для сейсмодатчиков

Одна из важнейших составляющих стабильности работы электронного устройства в автономном или бесперебойном режиме – надёжная АКБ. Особенно это важно в устройствах сейсмических станций, расположенных удалённо от «линий» электроснабжения или на труднодоступных участках, посещение которых организовано в соответствии с определённым графиком, регламентом (трубопроводы критической инфраструктуры).

В 2018 году впервые изобретён структурный аккумулятор с участием композитного углеродного материала, выдерживающего значительные механические нагрузки и температурное воздействие в широком диапазоне. Модуль продольной упругости – физическая постоянная материала, характеризующая его жёсткость. Чем жёстче материал, тем меньше он деформируется при данном напряжении. Модуль упругости 1-го рода – модуль Юнга имеет ту же размерность, что и напряжение деформации, выражается в значениях Па. Три последовательно соединённых АКБ с эквивалентным напряжением 8,4 В и модулем продольной упругости обеспечивали плотность материала, соответствующую продольной упругости (некритичной деформации) до 28 ГПа. По механической прочности структурный аккумулятор вместо положения «от среднего» между условно плавким свинцом и оловом достиг условной плотности и жёсткости дюралюминия. Перспективная для разработчиков мысль в том, что из новой батарейки можно делать прочный корпус даже для самолёта, и корпус сам будет «аккумулятором». При этом облегчение веса любой конструк-

ции, особенно изначально массивной и «тяжёлой», можно трансформировать и в скорость, и в дальность передвижения, что, несомненно, актуально для подвижных и летающих транспортных средств и средств доставки (БПЛА). В «безмассовом» аккумуляторе из углепластика структурную основу конструкции обеспечивают электроды и электролит: электролитом пропитана стеклоткань, разделяющая электроды, и также она дополнительно укрепляет батарею. При этом катод аккумулятора изготовлен из углерода, а анод – из фольги, из соединения лития и фосфата железа. При создании анода (полюса) из углерода, что дополнительно повысит прочность аккумулятора, и уменьшении плотности разделительного стекловолокна с пропиткой электролитом рабочий ток АКБ и скорость заряда возрастут. Это перспективное направление развития современной электроники, материаловедения и химической промышленности в теме НТ-прогресса [5].

На рис. 16 представлены последовательно соединённые структурные батареи общим напряжением 8,4 В с модулем продольной упругости 28 ГПа.

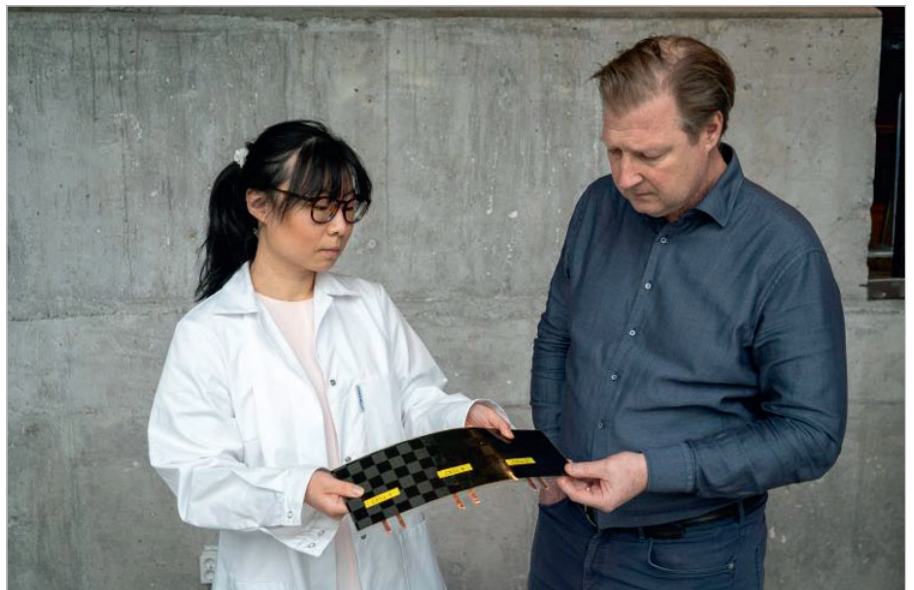
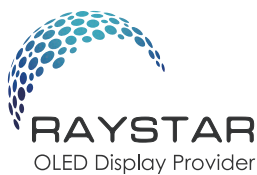


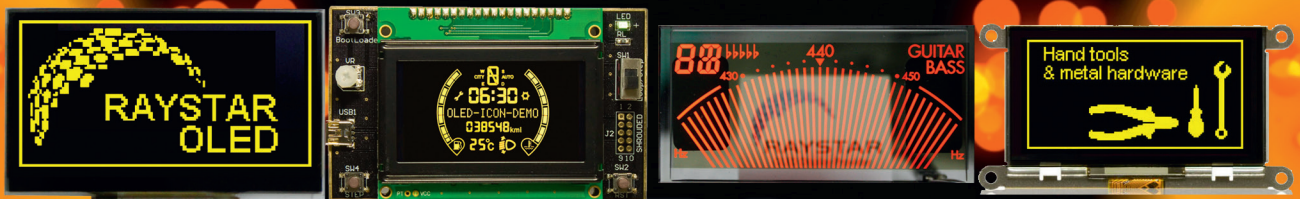
Рис. 16. Иллюстрации возможного крепления датчиков детонации и деформации

Проблема и одновременно направление усовершенствования (инновационной мысли) определена в условно низкой плотности запасаемой энергии. Динамика инноваций такова: в 2018 году достигнута плотность материала в значении не критичной деформации 28 Вт·ч/кг. В 2020 году тот же параметр увеличен до 75 Вт·ч/кг, а в

конце 2022 года – до 121 Вт·ч/кг. Пока и этот показатель более чем в 3 раза уступает возможностям современных массовых литиевых аккумуляторов, но... Инновационный элемент почти нисколько не весит – в сравнении с литиевыми и гибридными (на основе лития) АКБ. Поэтому с учётом динамики достижения (увеличения)



## OLED-дисплеи Raystar



Специсполнение по ТЗ заказчика

Прозрачные модели

АВТОМОБИЛЬНАЯ ЭЛЕКТРОНИКА • СИСТЕМЫ БЕЗОПАСНОСТИ • ИЗМЕРИТЕЛИ МОЩНОСТИ • БЫТОВАЯ ТЕХНИКА • МЕДИЦИНСКИЕ ПРИБОРЫ

### Характеристики

- Яркость экрана до 150 кд/м<sup>2</sup> обеспечивает считывание изображения при ярком солнечном свете
- Высокая контрастность 10 000:1
- Широкий угол обзора до ±175°
- Цвет свечения: жёлтый, зелёный, красный, белый, синий
- Формат изображения: 122×32, 128×64, 240×64, 256×64 и 96×64 точки

- Низкая потребляемая мощность 10 мА (схемы управления – токовые)
- Светоэмиссионная схема: не требуется система подсветки
- Короткое время отклика: 10 мкс при температуре +25°C
- Широкий диапазон рабочих температур от –40 до +80°C
- Малая толщина модуля дисплея, небольшой вес
- Срок службы: 50 000 ч для белого и синего цвета; 100 000 ч для жёлтого, зелёного, красного цветов



ОФИЦИАЛЬНЫЙ ДИСТРИБЬЮТОР

АКТИВНЫЙ КОМПОНЕНТ ВАШЕГО БИЗНЕСА

(495) 232-2522 ▪ INFO@PROCHIP.RU ▪ WWW.PROCHIP.RU



Рис. 16

плотности зарядной энергии, которая, как мы показали, налицо, через несколько лет «безмассовым» аккумуляторам не будет альтернативы в электронных системах и устройствах, к которым предъявляются требования повышенной надёжности и пожарной безопасности, работающим в критической инфраструктуре обеспечения безопасности государства и людей, военной промышленности, космической отрасли и даже в гражданском самолётостроении и... электромобилестроении. Что до пожарной безопасности, то «суперконденсаторы», созданные по технологии усовершенствованных ионисторов, инновационные титанаты и лиферы вполне безопасны относительно условно «древних» литиевых и литий-кобальтитных батарей, подверженных возгоранию, особенно при механическом воздействии. Следом в перспективе идут разработки по натрий-ионным аккумуляторам в устройствах с сейсмическими датчиками и не только.

### Перспективы и нюансы разных сейсмодатчиков

Ротационные сейсмометры TABS с регулировкой угла поворота маятника – ещё одно направление развития электронных сейсмодатчиков, к примеру, в вулканологии и анализе собственных колебаний Земли. Исследование строительных конструкций с помощью сейсмометров, несомненно, выявляет их критичность к вращательным движениям – так определяются моды вращательных движений и резонансные частоты. Сейсморазведка позволяет разделять P- и S-волны и детектировать с большой точностью прибытие поверхностной волны, корректировать показания прецизионных приборов, чувствительных к вращательным движениям, в том числе направленных на поиск гравитационных волн [2]. Так, «крутильный датчик» выгодно отличается способностью разделять сигналы от мощного удалённого источника от сигналов ближнего слабого источника, в то время как датчики вращения (в вертикальной составляющей) обеспечивают дополнительные наблюдения свободных тороидальных колебаний, которые затруднены в фиксации стандартными сейсмодатчиками. Поэтому датчики вращения имеют большой потенциал для дистанционного мониторинга подземного бурового оборудования.

### Несколько выводов

Система контроля сейсмических воздействий (СКСВ) для фиксации и изучения движения участков земли или конструкций при воздействии на них землетрясений, взрывов и других естественных или техногенных факторов очень перспективна и для мониторинга состояния технологических объектов (в частности, трубопроводных систем, по которым осуществляется транспортировка продуктов добычи и переработки нефтегазовой промышленности). Имеет возможность интеграции в сторонние системы через протоколы OPC, ModBus, а также через БД.

Перспективная сейсмотехника с электронным «наполнением», анализом и управлением, как ни странно, тесно связана с лазерной. И сейсмодатчики с элементами лазерной техники – это, несомненно, проблематика завтрашнего дня. Притом что первый кольцевой лазер (с функцией регистрации сейсмической активности) был испытан в 1963 году, направление приложений креативных идей весьма перспективно. Мобильный сейсморазведочный комплекс позволяет производить не только геофизические исследования в полевых условиях методами преломлённых и отражённых волн для изучения верхних слоёв земли (грунта) и подземных аномалий, поисков и разведки полезных ископаемых и инженерно-геологические изыскания для своевременного обследования строительных площадок зданий и сооружений, но, в примерах с сейсмодатчиками моделей 7054, 7154, 7156 и аналогичных с высокой чувствительностью, их можно использовать для обнаружения несанкционированных механических воздействий и взрывов. Поскольку ПО обеспечивает полнофункциональный анализ сигналов с применением различных алгоритмов и визуализацией результатов в 3-мерном виде, а датчики подключаются по высокоскоростной линии, их применение востребовано в инновационных разработках, связанных не только с сейсмоактивностью отдельных участков, но и для контроля объектов критической инфраструктуры и определения мест несанкционированного воздействий на них, сокращения срока восстановления объектов после «аварии». При помощи высокоэффективной среды графического программирования SCADA можно формировать удобные интерфейсы для автоматизированных рабочих мест по мониторингу

сейсмических событий. Это что касается сейсмодатчиков промышленных и серийных. Что касается ротационных сейсмодатчиков, то фиксируемые ими вращательные движения можно разделить на две группы: наблюдаемые на телесеизмических расстояниях и регистрируемые в ближней зоне. Несмотря на недавние достижения, ротационная сейсмология хоть и перспективна, но мало изучена в связи с малым количеством работ и наблюдений. Поэтому мобильные датчики будут совершенствоваться ещё очень долго.

### Литература

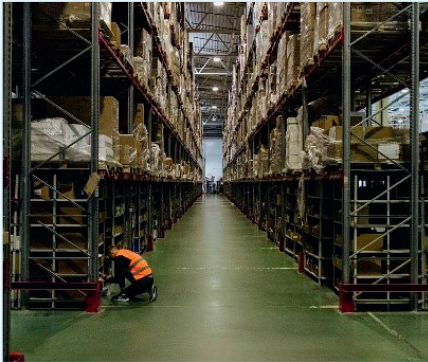
1. Бельи А.А., Андрушко С.В. Пути повышения надёжности эксплуатации железобетонных мостов для пропуска сверхнормативной нагрузки // Известия ПУПС. URL: <https://cyberleninka.ru/article/n/puti-povysheniya-nadezhnosti-ekspluatatsii-zhelezobetonnyh-mostov-dlya-propuska-sverhnormativnoy-nagruzki>.
2. Вращательная сейсмология // URL: <https://www.itpz-ran.ru/wp-content/seminars/Kislov.pdf>.
3. В «Ростехе» создали сейсмодатчики, засекающие движение за 10 км // URL: [https://aif.ru/society/science/v\\_rostehe\\_sozdali\\_seysmodatchiki\\_zasekayushchie\\_dvizhenie\\_za\\_10\\_km](https://aif.ru/society/science/v_rostehe_sozdali_seysmodatchiki_zasekayushchie_dvizhenie_za_10_km).
4. Зеленоградская электротехническая лаборатория // URL: <https://zetlab.com/shop/izmeritelnoe-oborudovanie/seysmostantsii/zet-7152-n-ver-3/>.
5. Кашкаров А.П. Ионистор в автономной электрической цепи // Современная электроника. № 1. 2014. С. 2–4.
6. Оборудование для сейсмических исследований // URL: <https://zetlab.com/wp-content/uploads/2018/11/Seysmicheskie-registratoryi-ZETLAB-listovka.pdf>.
7. Позняк Е.В. Развитие методов волновой теории сейсмостойкости строительных конструкций: автореф. дис. ... докт. техн. наук. М.: НИУ МЭИ, 2017.
8. Сейсмика. Каталог продукции // URL: <https://zetlab.com/wp-content/uploads/2017/09/Seysmostantsii.pdf>.
9. Сейсмическая безопасность // URL: [https://bstudy.net/720499/tehnika/seysmicheskaya\\_bezopasnost](https://bstudy.net/720499/tehnika/seysmicheskaya_bezopasnost).
10. Сейсмическое оборудование // URL: <https://zetlab.com/shop/izmeritelnoe-oborudovanie/seysmostantsii-zetlab/>.
11. Система сейсмологических наблюдений. Трансляция через программное обеспечение ZETLAB // URL: <https://zetlab.com/podderzhka/seysmika/sistema-seysmologicheskikh-nablyudeniya/>.



НОВОСТИ МИРА

**IQ Technology выявила рост количества контрафактной техники на маркетплейсах**

Доля поддельных наушников и колонок на российских маркетплейсах за год выросла с 27 до 69%, а смарт-часов – с 35 до 63%, выяснили аналитики. Эксперт указала, что нечестные продавцы стали менее осторожны, подделок будет больше.



На российских маркетплейсах с прошлого июля почти вдвое выросло число подделок электроники компаний, покинувших российский рынок, следует из данных юридического агентства IQ Technology, пишет «Коммерсантъ».

Исследование затронуло 15 тыс. карточек продукции на Ozon, «Яндекс.Маркете», Wildberries, «СберМегаМаркете» и AliExpress. Доля контрафактных смартфонов в прошлом году составляла 12%, в этом – 31%, среди ноутбуков рост составил с 22 до 31%, наушников и колонок – с 27 до 69%, мелкой бытовой техники – с 15 до 34%, смарт-часов — с 35 до 63%, следует из данных агентства.

Чаще всего подделывают аппараты Apple, Samsung, Xiaomi и других известных брендов; их выполняют в стиле оригинала, но с другими размерами и операционными системами – похожие на продукцию Apple устройства получают вместо iOS операционную систему Android. При этом поддельный ноутбук распознать труднее, поскольку он отличается от оригинала прежде всего внутренними деталями – жёсткий диск, процессор, оперативную память заменяют более дешёвыми вариантами. В основном контрафактную технику производят в Китае, Пакистане и Индии.

Как считают в «F+ tech | Марвел», доля подделок аудиоэлектроники на российском рынке в первые пять месяцев этого года увеличилась

с 10 до 25% по сравнению с тем же периодом прошлого года, причём чаще всего это копии наушников и музыкальных колонок известных брендов – Apple, Marshall, JBL и других.

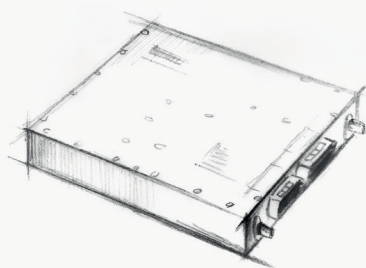
Источник газеты в одном из маркетплейсов заявил, что из-за поправок к закону о правах потребителей в 2018 году, куда добавили определение понятия товарных агрегаторов в Интернете, площадки лишились возможности вмешиваться в описание товаров от пользователей. Таким образом, если маркетплейс поменяет или уберет в описании товара слово «оригинал», отвечать за продукцию будет уже самостоятельно, чего делать никому не хочется.

Прежде сами правообладатели мониторили ситуацию и защищали свои бренды, борясь с контрафактом, напомнила гендиректор компании «Онлайн Патент» Алина Акиншина. Но после начала Россией военной операции и введения международных санкций продавцы подделок стали вести себя менее осторожно: «раньше им следовало опасаться претензий от правообладателей – сейчас бояться нечего». По её мнению, «с учетом тенденций» доля подделок будет только расти.

rbc.ru

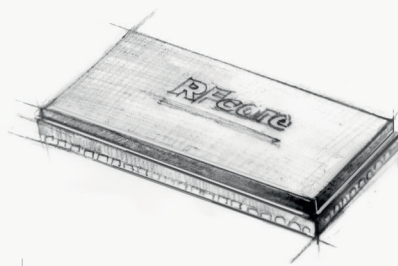


**НОВЫЕ МОЩНОСТИ — НОВЫЕ ВОЗМОЖНОСТИ**



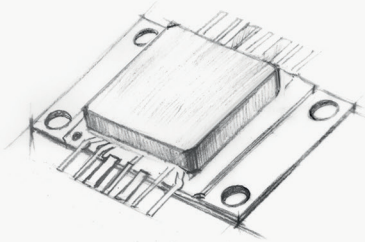
**СВЧ-усилители мощности**

- Диапазон частот: от HF до Ku
- Выходная мощность: 2...1000 Вт
- Типовое усиление: 25...65 дБ
- Рабочее напряжение: 28, 40 В



**Многофункциональные CMOS MMIC**

- Диапазон частот: S, C, X, Ku
- Выходная мощность: до 15 Вт
- Исполнение: QFN-корпус



**GaN и GaAs MMIC**

- Диапазон частот: 2...18 ГГц
- Выходная мощность: до 12 Вт
- Типовое усиление: 10...23 дБ
- Исполнение: QFN-корпус/кристалл



ОФИЦИАЛЬНЫЙ ДИСТРИБЬЮТОР

**АКТИВНЫЙ КОМПОНЕНТ ВАШЕГО БИЗНЕСА**  
(495) 232-2522 ■ INFO@PROCHIP.RU ■ WWW.PROCHIP.RU

Реклама