

Эксплуатационные характеристики МЭМС-компонентов БИНС ООО «Лаборатория Микроприборов»

Александр Бекмачев (bae@favorit-ec.ru), **Елена Кочурина** (ekochurina@mp-lab.ru), **Александр Мусаткин** (musatkin.a@hotmail.com)

Микроэлектромеханические системы в последнее время являются объектом приложения усилий многих компаний. В частности, МЭМС-датчики угловой скорости и ускорения широко используются в мобильных устройствах, системах инерциальной навигации. В данной статье рассказано об особенностях и преимуществах изделий производства компании «Лаборатория Микроприборов».

Компания «Лаборатория Микроприборов» имеет среди российских потребителей репутацию надёжного производителя систем ориентации и навигации на основе МЭМС-датчиков. В инициативном порядке ООО «ЛМП» разрабатывает и производит на территории РФ ключевые узлы – чувствительные элементы датчиков ускорения, удара, угловой скорости и комплектует их в корпусе с электроникой сбора и обработки информации. Эти специализированные приборы объединяют в единый узел чувствительные элементы, электронные контуры обработки измерений и управления колебаниями, обеспечивают регистрацию и комплексную обработку инерциальной и внешней информации. Такой подход, во-первых, позволяет существенно улучшить основные параметры датчиков за счет внесения в показания индивидуальной коррекции, а во-вторых – облегчает разработчикам анализ полученных статистических данных и введение поправочных коэффициентов. В итоге повышается

производительность, точность и стабильность системы в целом.

Кроме локализованного кристалльного производства следующим ключевым элементом импортозамещения является собственная технология калибровки. ООО «ЛМП» владеет ею в полной мере. Перечень выполняемых компанией работ включает в себя:

- калибровку температурных зависимостей параметров датчиков;
- линеаризацию передаточных характеристик;
- компенсацию неидеального расположения чувствительных элементов внутри базиса измерительного блока.

Испытания собственной и сторонней продукции, проводимые компанией, служат для контроля достигаемых параметров, сравнения уровня техники с ведущими мировыми производителями, текущего контроля произведенной продукции и обоснования, при необходимости, коррекции конструкции и технологии ЧЭ, программного обеспечения, конструкции БИНС в целом. Виды проводимых испытаний:

- определение параметров передаточной характеристики акселерометров (в поле силы тяжести Земли или с использованием центрифуги);
- определение параметров передаточной характеристики гироскопов (в том числе по трём осям);
- определение АЧХ и ФЧХ датчиков (акселерометров и гироскопов);
- определение температурных зависимостей параметров датчиков и систем;
- определение вибро- и ударопрочности датчиков и систем.

Рассмотрим подробнее характеристики новых моделей датчиков.

МЭМС-акселерометры

МЭМС-акселерометры имеют малые габаритные размеры и массу, низкое энергопотребление, при серийном производстве отличаются невысокой стоимостью. Применяют МЭМС-акселерометры как в изделиях массового спроса, таких как системы безопасности автомобилей, потребительская электроника (сотовые телефоны, ноутбуки и пр.), робототехника, так и в приборах специального назначения: военной и аэрокосмической технике, медицинском оборудовании, промышленных системах управления.

Чувствительный элемент микроэлектромеханического акселерометра представляет собой конструкцию маятникового типа. Инерционная масса, подвешенная к основанию при помощи упругих элементов – торсионов, воспринимает действующее ускорение и является одной из обкладок ёмкостной системы съёма сигнала. В качестве неподвижной обкладки используется стеклянная пластина с напылёнными электродами (рис. 1 а, б).

Проведённые расчёты и разработанный технологический маршрут на основе анизотропного травления кремния позволили изготовить МЭМС-акселерометры типов МА-10 и МА-20, рис. 2 и рис. 3. Каждый из МЭМС-акселерометров МА-10 и МА-20 содержит ЧЭ и плату преобразования сфор-

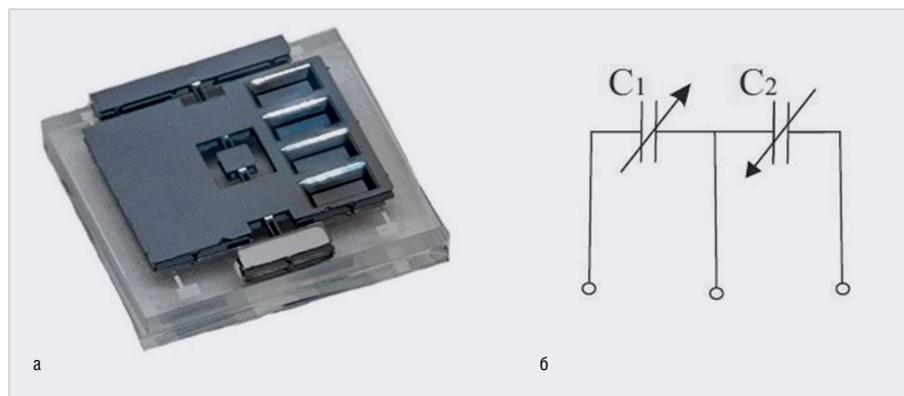


Рис. 1. Кремниевый чувствительный элемент МЭМС-акселерометра: а) конструкция; б) эквивалентная схема

мированных ёмкостей в выходной сигнал датчика. Геометрия ЧЭ во время проектирования проходит этап моделирования, на котором определяют резонансные частоты и влияние механических ударов одиночного действия.

Плата преобразования ёмкость-код для датчиков типа МА-10 формирует выходной сигнал датчика в цифровом виде – интерфейс UART. Наличие 32-разрядного микроконтроллера позволяет реализовать температурную компенсацию. Сам акселерометр выполнен в стандартном металлокерамическом корпусе типа 151.15-8 (производства ЗАО «МАРС», г. Торжок) размерами 19,5×14,5×5 мм. Несомненным достоинством МА-10 является малый уровень шумов порядка 100 мк (1σ) в диапазоне ±50g.

Другие характеристики МА-10:

- диапазон измерения ускорения: ±50g (возможен заказной диапазон);
- СКО «шума» выходного сигнала: 2,5mg;
- спектральная плотность «шума»: 0,3mg/√Гц;
- напряжение питания: 3,3 В;
- потребление тока: 2 мА.



Рис. 2. МЭМС-акселерометр типа МА-10

МЭМС-акселерометр МА-20 выдаёт аналоговый выходной сигнал в виде напряжения, пропорционального проекции кажущегося ускорения на измерительную ось. ЧЭ вместе с платой преобразования размещены в корпусе размерами 38×26×16 мм, МА-20 – стойкий к внешним воздействующим факторам, маложужащий. От предыдущей модели МА-20 отличается, в первую очередь, существенно более широкой полосой пропускания.

Другие характеристики МА-20:

- диапазон измерения ускорения: ±5g (возможно заказное значение);
- полоса пропускания по уровню –3 дБ: > 250 Гц;

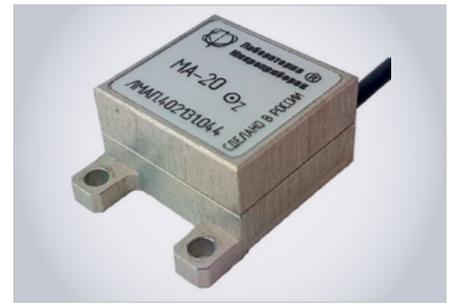


Рис. 3. МЭМС-акселерометр типа МА-20

- спектральная плотность шума: 25 мкg/√Гц;
- напряжение питания: 5 В;
- потребление тока: < 30 мА.

Исследования изготовленных образцов МЭМС-акселерометров проводились на автоматизированном стенде с поворотным столом, так, чтобы ось чувствительности датчика была перпендикулярна оси вращения центрифуги. Необходимое ускорение, подаваемое на МЭМС-акселерометр, обеспечивалось путём вращения поворотного стола центрифуги. Разработанное программное обеспечение позволяет проводить испытания в автоматическом режиме: задавать необходимую

МЫ РАСТИМ БУДУЩЕЕ...

ЭЛЕКТРОННАЯ КОМПАНИЯ Фаворит-ЭК

Стайбу | АРБЕНОС | ИНТЕГРАЛ | МИКРО ЭЛЕКТРОНИКА | МИЛАНДР | АУСМЕУ

ampl | АЕДОН | KBСУСТЕМЫ | TDK-Lambda | TESLA ELECTRIC | Great River Technology

ChipSTAR | АО ГИРООПТИКА | Microsemi | Maxwell | Glencair | АЭ АМИТРОН

BOVA | MEGGITT | CYPRESS | CRANE | ЭЛЕКТРОДЕТАЛЬ

SAFRAN | sensoror | IOR HiRel | anadigm | ПАО «ЗАВОД АТЛАНТ»

MT MICROSYSTEMS | SGX | WOLFSPEED | CREE | АКЦИОНЕРНОЕ ОБЩЕСТВО ЭЛЕКТРОСОЕДИНИТЕЛЬ

septentrio | Лаборатория Микроприборов | СНЕЖЕТЬ

Cvix Group | GSS | ИНЕРЦИАЛЬНЫЕ ДАТЧИКИ ПРИЕМНИКИ ГНСС | ИДМ ПЛЮС | TRIVAL antene

ЭЛЕКТРОННЫЕ КОМПОНЕНТЫ

Актуальный склад - смотрите онлайн

Россия, 105318, Москва, Семеновская площадь, д.7, e-mail: info@favorit-ec.ru, тел/факс: +7(495) 627 76 24, www.favorit-ec.ru

Реклама

Таблица 1. Результаты испытаний опытных образцов микромеханических акселерометров типа МА-10 и МА-20 и сравнение с аналогами других производителей

Наименование параметра	МА-10 ООО «ЛМП» г. Зеленоград	МА-20 ООО «ЛМП» г. Зеленоград	АЛЕ 049М ЗАО «НИИФИ» г. Пенза	АТ1105-1 ОАО «АНПП «ТЕМП- АВИА» г. Арзамас	MS90002 Safran Colibrys SA Швейцария	ADXL103 (3 оси) Analog Devices США	ADIS16210 (3 оси) Analog Devices США
Диапазон измеряемых ускорений	±50g	±5g	±1,1g	±1g	±2g	±1,7g	±1,7g
Масштабный коэффициент	-	400 мВ/г (при T=25°C)	2 В/г	5 В/г	1 В/г	1 В/г	-
Нелинейность	0,1%	0,1%	±0,2%	±0,5%	< 0,8%	±0,2...1,25%	0,10%
Потребление	не более 5 мА	30 мА	65 мА	20 мА	< 0,4 мА	1,1 мА	18 мА
Напряжение питания	3,3 В	5 В	27 В	±12 В	5 В	5 В	3,3 В
СКО шума выходного сигнала	2,5mg	0,1mg	-	-	0,18mg	1mg	1,3mg
Частота выдачи данных	91 Гц	-	-	-	-	-	-
Полоса частот	-	-	0...16 Гц	200 Гц	0...100 Гц	500 Гц	50 Гц
Диапазон рабочих температур	-40...+85°C	-40...+85°C	±65°C	-55...+85°C	-55...+125°C	-40...+125°C	-40...+85°C (+125)
Габаритные размеры	19,5×14,5×5 мм	38×26×15,5 мм	35×35×24 мм	29,5×28,5×16 мм	8,9×8,9×3,23 мм	4,5×4,5×1,8 мм	24×15×15 мм

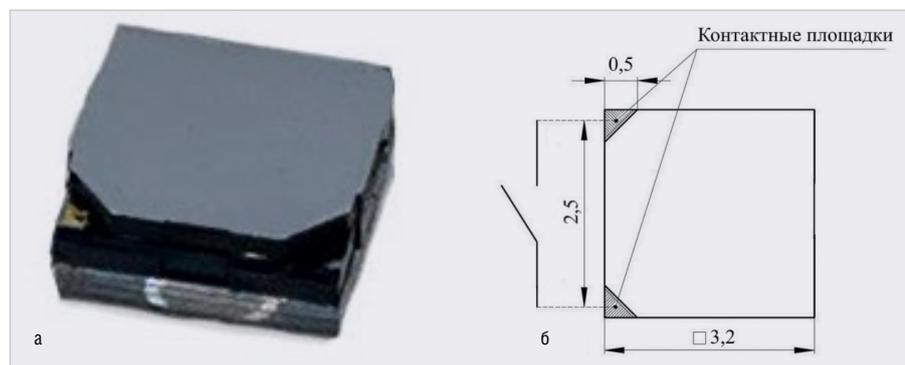


Рис. 4. МЭМС датчик удара: а) внешний вид бескорпусного варианта; б) габаритные размеры и эквивалентная схема

угловую скорость вращения поворотного стола, записывать выходные данные с датчиков, рассчитывать параметры МЭМС-акселерометра. Стенд регистрирует основные параметры МЭМС-акселерометра: смещение нуля, масштабный коэффициент, нелинейность статической характеристики.

Результаты проведенных исследований приведены в табл. 1, сравнительные данные для аналогов получены из открытых источников.

Датчики удара

Микромеханические датчики удара представляют собой крайне перспективное изделие, ориентированное на массовое применение в абсолютно различных отраслях: в бытовой технике, промышленной автоматике, логистике, системах безопасности, на транспор-

те, в строительной, авиационной технике и в ряде узкоспециальных применений. Благодаря своей «электронной» природе эти датчики лучше встраиваются в инфраструктуру нового цифрового мира, чем их предшественники – классические миниатюрные механические электрические замыкатели с нормированным усилием сжатия спиральной пружины под воздействием калиброванного грузика. Основными достоинствами таких датчиков являются: низкое энергопотребление, малые габариты и масса, высокая ударопрочность, а также невысокая стоимость при серийном производстве.

Микромеханический датчик удара серии КМГ представляет собой нормально разомкнутый ключ, подвижный элемент которого – инерционная масса с металлизированными контак-

тами, подвешенная на торсионах, сформированных глубоким травлением. При достижении номинального значения ударного воздействия инерционная масса перемещается и замыкает металлизированные контакты, расположенные на противоположной стороне полости – крышке. Таким образом замыкается электрическая цепь, и датчик срабатывает (рис. 4). В бескорпусном исполнении датчик имеет размеры 3,2×3,2×1,4 мм с двумя треугольными контактными площадками 0,125 мм² на верхней плоскости для разварки гибких выводов.

При заказе потребитель может выбрать уровень срабатывания и фактор датчика (корпусной или бескорпусной).

Основные характеристики освоённых в производстве датчиков удара типа КМГ-1:

- диапазон уровней срабатывания: 0,5...200g (для КМГ-1 выбирается при заказе);
- разброс уровня срабатывания: ≤ 10%;
- сопротивление ключа в разомкнутом положении: 2 МОм;
- рабочее напряжение: 3,3...5 В;
- потребление тока: ≤ 2 мА;
- стойкость к одиночному механическому удару: 30 000g.

Комбинируя в одном изделии датчики КМГ-1 (обеспечивает замыкание контактов при действии номинальной перегрузки, действующей перпендикулярно плоскости основания) и КМГ-2

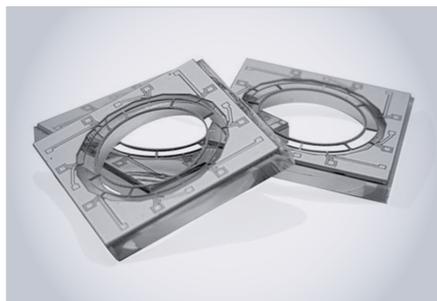


Рис. 5. Чувствительный элемент МЭМС-ДУС

(обеспечивает замыкание контактов при действии номинальной перегрузки, действующей параллельно плоскости основания), можно реализовать разные сценарии реагирования на внешние воздействия.

Датчики угловой скорости (ДУС)

Для датчика угловых скоростей (ДУС) в ООО «ЛМП» разработан и освоен в производстве ЧЭ на основе кольцевого резонатора. Подобные кольцевые резонаторы на протяжении нескольких десятилетий используют многие зарубежные производители для твердотельных волновых гироскопов с высокими показателями точности и стабильности. Современные технологии МЭМС позволили снизить себестоимость ЧЭ и точнее управлять их характеристиками на стадии разработки и массового производства. Конструкция ЧЭ обеспечивает надёжность и долговременную стабильность в широком диапазоне рабочих температур от -50°C до $+125^{\circ}\text{C}$ и механическую прочность без ухудшения параметров при одиночных ударах до 5000g.

Кремниевый чувствительный элемент состоит из резонатора, подвешенного при помощи восьми торсионных к основанию в магнитной системе (рис. 5). Кремниевый ЧЭ сращивают со стеклом и размещают в однородном магнитном поле. Магнитное поле образует магнитная система, состоящая из кобальто-самариевого магнита, верхнего и нижнего магнитопроводов. Предварительно собранный ЧЭ с основанием и постоянным магнитом помещается в герметизированный металло-стеклянный корпус, вакуумируется, а затем сопрягается с внешним блоком электроники (рис. 6).

На основе описанного ЧЭ производится аналоговый однокомпонентный МЭМС-ДУС модели ТГ-100 в прочном корпусе размерами $51 \times 37 \times 23$ мм. Высокая стабильность нуля позволяет

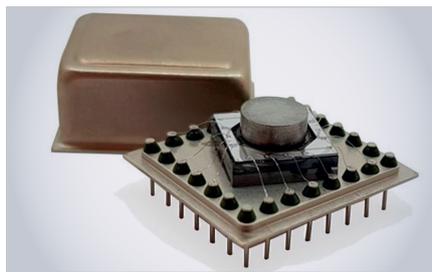


Рис. 6. Этап корпусирования чувствительного элемента МЭМС-ДУС

применять его для решения широкого круга задач навигации и стабилизации полезной нагрузки, а встроенный термодатчик позволяет алгоритмическими методами температурной компенсации улучшить показатели стабильности (рис. 7).

Основные характеристики МЭМС-ДУС модели ТГ-100:

- диапазон измерения угловой скорости: $\pm 100^{\circ}/\text{с}$ (выбирается при заказе);
- нелинейность: $< 0,15\%$;
- нестабильность смещения нуля (по диаграмме Аллана): $< 2^{\circ}/\text{ч}$;
- случайная составляющая шума выходного сигнала: $0,052^{\circ}/\sqrt{\text{ч}}$;
- полоса пропускания (по уровню -3 дБ): не менее 50 Гц;
- напряжение питания: 5 В;
- потребление тока: < 100 мА.

Воздействия, используемые для имитации внешних воздействующих факторов (ВВФ) при испытаниях:

- температурные циклы от 0°C до $+50^{\circ}\text{C}$ со скоростью изменения температуры $1...2^{\circ}\text{C}/\text{мин}$;
- линейное ускорение величиной до 200g по трём осям;
- широкополосная случайная вибрация амплитудой до 12g в диапазоне частот от 100 до 2000 Гц по трём осям.

Аналоговый интерфейс МЭМС-ДУС, доступный потребителю, представлен тремя сигналами:

- напряжение, пропорциональное проекции угловой скорости вращения на измерительную ось;
- напряжение, пропорциональное температуре платы МЭМС-ДУС;
- опорное напряжение, генерируемое схемой обработки сигнала.

Таким образом, пользователь имеет инструменты для реализации собственных алгоритмов термокомпенсации с учётом поведенческой модели своего объекта, его рабочих циклов и фактических внешних воздействий [1–3].

Показателем качества поставленных в компании процессов разработки, производства, тестирования датчи-

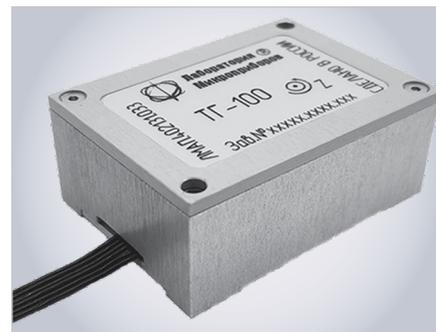


Рис. 7. МЭМС-ДУС модели ТГ-100



Рис. 8. Новый БИНС ГКВ-7 с 2-антенным приёмником ГНСС

ков, высокого уровня постобработки сигналов датчиков и надёжности конструктивных решений корпусов многокомпонентных БИНС собственного изготовления служит включение модуля базовой линейки ГКВ-10 в реестр утверждённых средств измерения (приказ Росстандарта от 04.10.2019 № 2344).

Все накопленные компетенции ООО «ЛМП» воплощены в новом флагмане компании – модуле ГКВ-7 (рис. 8). Это 10-компонентный БИНС с двухантенным мультисистемным приёмником сигналов ГНСС с RTK.

Основные улучшения, реализованные в ГКВ-7 в сравнении с базовой линейкой:

- универсальный малогабаритный 15-контактный разъём Micro D-Sub, цепи синхронизации теперь выделены, возможно исполнение со свободными концами – жгутом;
- коаксиальный разъём SMA для ГНСС-антенн заменён на малогабаритный MMCX;
- 2-антенное решение, теперь курс вычисляется в статике;
- универсальный корпус с возможностью OEM-исполнения;
- увеличена надёжность изделий за счёт каркасной конструкции;
- добавлены юстировочные отверстия для исключения люфта при установке изделия на объект;
- массогабаритные характеристики не ухудшились, общая высота модулей стала меньше: габариты $42 \times 62 \times 20,5$ мм, масса от 55 до 65 г;

- четырёхпроводный RS-422 и двухпроводный RS-485 интерфейсы дополнены вариантом с CAN, также возможно исполнение с UART;
- барометр заменён на более точный с диапазоном измерения от 260 до 1260 гПа, СКО шума 0,007 гПа.

Компания не ограничивается улучшением своих конструкторских и технологических решений и оптимизацией математической обработки «сырых» данных. Специалисты ООО «ЛМП» поддерживают обратную связь с потреби-

телями своей продукции, участвуют в совместных ОКР и НИОКР с целью создания ещё более совершенных чувствительных элементов и инерциальных измерительных модулей.

Литература

1. Тимошенко С.П., Анчутин С.А., Зарякин Н.М. и др. Проектирование и изготовление чувствительного элемента МЭМС-акселерометра // Нано- и микросистемная техника. Т. 23. 2021. № 2. С. 63–67.
2. Тимошенко С.П., Анчутин С.А., Плеханов В.Е. и др. Исследование кольцевого микрогирискапа // Нано- и микросистемная техника. 2019. № 10. С. 634–640.
3. Кочурин Е.С., Виноградов А.И., Боев Л.Р. и др. Разработка и исследование микро-механического датчика удара // Российский форум «Микроэлектроника-2021». 7-я Научная конференция «Электронная компонентная база и микроэлектронные модули». Сборник тезисов. Крым, г. Алуста, 3 октября – 9 октября 2021 г. М., 2021. С. 547–548.



НОВОСТИ МИРА

Минцифры в несколько раз увеличивает объём грантов в рамках нацпрограммы «Цифровая экономика»

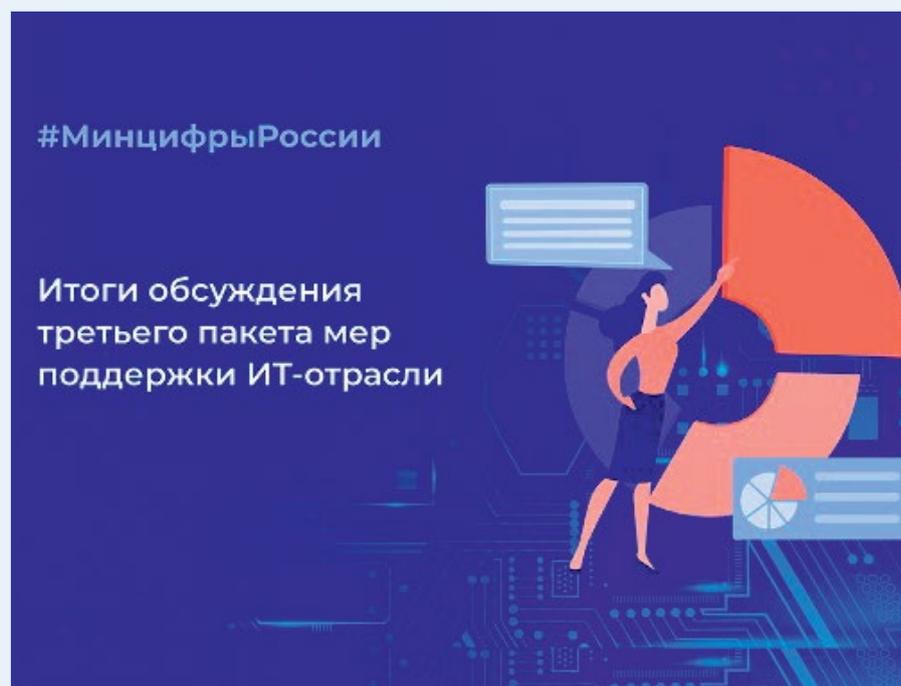
Министр цифрового развития, связи и массовых коммуникаций Российской Федерации Максуд Шадаев на встрече с представителями ИТ-отрасли по подготовке третьего пакета мер поддержки отметил, что планируется в несколько раз увеличить объём грантов, которые будут выделяться по линии министерства в рамках национальной программы «Цифровая экономика».

Мероприятие прошло в Координационном центре Правительства. В нём также приняли участие вице-премьер России Дмитрий Чернышенко и замглавы Минцифры России Максим Паршин.

– Много новых ниш. Мы решили, что этот процесс нужно поддержать, прежде всего, финансово. Мы в несколько раз увеличиваем объём грантов, которые будут выделяться по линии министерства в рамках нацпрограммы «Цифровая экономика». Мы планируем только в этом году выделить гранты на сумму 20 млрд рублей по двум основным линиям: первая – на замещение корпоративных решений через крупных якорных заказчиков, которые могут у себя внедрять инновационные российские решения и, естественно, те пользовательские продукты, которые не связаны с корпоративным сегментом тоже будут нами финансироваться, – рассказал Максуд Шадаев.

Минцифры России также озвучило предложения по налоговым льготам: это налог на прибыль до 2025 года – 0%, далее – 3% и тарифы страховых взносов – 7,6%. Предлагается распространить льготы на компании, получающие доходы от услуг:

- доработки, внедрения и поддержке любого российского ПО;



- продажи онлайн-рекламы на своих платформах;
- предоставления платного доступа к контенту, в том числе по подписке;
- оказания образовательных услуг с использованием онлайн-платформ;
- разработки и продажи российских программно-аппаратных комплексов.

Глава Минцифры также уточнил, что разработанный министерством проект постановления о предоставлении отсрочки от армии ИТ-специалистам находится в Правительстве. Кроме того, рассматривается вариант, при котором льготную ипотеку смогут получить ИТ-специалисты в возрасте от 22 до 40 лет.

Максуд Шадаев также предложил софинансировать до 80% расходов на онлайн-рекламу российских продуктов, создать отраслевые и региональные центры компетенций и проводить отраслевые мероприятия для презентации лучшей практики импортозамещения.

Заместитель Председателя Правительства России Дмитрий Чернышенко заявил, что необходимо поднять на достойный уровень имидж российских ИТ-продуктов. Вице-премьер подчеркнул, что государство делает всё возможное, чтобы можно было наращивать бизнес и создавать новые рабочие места. Главы регионов должны приложить максимум усилий для загрузки ИТ-специалистов в своих проектах. Он отметил, что цель встречи – получить реакцию айтишников на введённые меры и обсудить инициативы в следующий пакет поддержки ИТ-индустрии.

Вице-премьер уточнил, что сейчас в России создаются проекты, которые не имеют аналогов в мире.

Минцифры России через неделю запустит сайт, где будут собраны идеи по мерам поддержки ИТ-отрасли и можно будет отслеживать статус данных мер.

Gov.ru



ЧИТАЙТЕ, КАК ВАМ УДОБНО



**ПЕЧАТНАЯ И ЦИФРОВАЯ
ВЕРСИИ ЖУРНАЛА**

ЖУРНАЛ С ГАРАНТИРОВАННОЙ ДОСТАВКОЙ

**СОВРЕМЕННАЯ
ЭЛЕКТРОНИКА**

**ПОДПИСКА
НА ЖУРНАЛ**

онлайн: www.soel.ru • +7 495 232-0087 • info@soel.ru
на почте: по каталогу «Урал-пресс» (индекс для печатной версии 36280)