

Современные датчики давления и силы компании Kistler

Юрий Петропавловский (г. Таганрог)

В статье представлен краткий обзор продукции компании Kistler и рассмотрены особенности и параметры современных датчиков давления и силы производства Kistler.

ВВЕДЕНИЕ

Группа компаний Kistler является одним из ведущих мировых поставщиков датчиков давления, силы и ускорения, а также связанного с ними оборудования и программного обеспечения. Аппаратура Kistler используется для анализа физических процессов, оптимизации и управления производственными процессами. Датчики Kistler применяются в автомобильной и обрабатывающей промышленности, в производстве пластмасс, на транспорте, для контроля качества продукции. Акселерометры Kistler способны измерять силу ударов с ускорениями до 100 000 g и колебания с ускорениями в доли g.

Компания Kistler Instrumente AG (г. Винтертур, Швейцария) ведёт свою историю с 1950 г., когда учёный-физик и изобретатель Вальтер Кистлер создал и запатентовал усилитель заряда (УЗ), благодаря которому стало возможным обрабатывать сигналы пьезоэлектрических датчиков акселерометров с очень высоким импедансом. Кистлер имеет более 50 патентов на изобретения. За вклад в разработку датчиков он в 1980 г. был удостоен престижной премии международного общества автоматизации (ISA) имени Альберта Ф. Сперри [1].

В 1951 г. Кистлер переехал в США и приступил к работе в компании Bell Aerosystems, где он создал серво-акселерометр с импульсным ограничением (Pulse Constraint Servo-Accelerometer), впоследствии использованном в ракетах Agena. За эту разработку в 1968 г. Кистлер получил премию Aerospace Pioneer Award Американского института аэронавтики и астронавтики (AIAA). В 1955 г. Кистлер основал компанию Kistler Instrument Corporation, однако в 1957 г. компания была продана, а в 1959 г. получила современное название Kistler Instrumente AG.

В 1961 г. компания приступила к выпуску собственных усилителей заря-

да и датчиков высокого давления (до 1500 бар). В 1965 г. Kistler Instrumente представила первый в мире кварцевый датчик силы. В последующие годы компанией были разработаны и другие оригинальные изделия, в их числе:

- двухпроводная линия для пьезоэлектрических датчиков Piezotron (1968 г.);
- трёхосевой датчик силы в сочетании с популярным усилителем заряда 5001 (1969 г.);
- пьезорезистивные датчики силы (1973 г.);
- бездиафрагменные датчики высокого давления для литья пластмасс (1975 г.);
- сверхчувствительный кварцевый датчик сжатия/растяжения (1979 г.);
- кварцевый динамометр для измерения усилий вращения колёс (1983 г.);
- усилитель заряда 5011 с микропроцессорным управлением (1988 г.);
- высокотемпературный датчик давления для использования внутри двигателей (1989 г.);
- модуль усилителя заряда на основе керамики (1991 г.);
- четырёхосевой вращающийся динамометр для измерения усилий резания с беспроводной передачей данных (1992 г.);
- установка с датчиками нагрузки на оси движущихся транспортных средств (1994 г.);
- ёмкостные датчики ускорения K-Beam (1995 г.);
- универсальный усилитель заряда 5015 с ЦОС (2000 г.);
- 1-миллиметровый датчик давления для литья пластмасс под давлением (2003 г.);
- комбинированный 2,5-миллиметровый датчик давления/температуры (2004 г.).

Компания активно развивалась, создавая группы компаний и представительства в различных странах мира. В настоящее время холдинг Kistler, объединяющий предприятия и пред-

ставительства в десятках стран по всему миру, носит название Kistler Group. В России интересы компании представляют организации «ФИЗИОКОМ», «Сенсорика-М», «БЛМ Синержи» и Kistler RUS LLC [2].

Организационно группа Kistler имеет три подразделения: автомобильных исследований и испытаний, управления промышленными процессами и сенсорных технологий. Последнее подразделение специализируется на развитии датчиков в таких областях, как биомеханика, дорожное движение, усилия резания и других. Следует отметить, что Вальтер Кистлер после ухода из компании сыграл важную роль в организации ряда высокотехнологичных компаний, включая Kistler Products, SRS, ICI, Interpoint, Paroscientific, SPACENAV (в настоящее время Astrotech). В 1993 г. учёный стал одним из основателей компании Kistler Aerospace Corporation (в настоящее время Rocketplane Kistler), целью которой стало создание многоцелевого коммерческого космического аппарата [3]. В 2003 г. Кистлером учреждена книжная премия (\$10 000) для авторов, внёсших важный вклад в понимание общественных процессов, способных повлиять на долгосрочное будущее человечества [4].

В настоящее время группа Kistler выпускает широчайшую номенклатуру датчиков. В каталоге компании 2016 г. представлены датчики давления, силы, ускорения и крутящего момента. Кроме датчиков компания выпускает большую номенклатуру усилителей заряда, измерительных мониторов, модулей сжатия/расширения, а также комплексные системы, оборудование для калибровки датчиков и различные принадлежности.

Далее рассмотрены некоторые типы датчиков давления и силы, представленные в каталоге компании 2016 года [5].

ДАТЧИКИ И ПРЕОБРАЗОВАТЕЛИ ДАВЛЕНИЯ

В эту категорию входят 23 типа датчиков давления (Pressure Sensor) и преобразователей давления (Pressure Transmitter) в различных исполнениях.



Рис. 1. Датчик давления 6005 и 601Н



Рис. 2. Датчик давления 603В



Рис. 3. Преобразователь давления 4260А



Рис. 4. Преобразователь давления 4262А

ях, рассчитанных для измерения давления с максимальными пределами от 1,5 бар до 1000 бар. Основные области применения приборов: исследования и разработка систем контроля давления для машиностроения, мониторинг процессов литья под давлением, испытания оборудования, судовые и стационарные силовые машины. В составе изделий данной категории представлены исполнения для специальных условий применения, в том числе для работы в агрессивных и абразивных средах. Датчики могут быть выполнены в виде вставных конструкций или с резьбовыми фланцами. Выходные сигналы приборов, в зависимости от вида, могут быть представлены зарядом (вид РЕ), током или напряжением (РЕРЕ).

Для измерения давления в широком диапазоне температур предназначены следующие типы датчиков:

- 6005 (РЕ) – 0...1000 бар, $-196...+200^{\circ}\text{C}$ (см. рис. 1);
- 601Н (РЕ) – 1000 бар, $-196...+200^{\circ}\text{C}$ (см. рис. 1);
- 603В (РЕ) – 0...200 бар, $-196...+200^{\circ}\text{C}$ (см. рис. 2).

Приборы выполнены в миниатюрных корпусах диаметром 6,33 мм с резьбой М4.

Датчики 6005 отличаются высокой собственной частотой, малыми габаритами ($15,6 \times \varnothing 6,33$ мм) и большим сроком службы в жестких условиях эксплуатации (при быстрых изменениях температуры, давления и больших ударных нагрузках). Датчики отлично подходят для измерения давления в гидравлических и пневматических системах. Основные параметры приборов:

- чувствительность – 10 пКл/бар;
- собственная частота 140 кГц;
- линейность менее $\pm 0,8\%$ от полной шкалы (FSO);
- ударопрочность 5000 г.



Рис. 5. Датчик давления 7261

Датчики 601Н отличаются несколько меньшей чувствительностью (-16 пКл/бар), более высокой собственной частотой (150 кГц), лучшей линейностью ($\pm 0,5\%$ FSO) и ударопрочностью (10 000 г). Прибор 603В отличается меньшими габаритами ($11,8 \times 6,33$ мм), его чувствительность составляет -5 пКл/бар, собственная частота – 300 кГц, а ударопрочность – 10 000 г.

Пьезорезистивные преобразователи давления разработки 2015 г. 4260А (РЕРЕ, см. рис. 3) предназначены для измерения давления в различных узлах автомобилей и их двигателей, барометрах, системах кондиционирования, топливных, водяных и масляных насосах, а также в различном испытательном оборудовании. Приборы обеспечивают преобразование абсолютного или избыточного давления в единицы psi (фунт-сила на квадратный дюйм), диапазон измеряемых давлений составляет $-14,7...+5000$ psi (точность 0,05% полной шкалы), компенсированный диапазон температур равен $-40...+250^{\circ}\text{F}$. Аналогичный по назначению прибор 4262А (см. рис. 4) калиброван в барах и градусах Цельсия. Диапазон измеряемых давлений составляет $-1...+350$ бар, компенсированный диапазон температур равен $-40...+120^{\circ}\text{C}$.



Рис. 6. Датчик давления 211В

Сверхвысокочувствительный датчик давления 7261 (РЕ, см. рис. 5), имеет чувствительность 2200 пКл/бар в калиброванных диапазонах $-1...+10$, $0...+1$ и $-1...0$ бар. Прибор построен на основе резонатора Гельмгольца с ниппельной трубкой. Основные области применения прибора:

- динамические и квазистатические измерения, в том числе в трубопроводах охладителей или компрессоров;
- измерение давления в карбюраторах двигателей внутреннего сгорания;
- измерение перепадов давления в системах автоматизации газовых электростанций;
- измерение звукового давления в окружающей среде.

Серия пьезоэлектрических датчиков давления 211В (РЕРЕ, см. рис. 6) общего назначения характеризуется высоким уровнем выходного напряжения, низким выходным сопротивлением, компенсацией ускорения, высокой собственной частотой (500/300 кГц) и удовлетворяет директивам ЕС. В состав серии входят 6 типов датчиков (в каталог 2016 г. включены 211В1 и 211В2), отличающихся диапазоном измеряемых давлений и чувствительностью:

- 211В1 – 689 бар / 7,3 мВ/бар;



Рис. 7. Датчик давления 601С



Рис. 8. Преобразователь давления 4080А



Рис. 9. Датчик давления 7005



Рис. 10. Датчик силы 9257В

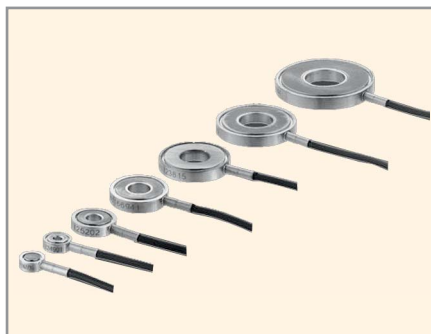


Рис. 11. Датчики силы 9130-9137В

- 211В2 – 345 бар / 14,5 мВ/бар;
- 211В3 – 34 бар / 145 мВ/бар;
- 211В4 – 14 бар / 362 мВ/бар;
- 211В5 – 7 бар / 725 мВ/бар;
- 211В6 – 3,4 бар / 1450 мВ/бар.

Приборы серии могут быть использованы для измерения давления в гидравлических и пневматических системах, трубопроводах, закрытых резервуарах, при проведении автомобильных испытаний, а также для измерения давления дутья и звукового давления. Приборы могут измерять колебания давления в диапазоне от 0,0007 Гц до 100 кГц (211В1), время установления равно 1 мкс (10–90%). Датчики отличаются высокой виброустойчивостью (1000 g) и ударопрочностью (20 000 g).

Пьезоэлектрические датчики серии 601С разработки 2015 года (см. рис. 7) предназначены для измерения динамического давления в диапазоне 0...250 бар. Приборы могут быть использованы для измерения пульсаций давления в насосах и компрессорах, динамических измерений в закрытых резервуарах, при проведении испытаний пиротехнических приборов и энергетических материалов. В состав серии входят 7 типов приборов IEPЕ, отличающихся диапазоном измеряемых давлений и чувствительностью:

- 601СВА00255.0 – 0–250 бар / 20 мВ/бар;
- 601СВА00070.0 – 0–70 бар / 71 мВ/бар;
- 601СВА00035.0 – 0–35 бар / 143 мВ/бар;
- 601СВА00014.0 – 0–14 бар / 357 мВ/бар;
- 601СВА00007.0 – 0–7 бар / 714 мВ/бар;
- 601СВА00003.5 – 0–3,5 бар / 1429 мВ/бар;
- 601СВА00001.5 – 0–1,5 бар / 3333 мВ/бар.

Диапазон рабочих температур датчиков составляет –55...+120°С, собственная частота – более 215 кГц, время установления – менее 1,4 мкс (10–90%), нижняя граница частотного диапазона измеряемых пульсаций давления – 0,05 Гц.

В состав серии также входит и датчик РЕ 601САА/САВ с чувствительностью –37 пКл/бар и диапазоном рабочих температур –196...+350°С.

Пьезоэлектрические преобразователи давления серии 4080А (IEPE, см. рис. 8) разработки 2015 г. предназначены для испытательного оборудования и измерительных систем. В состав серии входят 5 типов приборов с диапазонами измеряемых давлений 0...5, 0...10, 0...20, 0...130 и 0...250 бар. Полный размах выходного напряжения с постоянной составляющей – 4,2 В (VDC), дрейф нуля выходного сигнала составляет не более 0,2 В, диапазон частот пульсации давления 0...5000 Гц. Диапазон рабочих температур равен –40...+150°С, компенсированный диапазон

температур +25...+120°С. Напряжение питания приборов составляет 8–16 В, ток потребления – не более 5 мА.

Пьезоэлектрический датчик давления 7005 (РЕ, см. рис. 9) обеспечивает измерение динамического давления в диапазоне 0...600 бар с чувствительностью –50 пКл/бар, диапазон рабочих температур составляет –196...+200°С, собственная частота равна 70 кГц, линейность – ±0,8% FSO.

Датчики силы

В данную категорию входят 92 типа приборов, рассчитанных на измерение силы с максимальным пределом от 500 Н до 950 кН. К основным областям применения датчиков относятся: системы защиты транспортных средств, испытания продукции и мониторинг процессов прессования и сборки в промышленности, динамические испытания и тесты на прочность транспортных средств, измерение усилий резания, биомеханика. Устройства измерения силы могут быть выполнены в виде датчиков, динамометров и измерительных платформ. Рассмотрим особенности некоторых датчиков силы компании, разработанных в последние годы.

Многоосевой датчик силы 9257В (см. рис. 10) с размером контактной пластины 100 × 170 мм позволяет измерять силы по трём ортогональным осям при резании, фрезеровании и шлифовании. Приборы защищены от коррозии, водяных брызг и охлаждающих жидкостей. Диапазон измерения сил по трём осям Fx, Fy и Fz составляет –5...+5 кН, чувствительность равна –7,5 пКл/Н (Fx, Fy) и –3,7 пКл/Н (Fz).

Плоские кварцевые датчики силы (SlimLine Sensors, SLS) серии 9130В–9137В (см. рис. 11) обеспечивают измерение силы в диапазоне от 0...3 кН до 0...80 кН и отличаются высокой чувствительностью (порядка –3,8 пКл/Н), а также малыми размерами (диаметр от 8 до 36 мм). Датчики предназначены для измерения сил сжатия (по оси Z) во время сборки, испытаний, штамповки и других процедур промышленного производства. Приборы не требуют калибровки, очень компактны и могут работать в диапазоне температур –20...+120°С. Возможно параллельное подключение нескольких датчиков к одному усилителю заряда, в этом случае выходное напряжение U3 пропорционально сумме сил, при-



Рис. 12. Датчик силы 9311В



Рис. 13. Монитор maXyMos BL 5867D



Рис. 14. Серия датчиков силы 93X3A

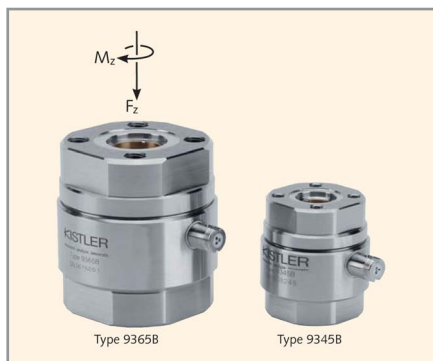


Рис. 15. Датчики силы 9345В, 9365В

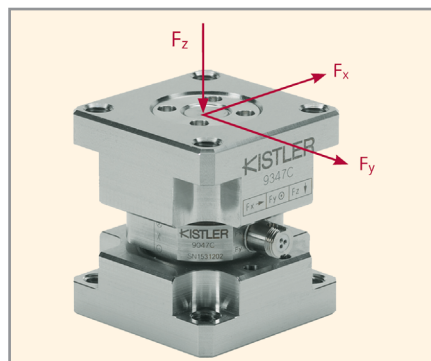


Рис. 16. Измерительная платформа 9347С



Рис. 17. Многоосевой динамометр 9129АА



Рис. 18. Измерительный молоток 9728А20000

ложенных ко всем подключённым датчикам.

Аналогичные по внешнему виду датчики силы серии 9143В–9147В обеспечивают измерение боковых сил сжатия и расширения по оси Y (вдоль кабеля) в диапазоне от 0...±0,9 кН до 0...±8 кН. Чувствительность датчиков составляет порядка 6–8 пКл/Н.

Датчики силы серии 9301В–9371В (на рисунке 12 представлен датчик 9311В) предназначены для измерения динамических и квазистатических сил сжатия и растяжения. Диапазоны измерения составляют от ±2,5 кН (9301В) до ±120 кН (9371В), чувствительность – около –4 пКл/Н, диапазон рабочих температур равен –40...+120°C. Для совместной работы с датчиками предназначены монитор maXyMos BL 5867D (см. рис. 13) и усилители заряда типов 5867В, 5015А и 5073А111.

Серия датчиков 93X3А Press Force (см. рис. 14) предназначена для измерения динамических и квазистатических сил. За счёт применения пьезоэлектрических измерительных элементов обеспечивается высокая точность измерений в широком диапазоне сил. Датчики обеспечивают измерение сил сжатия и растяжения по оси Fz в диапазонах от 0...100 Н до 0...700 кН. Большой ряд типоразмеров (исполнений) датчиков предопределяет широкий спектр

их применения в различных отраслях промышленности.

Двухосевые датчики силы 9345В и 9365В (см. рис. 15) предназначены для измерения сил сжатия/растяжения по оси Z и крутящего момента Mz. Диапазоны измерения составляют –10...+10 кН / –25...+25 Нм (9345В), –20...+20 кН / –200...+200 Нм (9365В), чувствительность – около –3,7 пКл/Н, –140 пКл/Н или –190 пКл/Н. Приборы могут быть использованы для измерения силы и вращающего момента при бурении, нарезании резьбы, испытаниях пружин, для контроля резьбовых соединений, опорных подшипников и фрикционных сцеплений, а также для измерения пусковых и рабочих моментов механизмов и инструментов.

Измерительные платформы 9347С предназначены для контроля сил по трём ортогональным осям X, Y и Z (см. рис. 16). Диапазоны измерения сил –15...+15 кН по осям X, Y и –30...+30 кН по оси Z, размеры платформы составляют 55 × 55 мм, а высота – 60 мм. Приборы могут быть использованы для измерения сил резания, при проведении краш-тестов, измерениях сил отдачи, вибраций транспортных средств и биомеханических платформ, ветровых нагрузок на конструкции и тому подобного. Аналогичные по назначению и внешне-

му виду приборы 9377С с размерами платформы 120 × 120 мм и высотой 125 мм обеспечивают измерение сил в диапазонах –75...+75 кН по осям X, Y и –150...+150 кН по оси Z.

В категории датчиков силы каталога компании 2016 года также представлены различные динамометры (на рисунке 17 показан многоосевой динамометр 9129АА) и измерительные молотки (Impulse Hammer). На рисунке 18 показан измерительный молоток на 20 000 Н весом 1500 грамм 9728А20000.

ЛИТЕРАТУРА

1. www.en.wikipedia.org/wiki/Walter_Kistler.
2. www.kistler.com/ru/en/about-us/locations.
3. www.astrotechcorp.com.
4. www.en.wikipedia.org/wiki/Kistler_Prize.
5. www.kistler.com/ru/en.

