

## НОВОЕ ПОКОЛЕНИЕ МОДУЛЬНЫХ DC/DC-ПРЕОБРАЗОВАТЕЛЕЙ INTERPOINT

Компания Crane Aerospace & Electronics, которая поставляет преобразователи питания специального назначения под брендом Interpoint, объявила о разработке новых низкопрофильных DC/DC-модулей класса Hi-Rel номинальной мощностью 6 Вт и о начале производства новой серии радиационно-стойких изолированных DC/DC-преобразователей номинальной мощностью 40 Вт.

В. Черный

### THE NEW GENERATION OF INTERPOINT MODULAR DC/DC-CONVERTERS

Abstract - Crane Aerospace & Electronics, which supplies special purpose power converters under the Interpoint brand, announced the development of new low-profile DC/DC modules of the Hi-Rel class with nominal power of 6W and the launch of new series of rad-hard isolated DC/DC converters with nominal power of 40 watts.

V. Chorny

### НОВЫЙ DC/DC-МОДУЛЬ HI-REL

Наибольший интерес для разработчиков, конечно же, представляет появление нового модуля серии MSA+ с увеличенной плотностью мощности [1] на замену известной серии MSA высоконадежных преобразователей питания. Нужно отметить, что предыдущая серия преобразователей MSA отлично себя зарекомендовала на борту военных и гражданских воздушных судов, военной и специализированной техники, в т.ч. в таких знаковых проектах, как истребитель Joint Strike Fighter F-35 (рис. 1), вертолет Apache и другие.

Конверторы Interpoint MSA применяются также и в космических аппаратах, предназначенных для работы на низких орбитах. Некоторые потребители продукции компании испытали преобразователи MSA и пришли к выводу, что они сохраняют работоспособность при поглощенной дозе излучения более 50 крад (Si), при этом влияние тяжелых ионов с энергией до 100 МэВ, полученных в линейном ускорителе, не приводит к нарушению их работы [2]. Таким образом, конверторы MSA применяются в низкоорбитальных космических миссиях, несмотря даже на то, что эти изделия специально не конструировались для применения в условиях космической среды.

Производитель имеет право создавать устройства классов H и K в соответствии с MIL-PRF-38534 на своем оборудовании и отбраковывать эти изделия по стойкости к воздействию факторов окружающей среды, в соответствии с военным стандартом MIL-STD-883.

Помимо преобразователей высокой надежности [3] компания Crane A&E выпускает и достаточно ши-

рокую линейку специализированных "космических" преобразователей [4], параметры которых приведены в табл. 1. Они широко используются как в проектах NASA, так и в космических программах других стран, включая Украину. Общеизвестно участие компании в проектах марсоходов, в том числе и неугомонного Curiosity (рис. 2), в авионике ракетопосылителя Ariane 5 и др.

Новые преобразователи постоянного тока MSA+ (рис. 3) совместимы по выводам с предшественниками MSA и предназначены для их прямой замены в существующих схемах и, безусловно, для применения в новых проектах. Итак, что изменилось?

Увеличилась выходная мощность отдельного устройства с 5 до 6 Вт при меньшей высоте профиля, расширился диапазон допустимых входных напряжений, вместо оптопары для гальванической развязки применяется развязка с помощью трансформаторов.

Серия MSA+ включает 8 моделей с одним или двумя выходами (рис. 4) на выходные напряжения 3.3, 5, 5.2, 12, 15,  $\pm 5$ ,  $\pm 12$  или  $\pm 15$  В постоянного тока. На вход MSA+ подается напряжение с шины питания в диапазоне от 15 до 50 В постоянного тока (ранее было от 16 до 40 В). Допускаются всплески напряжения при переходных процессах до 80 В (длительность фронта до 50 мс). В модуле предусмотрена защита от короткого замыкания.

Типичный КПД достигает 76%, что является приемлемым показателем для данного класса устройств. Для двухканальных моделей допустимая мощность на канал – до 4,8 Вт или 80% от общей мощности. Двухканальные модели также могут быть настроены как одноканальные с удвоением выходного напряжения.



Рис. 1. Модули питания Interpoint используются в авионике истребителей F-35

Таблица 1. Радиационно-стойкие DC/DC-преобразователи Interpoint

Серия	Входное напряжение, В	Выходное напряжение, В	Мощность нагрузки, Вт	КПД, % (тип.)	Фильтры ЭМП
SMFLHP	19...40	3.3, 5, 12, 15, ±5, ±12, ±15	53...100	72... 87	SFME28-461
SMFL	16...40	3.3, 5, 12, 15, ±5, ±12, ±15	40...60	70...85	SFME28-461
<b>NEW!</b> SMP120	80...60	5, 28	40 (5 В), 49 (28 В)	75 (5 В), 83 (28 В)	Встроенный
SMRT28	19...56	3.3, 5, 8.7, 12, 15, ±5, ±12, ±15	23 ... 35	60 ... 75	Встроенный
		3.3 и ±12, 3.3 и ±15, 5 и ±7.5, ±12.5, ±15			
SMTR	16...40	3.3, 5, 12, 15, ±5, ±12, ±15	12...30	60...84	SFMC28-461
MFP	3...6	0.64 ... 3.5	5.6 ... 16.5	73 ... 92	Не рекомендован
SMHF42	35...55	3.3, 5, 5.2, 12, 15, ±5, ±12, ±15	8...15	73...82	SFMC28-461
SMHF	16...45	3.3, 5, 12, 15, ±5, ±12, ±15	6...15	67...82	SFMC28-461
SMSA	16...40	3.3, 5, 5.2, 12, 15, ±5, ±12, ±15	4...5	65...74	STF28-461 SFMC28-461
SLH	16...40	5, 12, 15, ±5, ±12, ±15	1.5	74...77	STF28-461

Для обеспечения требований CE03 стандарта MIL-STD-461C по электромагнитной совместимости производитель настоятельно рекомендует использовать с преобразователями MSA+ фильтр

FMSA-461 в модульном исполнении, который также выпускается Crane A&E.

Герметичный металлический корпус с габаритными размерами 27.05×27.05×8.89 мм и специ-

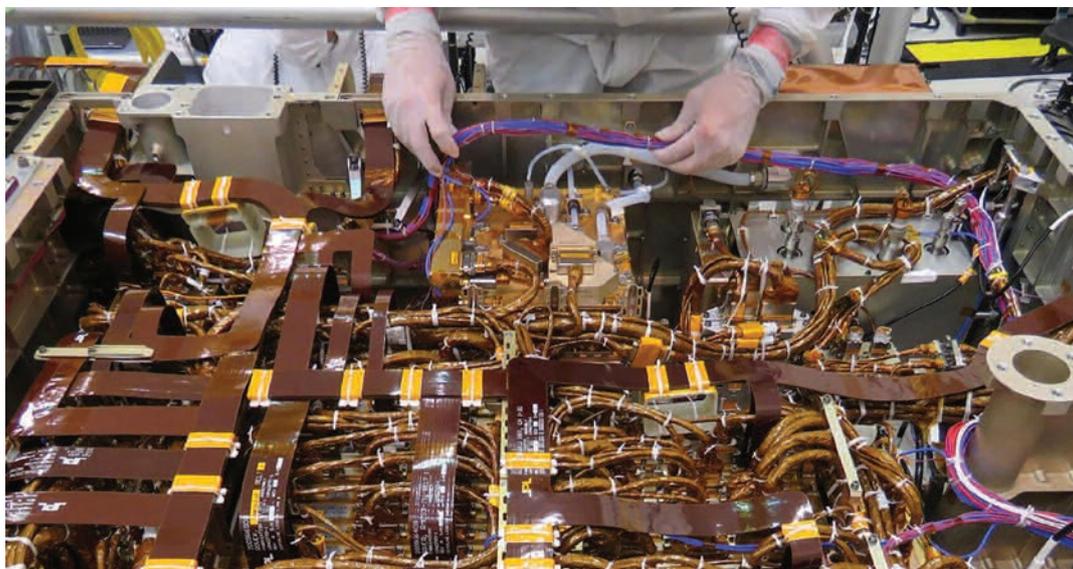


Рис. 2. Радиационно-стойкие модули Interpoint стали основой архитектуры питания марсохода Curiosity

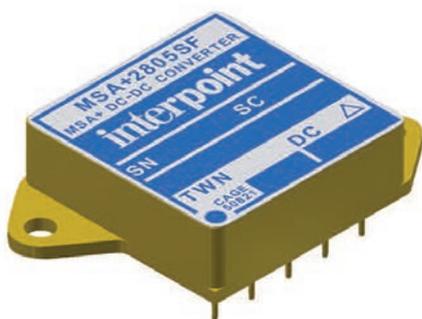


Рис. 3. Внешний вид DC/DC-преобразователей MSA+

альным покрытием обеспечивает надежную защиту модуля. Новинка доступна в корпусах без фланцев или с фланцами для фиксации винтами (рис. 5). Асимметричное расположение фланцев позволяет увеличить плотность крепления модулей в ряд на плате.

Диапазон рабочих температур модулей составляет от -55 до 125 °С (до 135 °С со снижением мощности). В спецификации при монтаже пайкой оплавлением или волной припоя не рекомендуется использовать температуры выше +300 °С и подвергать устройство воздействию температур выше предельной дольше 10 секунд.

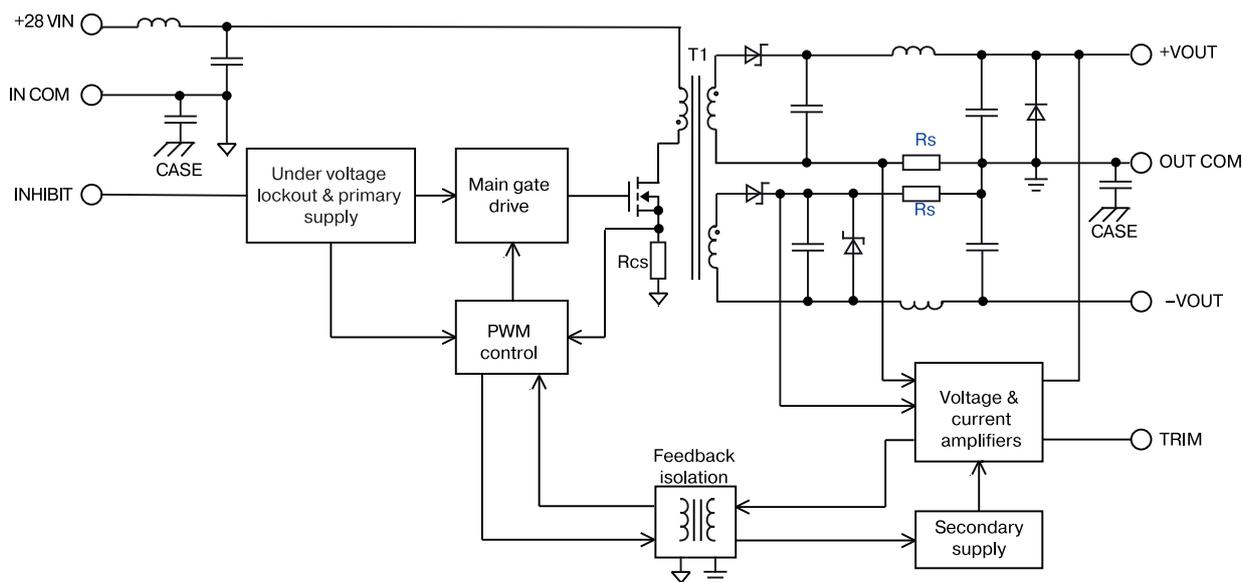
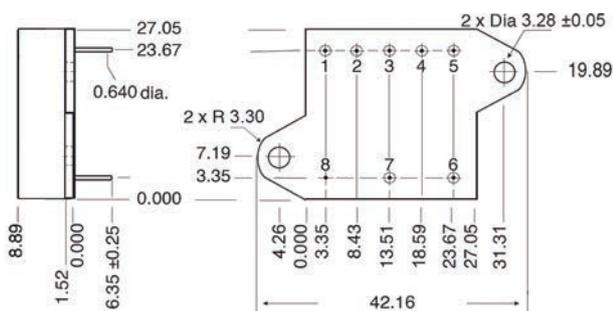


Рис. 4. Структурная схема преобразователя MSA+ с двухканальным выходом



**Рис. 5. Габаритные и посадочные размеры преобразователя MSA+ с монтажными фланцами**

Модули MSA+ проходят стандартизованную программу испытаний по MIL-PRF-38534 или с расширенными требованиями (варианты исполнения ES, SX). В самом жестком варианте отбраковки SX устройства подвергаются, среди прочего, термоциклированию в диапазоне от -65 до +150 °С, воздействию постоянных ускорений до 3000 g, проверке герметичности в среде перфторуглеводорода и гелия, расширенной проверке электрических характеристик при температурах -55, 25 и 125 °С, тестированию характеристик при длительной работе в тяжелых условиях: 160 часов при температуре 125 °С.

Модули поставляются под заказ в исполнении с монтажными фланцами или без них и не являются объектом экспортного контроля США.

Особая "космическая" версия SMSA (рис. 6) пока остается при прежних характеристиках. Модуль имеет выходную мощность 5 Вт, диапазон входного напряжения от 16 до 40 В (броски до 50 В при длительности до 120 мс), другие характеристики те же. Преобразователи SMSA поставляются в различных вариантах исполнения: Class H, Class K и в радиационно-стойких (RHA) исполнениях: O (для прототипирования, не тестируется), P (30 krad (Si)), L (50 krad (Si)) или R (100 krad (Si)), в соответствии с MIL-STD-38534.



**Рис. 6. Внешний вид DC/DC-преобразователя SMSA**

Кроме модулей MSA, которые являются одними из наиболее известных и применяемых изделий, компания Crane Aerospace & Electronics провела

определенный апгрейд всей продуктовой линейки, как класса Hi-Rel, так и радиационно-стойких модулей.

В частности, следует отметить постепенное внедрение во всех модулях для обеспечения развязки в цепи обратной связи трансформаторов небольшой мощности (magnetic feedback) вместо оптопар, поскольку именно оптопара является "ахиллесовой пятой" в преобразователях питания космического и специального назначения. Ведь под воздействием заряженных частиц коэффициент передачи тока оптопар может значительно снижаться, вплоть до значений, когда петля обратной связи по напряжению будет не в состоянии удерживать уровень выходного напряжения в норме. Начальный момент потери регулируемости всегда внезапен и ведет к значительному увеличению выходного напряжения, сначала в режиме малой нагрузки, а затем и для всех режимов. Отказ преобразователя при этом маловероятен, а вот устройства, которые питаются от него, могут пострадать. Отказ от оптопар в пользу трансформаторной развязки должен, по мнению производителя, повысить стабильность характеристик преобразователей питания.

### НОВЫЙ DC/DC-МОДУЛЬ КОСМИЧЕСКОГО НАЗНАЧЕНИЯ

Примером может служить модуль SMP120 [5] из новой серии DC/DC-преобразователей для работы от бортовой сети космических аппаратов (КА) напряжением 100/120 В постоянного тока (рис. 7).



**Рис. 7. Внешний вид DC/DC-преобразователя SMP120**

Диапазон входного напряжения SMP120 от 80 до 160 В. Модули способны выдерживать импульсы напряжения 180 В длительностью до 100 мс. В данный момент доступны для заказа одноканальные модули с выходным напряжением 5 и 28 В, в перспективе ожидаются одноканальные модули на 12 и 15 В, двухканальные – на ±5, ±12 и ±15 В.

Преобразователи выпускаются в исполнениях

Class H и Class K согласно требованиям MIL-PRF-38534 с уровнями радиационной стойкости L и R. Испытания на предельно накопленную дозу выполняются как при высокой интенсивности облучения 50...300 rad(Si)/sec, так и облучением низкой интенсивности 10 mrad(Si)/sec для определения эффекта восприимчивости к длительному воздействию низкой мощности дозы (Enhanced Low Dose Rate Sensitivity – ELDRS).

Стойкость к воздействиям одиночных заряженных частиц составляет 43 МэВ·см<sup>2</sup> по эффекту отказов SEB (Single Event Burnout – пробой истоковой области в мощных MOSFET), SEL (Single Event Latch-up – тиристорный эффект) и SET (Single Event Transient – переходная ионизационная реакция в виде импульсов напряжения в выходных цепях).

Модули способны работать в условиях воздействия неблагоприятных факторов внешней среды на борту космических аппаратов, таких как вибрационная нагрузка, линейные перегрузки, механических удары, низкое давление газовой среды, повышенная влажность. Диапазон рабочей температуры от -55 до 125 °С.

В модуле SMP120 реализованы:

- дистанционное включение/отключение
- синхронизация работы преобразователя внешним сигналом
- подстройка выходного напряжения ( $\pm 10\%$ )
- защита от короткого замыкания в нагрузке
- защита от пониженного входного напряжения и перенапряжения на выходе
- ограничение пускового тока.
- применение трансформатора в цепи обратной связи.

Особо необходимо отметить наличие встроенного на входе ограничителя пускового тока, который необходим в системах электропитания бортовой электронной аппаратуры, первичный источник электропитания которых (например, аккумуляторная батарея) ограничен по мощности и не допускает бросков потребляемого тока.

Модули серии SMP120 выполнены по прямоходовой схеме с хорошо отработанным методом ШИМ-регулируемого на постоянной частоте преобразования 500 кГц. Топология с токовым управлением обеспечивает высокий уровень подавления пульсаций тока на входе и выходе. Применение на входе двухзвенного демпфируемого LC-фильтра уменьшает пульсации входного тока. Демпфирование фильтра уменьшает выбросы напряжения на резонансных частотах для минимизации воздействия на

пряжения на элементы фильтра и силовые компоненты. Демпфирование также служит для уменьшения взаимного влияния выходного импеданса фильтра и отрицательного входного импеданса DC/DC-преобразователя.

Модули SMP120 выпускаются в герметичных стальных корпусах с габаритными размерами 76,2×58,42×12,22 мм.

Поставка модулей серии SMP120 осуществляется на основании EAR99 без оформления лицензии на экспорт. Стандартный срок поставки модулей составляет 29-32 недели.

### РАСШИРЕНИЕ МОДЕЛЬНОГО РЯДА DC/DC-ПРЕОБРАЗОВАТЕЛЕЙ INTERPOINT

Нельзя не заметить, сравнивая продуктовые линейки разных лет, появление в ассортименте новых серий с повышенным КПД (что, впрочем, не очень критично для целевых рынков), со встроенными фильтрами электромагнитных помех (EMI-фильтров), с дополнительными функциями и т.п. (табл. 2). Очевидно разработчики продолжают работу над совершенствованием продукции, хотя компания Crane Aerospace & Electronics достаточно уверенно чувствует себя на рынке, имея едва ли не монопольное положение в отдельных сегментах.

Следует отметить, что значительное влияние на совершенствование преобразователей Interpoint было оказано подготовкой к марсианской космической миссии Mars Science Laboratory, в ходе которой на Красную Планету был заброшен марсоход Curiosity. На борту "Любопытства" применено девять различных серий преобразователей и EMI-фильтров Interpoint, включая SMSA, SMFLHP, SMRT, SMHF и SFME.

Испытания на устойчивость к воздействию тяжелых заряженных частиц проводились в течение года на циклотроне Texas A&M University (TAMU) и на ускорителе Lawrence Berkeley National Laboratory (LBNL). Для имитационного моделирования случайных воздействий использовался сфокусированный лазер Naval Research Laboratory (NRL). Тестировались как преобразователи в целом, так и отдельные компоненты, в частности, биполярные ИМС компаратора ШИМ-контроллера, источники опорного напряжения операционного усилителя и другие узлы. Результаты опытов были учтены при разработке новых поколений устройств [6].

Неудивительно, что именно DC/DC-преобразователи и EMI-фильтры Interpoint были выбраны Jet Propulsion Laboratory (JPL), генподрядчиком NASA в

Таблица 2. DC/DC-преобразователи Interpoint класса Hi-Rel

Серия	Входное напряжение, В	Выходное напряжение, В	Мощность нагрузки, Вт	КПД, % (тип.)
MOR	16...40	3.3, 5, 6.3, 9.5, 12, 15, $\pm 3.3$ , $\pm 5$ , $\pm 6.3$ , $\pm 9.5$ , $\pm 12$ , $\pm 15$	66...120	77...87
MFL	16...40	3.3, 5, 12, 15, 28, $\pm 5$ , $\pm 12$ , $\pm 15$	50...65	76...86
MFX	16...50	3.3, 5, 9, 12, 15	50	89...91
MWR	14...50	3.3 и $\pm 12$ , 3.3 и $\pm 15$ , 5 и $\pm 12$ , 5 и $\pm 15$	30...35	81...85
MTR 50	16...50	3.3, 5, 8.5, 12, 15, $\pm 5$ , $\pm 12$ , $\pm 15$	20 to 30	76...84
MFK	16...50	1.8, 2.5, 3.3, 5, 5.2, 5.7, 12, 15, 28, $\pm 5$ , $\pm 7$ , $\pm 12$ , $\pm 15$	10...25	72...86
MHV	16...50	3.3, 5, 12, 15, $\pm 5$ , $\pm 12$ , $\pm 15$	10...15	72...83
		5 и $\pm 12$ , 5 и $\pm 15$	15	78
MHF+	16...40	1.9, 3.3, 5, 5.2, 5.3, 12, 15, 28, $\pm 5$ , $\pm 12$ , $\pm 15$	6.65...15	62...84
	16...48	5 и $\pm 12$ , 5 и $\pm 15$	15	75
NEW! MSA+	15...50	3.3, 5, 6.3, 12, 15, $\pm 5$ , $\pm 6.3$ , $\pm 12$ , $\pm 15$	6	76
MFP POL	3...6	0.8...3.5	5.6...16.5	73...92
MSA/MGA	16...40	5, 5.2, 12, 15, $\pm 5$ , $\pm 12$ , $\pm 15$	1.2...5	71...80
MCH/MGH	12...50	5, 12, 15, $\pm 5$ , $\pm 12$ , $\pm 15$	1.5	76...79

миссии Марс-2020, для питания следующего марсохода (усовершенствованная версия Curiosity, которая стартовала летом этого года и "примарсится" в феврале 2021 года).

### ЛИТЕРАТУРА

1. [https://www.craneae.com/sites/default/files/resources/MSA\\_plus%20DC-DC%20Converters.pdf](https://www.craneae.com/sites/default/files/resources/MSA_plus%20DC-DC%20Converters.pdf)  
 2. Жданкин В. К. Устойчивость гибридных DC-DC преобразователи напряжения к воздействию ионизирующих излучений космического пространства // Современные технологии автоматизации. 2005, № 3, с. 6-26.

3. <https://www.craneae.com/sites/default/files/gallery-images/interpoint/pdfs/HiRel%20Product%20Portrait.pdf>  
 4. <https://www.craneae.com/sites/default/files/gallery-images/interpoint/pdfs/Space%20Product%20Portraits.pdf>  
 5. [https://www.craneae.com/sites/default/files/resources/SMP120\\_Space\\_DC\\_DC\\_Converter\\_Preliminary.pdf](https://www.craneae.com/sites/default/files/resources/SMP120_Space_DC_DC_Converter_Preliminary.pdf)  
 6. Жданкин В.К. DC/DC-преобразователи CRANE Electronics: результаты испытаний на воздействие радиации – экзамен сдан. // Современные технологии автоматизации. 2013, № 3, с. 90-101.

**VD MAIS**  
**Контрактное производство электроники**  
 (по стандарту IPC-A-610)

- автоматизированный монтаж SMD-компонентов (до 2,5 млн в сутки)
- автоматизированная селективная пайка компонентов, монтируемых в отверстия
- монтаж прототипов печатных плат
- 100% автоматический оптический контроль качества монтажа
- изготовление опытных образцов изделий
- мелко- и крупносерийное производство
- 10-летний опыт контрактного производства
- гарантия качества

Сертификация на соответствие требованиям стандартов ISO 9001:2015, ISO 14001:2015, IATF 16949:2016 и ISO 13485:2016  
**Цены – оптимальные.**

Украина, 03061 Киев, ул. М. Донца, 6  
 тел.: (0-44) 201-0202, 492-8852, факс: (0-44) 202-1110  
 e-mail: info@vdm.ais.ua, www.vdm.ais.ua



**VD MAIS**  
**Оборудование и материалы для монтажа/демонтажа электронных компонентов (ЭК)**

- Паяльное и ремонтное оборудование
- Системы очистки воздуха
- Устройства трафаретной печати
- Системы установки компонентов
- Паяльные печи: конвекционной и селективной пайки, пайки волной
- Испытательное оборудование
- Системы визуального контроля
- Координатно-фрезерные станки
- Технологические материалы монтажа ЭК
- Средства антистатической защиты

**Дистрибуция и прямые поставки:**  
 AIM, Bernstein, Charleswater, Electrolube, Essemtec, KIC, Kolver, LPKF, Magic Ray, Miele, Nordson, Optilia, PACE, PDT, Hanwha, Seho, TWS, Vision, Weiss

Украина, 03061 Киев, ул. М. Донца, 6  
 тел.: (0-44) 201-0202, 492-8852, факс: (0-44) 202-1110  
 e-mail: info@vdm.ais.ua, www.vdm.ais.ua

