

ПРОМЫШЛЕННЫЕ РОБОТЫ В СОВРЕМЕННОМ ПРОИЗВОДСТВЕ

В. Н. БЕРНАДСКИЙ, канд. техн. наук (Ин-т электросварки им. Е. О. Патона НАН Украины)

Представлены статистические и маркетинговые данные о мировом производстве промышленных роботов, объеме их продаж, общей численности мирового и национальных парков роботов, а также об основных областях применения в современном производстве. Показано, что роботы для сварки и родственных технологий составляют основную часть мирового парка промышленных роботов.

Ключевые слова: промышленные роботы, сварочные роботы, классификация, статистика, мир, прогноз, производство, рынок, парк, области применения

В последние десятилетия робототехника заняла ведущее место в автоматизации современного промышленного производства. Ее развитие, несмотря на отдельные спады и взлеты, отличается высокой стабильностью. Инженерные и технологические разработки средств робототехники в основном концентрируются собственно на промышленных роботах (ПР), имеющих наибольший спрос и уже сложившиеся области эффективного применения в производстве. При снижении стоимости промышленных роботов значительные успехи достигнуты в повышении их служебных характеристик, гибкости и надежности. Наиболее существенные достижения наблюдаются в области систем управления роботами благодаря использованию в них новых поколений микропроцессоров, обеспечивающих увеличение их функциональных и производственных возможностей.

Расширение сферы применения роботов в промышленном производстве обусловлено не только стремлением к повышению производительности, но и насущной необходимостью обеспечивать высокое качество продукции и стабильность этого показателя при больших партиях или при частых изменениях объектов производства. По мнению экспертов, серьезными стимулами роста инвестиций в производство и применение промышленных роботов являются следующие:

✧ непрерывное снижение стоимости промышленных роботов на фоне роста стоимости рабочей силы. В частности, за период 1990–1999 гг. средняя цена промышленных роботов на рынке США снизилась на 40 %, в то время как стоимость рабочей силы за то же десятилетие возросла на 38...39 % [1];

✧ недостаток квалифицированной рабочей силы. Так, например, в Японии в последние годы зафиксирован хронический дефицит сварщиков, резчиков и операторов сварочного оборудования, который составляет 8...10 % общей численности сварочного персонала, что в 2 раза выше среднего показателя по стране [2];

✧ освобождение работающих на производстве от тяжелого, интенсивного и монотонного труда;

✧ возможность улучшения экологической обстановки и снижения вредного влияния производства, особенно сварочного, на здоровье производственного персонала.

Международная федерация робототехники (IFR) совместно с Европейской экономической комиссией ООН систематически собирают экономико-статистическую информацию стран-членов IFR и на ее основе ежегодно издают отчеты о состоянии и тенденциях развития мирового производства и парка роботов, а также об областях их применения. По данным IFR [1], на начало 2000 г. в мире было выпущено около миллиона промышленных роботов и примерно 743 тыс. из них находится в эксплуатации, составляя общемировой парк промышленных роботов всех типов. По краткосрочному прогнозу IFR, к 2003 г. общемировой парк возрастет в среднем на 5 % в год и достигнет численности 892 тыс. шт. В первой половине 2000 г. объемы парка уже возросли на 10...15 % по сравнению с первой половиной 1999 г., что иллюстрирует умеренность темпа роста, принятого в прогнозе IFR.

Динамика роста стоимостного объема рынка промышленных роботов за период 1997–1999 гг. в мире и в ряде ведущих стран представлена в табл. 1. В 1999 г. на рынке было реализовано более 81,508 тыс. роботов на сумму более 5,1 млрд дол. США. При этом средняя стоимость одного робота непрерывно снижается: если в 1991 г. она составляла 103 тыс., то в 1995 г. — уже 74 тыс.,

Таблица 1. Стоимостный объем мирового рынка промышленных роботов и рынка ряда стран, млн. дол. США (текущие цены)

Страна	1997	1998	1999	1999/1998, %
Япония	2242	2166	2366	9,2
США	1100	1028	1210	17,7
Германия	557	597	539	-9,7
Республика Корея	112	59	89	50,8
Италия	233	295	318	7,8
Великобритания	109	73	86	17,8
Франция	98	99	183	84,8
Всего	4450	4317	4792	11,0
Все другие страны	414	499	347	-30,5
Всего, мир	4864	4816	5139	6,7



а в 1999 г. — 62 тыс. дол. США. Наиболее дорогие роботы выпускают фирмы США (90...100 тыс. дол. США), а наиболее дешевые (30...35 тыс. дол. США) — фирмы Республики Корея [3].

На период 2000–2003 гг. прогнозируется среднегодовой темп роста количественного объема продаж в пределах 10 %, что позволяет ожидать в 2003 г. продажу на мировом рынке более 120 тыс. промышленных роботов [1].

При общей тенденции неуклонного роста количества устанавливаемых и вводимых ежегодно в эксплуатацию промышленных роботов, а также роста общего парка роботов темпы и характер развития роботизации в отдельных регионах и странах мира отличаются весьма существенно. Статистические данные по двум упомянутым показателям за 1999 г. и прогнозируемые объемы на 2003 г. приведены в табл. 2. Данные о количестве устанавливаемых роботов обычно более достоверны, чем сведения об общем (накопленном) количестве (парке) роботов, ибо данные о демонтаже или прекращении эксплуатации роботов обычно не столь оперативны. В статистических данных о парке роботов обычно принято не учитывать те, которые выпущены и установлены более 12

лет тому назад. Динамика роста общемирового и национальных парков промышленных роботов за более ранний период 1990–1998 гг. приведена в работе [3].

Как видно из табл. 2, основной парк промышленных роботов сосредоточен в Японии, США, странах ЕС и Азиатско-Австралийского региона. За исключением нескольких стран, все регионы в 1999 г. имели положительные, по сравнению с 1998 г., темпы прироста ежегодно устанавливаемых промышленных роботов и численности общего парка, которые составляли для мира в целом 17,9 и 4,9 % соответственно. Прогноз на 2003 г. предусматривает среднегодовой темп прироста количества устанавливаемых в мире роботов около 15 %, а темп прироста парка — примерно 6...7 %.

Учитывая ведущую роль Японии в мире по роботизации промышленного производства, IFR в своих статистических обзорах [1] выделяет Японию и приравнивает ее к другим регионам мира. Более того, общие статистические данные IFR даются в двух категориях: «исключая Японию» и «включая Японию».

Так, Япония (табл. 2), безусловно, является лидером по количеству ежегодно вводимых робо-

Таблица 2. Количество ежегодно устанавливаемых промышленных роботов и их общий парк (регионы и страны мира)

Регион, страна	Установленные роботы, шт.			Общий парк роботов, шт.		
	1999	1999/1998 изменение, %	2003 (прогноз)	1999	1999/1998 изменение, %	2003 (прогноз)
Япония (все типы ПР)	35609	5,4	47500	402212	-2,3	384700
США	15063	38,7	24000	92860	13,6	155400
Европейский Союз	25087	16,4	37400	176210	11,3	262300
Германия	10548	6,1	13000	81203	11,0	109500
Италия	5224	19,2	9500	34991	11,0	57600
Франция	3092	87,1	4700	18163	12,0	28200
Великобритания	1392	8,6	1700	11537	7,2	14900
Австрия	350	40,0	—	3000	9,0	—
Бенилюкс	1059	11,7	—	7803	10,3	—
Дания	253	17,7	—	1169	17,7	—
Финляндия	435	15,1	—	2276	18,4	—
Испания	2112	16,7	—	10473	21,3	—
Швеция	622	-10,0	—	5595	4,8	—
Другие страны Европы	1201	6,7	2000	16976	2,6	14700
Чехия	100	0	—	1315	8,2	—
Венгрия	20	566,7	—	164	-25,8	—
Норвегия	57	-9,5	—	485	4,8	—
Польша	42	-20,8	—	496	2,5	—
Россия	500	0	—	10000	0	—
Словакия	30	0	—	580	5,5	—
Словения	20	0	—	303	5,2	—
Швейцария	432	21,0	—	3632	9,5	—
Азия / Австралия	4056	33,6	8000	48219	7,5	67300
Австралия	383	10,4	—	2871	9,9	—
Республика Корея	2426	69,5	—	33656	7,1	—
Сингапур	500	0	—	5270	6,0	—
Тайвань	747	-1,6	—	6422	10,1	—
Другие страны	492	65,7	1000	5974	6,0	7800
Всего (все типы ПР), включая Японию	81500	15,3	119900	742500	3,3	892200
Прочие страны мира (оценка)	30600**	24,4	—	226900**	10,8	—
Всего (оценка)	112000**	17,9	—	969000**	4,9	—

* Данные по России условно-оценочные. ** В анализе не учитываются.

Таблица 3. Плотность промышленных роботов всех типов

Страна	Плотность роботов, шт./10000 чел.	Парк роботов, шт. (справочно)
Япония (все типы ПР)	280	402212
Сингапур	148	5270
Республика Корея	116	33656
Германия	102	81203
Швеция	69	5595
Италия	67	34991
Финляндия	51	2276
Бенилюкс	49	7803
США	48	92860
Франция	48	18163
Швейцария	46	3632
Австрия	44	3000
Испания	41	10473
Австралия	25	2871
Дания	24	1169
Великобритания	23	11537
Норвегия	16	485
Словения	13	303
Словакия	13	580
Чехия	11	1315
Россия	8	10000
Польша	2	496
Венгрия	2	164
Тайвань	—	6422
Другие страны	—	5974
Всего		742451

тов. Здесь в 1999 г. было установлено 35,6 тыс. роботов, а в 2003 г. прогнозируется установка 47,5 тыс. роботов. При этом происходит активная замена простых роботов прогрессивными (адаптивными и с контурным управлением), доля которых в 2003 г. будет доведена до 85 % [1, 3]. Парк промышленных роботов Японии превышает половину общемирового парка; в 1999 г. его численность достигла 402 тыс., а к 2003 г. несколько сократится и составит примерно 385 тыс. или 46,4 % общемирового парка.

Некоторые элементы стабилизации темпов развития экономики в ведущих странах, в частности Японии и США, могут внести свои коррективы в достаточно оптимистичный прогноз развития робототехники на ближайшие 2...3 года (табл. 2). В частности, начиная с 1998 г. заметно некоторое сокращение парка роботов в Японии. Так, в 1999 г. его падение составило 2,3 %, а к 2003 г. прогнозируется снижение еще на 4 % по сравнению с 1999 г. Отчасти это объясняется расширяющейся практикой выведения из эксплуатации промышленных роботов первых поколений и установкой прогрессивных многоцелевых роботов с повышенным качеством функционирования (скорость, воспроизводимость, точность, надежность) и микропроцессорными системами управления [4].

Общая численность парка действующих роботов в различных странах мира отличается весьма значительно. Достаточно корректно сопоставление уровня роботизации промышленности различных стран мира принято проводить по такому условному показателю, как плотность роботов, т. е. количество

Таблица 4. Международная (IFR) классификация промышленных роботов по областям их применения

IFR класс	Область технологического применения
000	Неопределенные
110	Процессы литья
	111 Фасонное литье
	119 Прочие
130	Процессы литья пластмасс
140	Процессы термической обработки
150	Процессы штамповки/ковки
160	Процессы сварки
	161 Дуговая сварка
	162 Точечная сварка
	163 Газовая/плазменная сварка
	164 Лазерная сварка
	169 Прочие
170	Процессы напыления
	171 Окраска/нанесение покрытий
	172 Герметизация/склеивание
	179 Прочие
180	Механическая обработка
	181 Установка/съем
	182 Резка/шлифовка/зачистка/полировка
	189 Прочие
190	Специальные процессы
	191 Лазерная и плазменная резка
	192 Гидроабразивная резка
	199 Прочие
200	Сборка
	201 Механическая сборка/соединение
	202 Сортировка/монтаж/резка
	203 Сцепление/прихватка
	204 Пайка мягким припоем
	205 Управление сборочными операциями
	209 Прочие
210	Процессы складирования/упаковки
220	Измерение/контроль/диагностика
230	Обработка материалов
240	Обучение/образование/научные исследования
900	Прочие

роботов, приходящихся на 10 тыс. чел., работающих в промышленности. Как видно из табл. 3, самую высокую плотность промышленных роботов всех типов (280...102 промышленных роботов на 10 тыс. чел.) имели в 1999 г. четыре страны: Япония, Сингапур, Республика Корея и Германия [1]. На предприятиях Сингапура в основном применяются простейшие роботы для несложных сборочно-монтажных операций в радиоэлектронной промышленности. По плотности же прогрессивных типов роботов он занимает одно из последних мест среди других стран [3].

Робототехника — направление стабильно развивающееся в первую очередь в промышленном производстве. Это не относится к другим областям применения роботов, таким, например, как сфера сервиса и производственно-технического обслуживания, индустрия развлечений и роботов для индивидуального обслуживания, рынок которых находится пока на начальной стадии развития [1, 4].

Основным пользователем промышленных роботов была и остается на ближайшие 5...10 лет



Таблица 5. Количество устанавливаемых в 1999 г. промышленных роботов для процессов сварки и родственных технологий в ряде ведущих стран мира

Страна	Всего ПР		В том числе по классам					
			Класс IFR: 160 Сварка		Класс IFR: 190 Специальные процессы		Класс IFR: 200 Сборка	
	шт.	%	шт.	%	шт.	%	шт.	%
Австралия	347	100	79	22,8	5	1,4	4	1,2
Дания	253	100	41	16,2	—	—	20	7,9
Финляндия	435	100	29	6,7	3	0,7	141	32,4
Франция	3092	100	1619	52,4	16	0,5	152	4,9
Германия	10548	100	3764	35,7	—	—	696	6,6
Италия	5224	100	1053	20,2	181	3,5	133	2,5
Япония (все типы ПР)	35609	100	6155	17,3	75	0,2	13122	36,9
Норвегия	57	100	16	28,1	1	1,8	2	3,5
Польша	42	100	12	28,6	—	—	12	28,6
Испания	2112	100	1047	49,6	17	0,8	94	4,5
Швеция	622	100	132	21,2	—	—	72	11,6
Тайвань	747	100	257	34,4	—	—	140	18,7
Великобритания	1392	100	685	49,2	17	1,2	28	2,0
США	15063	100	7682	51,0	—	—	1054	7,0
Республика Корея	2426	100	699	28,8	—	—	655	27,0
Все другие страны	3539	100	—	—	—	—	—	—
Всего	81508	100	23270	28,5	315	0,4	16325	20,0

автомобильная индустрия. Постепенно расширяется применение промышленных роботов в сварочном и судокорпусном производстве.

Отрасли общего машиностроения пока сохраняют свои небольшие позиции по использованию промышленных роботов (производство строительного оборудования, электротехнического и энергетического оборудования, а также авиапромышленность). В ближайшей перспективе крупным потенциальным пользователем промышленных роботов должна стать пищевая промышленность.

Традиционные промышленные роботы служат основой для разработки специализированных роботов для таких новых отраслей применения, как хирургия, атомная энергетика, горное дело, подводные работы и космос.

Технологические области применения промышленных роботов достаточно разнообразны. Учитывая это, IFR приняла достаточно четкую систему классификации промышленных роботов по отраслям их технологического применения или видам операций (табл. 4). Как видно из представленной классификации, она охватывает основные технологии физико-химической и механической обработки конструкционных материалов, а также такие вспомогательные процессы и операции промышленного производства, как метрология и контроль, упаковка, складирование, транспортирование и пр.

Основную группу по технологическому назначению составляют роботы, предназначенные для сварки (IFR 160) и родственных технологий (резка, пайка, склеивание, нанесение покрытий, сборка), входящие в классы IFR 170, 190 и 200. Собственно сварочные роботы (класс IFR 160) включают отдельные типы роботов для дуговой, контактной (точечной), газопламенной, лазерной и других процессов сварки.

Класс IFR 170 включает роботы, используемые для таких смежных операций, как нанесение га-

зотермических покрытий и клеев в производстве клеесварных и клееных конструкций.

Промышленные роботы, предназначенные для выполнения специальных процессов (класс IFR 190), в основном могут быть отнесены к сварочным роботам, поскольку они используются для автоматизации лазерной и плазменной резки (класс IFR 191), а также для нового перспективного процесса — гидроабразивной резки (класс IFR 192).

Второй (по численности парка) после сварки областью применения промышленных роботов является сборка (класс IFR 200). Этот класс роботов, кроме собственно сборки и монтажа, включает роботы для таких технологических операций неразъемного соединения деталей, как механическое соединение просечкой, клепкой-чеканкой и др. (класс IFR 201), сварочные прихватки (класс IFR 203) и даже пайка мягким припоем (класс IFR 204). Имеют непосредственное отношение к сварке и промышленные роботы класса IFR 220, предназначенные, в частности, для операций неразрушающего контроля и диагностики качества сварных соединений.

В табл. 5, 6 для основных промышленных стран приведены конкретные сведения о количестве установленных в 1999 г. промышленных роботов и общем парке роботов в 1999 г., предназначенных для сварки и родственных технологий (классы IFR 160 и 190), а также для сборки (класс IFR 200). Для каждой страны приведены абсолютные значения численности и соответствующие доли отдельных видов роботов в их общем количестве.

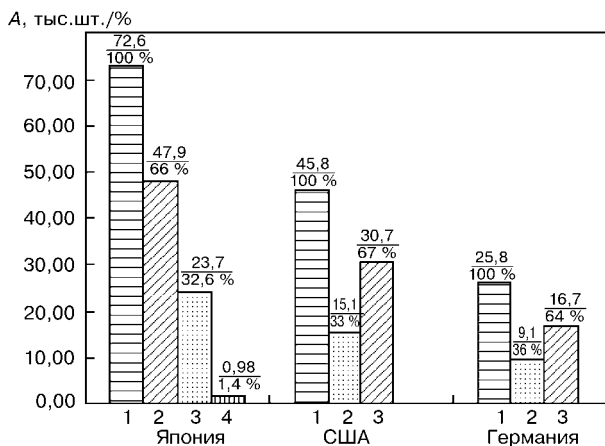
Как видно из табл. 6, доля сварочных роботов (класс IFR 160), эксплуатируемых в промышленности ведущих стран, составляет 35...53 % общей численности их парка, а сборочных (класс IFR 200) — 26,4 % общемирового парка. Доли сборочных роботов в отдельных странах различаются существенно: от 1,7 до 41,2 %. Как правило, на-

Таблица 6. Парк промышленных роботов, предназначенных для сварки и родственных технологий, в ряде ведущих стран мира (1999 г.)

Страна	Всего ПР		В том числе по классам					
			Класс IFR: 160 Сварка		Класс IFR: 190 Специальные процессы		Класс IFR: 200 Сборка	
	шт.	%	шт.	%	шт.	%	шт.	%
Австралия	2613	100	1385	53,0	24	0,9	45	1,7
Дания	1169	100	355	30,4	13	1,1	67	5,7
Финляндия	2276	100	424	18,6	32	1,4	433	19,0
Франция	18163	100	6610	36,4	159	0,9	1405	7,7
Германия	81203	100	25812	31,8	—	—	9908	12,2
Италия	34991	100	7688	22,0	—	—	2327	6,7
Япония (все типы ПР)	402212	100	72591	18,0	1207	0,3	165551	41,2
Норвегия	485	100	131	27,0	14	2,9	22	4,5
Польша	496	100	214	43,1	—	—	62	12,5
Испания	10473	100	5343	51,0	133	1,3	407	3,9
Швеция	5595	100	1964	35,1	21	0,4	383	6,8
Тайвань	6422	100	2939	45,8	—	—	728	11,3
Великобритания	11537	100	5527	47,9	207	1,8	324	2,8
США	92860	100	45816	49,3	—	—	9185	9,9
Республика Корея	33656	100	15266	45,4	—	—	5339	15,9
Все другие страны	38349	100	—	—	—	—	—	—
Всего	742500	100	192065	25,9	1810	0,2	196186	26,4

ибольший парк роботов, предназначенных для монтажно-сборочных операций, имеется в странах с развитым производством изделий точной механики и электронной техники, например в Японии (41,2 %), Финляндии (19,0 %) и Республике Корея (15,9 %).

Собственно сварочные роботы (класс IFR:160) включают два основных типа роботов: первый — класс IFR:161 для электродуговой сварки в защитных газах и второй — класс IFR 162 для контактной точечной сварки. Их соотношение в промышленности различных стран отличается заметно (рисунок). Так, в Японии сварочные роботы преимущественно оснащены технологическим инструментом — горелками для дуговой сварки (66 %) — и только 33 % предназначены для контактной точечной сварки. В США и ФРГ, наоборот, в парке сварочных роботов преобладают роботы для контактной сварки (соответственно 67 и 64 %), а роботы для дуговой сварки в защитных газах только несколько превышают треть их общего пар-



Парк сварочных роботов и его структура по способам сварки (1999): 1 — сварочные роботы (IFR: 160); 2 — дуговая сварка (IFR: 161); 3 — контактная сварка (IFR: 162); 4 — другие способы сварки (IFR: 163, 164, 169); А — количество роботов

ка. Такая структура, по-видимому, определяется технологическими особенностями производства и определенными традициями.

IFR в своем обзоре [1] приводит только по Японии весьма интересные данные о численности сварочных роботов, предназначенных для автоматизации, кроме традиционной дуговой и контактной сварки, других операций. Это относится в первую очередь к промышленным роботам для лазерной сварки и резки, газовой сварки и гидроабразивной резки. В табл. 7 дана информация о парке специальных сварочных роботов и темпе его роста в период 1994–1999 гг.

Впечатляющими являются темпы развития робототехники в конце XX в., сопровождающиеся снижением их стоимости, расширением областей применения, увеличением разнообразия выполняемых ими технологических операций и повышением качества функционирования. Робототехника выросла в такой степени, что стала опорой современного автоматизированного промышленного производства, в частности в автомобилестроении. Все это создает отличные перспективы для производства и сбыта промышленных роботов на ближайшие 5... 10 лет [5].

Наиболее представительной группой промышленных роботов являются роботы, предназначенные для сварочных и родственных технологических операций. Именно сварочные роботы из года в год «осваивают» новые области применения благодаря использованию таких прогрессивных в сварочном

Таблица 7. Парк специальных сварочных роботов в Японии, шт.

Подкласс IFR	Технологическое назначение	1994	1999	1999 / 1994 изменение, раз
163	Газовая сварка	75	226	3,0
164	Лазерная сварка	9	235	26,1
191	Лазерная резка	47	279	5,9
192	Гидроабразивная резка	26	447	17,2



производстве технологий, как лазерная сварка и резка (в том числе и под водой), гидроабразивная и плазменная резка, нанесение припоев и клеев, поверхностная обработка и пр. Одновременно растет конструктивное разнообразие сварочных роботов, расширяется их технологическая функциональность. При этом существенно изменяются схемы производства сварных изделий и элементов конструкций. Создаются роботизированные поточные линии со встроенными сварочными ячейками и специальными порталами для перемещения роботов и т. д. Роботизация промышленного производства и, в частности сварочного, — это, безусловно, на-

иболее прогрессивный и экономически эффективный путь развития.

1. *World Robotics 2000* (United Nations) Economic Commission for Europe. — The International Federation of Robotics, 2000. — P. 352.
2. *Нехватка* специалистов по сварке и резке // Йосэцу гидзюцу. — 1996. — № 12. — P. 102–107.
3. *Тимченко В. А., Бернадский В. Н.* Роботы в производстве сварных конструкций: современное состояние и перспективы // Автомат. сварка. — 1998. — № 5. — С. 55–63.
4. *Wiechbrodf B.* Editorials industrial development in robotics // *World Robotics 2000*. — UN/ECE, IFR, 2000. — P. IX–X.
5. *Akeel Hadi A., Rutledge G. J.* Technological enhancements and their effect on price. Performance indicators of industrial robots // *Ibid.* — P. XIV–XX.

The paper presents statistical and marketing data on world production of industrial robots, their sales, total world and national population of robots, as well as their main applications in modern production. It is demonstrated, that robots for welding and allied technologies make up the main body of the world population of industrial robots.

Поступила в редакцию 11.06.2001



Каталог «Періодичні видання Національної академії наук України»

Сегодня Национальная академия наук Украины издает 75 журналов и 39 периодических сборников. Несмотря на сложную экономическую ситуацию НАН Украины не только сохранила свои периодические издания, но и с 1991 г. было выпущено 51 новое издание.

В данном каталоге представлена краткая информация о всех журналах и периодических сборниках, которые издаются научными учреждениями НАН Украины. Приведены алфавитные указатели на украинском, русском и английском языках.

В разделе «Распространение» для журналов приведены индексы в соответствии с каталогами подписки (КВУ — «Каталог видань України»; РП — российских каталогов периодических изданий, ЕС — «Экспортный каталог видань України») и цена подписки.

Журналы и периодические издания сгруппированы по отраслям знаний в соответствии с проблематикой отделений наук НАН Украины.

За дополнительной информацией просьба обращаться:
www.nas.gov.ua/catalog/nas_.html