



НИЗКОВОДОРОДНЫЕ ЭЛЕКТРОДЫ ДЛЯ СУДОРЕМОНТА, РЕМОНТА ОБЪЕКТОВ МЕТАЛЛУРГИЧЕСКОГО КОМПЛЕКСА И ТРУБОПРОВОДНОГО ТРАНСПОРТА*

Академик НАН Украины **И. К. ПОХОДНЯ**, **И. Р. ЯВДОЩИН**, **А. Е. МАРЧЕНКО**,
Н. В. СКОРИНА, кандидаты техн. наук, **В. И. КАРМАНОВ**, д-р техн. наук, **О. И. ФОЛЬБОРТ**, инж.
(Ин-т электросварки им. Е. О. Патона НАН Украины)

Рассмотрены принципы построения покрытия низководородных электродов нового поколения для судоремонта, ремонта объектов металлургического комплекса, трубопроводного транспорта и приведены их технические характеристики.

Ключевые слова: дуговая сварка, покрытые электроды, ремонт конструкций, система легирования, металл шва, механические свойства, сварочно-технологические свойства

В металлургии, трубопроводном транспорте, речном и морском судоходстве непрерывно возрастает количество объектов ответственного назначения, которые исчерпали свой эксплуатационный ресурс и требуют ремонта или реставрации. Для выполнения этих работ необходимы электроды, которые имели бы высокие технологические характеристики, качество и были бы доступными по цене для потребителей. Европейские фирмы для указанных целей предлагают электроды по высоким ценам, которые в основном недоступны для потребителя.

В ИЭС им. Е. О. Патона НАН Украины на протяжении 2004–2006 гг. в соответствии с программой «Ресурс» разработаны низководородные электроды, предназначенные для судоремонта (АНО-102), ремонта объектов металлургического комплекса (АНМК-44.01) и трубопроводного транспорта (АНО-38). При разработке этих электродов учитывали состав и сортамент сталей, условия эксплуатации сварных конструкций, а также особенности выполнения ремонтных работ в указанных сферах производства.

Среди задач, которые решали при разработке новых поколений низководородных электродов, ключевыми считали улучшение сварочно-технологических свойств электродов и достижение необходимых механических показателей металла сварного шва. Была модернизирована газошлакообразующая часть покрытий, что позволило существенно улучшить стабильность горения сварочной дуги, формирование шва, отделение шлаковой

корки, уменьшение разбрызгивания расплавленного металла, обеспечение возможности сварки переменным током.

Оптимальное содержание марганца, который обеспечивает наиболее высокие значения ударной вязкости металла шва при отрицательных температурах, для низководородных электродов общего назначения составляет 1,4...1,5 % (рис. 1). При таких концентрациях марганца доля игольчатого феррита в микроструктуре металла шва составляет 60...70 % и сохраняется такой несмотря на колебание концентрации кремния в швах в пределах 0,2...0,9 % [2]. При более низком содержании марганца доля игольчатого феррита в структуре металла шва не только снижается, но и становится зависимой от концентраций кремния в границах, регламентированных нормативной документацией (0,2...0,6 %). Именно изменения доли игольчатого феррита в металле шва, связанные с ко-

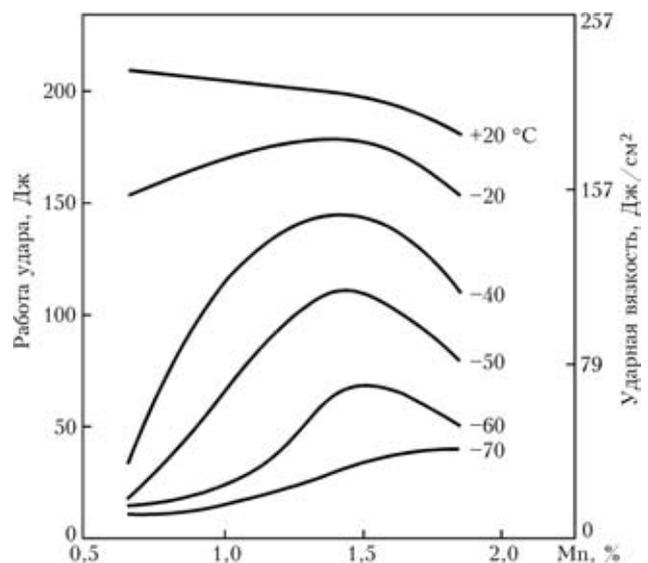


Рис. 1. Влияние содержания марганца на работу удара и ударную вязкость металла шва при разных температурах [1]

* Статья подготовлена по результатам выполнения целевой комплексной программы НАН Украины «Проблемы ресурса и безопасности эксплуатации конструкций, сооружений и машин» (2004–2006 гг.).

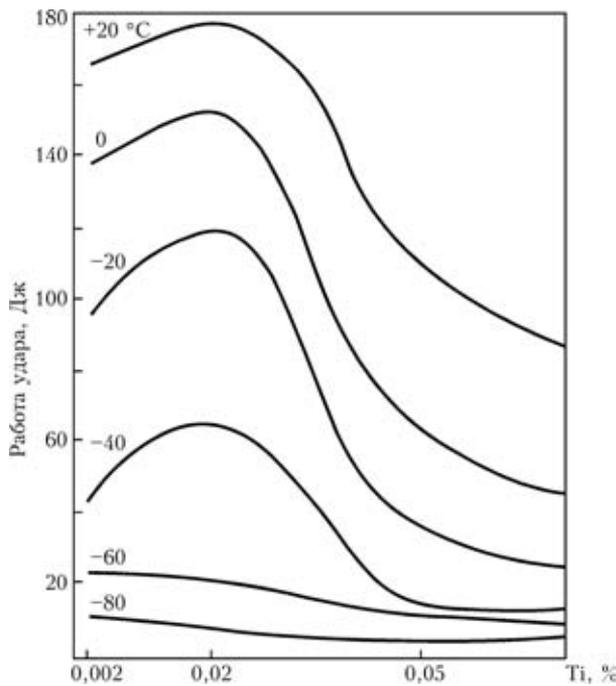


Рис. 2. Влияние содержания титана в металле шва на работу удара при разных температурах [5]

лебаниями кремния, могут стать причиной нестабильности показателей его ударной вязкости.

Оптимизация содержания титана в металле шва также оказывает влияние на возможность обеспечения его высокой ударной вязкости. На оптимальное содержание титана влияет основность флюса или шлакообразующей основы электродного покрытия, способ сварки, система легирования и др. [3]. Согласно работе [4] оптимальное содержание титана в металле шва при сварке электродами с карбонатно-флюоритным покрытием составляло около 0,1, а согласно работе [5] — 0,02 % (рис. 2). Несбалансированность системы раскисления у ряда марок электродов с основным покрытием приводит к снижению показателей ударной вязкости швов при низких температурах.

Авторами исследовано влияние содержания титана в электродном покрытии основного вида (типа УОНИ-13/55) на ударную вязкость металла шва. Содержание титана в металле шва регули-

Таблица 1. Химический состав наплавленного металла

Индекс электрода	Содержание ферротитана в покрытии, мас. %	Массовая доля в наплавленном металле, %					
		C	Mn	Si	Ti	[O]	[N]
T-0	0	0,08	1,3	0,28	Следы	0,047	0,013
T-5	5	0,10	1,0	0,23	0,02	0,044	0,013
T-10	10	0,10	1,0	0,22	0,03	0,038	0,013
T-15	15	0,09	1,1	0,28	0,04	0,038	0,012
T-20	20	0,10	1,1	0,24	0,05	0,037	0,013

ровали путем изменения количества ферротитана в покрытии исследуемых электродов. При этом сохраняли постоянный уровень марганца и кремния в швах, варьировали количество ферромарганца и ферросилиция, которые вводили в покрытие. Химический состав металла швов, выполненных исследуемыми электродами, приведен в табл. 1, результаты испытаний ударной вязкости металла швов, выполненных этими электродами, — в табл. 2. Как видно из данных таблиц, наиболее высокие значения ударной вязкости металла шва при отрицательных температурах обеспечиваются при содержании в нем титана на уровне 0,02 %.

Результаты проведенных исследований учитывали при разработке составов покрытий электродов, предназначенных для выполнения ремонтных работ.

Электроды АНО-102. При разработке этих электродов оптимизировали диапазон концентраций элементов в металле шва, %: 1,2...1,4 Mn; 0,25...0,40 Si; 0,015...0,020 Ti. Коррозионную стойкость металла шва в морской воде обеспечили введением в его состав 0,6...0,8 % никеля и 0,4...0,6 % меди. Состав газшлакообразующей основы покрытия электродов АНО-102 был разработан с учетом возможности обеспечения низкого содержания диффузионно-движущегося водорода; сварке на постоянном и переменном токе; сварочно-технологических свойств электродов на уровне лучших зарубежных аналогов.

Электроды АНО-102 (Э50А согласно ГОСТ 9467-75) в основном предназначены для использования в судоремонте и судостроении вместо электродов УОНИ-13/55. Их условное обозначение в соответствии с евронормой — EN 499 — E 46 5 1Ni B12 H10.

Электроды предназначены для сварки судостроительных сталей нормальной и повышенной

Таблица 2. Ударная вязкость металла швов, выполненных исследуемыми электродами, Дж/см²

Индекс электрода	Температура, °C		
	+20	-20	-40
T-0	$\frac{217...227}{221,7}$	$\frac{70...134}{112}$	$\frac{64...75}{68,3}$
T-5	$\frac{223...257}{239}$	$\frac{141...157}{147,6}$	$\frac{70...75}{73,7}$
T-10	$\frac{223...232}{228,3}$	$\frac{102...155}{128,6}$	$\frac{16...61}{31,3}$
T-15	$\frac{186...198}{190}$	$\frac{79...107}{94,3}$	$\frac{25...72}{46,6}$
T-20	$\frac{196...215}{208,6}$	$\frac{57...151}{104,3}$	$\frac{35...87}{64,0}$

Примечание. Здесь и в табл. 3 в числителе приведены минимальные и максимальные значения показателей ударной вязкости, в знаменателе — средние.



Таблица 3. Сравнение ударной вязкости металла швов, выполненных электродами АНО-102, УОНИ-13/55 и ОК 73.08 диаметром 4,0 мм

Марка электрода	Ударная вязкость KCV , Дж/см ² при температуре, °С			
	+20	-20	-40	-60
АНО-102	$\frac{186...204}{198}$	$\frac{168...192}{181}$	$\frac{94...98}{96}$	$\frac{72...84}{78}$
УОНИ-13/55	$\frac{181...192}{187}$	$\frac{82...104}{96}$	$\frac{28...74}{52}$	$\frac{12...32}{24}$
ОК 73.08	$\frac{190...224}{212}$	$\frac{170...196}{185}$	$\frac{90...102}{96}$	$\frac{76...88}{81}$

прочности во всех пространственных положениях, за исключением вертикальных швов способом сверху вниз. Сварку можно выполнять на постоянном токе обратной полярности или на переменном токе от источников питания с напряжением нерабочего хода не ниже 65 В.

Сравнительные испытания электродов АНО-102 с электродами УОНИ-13/55 и зарубежными электродами ОК 73.08 шведской фирмы ESAB показали, что по показателям ударной вязкости металла шва электроды АНО-102 превосходят электроды УОНИ-13/55 и не уступают электродам ОК 73.08 (табл. 3).

Испытания сварочно-технологических свойств новых электродов показали, что они обеспечивают хорошее формирование металла шва при сварке в разных пространственных положениях, малое разбрызгивание, легкое отделение шлаковой корки даже при глубоком раскрытии кромок. По этим показателям электроды АНО-102 превосходят электроды УОНИ-13/55.

Показатели плавления электродов АНО-102, УОНИ-13/55 и ОК 73.08, которые определяли при сварке электродами диаметром 4,0 мм, приведены в табл. 4. Электроды АНО-102 прошли испытания на Ильичевском судоремонтном заводе, где получили хорошие отклики сварщиков. Одобрены Российским морским регистром судоходства.

Применение новых электродов АНО-102 вместо электродов УОНИ-13/55 благодаря более высокой коррозионной стойкости сварных швов и ударной вязкости металла шва позволит существенно повысить ресурс работы сварных конструкций морских и речных судов.

Таблица 4. Характеристики плавления электродов АНО-102, УОНИ-13/55 и ОК 73.08 (постоянный ток, обратная полярность)

Марка электрода	Коэффициент наплавки, г/(А·ч)	Коэффициент разбрызгивания, %	Выход металла, %	
			годного	наплавленного
АНО-102	9,2...9,6	0,8...1,9	70,1...70,5	107,9...108,3
УОНИ-13/55	8,1...8,6	3,2...4,8	68,4...69,4	91,4...94,5
ОК 73.08	10,0...10,5	0,9...2,1	72,4...72,8	120...135

Электроды АНМК-44.01. В металлургии ремонтные работы являются неотъемлемой составляющей производства. На протяжении почти шестидесяти лет они выполняются исключительно с применением сварочных технологий. До недавнего времени ремонт объектов металлургического комплекса выполняли низководородными электродами ДБСК-55 и УОНИ-13/55. Сегодня обе марки электродов и их модификации технически устарели и уступают по ключевым техническим показателям электродам зарубежных фирм, которые появились на нашем рынке.

Новые электроды АНМК-44.01 предназначены для ремонта объектов металлургического комплекса. По механическим свойствам металла шва они отвечают типу Э50А (ГОСТ 9467-75). Их условное обозначение в соответствии с евронормой EN 499 — E 46 4 В 52 Н10, согласно ISO 2560 — E 515 В 130 24 (Н).

Газошлакообразующая основа покрытия относится к системе $CaCO_3-CaF_2-SiO_2 (TiO_2)$. Система раскисления наплавленного металла ориентирована на доступные в Украине ферросплавы (среднеуглеродный ферромарганец марок ФМн 88 и ФМн 90, ферросилиций марки ФС-45, ферротитан марок ФТи 35 С5 или ФТи 35 С8).

Техническая характеристика электродов АНМК-44.01: коэффициент наплавки 9,5...11,5 г/(А·ч); выход наплавленного металла 120...130 %. Химический состав наплавленного металла следующий, %: $\leq 0,10 C$; $1,0...1,30 Mn$; $0,25...0,35 Si$; $\leq 0,030 S$; $\leq 0,030 P$; $0,020...0,030 Ti$ (факультативно). Механические свойства металла шва: $\sigma_T \geq 440 MPa$; $\sigma_B = 510...610 MPa$; $\delta_5 \geq 22\%$; $\varphi \geq 65\%$; $KCV_{+20} = 200...250 Дж/см^2$; $KCV_{-40} = 80...100 Дж/см^2$.

Отличительной особенностью покрытия новых электродов является повышенное содержание железного порошка (до 40 % в сухой смеси) и более толстое покрытие по сравнению с электродами предыдущих разработок (отношение $D_{п}/d_c = 1,8$; $K_{мп} = 85\%$), вследствие чего достигается высокая эффективность и производительность электродов ($K_{вн} = 135\%$, $a_{н} = 9,5...11,0 г/(А·ч)$). Вместе с тем электроды диаметром до 4 мм включительно сохраняют возможность сварки во всех пространственных положениях, за исключением вертикальных швов, которые сваривают способом сверху вниз.

Разработанные электроды целиком отвечают нормативным требованиям к ремонтным работам, которые выполняются на объектах металлургического комплекса, и существенно превосходят отечественные аналоги (электроды марок УОНИ-13/55, ДБСК-55) по ключевым техническим показателям, в том

Таблица 5. Сравнение технико-экономических характеристик электродов АНМК-44.01, УОНИ-13/55 и ДБСК-55

Марка электрода	Коэффициент наплавки, г/(А·ч)	Выход металла, %		Возможность сварки переменным током	Доля активного горения дуги, %	Расход электродов на 1 кг наплавленного металла
		годного	наплавленного			
УОНИ-13-55	9	60	90	Невозможно	50	1,7
ДБСК-55	10	73	105	Допустимо	40	1,5
АНМК-44.01	9,5...11,5	70	125...130	Возможно	75	1,4

числе по производительности — на 15...30 %; выходу наплавленного металла на 20...40 %; по времени активного горения дуги в 1,5...1,9 раза. При этом расход электродов на 1 кг наплавленного металла сокращается на 10...20 % (табл. 5).

Электроды позволяют вести сварку на переменном токе в монтажных условиях, благодаря чему удается избежать магнитного дутья и образования связанных с ним дефектов сварных швов. В данное время электроды проходят опытно-промышленную проверку у потенциальных потребителей.

Электроды АНО-38. Газотранспортная система (ГТС) Украины является одной из самых больших и одновременно одной из наиболее старых в Европе [6, 7]. Одна только ГТС АО «Укргазпром» по состоянию на 2002 г. включала 34,5 тыс. км магистральных газопроводов. Всего на балансе газотранспортных предприятий Украины до этого времени находилось 47,9 тыс. км трубопроводов, которые исчерпали свой амортизационный срок, т. е. эксплуатируются дольше 33 лет.

По данным инспекторских служб АО «Укргазпром», сегодня с учетом полного физического износа требуют немедленного восстановления 1400 км газопроводов, а в перспективе ежегодная потребность в восстановлении линейной части газопроводов составляет 500 км. Фактические объемы выполнения работ по капитальному ремонту, реконструкции и техническому переоснащению магистральных газопроводов, которые наблюдаются на протяжении последних 15 лет, существенно ниже необходимых, в том числе из-за неудовлетворительного уровня технического оснащения и технологии выполнения ремонтных работ, а также отсутствия необходимых сварочных материалов.

Половина отказов ГТС обусловлена низким качеством труб и сварочных работ, т. е. вызвана дефектами, которые уже существовали в трубопроводах до начала их эксплуатации. Не выявленные приемно-сдаточными гидравлическими испытаниями со временем они достигли критического состояния,

вследствие чего и стали источником разрушения.

Ремонтные сварочные работы ни в коей мере не должны ухудшить эксплуатационные характеристики отремонтированных газопроводов по сравнению с тем состоянием, которое характерно для строящихся газопроводов. Электроды АНО-38 отвечают этим требованиям. Они предназначены для односторонней сварки монтажных (неповоротных) стыков при сооружении и ремонте магистральных трубопроводов, включая сварку во всех пространственных положениях корневого, горячего прохода, заполняющих слоев и облицовочного слоя (вертикально ориентированные швы сваривают способом «на подъем»). Сварка ведется на постоянном токе обратной полярности. При необходимости возможна сварка на переменном токе.

По сравнению с электродами УОНИ-13/55 электроды АНО-38 гарантируют более высокое качество корневых проходов, включая формирование обратного валика. По сравнению с электродами АНО-ТМ/СХ, LB-52U, Fox EV 50 Pipe они имеют большую универсальность, характеризуются меньшим содержанием водорода в нап-

Таблица 6. Содержание водорода в металле, наплавленном электродами АНО-102, АНМК-44.01 и АНО-38

Марка электрода	Диаметр, мм	Сила тока, А	[H] _{диф.} , мл/100 г	Страна и производитель
АНО-102	4	165	4,2...5,2	Украина, ИЭС
АНМК-44.01	3,0	125	5,0...5,2	» »
	4,0/6,8*	165	5,3...5,5	
	4,0/7,2*	165	5,0...5,7	
АНО-27	3,0	125	4,8...5,4	Украина, «Бадм. ЛТД»
	4,0	165	5,9...6,0	
ДБСК-55	3,0	125	6,2...7,0	Украина, ИЭС
	4,0	165	7,1...8,3	
АНО-38	3,0	125	3,0...4,6	Израиль, «ЗИКА»
	4,0	165	2,8...3,2	
АНО-ТМ/СХ	3,0	165	4,4...5,7	Турция, «АСКАЙНАК»
Z-7	4,0	95	4,2...4,8	
ASB-255	3,0	125	3,7...4,6	Турция, «АСКАЙНАК»
	4,0	165	5,9...6,0	

* В знаменателе указан диаметр покрытия электрода.



лавленном металле и являются отечественным аналогом электрода Z-7 израильской фирмы «ЗИ-КА», которые импортируются в Украину.

По механическим свойствам наплавленного металла электроды АНО-38 отвечают типу Э50А (ГОСТ 9467–75). Гарантируются технологическая прочность и механические свойства швов, адекватные необходимым, на трубах из сталей, которые использовались при сооружении трубопроводов на протяжении всех предыдущих лет.

Условное обозначение электродов в соответствии с ГОСТ 9467–75: $\frac{\text{Э50А-АНО-38д-УД}}{\text{Е514-Б26}}$.

Полная техническая характеристика электродов АНО-38 следующая: коэффициент наплавки 8,5...9,0 г/(А·ч), химический состав наплавленного металла, %: $\leq 0,11 \text{ C}; 0,90...1,20 \text{ Mn}; 0,45...0,75 \text{ Si}; \leq 0,020 \text{ S}; \leq 0,030 \text{ P}; 0,020...0,030 \text{ Ti}$ (факультативно), механические свойства металла шва: $\sigma_T \geq 440 \text{ МПа}; \sigma_B = 530...680 \text{ МПа}; \delta_5 \geq 22 \text{ \%}; \varphi \geq 65 \text{ \%}; KCV_{20} = 130...200 \text{ Дж/см}^2; KCV_{50} = 60...90 \text{ Дж/см}^2$. В данное время электроды АНО-38 проходят проверку у потенциальных потребителей.

На электроды АНО-102, АНМК-44.01 и АНО-38 разработана нормативная документация. Технология производства этих электродов рассчитана на возможности отечественных предприятий-производителей электродов и доступное в Украине сырье. В табл. 6 приведены данные о содержании водорода в металле, наплавленном этими электродами.

Principles of formulation of coverings for a new generation of low-hydrogen electrodes intended for ship repair, repair of metallurgical industry facilities and pipeline transport are considered. Their specifications are given.

Поступила в редакцию 19.02.2007

Выводы

1. Разработанные низководородные электроды нового поколения для судоремонта (АНО-102), ремонта объектов металлургического комплекса (АНМК-44.01) и трубопроводного транспорта (АНО-38) по сварочно-технологическим свойствам и свойствам металла шва превосходят отечественные аналоги.

2. На электроды АНО-102, АНМК-44.01 и АНО-38 разработана нормативная документация. Электроды АНО-102 одобрены Российский регистром морского судоходства.

3. Производство новых электродов на предприятиях Украины позволит отказаться от закупок дорогих зарубежных электродов.

1. *Evans G. M.* Effect of manganese on the microstructure and properties of all-weld-metal deposits // *Welding J.* — 1980. — 59, № 3. — P. 67–75.
2. *Evans G. M.* The effect of silicon on the microstructure and properties of C–Mn all-weld-metal deposits // *Metal Construction.* — 1986. — 18, № 7. — P. 438–444.
3. *Abson D. J., Pargeter R. J.* Factors influencing the as-deposited strength, microstructure and toughness of manual metal arc welds suitable C–Mn steel fabrications. — S. I., [1986]. — (Intern. Inst. of Welding; Doc. II A-683–86).
4. *Sakaki H.* Effect of alloying elements on notch toughness of basis weld metals // *J. Jap. Weld. Soc.* — 1960. — 29, № 7. — P. 539–544.
5. *Effect of titanium on the properties of manual multipass weld* / N. M. Ramini de Rissone, H. A. Rissone, J. L. Zuliani, R. Timerman. — S. I., [1985]. — (Intern. Inst. of Welding; Doc. II A-665–85).
6. *Бельный Д. М., Героев А. Э., Оганезов Л. П.* Повышение качества линейной части газопроводов // *Нефтегазовые технологии.* — 2000. — № 4. — С. 15–18.
7. *Щербак О. В.* Техническое состояние ГТС нуждается в постоянном внимании // *Сварщик.* — 1998. — № 1. — С. 8.

ПОЛУАВТОМАТ М30 ДЛЯ МЕХАНИЗИРОВАННОЙ СВАРКИ СПОСОБОМ TIG

Полуавтомат М30 состоит из подающего механизма, шланга с мундштуком и источника питания электромагнита. Подающий механизм обеспечивает подачу в зону сварки присадочной проволоки диаметром 1,0...1,5 мм с заданной скоростью. Электромагнит управляет пространственным положением сварочной дуги, перемещая ее относительно оси шва. Амплитуду перемещения дуги можно изменять в реальном масштабе времени в зависимости от изменения зазора в стыке. Полуавтомат М30 можно использовать с любым стандартным источником питания постоянного тока.

Полуавтомат предназначен для механизированной сварки вольфрамовым электродом в аргоне в различных пространственных положениях, особенно в монтажных условиях, титана и сплавов на его основе, а также других немагнитных материалов. Механизированная сварка с применением полуавтомата М30 улучшает формирование швов при некачественной сборке деталей, сокращает потери присадочной проволоки, снижает требования к квалификации сварщиков.

Контакты: 03680, Украина, Киев-150, ул. Боженко, 11

Институт электросварки им. Е. О. Патона НАН Украины

Тел./факс: (38044) 287 13 66. E-mail: zamkov@paton.kiev.ua; ret99@ret99.kiev.ua