

РЕЗКА ВЗРЫВОМ И ЕЕ ПРИМЕНЕНИЕ*

В. Г. ПЕТУШКОВ, д-р техн. наук, **Л. А. ВОЛГИН**, **Л. Д. ДОБРУШИН**, кандидаты техн. наук
(Ин-т электросварки им. Е. О. Патона НАН Украины)

Рассматриваются основы технологии резки взрывом металлоконструкций с помощью удлиненных кумулятивных зарядов (УКЗ), разработанных в ИЭС им. Е. О. Патона. Приводятся соотношения, описывающие эффективность действия УКЗ в рамках гидродинамической теории. Содержатся примеры успешного применения технологий резки взрывом в ряде отраслей промышленности, в том числе в особых условиях, когда необходимы специальные меры защиты от побочного воздействия взрыва.

Ключевые слова: взрывчатое вещество, кумуляция, резка взрывом, удлиненный кумулятивный заряд, магистральный трубопровод, экстремальная ситуация

Гидродинамическая теория кумуляции, достаточно подробно изученная для осесимметричных зарядов [1], основана на предположении, что при соударении кумулятивной струи с преградой развивается высокое давление, при котором прочностью металла можно пренебречь и рассматривать преграду как идеальную несжимаемую жидкость. Эти условия справедливы, если давление при соударении струи с преградой будет превышать $2 \cdot 10^4$ МПа, а именно, если скорость кумулятивной струи составит $v_c > 4000$ м/с.

На рис. 1 представлены схемы сечения осесимметричного кумулятивного заряда с конической металлической выемкой и образования кумулятивной струи. При прохождении плоской детонационной волны по заряду в сторону выемки элементы облицовки кумулятивной выемки, подвергаясь обжатю, двигаются к ее геометрическому центру. При их соударении в результате интенсивного течения внутренних слоев металла облицовки образуется высокоскоростная кумулятивная струя, за которой следует низкоскоростной пест из наружных слоев облицовки, не участвующий в пробивании преграды. При скорости движения струи $v_c > 4000$ м/с можно описать основные положения теории кумуляции с помощью уравнений гидродинамики, решение которых могут быть представлены в следующем виде:

глубина пробивания преграды

$$L = l \sqrt{\frac{\rho_c}{\rho_{II}}}; \quad (1)$$

скорость проникания струи в преграду

$$U = v_c \left(\frac{\rho_{II}}{\rho_c} + 1 \right)^{-0,5}; \quad (2)$$

скорость струи

$$v_c = v_0 \operatorname{ctg} \frac{\alpha}{2}, \quad (3)$$

где l — длина струи; ρ_c , ρ_{II} — плотность соответственно металла струи и преграды; v_0 — скорость обжатия облицовки; α — угол при вершине конуса облицовки.

Согласно (1) глубина пробивания преграды пропорциональна длине кумулятивной струи и корню квадратному из отношения плотности струи и преграды. При этом следует учитывать, что при движении струя растягивается и наибольшая глубина пробивания обеспечивается в том случае, если преграда находится на некотором определенном (фокусном) расстоянии от оси заряда. Пробивная способность струи зависит от плотности материала облицовки. Поэтому на практике предпочтение в первую очередь отдается металлическим, как правило, медным или стальным облицовкам кумулятивной выемки. Кроме того, для образования высокоскоростной струи ($v_c \geq 4000$ м/с) необходимо использовать для снаряжения зарядов мощные бризантные взрывчатые вещества (ВВ), такие как гексоген, октоген и другие аналоги, обладающие высокой скоростью детонации.

Удлиненный кумулятивный заряд (УКЗ) конструкции ИЭС им. Е. О. Патона (рис. 2, а, б) представляет собой наполненную ВВ профилированную металлическую трубку. Кумулятивная выемка УКЗ имеет форму полуцилиндра. Корпус

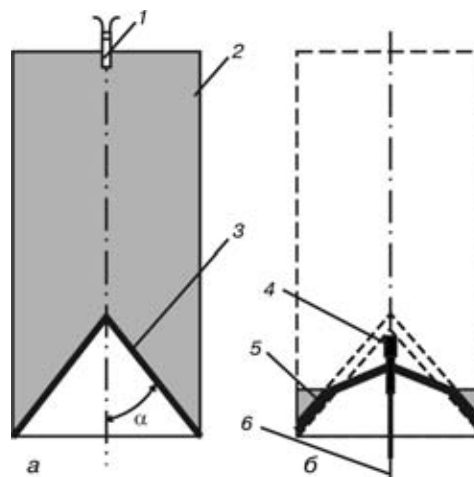


Рис. 1. Схемы сечения осесимметричного кумулятивного заряда с конической металлической облицовкой (а) и струеобразования (б): 1 — детонатор; 2 — взрывчатое вещество; 3 — кумулятивная полость; 4 — пест; 5 — фронт детонации; 6 — кумулятивная струя

* В основу статьи лег доклад, прочитанный на Международной конференции по технологиям резки («ИСС 97», 5–6 марта 1997 г., г. Ганновер).

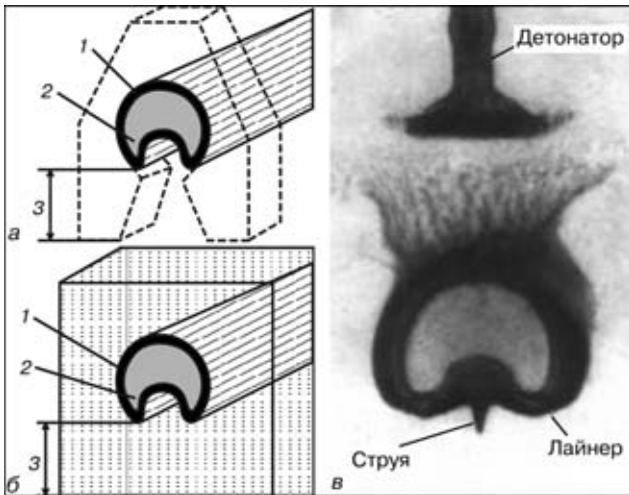


Рис. 2. УКЗ для наземной (а) и подводной резки (б) и импульсная рентгенограмма взрыва УКЗ в воде (в): 1 — ВВ; 2 — облицовка (лайнер); 3 — фокусное расстояние

УКЗ цилиндрической формы выполнен из меди, а для снаряжения применяется гексоген, уплотняемый в процессе изготовления заряда до 1,71... 1,74 г/см³. Скорость детонации УКЗ при этом достигает 8500 м/с.

Результаты определения параметров кумулятивной струи УКЗ методом импульсной рентгенографии (рис. 2, в) показали, что скорость головной части струи составляет 2200... 3500 м/с, что несколько меньше, чем у кумулятивных зарядов с конической металлической выемкой. Это объясняется тем, что именно при указанных скоростях скажутся такие факторы, как прочность и сжимаемость материала струи и преграды. Уравнения гидродинамики в этом случае применяться не могут.

В результате проведенных исследований по определению оптимальных параметров и геометрическому моделированию УКЗ установлено [2, 3], что

$$\frac{L}{D} = f\left(\frac{d_k}{D}, \frac{\delta_k}{D}, \frac{F}{D}\right), \quad (4)$$

где D — диаметр УКЗ; d_k , δ_k — соответственно диаметр и толщина кумулятивной выемки; F — фокусное расстояние.

В выражении (4) первых два безразмерных параметра характеризуют собственно УКЗ, а последний — его расположение относительно преграды.

На основании результатов более поздних исследований, проведенных в ИЭС им. Е. О. Патона, получены следующие эмпирические соотношения этих параметров:

$$\frac{d_k}{D} = 0,42...0,44, \quad (5)$$

$$\frac{\delta_k}{D} = 0,06...0,07, \quad (6)$$

$$\frac{F}{D} = 1,0...1,5. \quad (7)$$

Технологический процесс изготовления УКЗ представляет собой последовательное волочение

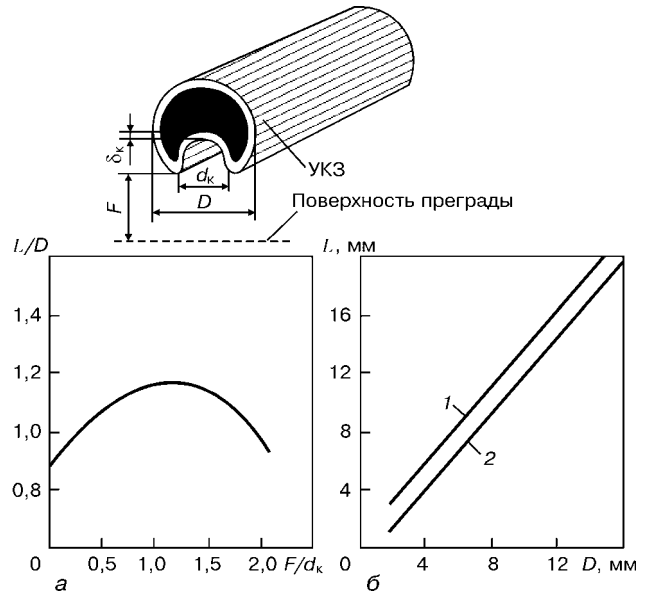


Рис. 3. Зависимость глубины реза от фокусного расстояния (а) и диаметра УКЗ (б): 1 — низкоуглеродистая сталь; 2 — нержавеющая сталь

медной трубки, предварительно заполненной гексогеном, через профилирующее отверстие нескольких фильер. Волочение заготовки заряда производится с целью придания ему заданных заранее размеров и формы, а также толщины стенки трубки, в том числе кумулятивной выемки, и степени уплотнения ВВ.

Комплекс исследований, проведенных при отработке отдельных технологических операций и изготовлении опытных партий УКЗ, позволил разработать оптимальную технологическую схему их изготовления, обеспечивающую высокую степень безопасности и качество получаемых изделий при минимальных затратах. Полный комплект основного и вспомогательного оборудования для серийного производства УКЗ создан в ИЭС им. Е. О. Патона.

Указанное оборудование позволяет изготавливать УКЗ прямолинейной кольцевой седлообразной и любой другой необходимой формы диаметром от 2,5 до 50,0 мм, а по отдельным заказам —

Основные типоразмеры УКЗ, изготавливаемых в ИЭС им. Е. О. Патона

Маркировка заряда	Содержание ВВ, г/м	Толщина преграды, мм	
		наземной	подводной
УКЗ 10	60	10,0	8,5
УКЗ 13	90	13,0	11,0
УКЗ 14,5	120	14,5	12,5
УКЗ 16	160	16,0	13,5
УКЗ 19	210	19,0	16,0
УКЗ 22	300	22,0	18,5
УКЗ 25	Изготавливаются по заказу		
УКЗ 50			

Примечания. 1. Числа в маркировке УКЗ обозначают его диаметр, а также гарантированную толщину перерезаемой преграды в наземных условиях. 2. Подводная резка взрывом осуществляется на глубине до 200 (водолазами) и до 600 м (с использованием манипулятора).



Рис. 4. Истечение бензина из трубопровода после резки взрывом с применением пенной защиты

до 80,0 мм. Основные типовые УКЗ и их параметры для наземных и подводных работ приведены в таблице, а зависимости, характеризующие величину проникания струи в преграду, показаны на рис. 3.

Нефть и нефтепродукты играют главную роль в топливно-энергетическом балансе любой страны. Перекачка и доставка нефти и нефтепродуктов к потребителям осуществляется магистральными трубопроводами, которые в процессе эксплуатации подлежат техническому обслуживанию и ремонту.

Важнейшими при этом являются работы по резке линейной части трубопровода, вырезке ремонтных «катушек», подключению отводов к действующим магистральным трубопроводам без останковки перекачки продукта и другие, связанные с резкой трубопроводов. Выполнение этих работ с помощью УКЗ имеет ряд характерных особенностей и преимуществ. К последним относятся значительная скорость резки, высокая надежность процесса, возможность дистанционного управления им с любого расстояния, а также получения отверстий и разрезов различных форм и размеров в зависимости от геометрии зарядов.

На основании результатов теоретических и экспериментальных исследований, проведенных в ИЭС им. Е. О. Патона и ВНИИСПТнефть (Россия), определены параметры УКЗ из условия обеспечения оптимальной режущей способности кумулятивной струи и разработаны оригинальные и простые по конструкции устройства для резки взрывом магистральных трубопроводов.

Для поперечной резки трубопроводов при вырезке «катушки» или дефектного участка разработано устройство на основе УКЗ — труборез кумулятивный кольцевой наружный (ТрККН). Он состоит из двух полуколец УКЗ и четырех установочных (в том числе двух соединительных) фиксаторов и держателя электродетонатора. Фиксаторы выполнены из полиэтилена и обеспечивают соединение полуколец в кольцо и их равноудаленное расположение относительно поверхности трубы на заданном фокусном расстоянии.

Один из фиксаторов имеет отверстие для установки электродетонатора, с помощью которого осуществляется инициирование трубореза. При взрыве устройство типа ТрККН полностью перерезает стальной магистральный трубопровод с толщиной стенки, как правило, равной диаметру УКЗ. ТрККН предназначен для резки магистральных

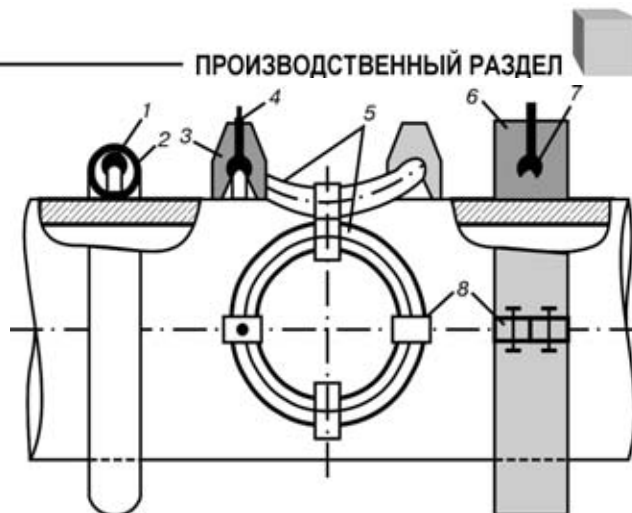


Рис. 5. Схема устройства для резки труб: 1 — УКЗ кольцевого типа; 2 — металлическая защитная трубка, изолирующая зону формирования кумулятивной струи; 3 — дистанционная бобышка; 4 — электродетонатор; 5 — седлообразный заряд; 6 — заряд в цельной пенопластовой оболочке; 7 — собственно УКЗ; 8 — соединительный элемент

трубопроводов и других трубчатых конструкций диаметром от 152 до 1420 мм с толщиной стенки от 10 до 30 мм.

Технология вырезки «катушки» или дефектного участка из трубопровода, заполненного нефтью или нефтепродуктами, предусматривает использование двух труборезов. Места установки труборезов на трубопроводе шириной не менее 50 мм тщательно зачищаются по всему периметру трубы. После установки труборезов котлован, где проводится вырезка «катушки», заполняется перед взрывом слоем воздушно-механической пены толщиной не менее 1 м над трубой. Применение пены надежно предотвращает возникновение пожаров и взрывов при вырезке «катушки» из поврежденного трубопровода, когда горючая смесь во взрывоопасной концентрации может находиться как в околотрубном пространстве, так и внутри трубы. На рис. 4 представлен момент истечения бензина из дефектного участка трубопровода непосредственно после вырезки этого участка взрывом двумя труборезами (рис. 5) с применением воздушно-механической пены.

Иногда трубопровод находится в напряженном состоянии под воздействием сжимающих напряжений. В этом случае «катушку» после взрыва заклинивает. Для облегчения ее удаления (демонтажа), помимо двух поперечных труборезов, на трубопровод устанавливается три продольных УКЗ. После взрыва «катушка» разрезается дополнительно еще на три части, которые можно легко удалить.

Если «катушка» имеет протяженную длину, то вырезку ее целесообразно производить по схеме, показанной на рис. 5. Труборезы при этом устанавливаются в плоскости, перпендикулярной к оси трубы, а второй аналогичный труборез — под небольшим углом к ней. Очевидно, что при этом не произойдет заклинивания частей «катушки».

Для вырезки дефектных задвижек, клапанов и другой трубопроводной арматуры разработана технология, согласно которой на трубопроводе по обе стороны от задвижки устанавливают труборезы, рядом с которыми располагают навитый по



спирали заряд ВВ из стандартного детонирующего шнура (ДШ). Иницирование ДШ осуществляется труборезами. При взрыве происходит разрезание и обжатие вырезаемого участка, в результате чего последний легко удаляется из трубопровода.

Изучено также влияние взрыва УКЗ на состояние металла трубопровода в зоне реза. Установлено, что деформация трубы находится в допустимых пределах и не превышает 20 % толщины стенки трубы. При внедрении кумулятивной струи в стенку трубопровода имеет место налипание меди на кромку реза, как и при плакировании сваркой взрывом стали медью. Внедрение кумулятивной струи приводит также к образованию ударных волн в материале трубы вблизи зоны реза. Под их воздействием происходят структурные изменения металла на глубине 10...15 мм от наружной поверхности трубы, сопровождающиеся увеличением его твердости. Причем размеры зоны упрочнения меньше размеров ЗТВ при последующей дуговой сварке новой «катушки». Тем не менее, омедненная часть трубопровода вместе с измененной структурой и твердостью, как правило, удаляются при подгонке новой «катушки» газовой резкой.

Применение УКЗ и разработанного на его основе ТрККН в магистральных трубопроводах России и Украины в течение 1973–1990 гг. позволило осуществить вырезку более 3000 шт. ремонтных «катушек», задвижек и клапанов. Это существенно улучшило культуру производства, исключило использование тяжелого физического труда, повысило технику безопасности, в значительной степени снизило трудоемкость работ и простой трубопроводов. Так, время вырезки «катушки» на трубопроводе диаметром 1200 мм сократилось в 6...8 раз по сравнению с применявшейся ранее технологией, использующей газовую резку.

Для вырезки отверстий в трубопроводах при вырезке отводов в действующие нефтепроводы разработано устройство на основе УКЗ, конструкция которого представлена на рис. 6. При отработке устройства определены допустимые зазоры между УКЗ и стенкой отвода, толщина крышки приемной камеры, разработаны конструкции защитного экрана, крестовины многоразового действия для крепления седлообразного УКЗ и приспособления для доламывания перемычки под стыком УКЗ в случае недореза.

Монтаж устройства на нефтепроводе выполняется в следующем порядке. К центру предполагаемого отверстия в нефтепроводе 1 приваривают гайку 2, а соосно ей — защитный экран 3, отводной патрубков 4, открытую задвижку 5 и приемную камеру 6 с фланцем. Крестовину 7 с прикрепленным на кронштейнах седлообразным УКЗ 8 и электродетонатором устанавливают на гайку с помощью вспомогательной штанги. Затем составной шток 9 винчивают в гайку, прижимая крестовину с УКЗ к трубопроводу. После выведения

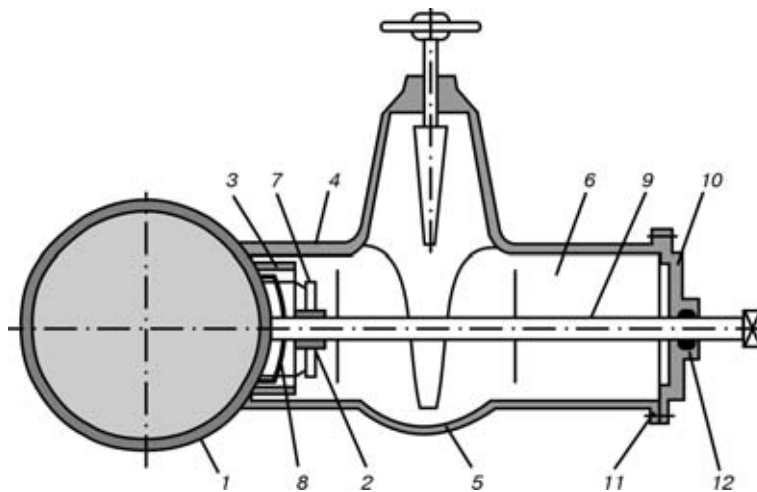


Рис. 6. Устройство на основе УКЗ для подключения отвода к нефтепродуктопроводу (1–12 — см. в тексте)

через герметичный вывод концов электродетонатора на приемную камеру устанавливают крышку 10. Закрепление ее на фланце производят с помощью болтов 11. Уплотнение между крышкой и штоком достигается с помощью сальника 12, а между крышкой и фланцем приемной камеры — поронитовой прокладкой. При подрыве УКЗ защитный экран надежно предохраняет отводной патрубок, а вырезанная часть трубопровода внутренним давлением жидкого нефтепродукта выталкивается вместе со штоком за пределы задвижки в приемную камеру. После закрытия задвижки приемная камера вместе со всем содержимым отрезается кольцевым труборезом. В дальнейшем устройство для отвода вырезанной части трубы и приемная камера используются многократно. В связи с тем, что комплект устройства снабжен крестовинами различной длины, устройство является универсальным и пригодным для вырезки отводов любых диаметров. Седлообразный УКЗ изготавливается из одного прямолинейного отрезка заряда путем формовки. В некоторых случаях в месте стыка УКЗ возможен недорез трубы. Для повышения надежности работы седлообразного УКЗ предложен способ его иницирования в точке, равноудаленной от стыка, где в этом случае происходит повышение давления и разрушение недореза. Если недорез все-таки имеет место, то с помощью рычагов через проушины штоку сообщается возвратно-поступательное движение, вследствие чего недорезанная перемычка доламывается.

Для вырезки отверстия в трубопроводе разработано устройство на основе УКЗ — труборез кумулятивный кольцевой седлообразный (ТрККС). Он состоит из одного седлообразного УКЗ и четырех фиксаторов, в том числе с держателем электродетонатора (см. рис. 5). ТрККС предназначен для вырезки отверстий диаметром от 80 до 970 мм в магистральных трубопроводах диаметром от 219 до 1420 мм с толщиной стенки 8...22 мм. При взрыве с помощью ТрККС можно вырезать отверстие в магистральном трубопроводе с толщиной стенки, равной 0,8 диаметра УКЗ. В соответствии с техническими условиями в ИЭС им. Е. О. Патона

изготавливают по заказам-нарядам 586 типов ТрККС.

Применение УКЗ и разработанного на его основе ТрККС в магистральных трубопроводах России и Украины в течение 1974–1990 гг. позволило осуществить подключение 519 отводов без остановки перекачки нефти и нефтепродуктов, что улучшило культуру производства работ, повысило технику безопасности и исключило вынужденный простой нефтепроводов.

Увеличение добычи нефти и газа на морских промыслах влечет за собой расширение сети подводных магистральных трубопроводов. При их техническом обслуживании и ремонте возникают проблемы, связанные с резкой труб. Возрастает также количество стационарных платформ, которые после окончания эксплуатации месторождений нефти и газа необходимо демонтировать. Проблемы возникают при демонтаже на участках моря глубиной 100...200 м платформ, имеющих массу основания 15...30 тыс. т. Стоимость полного их демонтажа может достигать 100...200 млн дол. США, что составляет 30...50 % первоначальных затрат на строительство сооружения и его установку. Традиционными остаются операции, связанные с проведением подводных ремонтных работ по разделке корпусов затонувших судов, работ при постройке дамб и др. Таким образом, резка металлоконструкций под водой становится все более распространенной и актуальной.

Резка взрывом с помощью УКЗ выгодно отличается от термических способов резки в подводных условиях. К ее преимуществам относятся простота используемого оборудования и установки подводного заряда, возможность осуществлять процесс дистанционно, что сокращает время пребывания водолаза под водой. Кроме того, процесс резки не зависит от глубины погружения, для его осуществления не требуются специалисты высокой квалификации. Резка взрывом в некоторых случаях вообще незаменима, например, при работах на объектах с горючими или газообразными взрывоопасными смесями, а также в случае опасности появления сдвига, при котором части разрезаемых конструкций могут обрушиться.

С целью обеспечения возможности образования высокоскоростной кумулятивной струи в подводных условиях полость кумулятивной выемки должна быть защищена от попадания воды. С этой целью разработан УКЗ в пенопластовой защитной оболочке, охватывающей его корпус и заполняющей кумулятивную выемку. Потеря эффективности действия УКЗ при этом не превышает 10...15 %. Подобные заряды способны работать на глубинах до 50 м. При необходимости проведения работ на глубине 60...70 м на защитную оболочку наносят покрытие, предотвращающее попадание воды, а на глубинах до 200 м, еще доступной для водолаза, и до 600 м, где требуется использование манипулятора, УКЗ помещают в металлическую оболочку из соответствующего материала.

При взрыве подводного заряда в воде возникают ударные волны, которые могут нанести ущерб ихтиофауне акваторий, имеющих важное народно-

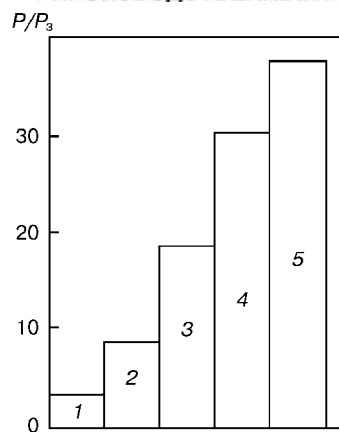


Рис. 7. Эффективность различных защитных экранов по результатам измерений максимального давления волны на удалении 3,5 м от УКЗ: 1 — пузырьковая защита; 2 — экраны из песка, гравия керамзитового и пенопласта; 3 — чередующиеся слои гравия и пенопласта; 4 — чередующиеся слои песка и пенопласта; 5 — чередующиеся слои песка и пенопласта

хозяйственное значение. Допустимый уровень интенсивности ударных волн под водой не должен превышать 0,6...1,0 МПа. Очевидно, что промышленное применение технологии резки взрывом под водой будет обуславливаться эффективностью мер защиты ихтиофауны от воздействия взрыва.

В ИЭС им. Е. О. Патона и Институте механики НАН Украины проведены исследования давления ударной волны, распространяющейся в воде при взрыве различных УКЗ, а также влияния различных типов защитных экранов на степень гашения ударных волн. С целью определения эффективности способов и средств защиты проведены измерения ударных волн при взрыве отрезков УКЗ диаметром 19 мм и длиной 250 мм, помещенных в различные защитные экраны — сухой песок, пенопласт, гравий керамзитовый, комбинированные экраны, состоящие из слоев песка и пенопласта, а также экраны из воздушных пузырьков. Сравнительная характеристика испытанных защитных экранов приведена на рис. 7. Здесь на оси ординат приведено отношение максимальных значений давления P в волне при взрыве отрезка УКЗ диаметром 19 мм в воде к пиковому значению давления P_3 , зафиксированному при взрыве такого же УКЗ с использованием различных защитных экранов. Результаты измерений показали, что пузырьковая защита снижает давление в 5 раз, экран из песка — в 10 раз, из гравия керамзитового — в 20 раз, из пенопласта — в 30 раз, из чередующихся слоев песка и пенопласта — в 40 раз.

Наиболее приемлемым по технологическим и экономическим показателям является пенопластовый экран, который является защитной оболочкой УКЗ и одновременно выполняет роль своеобразной пузырьковой защиты. При необходимости зона безопасного воздействия на ихтиофауну может быть расширена путем отпугивания рыбы из зоны взрыва УКЗ в радиусе до 3...5 м акустическими методами.

На основе УКЗ в пенопластовой оболочке в ИЭС им. Е. О. Патона и ВНИИСПТнефть (Россия) разработан труборез кумулятивный кольцевой подводный (ТрККП) для резки магистральных трубопроводов диаметром 219...1420 мм с тол-



Рис. 8. Вид реза многослойной трубы основания морских стационарных платформ

щиной стенки до 18...20 мм. Труборез состоит из двух полуколец УКЗ в пенопластовой защитной оболочке с заранее установленными корпусами промежуточных зарядов. Кроме того, защитные оболочки выполнены с приливами, к которым присоединяются утяжеляющие грузы. С их помощью осуществляется закрепление ТрККП на трубе. В корпус промежуточных зарядов вставляются концы участков ДШ, после чего они заливаются плавленным ВВ. Труборез обеспечивает перерезание трубы при наличии слоя воды между ним и трубой толщиной не более 5 мм. Подрыв ТрККП осуществляется электродетонатором, присоединенным под водой к магистральному ДШ (после выхода водолаза из воды).

На основе исследований, проведенных в ИЭС им. Е. О. Патона, разработана и успешно апробирована технология демонтажа резкой взрывом морских стационарных платформ с обеспечением защиты ихтиофауны [4]. Впервые эта технология была применена в 1978 г. для резки оснований буровой платформы в Черном море в 75 км от Евпатории. Основание буровой платформы состояло из трех одинаковых блоков, каждый из которых установлен на девяти сваях. Каждая свая представляла собой конструкцию, состоящую из коаксиально расположенных труб диаметром 219...478 мм с толщиной стенки 8...11 мм. Межтрубное пространство было заполнено затвердевшим цементом. Резка труб происходила на глубине 33 м поэтапно по следующей схеме. Сначала на наружной трубе на расстоянии примерно 700 мм производили два кольцевых поперечных реза. Затем «катушку» разрезали на три равные части тремя продольными зарядами. При этом разрушался также цементный раствор. Последующую резку труб меньшего диаметра осуществляли аналогичным образом. Для демонтажа использовали кольцевые заряды ТрККП диаметром 19 и 41 мм и прямолинейные диаметром 19 мм. Вид реза многослойной трубы приведен на рис. 8.

В процессе демонтажа оснований буровой платформы была произведена резка взрывом 96 труб.

Общее время проведения непосредственно подводных взрывных работ составило 15 дней.

В 1985 г. взрывная технология была использована при демонтаже разведочной платформы, расположенной в Азовском море на глубине 11 м. В 1986 г. аналогичные работы проведены при демонтаже блоков морских стационарных платформ, находящихся в Черном море на глубине 30 и 33 м. В том же году выполнены работы по подводной резке взрывом 30 гидротехнических трубчатых опор, расположенных в Каспийском море на глубине 6 м, в результате которых был демонтирован участок эстакады длиной 300 м. В 1990–1991 гг. на Каспийском море успешно проведены работы по обрезке взрывом понтонов морских стационарных платформ после их монтажа на шельфе.

Для обеспечения топливно-энергетического баланса во многих развитых странах наряду с возрастанием добычи нефти и газа увеличивается потребность в строительстве атомных электростанций. В процессе эксплуатации они подлежат техническому обслуживанию и ремонту, а впоследствии — закрытию и демонтажу. Так, в 1986 г. в Украине после катастрофы на ЧАЭС возникла необходимость аварийного ремонта укрытия и последующего демонтажа 4-го энергоблока. И в настоящее время возникает необходимость выполнения различного рода работ по разделке металлоконструкций различного типа в экстремальных ситуациях. Очевидно, что с учетом описанных выше преимуществ технологии резки взрывом ее применение в особых условиях является практически безальтернативным решением данной проблемы. Однако при этом к технологии резки взрывом предъявляется ряд специфических требований. Это прежде всего предварительная оптимизация параметров УКЗ применительно к конкретно разрезаемой металлоконструкции, осуществление дистанционной доставки и установки УКЗ с помощью манипуляторов (роботов), обеспечение надежного крепления УКЗ на горизонтальных и вертикальных участках металлоконструкции с гарантированным фокусным расстоянием, выполнение дистанционного подрыва УКЗ с помощью радиосигналов, предотвращение воздействия ударных волн на окружающие объекты и возможного разброса радиоактивной пыли, а также фрагментов заряда и разделяемой конструкции.

В ИЭС им. Е. О. Патона на основании имеющегося опыта и проведенных специальных исследований разработаны, например, две конструкции монтажно-транспортного устройства на базе ТрККН, предназначенные для разделки трубчатых металлоконструкций и удовлетворяющие всем перечисленным требованиям. Первая конструкция под названием «клещи» предназначена для разделки труб диаметром 89...220 мм; вторая — под названием «скоба» используется для резки труб диаметром 820...1440 мм. Если трубы имеют диаметр промежуточного размера, то можно применять как первое, так и второе устройство в зависимости от конкретных условий выполнения работ.

При использовании устройства типа «клещи» (рис. 9) УКЗ вместе с монтажным приспособле-

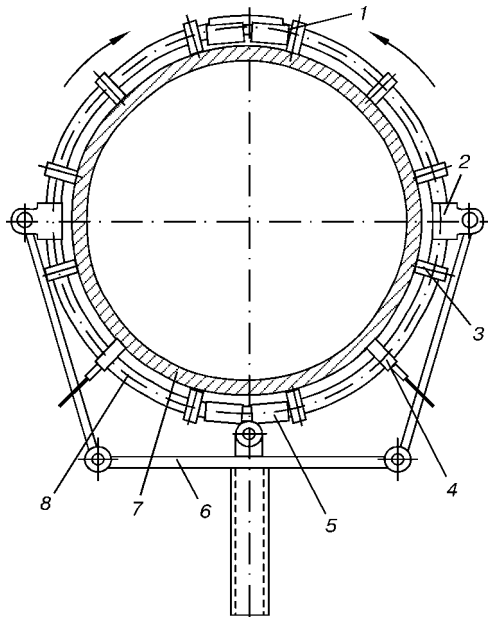


Рис. 9. Устройство на основе УКЗ типа «клещи» для резки труб: 1 — соединитель полуколец УКЗ; 2 — шарнир; 3 — бобышка для установки фокусного расстояния; 4 — то же с гнездом для электродетонатора; 5 — шарнирный замок; 6 — устройство для сочленения и фиксации полуколец УКЗ; 7 — разрезаемая труба; 8 — полукольцо УКЗ

нием доставляется на исходную позицию и подсоединяется к манипулятору. При этом полукольца УКЗ находятся в разведенном состоянии. Манипулятор доставляет устройство к месту работы, подводит УКЗ к месту реза таким образом, чтобы ось трубы и плоскость УКЗ были взаимно перпендикулярны, и посредством поступательного движения производит установку УКЗ на трубу, где оно закрепляется специальным замком и фиксаторами, имеющими на конце эластичный элемент, обеспечивающий удержание УКЗ в любом положении за счет своих упругих свойств. После отхода манипулятора в безопасное место выполняется подрыв УКЗ. Затем при помощи манипулятора производится осмотр места взрывных работ. В зависимости от его результатов взрывные работы могут быть продолжены в случае необходимости. Особенность выполнения монтажных

работ при использовании устройства типа «скоба» состоит в том, что для установки УКЗ требуется два манипулятора, а отсоединение монтажного приспособления от УКЗ происходит путем радиального передвижения манипуляторов от центра трубы. Остальные операции аналогичны описанным выше.

При необходимости обеспечения защиты окружающих объектов от побочного действия взрыва используется воздушно-механическая пена, создаваемая портативным пеногенератором, который доставляется к месту работы с помощью манипулятора. Зафиксировано значительное (десятикратное) гашение ударных волн и уменьшение количества осколков оболочки УКЗ, а также практически полное подавление разброса радиоактивной пыли.

Аналог устройства типа «клещи» (рис. 9) в 1986 г. применялся при резке взрывом пожарных трубопроводов диаметром 108 мм на крыше 3-го энергоблока при ликвидации аварии на ЧАЭС. Уровень радиации при этом достигал 150 Р/ч.

В заключение следует отметить, что ИЭС им. Е. О. Патона располагает опытом создания и практического применения сверхпрецизионных и безопасных для человека линейных устройств разделения на основе использования энергии взрыва, необходимых в аэрокосмической технике. Эти устройства находят различные сферы применения, например для создания аварийных выходов в кабине пилота самолета. Аналогичное устройство разрабатывалось для ракетно-космической транспортной системы «Энергия-Буран». Намечались перспективы применения технологии резки взрывом в условиях открытого космоса для демонтажа орбитальных космических станций.

1. *Лаврентьев М. А.* Кумулятивный заряд и принципы его работы // *Успехи мат. наук.* — 1957. — 4, № 12. — С. 41–56.
2. *Физика взрыва* / *Ф. А. Баум, П. П. Орленко, К. П. Станюкович и др.* — М.: Наука, 1975. — 704 с.
3. *Райнхарт Д., Пирсон Д.* Обработка металлов взрывом. — М.: Мир, 1966. — 391 с.
4. *Кудинов В. М., Коротеев А. Я., Волгин Л. А.* Опыт применения подводной резки взрывом при демонтаже трубчатых оснований морских стационарных платформ // *Автомат. сварка.* — 1987. — № 6. — С. 27–29.

Principles of the technology for explosion cutting of metal structures using elongated cumulative explosive charges (ECEC) developed by PWI are considered. Relationships describing the efficiency of ECEC within the framework of the hydrodynamic theory are presented. Examples of successful application of the explosion cutting technology in a number of industries are given, including under special conditions where specific measures have to be taken to provide protection from the side effects of explosion.

Поступила в редакцию 11.06.2002