Записки Ленинградского орденов Ленина и Трудового Красного Знамени горного института, том XXVII, вып. II, 1952 г.

ТОРПЕДИРОВАНИЕ ГИДРОГЕОЛОГИЧЕСКИХ СКВАЖИН В ЦЕЛЯХ УВЕЛИЧЕНИЯ ИХ ВОДООБИЛЬНОСТИ

Канд. геолого-минералогических наук
В. М. Максимов

Сведения о торпедировании гидрогеологических скважин, как способе увеличения их дебита, встречаются в ряде работ по гидрогеологии и бурению [3], [4], [6]. Однако этот способ разведки подземных вод не получил еще широкого распространения в практике гидрогеологических исследований. Объясняется это отсутствием разработанной методики торпедирования для опробования гидрогеологических скважин. В предлагаемой статье рассматриваются некоторые вопросы методики торпедирования гидрогеологических скважин в целях увеличения их водообильности.

I. ГИДРОГЕОЛОГИЧЕСКИЕ УСЛОВИЯ УЧАСТКА, БЛАГОПРИЯТНЫЕ ДЛЯ ТОРПЕДИРОВАНИЯ СКВАЖИН

При разведке трещинных, трещинно-пластовых и карстовых водоносных горизонтов, связанных с магматическими, метаморфическими и осадочными горными породами, нередко в одном и том же водоносном горизонте встречаются водообильные скважины и слабоводообильные или практически сухие. Слабая водообильность или сухость скважин, как известно, могут быть обусловлены: *а*) изменением характера трещиноватости водоносных горных пород по вертикали в пределах мощности горизонтов и по простиранию их; *б*) фациальной изменчивостью горных пород водоносных горизонтов по вертикали и простиранию; *в*) внедрением в водоносные горизонты тех или иных интрузивных горных пород; *г*) наличием в районе тангенциальных или радиальных дислокаций; *д*) различной степенью закарстованности горных пород, слагающих карстовые водоносные горизонты; *е*) изолированностью трещин и пустот между ними в одних и тех же породах и горизонтах; *ж*) глинизацией трещин, пронизывающих породу водоносного горизонта (при бурении скважин с применением глинистой промывки).

По причинам, указанным в пунктах *а*, *д*, *е* и *ж*, скважины, пройденные в одном и том же водоносном горизонте, часто в одних пунктах дают хорошую производительность, а в других, весьма близких к первым, имеют незначительный дебит или оказываются совсем сухими. Такие скважины, на первый взгляд безнадежные в отношении водообильности, оставляются без дальнейшего гидрогеологического опробования. Между тем, как показывает практика, после торпедирования они могут стать водообильными, пригодными для целей водоснабжения, осушения и др.

Так, по данным Я. С. Суреньянца удельный дебит скважин в водоносных известняках после торпедирования возрастал на 30—100%. Наш опыт торпедирования трех скважин в песчаниках также показал увеличение дебита на 15—18%.

Интересны результаты торпедирования скважин в Подмосковном бассейне, произведенного в известняках, слагающих упинский водоносный горизонт (табл. 1).

Таблица 1

Результаты торпедирования скважин по материалам треста „Калининуголь"

Номер скважины	Удельный дебит, $м^3/час$		Примечание
	до торпедирования	после торпедирования	
234/21 (водопонизительная)	0,97	4,26	Торпедирование скважины 350/96-бис оказало влияние на дебит скважины 323/23, расположенной в 30 *м* от скважины 350/96-бис. Дебит скважины 323/23 увеличился с 47 до 67 $м^3/час$
262/22 (водопонизительная)	0,50	5,50	
350/96-бис	0,30	2,60	
212/67 (разведочная)	0,50	30,00	

В литературе приводятся и такие случаи, когда сухие скважины после торпедирования становились водообильными [3]. Таким образом, способ торпедирования скважин в некоторых районах может иметь большое значение при гидрогеологических исследованиях, проводимых для целей осушения, водоснабжения населенных пунктов, городов, промышленных предприятий и других объектов.

Естественно, что применение этого способа возможно при достаточной изученности гидрогеологического строения района (условий залегания водоносных горизонтов, трещиноватости, литологического состава пород водоносных горизонтов, пород кровли и подошвы их), при тщательном анализе колонки скважины, предназначаемой к торпедированию, и причин слабой водообильности или сухости скважины.

Примеры торпедирования гидрогеологических скважин показывают, что результаты его получаются удовлетворительными в водоносных горизонтах, сложенных гранитами, кристаллическими сланцами, кварцитами, крепкими песчаниками, конгломератами, известняками и доломитами. К неблагоприятным для условий торпедирования породам относятся: глины, глинистые сланцы, мергели, глинистые песчаники, глинистые известняки и тому подобные горные породы. При взрыве эти породы значительно уплотняются и метаморфизуются и тем самым становятся совсем водонепроницаемыми. Метаморфизация глинистых горных пород происходит под влиянием тех огромных давлений и высоких температур, которые возникают в момент взрыва заряда взрывчатого вещества, используемого при торпедировании скважин. Поэтому водоносные горизонты с прослоями глин и глинистых пород являются мало благоприятными для торпедирования. В таких водоносных горизонтах трещины, пронизывающие водоносные породы, в результате взрыва мгновенно могут быть закупорены глиной.

Поэтому основным условием успеха торпедирования гидрогеологических скважин являются оценка среды, в которой будет производиться взрыв, т. е. тщательная оценка литологического состава пород, слагающих водоносные горизонты, изучение характера трещиноватости, закарстованности их и пр. Способ торпедирования, как видно из сказанного, в практике гидрогеологических исследований имеет ограниченное при-

менение. Он применим главным образом в районах распространения магматических, метаморфических и некоторых разностей осадочных горных пород, с которыми связаны трещинные, трещинно-пластовые и карстовые воды.

II. ИСХОДНЫЕ ГИДРОГЕОЛОГИЧЕСКИЕ ДАННЫЕ И ТЕХНИЧЕСКИЕ СРЕДСТВА, НЕОБХОДИМЫЕ ДЛЯ СОСТАВЛЕНИЯ ПРОЕКТА ТОРПЕДИРОВАНИЯ СКВАЖИНЫ

Для составления проекта торпедирования скважины требуются определенные гидрогеологические данные и технические средства. Гидрогеологические данные обычно указываются в колонке скважины, совмещенной с ее техническим разрезом. По колонке устанавливается весь

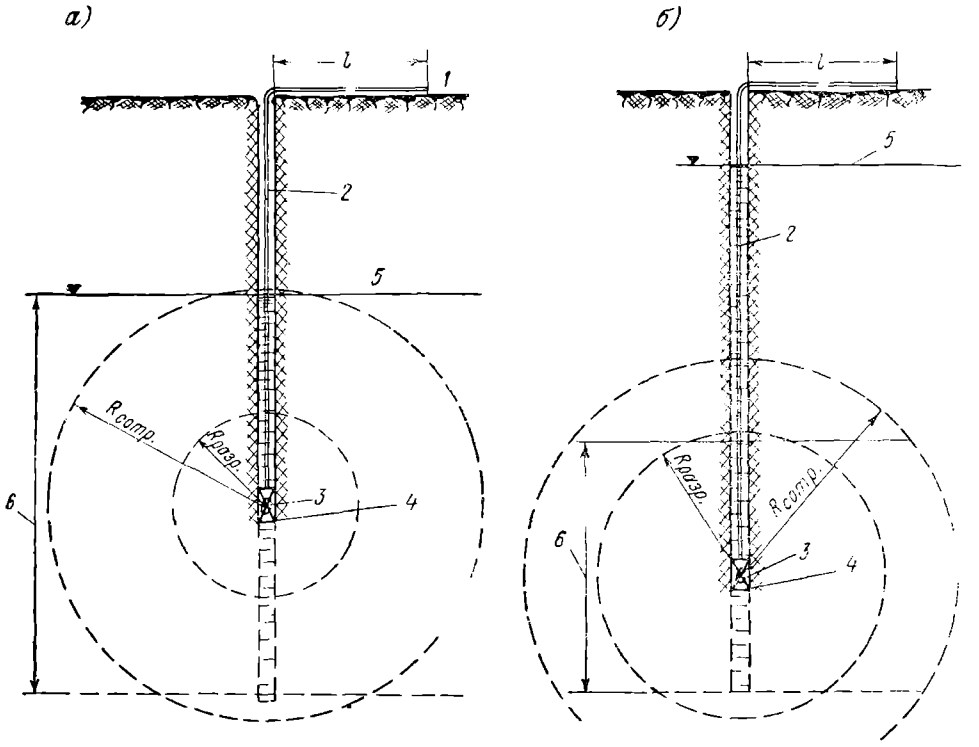


Рис. 1. Схема торпедирования скважины, установленной в водоносном горизонте: *а* — безнапорном; *б* — напорном; *1* — минно-подрывная станция; *2* — электровзрывная сеть; *3* — торпеда, *4* — забой скважины; *5* — статический уровень воды; *6* — водоносный горизонт

геологический разрез скважины. Особое внимание при изучении колонки скважины уделяется горным породам, слагающим водоносный горизонт, и породам, являющимся кровлей и подошвой его.

Кроме того, по колонке определяются мощность водоносного горизонта, глубина скважины, ее начальный, конечный диаметры и диаметр в месте установки заряда или специальной торпеды, а также глубина торпедирования (заложения заряда или специальной торпеды от поверхности земли). Выясняется и технический разрез скважины.

К техническим средствам, необходимым для составления проекта торпедирования скважины, относятся:

а) взрывчатые вещества (тол в шашках или порошкообразные взрывчатые вещества — тол, аммонит в специальных зарядовых мешках или гильзах-торпедах);

б) источник тока (осветительная и силовая сеть напряжением 127, 220 и 380 *в*, сухие батареи или аккумуляторы);

в) проводник марок ПР-400, ОПР-500 или каротажный кабель марок КТО-2, КТО-1.

г) электродетонаторы мгновенного действия;

д) электроизмерительные приборы и принадлежности для подготовки скважины к взрыву (малый или большой омметр), изоляционная лента, канатик для спуска заряда или торпеды в скважину;

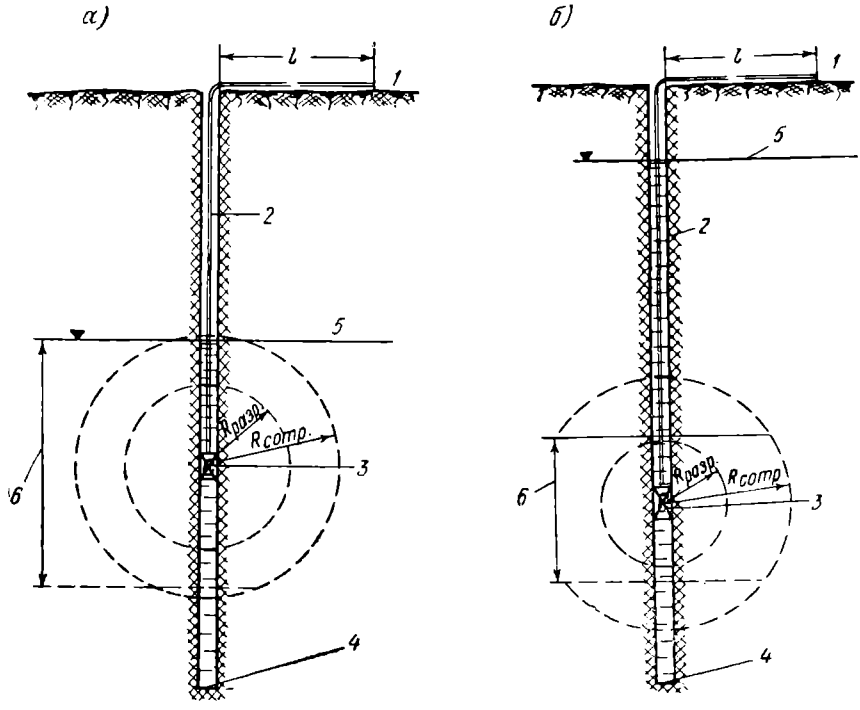


Рис. 2. Схема торпедирования скважины, прошедшей водоносный горизонт:
а — напорный; *б* — безнапорный; *1* — минно-подрывная станция; *2* — электровзрывная сеть; *3* — торпеда; *4* — забой скважины; *5* — статический уровень; *6* — водоносный горизонт

е) материал забойки заряда скважины (чистый крупнозернистый песок), если торпедирование проектируется в сухих скважинах.

Положив в основу проекта торпедирования гидрогеологические данные и перечисленные технические средства, можно подойти к схемам, применяемым при торпедировании разведочных гидрогеологических скважин (рис. 1 и 2). На рис. 1 представлен проект торпедирования скважины, остановленной в водоносном горизонте; на рис. 2 — проект торпедирования скважины, прошедшей водоносный горизонт на всю его мощность. В практике иногда торпедируются скважины, долгое время находившиеся в эксплуатации и по тем или иным причинам оказавшиеся слабоводообильными. Торпедирование в таких случаях также производится по указанным выше схемам с некоторыми дополнениями, обусловленными конструктивными особенностями эксплуатационных скважин и деталями их гидрогеологического разреза. Основной величиной, которую

нужно определить при составлении проекта торпедирования скважины, является величина заряда взрывчатого вещества. Величина заряда предопределяет все другие расчетные величины: величину радиуса сферы разрушения, величину забойки, форму и размеры торпед и пр.

Формулы для определения величины заряда взрывчатого вещества мы рассмотрим в связи с теми способами торпедирования гидрогеологических скважин, которые применяются при гидрогеологических исследованиях.

III. СПОСОБЫ ТОРПЕДИРОВАНИЯ ГИДРОГЕОЛОГИЧЕСКИХ СКВАЖИН

Способы торпедирования скважин определяются глубиной скважин и их гидрогеологическим и техническим разрезами. В зависимости от этого можно выделить два основных способа торпедирования гидрогеологических скважин: 1) отдельными зарядами взрывчатого вещества; 2) специальными торпедами.

1. Торпедирование скважин зарядами взрывчатого вещества

Этот способ может быть применен при торпедировании относительно неглубоких (до 100 *м*) скважин, оказавшихся при гидрогеологической разведке сухими или слабоводообильными. В таких скважинах для торпедирования используются отдельные заряды взрывчатого вещества, опускаемые в скважину на требуемую глубину, определяемую глубиной залегания водоносного горизонта от поверхности земли.

Расчет величины заряда для создания сферы разрушения на глубине

Опуская заряд в скважину на относительно большую глубину от поверхности земли и создавая над ним необходимую величину забойки, мы тем самым создаем условия для внутреннего взрыва, т. е. взрыва заряда в неограниченной среде. Этот взрыв, как известно, будет характеризоваться неизменностью поверхности земли.

Наоборот, при незначительной глубине заложения заряда взрыв произведет изменения поверхности земли (образует так называемую воронку взрыва или поднятие поверхности земли).

Следовательно, при торпедировании скважины на глубине возникают условия неограниченной среды, внутреннее действие взрыва в которой будет характеризоваться:

а) величиной заряда взрывчатого вещества C;

б) величиной радиуса сферы разрушения $R_{\text{разр}}$

в) плотностью заряжения скважины ρ;

г) свойствами взрывчатого вещества;

д) сопротивлением среды дроблению, которое зависит от сил сцепления частиц горной породы между собой и характера трещиноватости этой породы.

Плотность заряжения, как известно из курса подрывного дела, определяется отношением веса заряда в граммах к объему зарядной камеры в кубических сантиметрах $\rho = \frac{C}{V}$

Очевидно, наибольшее давление взрывной волны на горные породы, слагающие водоносный горизонт, будет при $\rho = 1$. Это обстоятельство необходимо учитывать при торпедировании сухих скважин. В скважинах с наличием столба воды достигается наилучшая забойка. Итак, при торпедировании гидрогеологической скважины на глубине вполне возможно применение принципа внутреннего действия взрыва.

Необходимый вес заряда для создания проектируемой трещиноватой сферы на глубине (в пределах водоносного горизонта) можно приближенно определить следующим путем.

Определяем величину заряда для создания сферы разрушения в упругой среде, т. е. в водоносных горных породах, по формуле:

$$R_{разр} = K_{разр} \sqrt[3]{C}, \qquad (1)$$

где $R_{разр}$ — радиус сферы разрушения ($м$), в пределах которой нарушаются естественные условия залегания горных пород, причем скальные и полускальные твердые горные породы подвергаются дроблению и трещинообразованию, полускальные мягкие, а также глинистые и песчаные горные породы в этой сфере сильно уплотняются, метаморфизуются и частично разрушаются с образованием трещин;

$K_{разр}$ — коэффициент податливости горных пород разрушению;

C — вес сосредоточенного заряда взрывчатого вещества нормальной мощности, $кг$.

В действительности, при торпедировании скважин заряды обычно имеют несколько удлиненную форму. Но для ориентировочных расчетов, вполне достаточных для практики, заряды удлиненной формы можно принять за сосредоточенные, во-первых, потому, что при торпедировании скважин небольшого диаметра ($< 6''$) на требуемой глубине путем предварительных простреловв мелкими зарядами может быть подготовлена зарядная камера для основного заряда, который бывает близким к сосредоточенному; во-вторых, при торпедировании скважин большого диаметра ($> 6''$) заряды имеют цилиндрическую (при порошкообразных ВВ) или призматическую (при ВВ в шашках) форму. Учитывая, что диаметр и высота цилиндров, основание и высота призм не выходят из соотношения 1 4, эти заряды для приближенных расчетов также могут быть приняты за сосредоточенные. Коэффициент податливости горных пород разрушению, входящий в формулу (1), установлен только для некоторых разностей их. Значения его приведены в табл. 2.

Таблица 2

Коэффициенты податливости горных пород разрушению

Наименование пород	Коэффициент разрушения
Песок влажный	1,00
Песок плотный, чистый	1,04
Песок с гравием	0,98
Мергель плотный	0,94
Известняк, песчанистый сланец	0,92
Песчаник, мягкий конгломерат	0,92
Сланец глинистый	0,92
Гранит, гнейс нетрещиноватый, крепкий, конгломерат, гранитовые породы	0,84
Доломит, крепкие песчаники и известняки	0,88

Исходя из формулы (1) и задаваясь величиной радиуса сферы разрушения $R_{разр}$, определяем величину C по формуле

$$C = \frac{R^3_{раз}}{K^3_{разр}} \qquad (2)$$

По формуле (2) определяется величина заряда (*кг*), который требуется для создания проектируемой сферы разрушения в пределах водоносного горизонта.

Определение радиуса сферы сотрясения

Сфера разрушения в неограниченной среде при применении дробящих взрывчатых веществ в виде сосредоточенных зарядов приобретает форму, близкую к шарообразной. Принимая сферу разрушения за шарообразную, радиус сферы сотрясения можно определить по следующей формуле, которая в достаточной степени проверена и подтверждена практикой взрывных работ:

$$R_{\text{сотр}} = \mu R_{\text{разр}}, \qquad (3)$$

где $R_{\text{сотр}}$ — радиус сферы сотрясения, в которой не нарушаются естественные условия залегания горных пород и связь между частицами, слагающими эти породы, *м*;

$R_{\text{разр}}$ — радиус сферы разрушения при заряде C, рассчитанном по формуле (2), *м*;

μ — эмпирический коэффициент, равный 1,5—2,0.

Недостатком рассмотренного способа торпедирования является то, что он по техническим неудобствам (трудность спуска зарядов, сложность создания зарядной камеры для основного заряда в скважинах небольшого диаметра и пр.) и технике безопасности мало пригоден для торпедирования более глубоких (более 100 *м*) скважин. Поэтому в практике гидрогеологических исследований наибольшее распространение получил способ торпедирования скважин специальными торпедами и снарядными перфораторами. Этот способ является более универсальным и применим для торпедирования скважины любой глубины от 1,5—2 десятков до сотен метров.

2. Торпедирование скважин специальными торпедами

Техника торпедирования скважин специальными торпедами довольно проста. Она заключается в том, что в скважину вместо заряда взрывчатого вещества на требуемую глубину опускается специально изготовленная торпеда. Торпеда представляет собой отрезок цилиндрической трубы, заполненной тем или иным взрывчатым веществом.

Нижний конец торпеды для удобства спуска в скважину закатывается на конус и заваривается. В верхний ввинчивается крышка с дужкой, при помощи которой торпеду прикрепляют к канатику, служащему для спуска торпеды в скважину. В крышку ввинчивается пробка, через которую в торпеду вводят двухжильный кабель. Жилы кабеля надежно соединяются с электродетонаторами, заложенными в взрывчатое вещество (рис. 3). При изготовлении торпеды на месте гидрогеологических работ в верхний и нижний концы отрезка трубы плотно вбиваются деревянные пробки, причем нижней пробке придается коническая форма, а в верхней просверливается отверстие, через которое в торпеду вводят кабель, сопряженный с электродетонаторами.

В целях безотказности взрыва в одну торпеду закладывается не менее двух электродетонаторов, имеющих одинаковое омическое сопротивление.

Электродетонаторы к жилам кабеля присоединяются параллельно. Для лучшей гидроизоляции торпеда после забивки нижней пробки и перед установкой верхней на 5—8 *см* заливается смолой или парафином.

К верхнему концу отрезка трубы прикрепляется дужка, к которой привязывается канатик для спуска торпеды в скважину.

Торпеда может быть изготовлена из листового железа, газовых труб, труб высокого давления и асбестоцементных. Как отмечает Я. С. Суреньянц, торпеды из асбестоцементных труб наиболее пригодны для торпедирования гидрогеологических скважин. Объясняется это тем, что асбестоцементные трубы при взрыве разрушаются на мелкие куски, ко-

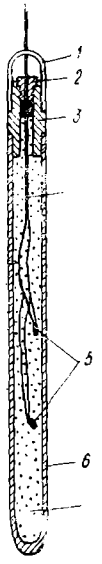


Рис. 3. Схема обыкновенной торпеды:

1 дужка; 2 штуцер и уплотнение в головке (пробка); *3* — головка, сопряженная с дужкой; *4* — двухжильный кабель; *5* — электродетонаторы: *6* — корпус торпеды; *7* — взрывчатое вещество

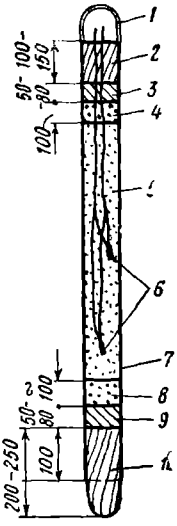


Рис. 4. Схема обыкновенной торпеды из подручных материалов:

1 дужка; 2 верхняя пробка; *3* — смола или другой гидроизоляционный материал; *4* — песок; *5* — взрывчатое вещество; *6* — электродетонаторы мгновенного действия; *7* — корпус торпеды (отрезок металлической или асбестоцементной трубы; *8* — песок; *9* — смола; *10* — нижняя пробка

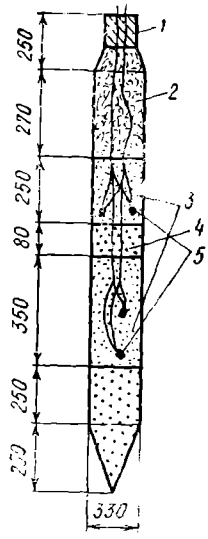


Рис. 5. Схема торпеды треста «Калининуголь»

1 — смола; *2* — древесные опилки; *3* — аммонит; *4* — песок; *5* — электродетонаторы

торые в малой степени забивают трещины в водоносных горных породах. К тому же применение их возможно при торпедировании довольно глубоких скважин, так как они обладают достаточной прочностью (выдерживают внешнее давление до 20 *атм*).

Типы торпед могут быть самыми разнообразными (рис. 3, 4.). Разнообразие их обусловливается различием диаметров скважин (в месте установки торпеды), различием зарядов взрывчатого вещества по весу, глубиной скважин и другими причинами. Некоторые типы торпед показаны на рис. 3—5.

Из рис. 3—5 видно, что изготовление торпеды при наличии необходимых средств и принадлежностей для взрывания вполне осуществимо непосредственно на месте гидрогеологических работ.

Одной из основных задач при проектировании торпедирования скважин специальными торпедами является определение величины заряда взрывчатого вещества торпеды и установление ее основных размеров.

Величину заряда взрывчатого вещества приближенно можно определить по формуле

$$C = 8{,}3\frac{R^3_{\text{разр}}}{abf}, \qquad (4)$$

где C — величина заряда аммонита, *кг*;
$R_{\text{разр}}$ — радиус разрушения, *м*;
a — коэффициент, характеризующий материал торпеды (для стальных труб $a = 0{,}9$, для асбестоцементных и труб из листового железа $a = 1{,}0$);
b — коэффициент, зависящий от разницы диаметров торпеды и скважины, определяется по табл. 3;
f — коэффициент, зависящий от характера горной породы, ее крепости (для мягких глин $f = 1{,}2$, известняков $f = 0{,}5$, гранитовых пород $f = 0{,}3$).

Таблица 3

Разница между диаметром торпеды и скважины, *мм*	Значение коэффициента b
0,0	1,00
25	0,95
38	0,90
50	0,85
60	0,75

Рассчитав по формуле (4) величину заряда C, можно подойти к определению длины и диаметра торпеды, пользуясь простыми формулами.

Предварительно по величине C и плотности взрывчатого вещества, принятого для заполнения торпеды, определяется объем заряда по формуле

$$V_з = \frac{C}{\Delta}, \qquad (5)$$

где $V_з$ — объем заряда, *дм*^{3};
C — вес взрывчатого вещества, *кг*;
Δ — плотность взрывчатого вещества, *кг/дм*^{3}.

Так как торпеды имеют цилиндрическую форму, объем их может быть рассчитан по формуле

$$V_т = \frac{\pi d^2}{4} l_т, \qquad (6)$$

где $V_т$ — объем торпеды;
$l_т$ — длина торпеды;
d — внутренний диаметр торпеды.

Внешний диаметр торпеды определяется по диаметру торпедируемой скважины с учетом просвета, необходимого для беспрепятственного спуска торпеды в скважину, и толщины стенки трубы, используемой для изготовления торпеды. Внешний диаметр определяется по следующей формуле

$$d_{\text{внешн}} = d + 2\delta, \qquad (7)$$

где δ — толщина стенки торпеды.

Просвет между торпедой и внутренними стенками скважины должен быть не менее 1″. Длину торпеды можно с достаточной для практики

точностью определить из формул (5) и (6), сделав допущение, что $V_з \approx V_т$.

Тогда

$$l_т = \frac{4v_з}{\pi d^2} \qquad (8)$$

Опыт торпедирования скважин показывает, что большое значение при торпедировании имеет использование взрывной волны в требуемом для гидрогеологических целей месте.

Практикой установлено, что взрывные волны можно концентрировать и направлять в необходимую сторону. Это достигается конструктивными особенностями торпеды. Так, например, торпеды, в которых заряд взрывчатого вещества разделяется слоем песка на две части — верхнюю, занимаемую $^1/_4$ заряда, и нижнюю — $^3/_4$ заряда, — характеризуются большей направленностью взрывной волны в боковые стороны и меньшей вверх. Такие торпеды называются торпедами бокового действия (рис. 6).

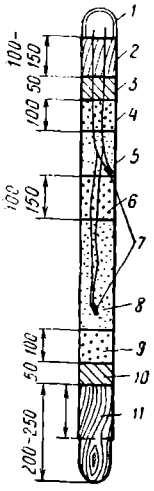


Рис. 6. Схема торпеды бокового действия:

1 — дужка; *2* — верхняя пробка; *3* — смола; *4* — песок; *5* — $^1/_4$ заряда; *6* — песок (фокусирующая прослойка); *7* — электродетонаторы мгновенного действия; *8* — $^3/_4$ заряда; *9* — песок; *10* — смола; *11* — нижняя пробка

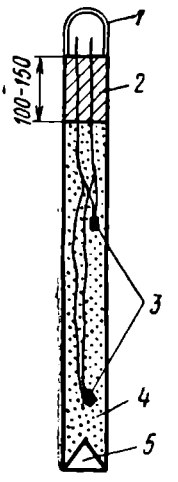


Рис. 7. Схема торпеды вертикального действия:

1 — дужка; *2* — верхняя пробка; *3* — электродетонаторы мгновенного действия; *4* — высокобризантно-взрывчатое вещество; *5* — комулятивная выемка, равная по высоте диаметру торпеды

Для большего разрушения водоносных горных пород на забое скважины при торпедировании ее по схеме, соответствующей рис. 1, можно пользоваться торпедой вертикального действия (рис. 7), в которой коническая форма внутренней части (комулятивная выемка) обусловливает комуляцию и направление взрывной волны вниз.

Кроме рассмотренных торпед, в последнее время при торпедировании гидрогеологических скважин стали применять снарядные перфораторы системы Колодяжного (рис. 8). К сожалению, подробного описания результатов терпедирования скважин этими перфораторами в опубликованной литературе не имеется. Мы ограничимся общей характеристикой снарядного перфоратора и весьма краткими сведениями о результатах его применения, заимствованными из литературы.

Торпедирование снарядным перфоратором возможно в закрепленных и незакрепленных скважинах, в разных направлениях (в горизонтальной плоскости) и на различных глубинах в пределах мощности водоносного горизонта. Забойки перфоратора не требуется. Спуск снарядного перфоратора в скважину не связан с какими-либо трудностями. Результаты торпедирования гидрогеологических скважин в отношении увеличения их водообильности, по сообщению специалистов, пользовавшихся этими перфораторами, в большинстве своем получаются довольно удовлетворительными. Все это ставит снарядный перфоратор системы Колодяжного в преимущественное положение перед ранее рассмотренными торпедами.

Недостатком способа торпедирования гидрогеологических скважин такими перфораторами является трудность их изготовления на месте — непосредственно в районе гидрогеологических исследований.

Как видно из рис. 8, снарядный перфоратор Колодяжного — специальный аппарат, состоящий из следующих частей: двух пороховых камер, стержня, снарядов бронебойного типа замедленного действия, ствола, соединительных болтов, верхнего фланца и нижнего фланца, электрозапала, резиновой трубки и электрокабеля. Действие снарядного перфоратора заключается в следующем. После заполнения камер *1* порохом в них вставляются снаряды *3*, которые поджимаются стволом *4*. Вся конструкция аппарата соединяется болтами *5*, причем посредством стержня *2* устанавливается расстояние между снарядами. В камеру порохового заряда вставляется электрозапал *8*, к которому через резиновую трубку *9* подводится электрокабель *10*.

Заряженный снарядный перфоратор при помощи стального троса опускается в скважину на требуемую глубину торпедирования. Включение тока приводит в действие пороховой заряд, вследствие чего снаряд вылетает из ствола и проходит на ту или иную глубину в горные породы, к которым приурочен водоносный горизонт. В таких породах снаряд разрывается, образуя сферу разрушения и дополнительные трещины. Естественно, что размер сферы разрушения и длина дополнительных трещин, связанных со сферой, находятся в полной зависимости от характера горных пород, слагающих водоносный горизонт.

Относительно диаметра сферы разрушения и длины трещин, образующихся при взрыве снаряда, в литературе приводятся данные, не увязанные с характером горных пород. Так, Д. М. Хохловкин [8] указывает, что в результате взрыва снаряда возникают сферы до 30 *см* в диаметре и связанные с ними трещины длиной более 1 *м*. Приближенно, но с учетом характера горных пород, диаметр сферы разрушения можно определить по формуле (1), так как вес заряда взрывчатого вещества C, находящегося в бронебойном снаряде, и коэффициенты податливости горных пород разрушению являются известными величинами.

В результате торпедирования гидрогеологической скважины в пределах ее водоприемной части образуется сфера разрушения, форма которой будет определяться отчасти типом торпеды, а главное — видом заряда в ней.

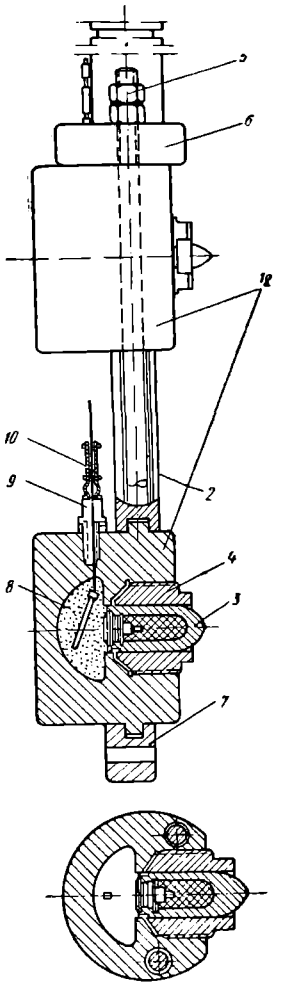


Рис. 8. Схема снарядного перфоратора системы Колодяжного:

1 — две пороховые камеры; *2* — стержень; *3* — снаряды; *4*—ствол; *5* — соединительные болты; *6* — верхний фланец; *7* — нижний фланец; *8* — электрозапал; *9* — резиновая трубка; *10* — электрокабель

При сосредоточенных зарядах сфера разрушения имеет форму шара или эллипсоида или близкую к нему, в зависимости от соотношения между длиной и диаметром заряда. Кроме того, на форму сферы разрушения оказывают влияние характер трещиноватости и закарстованности горных пород, их происхождение, структура и минералого-петрографический состав.

При удлиненных зарядах, характерных для торпед, сфера разрушения приобретает форму какого-то сложного тела вращения. По наблюдениям Я. С. Суреньянца, при взрыве торпед с удлиненными зарядами в известняках получались несколько расширенные сверху и снизу сферы разрушения размером

$$2R_{разр} \times 6R_{разр}, \quad (9)$$

где $2R_{разр}$ — поперечное сечение сферы разрушения в ее центральной части;

$6R_{разр}$ — длина сферы по оси скважины.

Исследования Е. Г Баранова [10], производившего взрывы небольших удлиненных зарядов, показали, что полости взрыва в свинце и известняке приобретают форму тела вращения, состоящего из цилиндра с двумя полуэллипсоидами, примыкающими к обеим торцевым поверхностям цилиндра, ось которого совпадает с осью заряда.

Возможно, что при взрыве торпед с удлиненными зарядами образуются сферы разрушения в виде такого же тела вращения. Это предположение требует проверки в ходе торпедирования скважин торпедами с удлиненными зарядами, имеющими различные размеры по длине и диаметру.

IV. ОПРЕДЕЛЕНИЕ ВЕЛИЧИНЫ ЗАБОЙКИ ПРИ ТОРПЕДИРОВАНИИ СУХИХ СКВАЖИН

Для сопротивления взрывной волне, направленной по оси скважины и производящей выброс обсадных труб и деформирование их нижнего конца, необходимо создать препятствие против бесполезной утечки газов взрыва, понижения их температуры и упругости. Этим препятствием и является так называемая забойка заряда или торпеды скважины. В качестве материалов забойки при торпедировании гидрогеологических скважин можно применить чистый, хорошо отсортированный крупно- или среднезернистый кварцевый песок или гравий. Практика взрывов в скважинах показывает, что во избежание выброса обсадных труб и деформирования их нижнего конца величина забойки должна несколько превышать величину радиуса сферы разрушения. Минимальная величина забойки при сосредоточенных зарядах определяется равенством $h_{заб} = R_{разр}$ Учитывая, что свойства среды (горной породы, слагающей водоносный горизонт) и материала забойки могут быть резко различными между собой (в отношении податливости взрыву) и что при взрыве торпеды обычно образуются сферы разрушения удлиненной по оси скважины формы, величину забойки заряда, с некоторым запасом по опыту, можно принять равной 4—5 радиусам сферы разрушения. Радиус отсчитывается от центра торпеды до внутренней стороны проектируемой сферы разрушения (нормально по оси скважины).

При торпедировании скважины с наличием достаточного по высоте ($> 4R_{разр}$) столба воды в ней надежной забойкой заряда или торпеды будет вода. Поэтому в этом случае перед торпедированием необходимо лишь определить высоту столба воды в скважине путем измерения глубины забоя и уровня воды. При небольшой высоте столба воды в скважине, как и в сухой, предусматривается забойка.

V. ОПРЕДЕЛЕНИЕ ВЕЛИЧИНЫ ПОДУШКИ ПРИ ТОРПЕДИРОВАНИИ СУХИХ СКВАЖИН

Песчаная подушка, как видно на рис. 2, может иметь место только при прохождении скважиной водоносного горизонта на всю его мощность. Иными словами, подушка предусматривается в условиях заложе-

ния заряда или торпеды на том или ином интервале глубины скважины. Размер подушки устанавливается по разрезу скважины. Материал для ее устройства должен быть такой же, как и материал забойки. Само устройство подушки сводится к засыпке песка или гравия через устье скважины до глубины погружения заряда взрывчатого вещества или специальной торпеды.

При наличии столба воды в скважине необходимость в устройстве песчаной подушки отпадает, так как заряд или торпеда могут быть в скважине установлены на требуемой глубине при помощи канатика, используемого для спуска заряда или торпеды. В таком случае своеобразной подушкой будет служить столб воды, заключенный между нижним концом торпеды и забоем скважины.

VI. ОПРЕДЕЛЕНИЕ БЕЗОПАСНОГО РАССТОЯНИЯ МИННО-ПОДРЫВНОЙ СТАНЦИИ ОТ УСТЬЯ СКВАЖИНЫ

Для определения безопасного расстояния минно-подрывной станции от устья скважины расчетных формул нет. Возьмем наихудший случай — вынесем заряд, необходимый для создания сферы разрушения и сотрясения, к устью скважины и рассчитаем безопасное расстояние (величину l на рис. 1 и 2) по формуле для поверхностного взрыва. В этом случае можно применить формулу, согласно которой величина l находится в такой зависимости от веса заряда (3):

$$l = 30\sqrt{C}, \tag{10}$$

где l — расстояние, при котором происходит частичное разрушение стекол в зданиях;

C — величина заряда, открытого или находящегося в торпеде взрывчатого вещества, *кг*.

При взрыве заряда или торпеды на глубине это расстояние можно считать вполне безопасным для расположения минно-подрывной станции от устья торпедируемой скважины и сооружений, находящихся в районе скважины.

VII. СПОСОБ ВЗРЫВАНИЯ И РАСЧЕТ СЕТИ

Значительная глубина заложения заряда или торпеды, которая почти всегда имеет место в практике гидрогеологических исследований, предопределяет способ взрывания. Целесообразным в этом случае является электрический способ взрывания. На случай отказа в заряд или торпеду обязательно должно быть введено не менее двух электродетонаторов мгновенного действия.

Произведем расчет сети при параллельном соединении электродетонаторов:

$$R = r_м + \frac{r_д}{m}, \tag{11}$$

где R — общее сопротивление сети, *ом*;

$r_м$ — сопротивление сети от заряда до минно-подрывной станции, *ом*;

$r_д$ — сопротивление электродетонатора;

m — число ответвлений (при торпедировании скважин не менее 2).

Зная общее сопротивление сети и напряжение источника тока, силу тока рассчитаем по формуле

$$I = \frac{V}{R}, \tag{12}$$

где I — сила тока в сети, *а*;

V — напряжение источника тока, *в*;

R — общее сопротивление сети, *ом*.

При параллельном соединении минимальная сила тока в электродетонаторе должна быть не менее 2—2,5 *а* и определяется по формуле

$$i_{\text{мин}} = \frac{I}{m} \tag{13}$$

где $i_{\text{мин}}$ — минимальная сила тока в электродетонаторе, *а*.

Следует заметить, что необходимость расчета сети может возникнуть лишь при большом заряде, так как большой заряд предопределяет величину l (расстояние минно-подрывной станции от устья скважины) и при значительной глубине скважины.

Большие заряды и значительная глубина скважины вызывают необходимость создания длинной электровзрывной сети, которую в целях избежания отказа при взрыве необходимо предварительно рассчитать по формулам (11), (12), (13).

VIII. ПОДГОТОВКА СКВАЖИНЫ К ТОРПЕДИРОВАНИЮ

Скважина, предназначенная к торпедированию, требует тщательной подготовки.

До опускания заряда или торпеды в скважину осуществляется ряд мероприятий.

1. Тщательно изучаются гидрогеологический и технический разрезы скважины по имеющейся документации.

2. Определяется глубина установки заряда или торпеды от поверхности земли, задается величина радиуса сферы разрушения, подбираются соответствующие коэффициенты для расчета веса открытого заряда или заряда торпеды, устанавливается конструкция торпеды со всеми ее размерами и производится изготовление открытого заряда или специальной торпеды.

3. Производится тщательная очистка скважины от образовавшегося в ней в процессе бурения или крепления шлама. Если скважина закреплена, поднимаются обсадные трубы на величину, равную трем-четырем радиусам сферы разрушения.

4. Для определения удельного дебита скважины производится опытная откачка воды из скважины при двух-трех понижениях.

5. Для беспрепятственного спуска боевой торпеды в скважину предварительно опускается холостая, размеры которой равны размерам боевой торпеды.

6. Если скважина при разведке оказалась практически сухой, в ней устанавливается песчаная подушка.

7. При помощи малого омметра и путем тщательного просмотра производится проверка электровзрывной сети по всей ее длине (от полюсов заряда или торпеды до минно-подрывной станции) в целях обнаружения возможных обрывов проводников сети и нарушения целости их изоляции.

8. При помощи каната заряд или торпеда опускается в скважину, при этом полюсы электродетонаторов в местах сопряжения с магистральными проводниками тщательно изолируются.

9. При торпедировании практически сухой скважины производится забойка заряда или торпеды путем постепенной засыпки (мелкими порциями) песка в скважину на величину, определяемую по формуле (9).

10. Выбирается местоположение минно-подрывной станции, сообразуясь с микрорельефом участка местности, прилегающего к устью торпедируемой скважины и расположением ближайших сооружений.

11. С помощью малого омметра проверяется электровзрывная сеть на надежность имеющихся в ней соединений (сопряжение электродетонаторов с магистральными проводниками и т. п.).

IX. ТЕХНИКА БЕЗОПАСНОСТИ

Осуществляя торпедирование скважин на глубине, необходимо соблюдать известные положения техники безопасности.

1. Подготовку и производство взрыва должно вести лицо, знающее взрывчатые вещества, способы и средства взрывания и имеющее право на ведение взрывных работ.

2. Спуск заряда или торпеды должен производиться одним лицом, после удаления от устья скважины всех присутствующих на безопасное расстояние.

3. Выходные полюсы сети до сигнала «взрыв» должны быть тщательно изолированы во избежание влияния возможных блуждающих токов и пр.

4. Спуск заряда или торпеды должен производиться только после проверки надежности сопряжения их с канатом; опускать заряд или торпеду непосредственно на проводах сети не разрешается.

5. Подходить к устью скважины в случае отказа взрыва можно только одному лицу по истечении 15 мин. после включения тока в сеть.

X. МЕРОПРИЯТИЯ ПОСЛЕ ТОРПЕДИРОВАНИЯ СКВАЖИН

После торпедирования скважины осуществляются следующие мероприятия.

1) удаляется из скважины электровзрывная сеть;

2) производится очистка скважины от материала забойки (при торпедировании сухих скважин) и шлама, образовавшегося в результате взрыва нередко в большом количестве, вследствие чего глубина скважины обычно несколько уменьшается;

3) если торпедирование производилось в закрепленной скважине, производится посадка ранее поднятых обсадочных труб до прежней их глубины с тем, чтобы избежать завала значительно увеличенной в результате взрыва водоприемной части скважины породами, залегающими выше кровли водоносного горизонта;

4) по истечении некоторого времени, необходимого для установления статического уровня воды в скважине, организуется опытная откачка.

Практика показывает, что после торпедирования вода в скважину обычно не поступает в течение нескольких часов вследствие отжатия ее газами, обладающими в момент взрыва большим давлением. Это обстоятельство вместе с характером образованной взрывом трещиноватости водоносных пород определяет продолжительность отрезка времени, необходимого для установления статического уровня воды в скважине. Для среднетрещиноватых известняков и песчаников этот период обычно колеблется от 4—6 час. до 1,5 суток.

По окончании опытной откачки, производимой при тех же условиях, что и до торпедирования (одинаковое число и величина понижений, одни и те же средства откачки и замера дебита, уровней и пр.), дается гидрогеологическая оценка результатов торпедирования скважины. Для гидро-

геологической оценки торпедирования можно пользоваться коэффициентом изменения водообильности скважины.

$$n = \frac{q_2}{q_1} \qquad (14)$$

где n — коэффициент изменения водообильности скважины;

q_1 — удельный дебит скважины до торпедирования, *л/сек* или *м³/час*;

q_2 — удельный дебит скважины после торпедирования, *л/сек* или *м³/час*.

При этом необходимо заметить, что удельные дебиты скважины определяются по результатам откачек, проведенных до и после торпедирования при одинаковых условиях.

Как видно из формулы (14), коэффициент водообильности торпедируемой скважины может изменяться в довольно широких границах — от 0 до весьма большой величины. Отсюда можно сделать ряд важных выводов.

1. Если $n = 0$, торпедирование произойдет с полной потерей дебита скважины, что можно объяснить абсолютной непригодностью водоносных пород для торпедирования (водоносные породы с высоким содержанием глинистых частиц, многочисленными прослойками и пропластками глинистых пород).

2. Если $n < 1$, но > 0, торпедирование произойдет с отрицательным результатом вследствие ошибок, допущенных в оценке водоносных пород при составлении проекта торпедирования (водоносные породы с повышенным содержанием глинистых частиц, глинистых прослоев и линз).

3. Если $n = 1$, торпедирование не дало должных результатов по различным причинам: недостаточная величина заряда, плохая очистка скважины от шлама, некоторая глинистость водоносных пород, не учтенная при составлении проекта торпедирования, недостаточная промывка скважины от глинистого раствора, если бурение производилось с его применением, и др.

4. Если $n > 1$, торпедирование происходит с положительным результатом, что подтверждает пригодность водоносных пород для торпедирования и правильность составленного проекта.

Заметим, что в случаях 1 и 2 не требуется повторного торпедирования, тогда как в случае 3 повторное торпедирование после установления причин отрицательного результата первого взрыва может привести к положительным данным, отвечающим случаю 4.

В заключение следует отметить, что методика торпедирования гидрогеологических скважин еще находится в стадии разработки, поэтому отдельные положения ее требуют проверки на более обширном практическом материале.

Имеющиеся данные указывают на то, что торпедирование как способ увеличения дебита гидрогеологических скважин необходимо смелее внедрять в практику гидрогеологического опробования скважин, проходимых с различными целями в районах распространения трещинных, трещинно-пластовых и трещинно-карстовых водоносных горизонтов.

ЛИТЕРАТУРА

1. Антулаев Е. В., Подрывное дело, ч. I, ОНТИ, 1934.
2. Ассонов В. А., Взрывные работы, Углетехиздат, 1948.
3. Кейльгак К., Подземные воды, ОНТИ, 1935.
4. Куличихин Н. И. и Воздвиженский Б. И., Разведочное бурение, Госгеолиздат, 1949.

5. Мельников Н. В. Справочник инженера и техника по открытым горным работам, Углетехиздат, 1950.
6. Петров А. В. Увеличение взрывами дебита воды в колодцах и артезианских скважинах. Взрывное дело, сборник статей, ОНТИ, 1932.
7. Справочник горного инженера, Углетехиздат, 1950.
8. Хохловкин Д. М., Глубинные насосы для водопонижения и водоснабжения, Углетехиздат, 1950.
9. Щуров М., Применение взрывчатых веществ в нефтяном деле, Взрывное дело, сборник статей, ОНТИ, 1932.
10. Баранов Е. Г К вопросу определения величины удлиненных зарядов взрывчатых веществ, Автореферат кандидатской диссертации, Москва, 1951.

Поступило 20.XII. 1951 г.