

УДК 622.231

## ГИДРОУДАРНЫЙ ИСТОЧНИК СЕЙСМИЧЕСКИХ ВОЛН ДЛЯ НАЗЕМНОЙ СЕЙСМОРАЗВЕДКИ

**Городилов Л. В.**

*(Институт горного дела СО РАН, г. Новосибирск, Россия)*

*Розглянуто декілька конструктивних схем джерел сейсмічних хвиль для наземної сейсмозвідки. Подано концепцію гідродарного сейсмоджерела. Наведені принципова схема такого джерела й оцінка його характеристик для малоглибинної сейсмозвідки.*

*We consider several design schemes seismic sources for land seismic acquisition. Introduced the concept of hydropercussion seismic source. Shows a schematic diagram of such a source and an evaluation of its performance for shallow seismic surveys.*

### ВВЕДЕНИЕ

Разработка новых и совершенствование существующих невзрывных источников сейсмических волн для наземной сейсмозвездки в настоящее время является актуальной научно-технической задачей. Возбуждение сейсмических волн ими производится приложением к поверхности грунта кратковременных силовых воздействий, которое основано либо на ударе массивным грузом по грунту (ударный режим), либо на отталкивании грунта от массивного груза специальным двигателем (режим давления). Рассмотрим несколько конструктивных схем таких источников.

### ПРИМЕРЫ ИСТОЧНИКОВ СЕЙСМИЧЕСКИХ ВОЛН

В последние годы широкое применение находят электродинамические и электромагнитные источники. В электродинамиче-

ских источниках (рис. 1) сейсмические волны возбуждаются жесткой плитой 1, на которой размещен массивный груз 2 с закрепленным индуктором 3. При подаче в обмотку возбуждения 6 импульса тока возникает магнитный поток  $\Phi$ , а между якорем 4 и индуктором 3 электромагнита возникает усилие, которое через стойки 5 передается на плиту 1, в результате чего плита перемещается вниз и осуществляет импульсное воздействие на грунт, сопровождающееся созданием сейсмической волны. Под действием электромагнитной силы индуктор 3 перемещается вверх, а якорь 4 – вниз, зазор между ними выбирается и происходит ударное взаимодействие и затем перемещение вместе с пригрузом вверх. Их возвращение в исходное положение на плите 1 обеспечивается демпферами, что исключает создание волн-помех при возврате пригруза в исходное положение на плите.

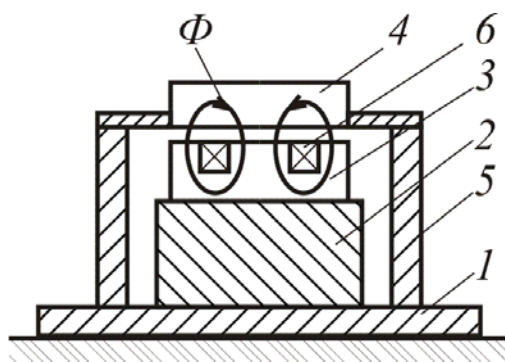


Рис. 1. Схема электродинамического источника (сейсмоисточник «Енисей» [1]): 1 – плита, 2 – пригруз, 3 и 4 – соответственно индуктор и якорь электромагнита, 5 – стойки, 6 – обмотка возбуждения

Газодинамические источники (рис. 2) для возбуждения сейсмоволн используют энергию детонации газовой смеси (например, кислород-пропан), периодически подаваемой в камеру В и сжимаемую поршнем 2 воздухом, подаваемым под давлением в камеру А. Детонирующая смесь передает импульс через тонкую стенку днища цилиндра 1 в грунт. После детонации газ через клапан 5 и глушитель 4 сбрасывается в атмосферу.

Действие пневматического источника [3] основано на быстром истечении воздуха из замкнутого объема и, при наземной

сейсморазведке, воздействию его на среду через плиту с поршнем либо гибкую диафрагму. После заполнения сжатым воздухом внутренних полостей поршня и основного объема камеры (рис. 3) излучатель готов к работе. По сигналу срабатывает запускающий электромагнитный клапан 2, сжатый воздух перебрасывается из рабочей камеры под плечо поршня 1, который начинает двигаться вверх. Происходит быстрое вскрытие рабочей камеры С и выхлоп сжатого воздуха, возбуждающего упругие волны.

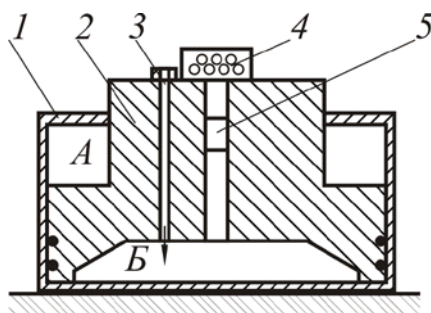


Рис. 2. Схема газодинамического источника (взрывная камера установки «Диносейс» [2]): 1 – цилиндр, 2 – поршень, 3 – канал передачи детонационной волны, 4 – глушитель, 5 – выхлопной клапан; камеры А и В заполнены соответственно сжатым воздухом и газовой смесью

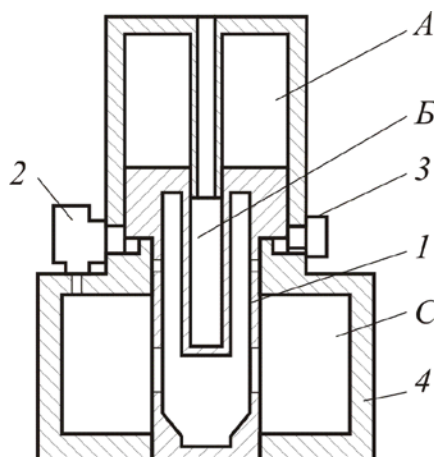


Рис. 3. Схема пневматического источника [3]: 1 – поршень, 2 – запускающий электромагнитный клапан, 3 – клапан, 4 – корпус; А – демпферный объем, Б – внутренняя полость поршня, С – рабочий объем

Гидравлический источник [4] представляет собой гидроцилиндр двухстороннего действия. При подаче масла в полость *A* и сливе из полости *B* плита *1* разгружается. При подаче масла в полость *B* и сливе из полости *A* на плиту *1* действует сила, направленная вниз.

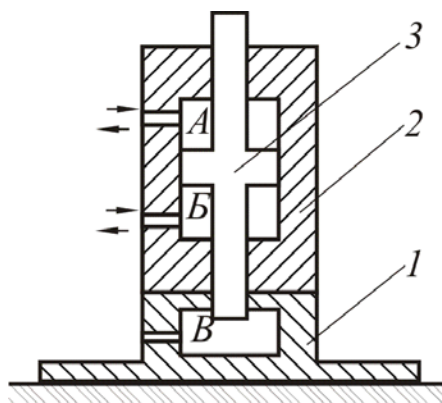


Рис. 4. Схема гидравлического источника: *1* – плита, *2* – гидроцилиндр, *3* – поршень; камеры *A* и *B* заполнены маслом

В приведенных описаниях устройств возбуждения сейсмических волн опущены присутствующие в них механизмы торможения и плавного опускания вниз цилиндров, что необходимо для предотвращения повторных ударов и помех в генерируемых сейсмических сигналах.

Представленные устройства дают некоторое представление о разнообразии приводов, используемых в устройствах возбуждения сейсмических волн. Каждый из них имеет свои преимущества и недостатки. Первые три представляют так называемые импульсные источники, особенностью которых является то, что величина развиваемого в течение нескольких миллисекунд усилия достигает до нескольких десятков тонн. Последний (гидравлический) - относится к вибрационным. Очевидно, что получить при его использовании мощное импульсное воздействие значительно сложнее, чем при ударном или взрывном воздействии.

## КОНЦЕПЦИЯ ГИДРОУДАРНОГО ИСТОЧНИКА СЕЙСМИЧЕСКИХ ВОЛН

Из практики известно, что наиболее эффективными и востребованными устройствами для создания ударного воздействия на горные породы и другие твердые материалы являются гидроударные устройства. Они обладают высоким КПД (до 70-80 %), практически неограниченной мощностью и, при введении дополнительных регулировок, возможностью изменения в широком диапазоне частоты и энергии ударов. Поэтому представляется, что применение гидравлического привода и гидроударных устройств является одним из перспективных направлений в развитии машин по созданию сейсмических сигналов.

В Институте горного дела СО РАН в последнее десятилетие ведутся интенсивные исследования автоколебательных гидроударных систем. Сформирована их классификация [5], для основных классов систем объемного типа разработаны математические модели и проведены численные исследования динамики и выходных характеристик в широком диапазоне входных параметров [6-8]. Разработаны оригинальные устройства, позволяющие моделировать практически любые классы систем объемного типа; разработан стенд, измерительно-вычислительный комплекс и методика исследований [10-12], позволяющие производить доводку и исследование гидроударных устройств, оптимизацию их параметров, испытание новых конструкций ударных устройств. Ударные устройства и их основные узлы защищены патентами РФ [13-17]. На основе проведенных исследований разработаны основы теории гидроударных систем [18], позволяющей научно обоснованно подходить к выбору конструкций и параметров ударных устройств при заданных требованиях к их выходным характеристикам.

Анализ предъявляемых к наземным источникам сейсмических волн требований, а также рассмотрение возможностей автоколебательных гидроударных систем объемного типа, позволяют предложить использовать для целей сейсморазведки так называемые системы двухстороннего действия «с задержкой цикла» [5, 13-15], в которых в одной из фаз цикла боек неподвижен до тех пор, пока давление в системе не превысит заданную величину  $p_3$ ,

называемую давлением задержки. Некоторые усложнения в конструктивной схеме (по сравнению с системами «с непрерывным циклом») в данном случае позволяет сделать такую важную характеристику ударного устройства как энергию удара  $E_I$  слабо зависящей от производительности используемой маслостанции. Изменяя величину давления задержки возможно в достаточно широком диапазоне осуществлять изменение  $E_I$ , а если систему снабдить маслостанцией регулируемой производительностью, то получим регулируемое время цикла  $t_C$ .

На рис. 5 представлена принципиальная схема мобильного источника для малоглубинной (до 500 м) сейсморазведки. В качестве источника энергии для маслостанции 2 может быть применен электрический аккумулятор 1.

Для оценки возможностей данной конфигурации были проведены расчеты на модели автоколебательной гидроударной системы двухстороннего действия с источником постоянного расхода [6]. В качестве источника расхода использовали насос производительностью  $q_0=15$  л/мин и максимальным давлением 25 МПа. Объемный КПД системы принимали равным 0,8. Ударное устройство имело следующие параметры: масса бойка 10 кг, эффективные площади со сторон камер обратного и прямого хода соответственно 2 и 8 см<sup>2</sup>, объем напорного аккумулятора 2 л, длина обратного хода бойка 0,2 м.

Некоторые результаты расчетов, в которых варьировали производительность насоса и давление задержки, представлены в таблице. Из анализа полученных данных следует, что изменение расхода  $q_0$  в диапазоне 0,05-0,25 м<sup>3</sup>/с и давления задержки  $p_3 - 0,6 \cdot 10^7 - 1,8 \cdot 10^7$  Па позволяет варьировать частоту и энергию удара соответственно в диапазонах 0,2 – 1 Гц и 0,2 – 1,6 кДж.

Таким образом, по полученным данным можно делать предварительные выводы о возможностях гидроударного устройства при генерации сейсмических волн в сейсморазведке. Отметим, что диапазон характеристик удара для выбранного устройства в действительности шире, чем это показано в таблице.

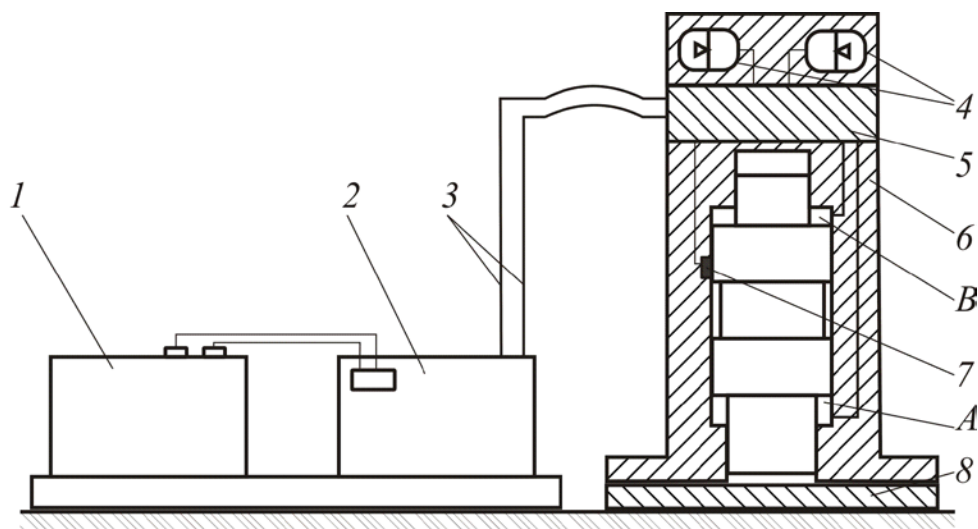


Рис. 5. Схема гидроударного источника: 1 – электрический аккумулятор, 2 – маслостанция, 3 – соединительные шланги, 4 – газожидкостные аккумуляторы, 5 – распределитель, 6 – корпус, 7 – датчик положения, 8 – плита; А и В – соответственно камеры обратного и прямого хода

Таблица

Результаты расчетов характеристик ударной системы

$q_0, \text{ м}^3/\text{с}$	$p_3, \text{ Па}$	$t_c, \text{ с}$	$v_I^1, \text{ м/с}$	$E_I, \text{ Дж}$
0,25	$1,4 \cdot 10^7$	1,08	14,10	996
0,05	$1,4 \cdot 10^7$	5,42	14,02	982
0,15	$1,4 \cdot 10^7$	1,81	14,07	989
0,15	$1,0 \cdot 10^7$	1,64	10,54	555
0,15	$0,6 \cdot 10^7$	1,49	6,57	215
0,15	$1,8 \cdot 10^7$	2,03	17,68	1564

Вместе с тем для проектирования такого устройства необходимы предварительные исследования характеристик ударов на повторяемость в сериях. Кроме того, чтобы применять устройство, необходимо предусмотреть способ компенсации реактивной силы, действующей на корпус во время торможения и прямого хода бойка. Наиболее просто здесь смотрится крепление корпуса к поверхности грунта специальными анкерами. В случае приме-

<sup>1</sup>  $v_I$  — предупредительная скорость бойка

нения для этой цели инерции корпуса или каких-либо дополнительных масс (получаем так называемый «плавающий» режим работы устройства) следует произвести исследование динамики такой многомассовой системы. И последнее, структура рабочего цикла устройства должна быть таковой, чтобы в ней отсутствовало повторное после удара взаимодействие бойка и плиты (так называемый отскок).

### ЗАКЛЮЧЕНИЕ

1. Приведенные конструктивные схемы невзрывных источников сейсмических волн дают определенное представление о многообразии устройств и приводов, используемых для этой цели.

2. Разработанная концепция гидроударного источника сейсмических волн на основе устройства с задержкой движения бойка и маслостанции регулируемой производительности и приведенный пример расчета его характеристик для малоглубинной сейсморазведки указывают на перспективность его разработки и создания.

3. Создание гидроударного устройства для возбуждения сейсмических волн требует дополнительных теоретических и экспериментальных исследований характеристик их циклов, изыскания и исследования конструктивных решений для компенсации реактивного усилия, действующего на корпус ударного устройства при торможении и прямом ходе бойка и исключения повторных после удара взаимодействий бойка и плиты.

### СПИСОК ССЫЛОК

1. В. А. Детков. Возбуждение сейсмических волн импульсными невзрывными источникам / Детков В. А. // Journal of Siberian Federal University. Mathematics & Physics 2009, 2(3), 298 – 304.
2. Невзрывные источники сейсмических колебаний [Электронный ресурс] // Горная энциклопедия. – URL: <http://www.mining-enc.ru/n/nevzryvnye-istochniki-sejsmicheskix-kolebanij/> (06.07.2011).



3. Пневматический источник [Электронный ресурс] // Геологическая энциклопедия. – URL: [http://dic.academic.ru/dic.nsf/enc\\_geolog/3898/](http://dic.academic.ru/dic.nsf/enc_geolog/3898/) // (12.07.2011).
4. Б. М. Кенжин. Анализ возможных схем гидравлических шахтных сейсмоисточников [Электронный ресурс] // Б. М. Кенжин // URL: [http://www.rusnauka.com/29\\_NNM\\_2008/Tecnic/36007.doc.htm](http://www.rusnauka.com/29_NNM_2008/Tecnic/36007.doc.htm) // (15.07.2011).
5. Городилов Л. В. Анализ и классификация эффективных конструктивных схем автоколебательных гидравлических ударных систем / Л. В. Городилов, П. Я. Фадеев // Фундаментальные проблемы формирования техногенной геосреды: тр. конф. с участием иностран. ученых «Фундаментальные проблемы формирования техногенной геосреды» (10–13 октября 2006 г., Новосибирск) : в 2 т. / [СО РАН, Ин-т горного дела ; отв. ред. Б. Н. Смоляницкий ; науч. ред. А. Р. Маттис, Н. А. Попов]. – Новосибирск : Ин-т горного дела СО РАН, 2007. – Т. 2 : Машиноведение. – С. 71–79. – Библиогр. : с. 79.
6. Городилов Л. В. Численное исследование динамики автоколебательных гидравлических ударных систем. Ч. I. Системы двойного действия / Л. В. Городилов // Физико-технические проблемы разработки полезных ископаемых. – 2007. – № 6. – С. 66 – 81.
7. Городилов Л. В. Численное исследование динамики автоколебательных гидравлических ударных систем. Ч. II. Системы прямого действия / Л. В. Городилов // Физико-технические проблемы разработки полезных ископаемых. – 2008. – № 2. – С. 78–94. – Библиогр.: с. 94.
8. Городилов Л. В. Численное исследование динамики автоколебательных гидравлических ударных систем. Ч. III. Системы обратного действия / Л. В. Городилов // Физико-технические проблемы разработки полезных ископаемых. – 2009. – № 3. – С. 67 – 80. – Библиогр.: с. 80.
9. Городилов Л. В. Методика и результаты экспериментальных исследований динамики автоколебательных гидравлических ударных систем двойного и прямого действия / Л. В. Городилов [и др.] // Фундаментальные проблемы фор-

- мирования техногенной геосреды : тр. конф. с участием иностран. ученых (7–11 июля 2008 г., Новосибирск) : в 2 т. – Новосибирск : ИГД СО РАН, 2009. – Т. 2 : Машиноведение. – С. 67 – 74.
10. Городилов Л. В. Методика тестирования датчиков давления для исследования гидравлических импульсных систем / Л. В. Городилов, В. П. Ефимов // *Фундаментальные проблемы формирования техногенной геосреды : тр. конф. с участием иностран. ученых (7–11 июля 2008 г., Новосибирск) : в 2 т. – Новосибирск : ИГД СО РАН, 2009. – Т. 2. : Машиноведение. – С. 54 – 58.*
  11. Городилов Л. В. Стенд и измерительно-вычислительный комплекс для экспериментальных исследований гидравлических ударных систем / Л. В. Городилов [и др.] // *Проблемы и перспективы развития горных наук: тр. междунар. конф. (1–5 ноября 2004 г., Новосибирск) : в 2 т. – Новосибирск : ИГД СО РАН, 2006. – Т. 2: Машиноведение. Геотехнологии. – С. 142 – 151.*
  12. Городилов Л. В. Моделирование процесса взаимодействия «боек-инструмент-горный массив» / Л. В. Городилов, В. Г. Кудрявцев // *Фундаментальные проблемы формирования техногенной геосреды : тр. конф. с участием иностран. ученых (28 июня – 2 июля 2010 г., Новосибирск). – Новосибирск : Ин-т горного дела СО РАН, 2010. – Т. 3 : Машиноведение. – С. 206 – 210.*
  13. Пат. 2182967 Российская Федерация, МПК 7 E21C 37/00, E02D 7/10. Способ управления рабочим циклом гидравлической ударной машины / Голдобин В. А., Городилов Л. В., Маттис А. Р. ; заявитель и патентообладатель Институт горного дела СО РАН. – № 2000130963/03 ; заявл. 09.12.2000 ; опубл. 27.05.2002, Бюл. № 15. – 5 с. : ил.
  14. Пат. 2209878 Российская Федерация, МПК 7 E02D 7/10, E21C 37/00. Гидравлическая ударная машина (варианты) / Голдобин В. А. [и др.]; заявитель и патентообладатель Институт горного дела СО РАН. – № 2002105299/03; заявл. 26.02.2002; опубл. 10.08.2003, Бюл. № 22. – 8 с., ил.

15. Пат. 2230189 Российская Федерация, МПК 7 E21C 37/00, E02D 7/10. Гидравлическая ударная машина (варианты) / Голдобин В. А., Городилов Л. В., Пашина О. А.; заявитель и патентообладатель Институт горного дела СО РАН. – № 2002129842/03; заявл. 05.11.2002; опубл. 10.06.2004, Бюл. № 16. – 7 с., ил.
16. Пат. 2258161 Российская Федерация, МПК 7 F15B 21/12, E21B 4/14, 1/28, B25D 9/18. Распределитель гидравлических ударных устройств (варианты) / Голдобин В. А., Городилов Л. В., Пашина О. А.; заявитель и патентообладатель Институт горного дела СО РАН. – № 2004110349/06; заявл. 05.04.2004; опубл. 10.08.2005, Бюл. № 22. – 6 с.: ил.
17. Пат. 2321777 Российская Федерация, МПК F15 21/12, B25D 9/18, E21B 4/14. Распределитель гидравлических ударных устройств (варианты) / Городилов Л. В. [и др.]; заявитель и патентообладатель Институт горного дела СО РАН. – № 2006134938/06; заявл. 02.10.2006; опубл. 10.04.2008, Бюл. № 10. – 9 с.: ил.
18. Городилов Л. В. Разработка основ теории гидроударных систем объемного типа для исполнительных органов горных и строительных машин / Дис. докт. техн. наук, - Новосибирск, 2010. – 302 с.