

КРАТКИЕ СООБЩЕНИЯ

УДК 550.34.037

К ВОПРОСУ О СИНХРОННОЙ РАБОТЕ ИМПУЛЬСНЫХ ИСТОЧНИКОВ
СЕЙСМИЧЕСКИХ ВОЛН

С.П. ЭКОМАСОВ

*ООО «Силовые импульсные системы»
31, Алтуфьевское шоссе, г. Москва 127410, Россия
e-mail: itcsys@rambler.ru*

Исследования производились с использованием гидропневматического источника сейсмических волн. Этот источник по реализуемым усилиям ударного взаимодействия с грунтовым полупространством значительно превышает все известные конструкции излучателей импульсного типа. В связи с этим он показывает более высокую сейсмическую эффективность. Важнейшей характеристикой работы импульсных источников сейсмических волн является стабильность времени срабатывания — интервала времени от момента подачи сигнала на производство удара до момента самого удара. Только при достижении необходимой стабильности возможна работа в режиме группирования источников и накопления сигналов. Приведены особенности формирования времени срабатывания гидропневматического источника. Выполнен анализ оценки параметров синхронности импульсных источников современной системой управления их работы. Показано влияние жёсткости грунта на оценку стабильности времени срабатывания и синхронности. Используемая в существующих импульсных источниках система оценки стабильности при применении её в излучателях, обладающих большим усилием удара, не отражает фактическую стабильность времени срабатывания.

Ключевые слова: импульсный источник; параметры синхронности; метод измерения; жёсткость грунта.

DOI:10.32454/0016-7762-2019-1-75-79

TO THE SYNCHRONOUS WORK OF PULSED SOURCES OF SEISMIC WAVES

S.P. EKOMASOV

*LLC Silovye impulsnyye sistemy
31, Altufyevskoye Highway, Moscow 127410, Russia
e-mail: itcsys@rambler.ru*

Researches have been made with the use of a hydropneumatic source of seismic waves. This source on the realized efforts of the shock interaction with a soil half-space considerably exceeds all known designs of radiators (sources) of pulse type. In this regard it shows higher seismic efficiency. The most important characteristic of the work of the pulse sources of seismic waves is a stability of the response time — a time interval from the moment of giving of a signal for producing of the blow until the very blow. Only with the achievement of the necessary stability the work in the mode of grouping of sources and accumulation of signals is possible. Features of the formation of response time of a hydropneumatic source are given. The analysis of the assessment of the parameters of synchronism of the pulse sources is made by a modern control system of their work. An influence of the rigidity of the soil on the assessment of stability of the response time and synchronism is shown. The system of the assessment of the stability used in the existing pulse sources at its application does not reflect the actual stability of response time in the radiators possessing a big force of blow.

Keywords: pulse source; synchronism parameters; measurement method; rigidity of soil.

Работа импульсных источников сейсмических волн в режимах группирования машин и накопления сигналов предъявляет особые требования к синхронности срабатывания излучателей всей группы. Синхронность срабатывания достигается высокой степенью постоянства времени от момента подачи сигнала на производство его удара до момента начала самого удара. Назовём этот параметр временем срабатывания излучателя (T_C).

В известных электромагнитных источниках для запуска операции «удар» используется только электрическая энергия. Вследствие быстрого протекания электрических процессов достигается высокая степень постоянства времени T_C . Стабильность его достигает $\pm 0,1$ мс.

В гидропневматических источниках (ГПИ) [2, 4] аналогично пневмопушкам, широко используемых в морской сейсморазведке, время T_C складывается из электрической составляющей и пневматической. Первая состоит в основном из времени срабатывания электропневматического клапана, вторая — из времени перетекания определенной порции сжатого воздуха из одной полости в другую. Для ГПИ — из рабочего объёма камеры в полость пневмозамка. Время срабатывания электропневматического клапана составляет около 5 мс, при стабильности в пределах $\pm 0,1$ мс. При этом для его срабатывания используется импульсный электросигнал повышенного напряжения. Время перетекания воздуха в пневмозамок зависит от типоразмера источника (объёма полости пневмозамка) и сечения перепускных каналов. Полное время T_C изменяется от 20 мс для ГПИ-1 до

25 мс для ГПИ-2. При этом стабильность T_C для обеих установок (см. далее) находится в пределах ± 1 мс.

В преобладающих случаях на практике для импульсных источников используется разработанный фирмой «Сибгеофизприбор» блок синхронизации источников с сейсмостанцией SGD-SP. Блок, в числе выполняемых функций, контролирует синхронность срабатывания излучателей в работающей группе. На реактивных массах всех камер устанавливаются цифровые акселерометры SGD-AD. Цифровые параметры удара — момент времени срабатывания (регистрируемое как начало удара) и длительность импульса ускорения отражаются на пульте, установленном в кабине источника. За момент начала удара при этом принимается время пересечения регулируемого порога ускорения с импульсом, а за длительность импульса — время от момента начала удара до падения ускорения в импульсе до половинного значения установленного порога. По этим параметрам устанавливается как сам факт срабатывания всех камер, так и синхронность их работы.

Разработанная для электромагнитных источников система SGD-SP учитывает высокую степень повторяемости импульса ускорения перемещения реактивной массы. Это обусловлено незначительными нагрузками на контакте гильза—грунт и малыми деформациями грунта в процессе удара. Только в этом случае жёсткость грунта практически не оказывает влияния на динамику перемещения реактивной массы камеры.

Усилие, развиваемое на контакте плита — грунт гидропневматической камеры ГПИ-2, в 5–6 раз больше ана-

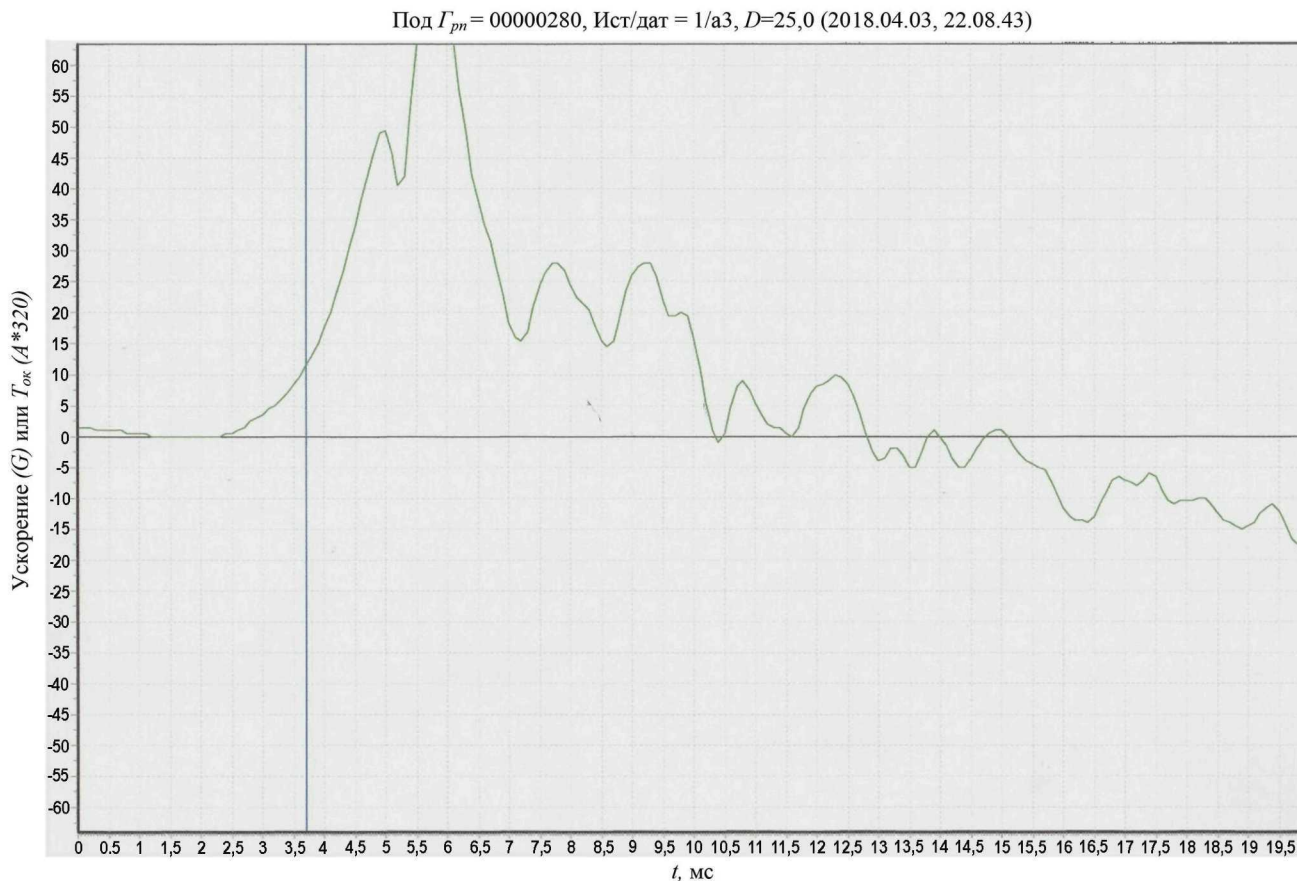


Рис. 1. Импульс первой камеры ГПИ-2

логичного показателя камеры электромагнитного источника КЭМ-4. Контактные нагрузки и деформация грунта вследствие этого, а также ввиду меньшей площади самого контакта для камеры ГПИ-2 выше ещё в большей степени. Здесь влияние жёсткости грунта на динамику движения как самой плиты, так и реактивной массы весьма значительно.

В процессе удара импульс силы, действующей на плиту и реактивную массу, одинаков. В некотором приближении можно записать:

$$F_1 t = F_C t + m_{\Pi} V_{\Pi} = m_p V_p, \quad (1)$$

где F_1 — сила сжатого воздуха, действующая на плиту и реактивную массу в рабочем объёме гидропневматической камеры в процессе удара; t — время действия этой силы; F_C — сопротивление грунта; m_{Π} — масса плиты; V_{Π} — скорость перемещения плиты; m_p — реактивная масса; V_p — скорость перемещения реактивной массы.

Рассмотрим крайние случаи. При малой жёсткости грунта $F_C \rightarrow 0$ выражение (1) приобретает вид:

$$m_{\Pi} V_{\Pi} = m_p V_p. \quad (2)$$

Учитывая значительное (в 3,5 раза) превышение относительно m_{Π} , скорость V_p принимает наименьшее значение. В обратном случае — при ударе об условно недеформируемую преграду (очень жёсткий грунт) $V_{\Pi} \rightarrow 0$ и весь импульс силы расходуется на перемещение m_p .

Здесь V_p — максимальна. Максимально и ускорение реактивной массы. Меняется как сам вид кривой ускорения, регистрируемой акселерометрами, так и оценка времени срабатывания излучателя системой SGD-SP. При этом фактически это время не меняется. Отмеченная закономерность в наибольшей степени проявляется при работе излучателей с большим усилием воздействия на грунт. Здесь при больших F_1 диапазон изменения скорости реактивной массы, приобретаемой ею в процессе удара, при изменении жёсткости грунта весьма велик. Регистрируемые при этом амплитуды и формы импульса ускорения изменяются также значительно. Этот факт и приводит к ошибке оценки времени срабатывания, измеряемое по показаниям системы SGD-SP.

Сказанное иллюстрируется записями ударных импульсов ГПИ-2, зарегистрированных на пульте системы синхронизации (рис. 1). Грунтовые условия при ударах отличаются незначительно. Однако угол наклона передних фронтов импульсов ускорения (рис. 2) отличается настолько, что при настройке порога срабатывания на уровне (20÷25) g фиксируемое время начала удара отличается примерно на 1 мс. При этом фактически момент начала перемещения реактивных масс (момент начала формирования импульса ускорения — практически момент начала удара) одинаков для рассматриваемых случаев. При более значительном отличии жёсткости грунта под плитами излучателей источников всей группы отмеченный характер влияния ещё более выражен и различие величин T_C , регистрируемых системой синхронизации, может достигать нескольких миллисекунд.

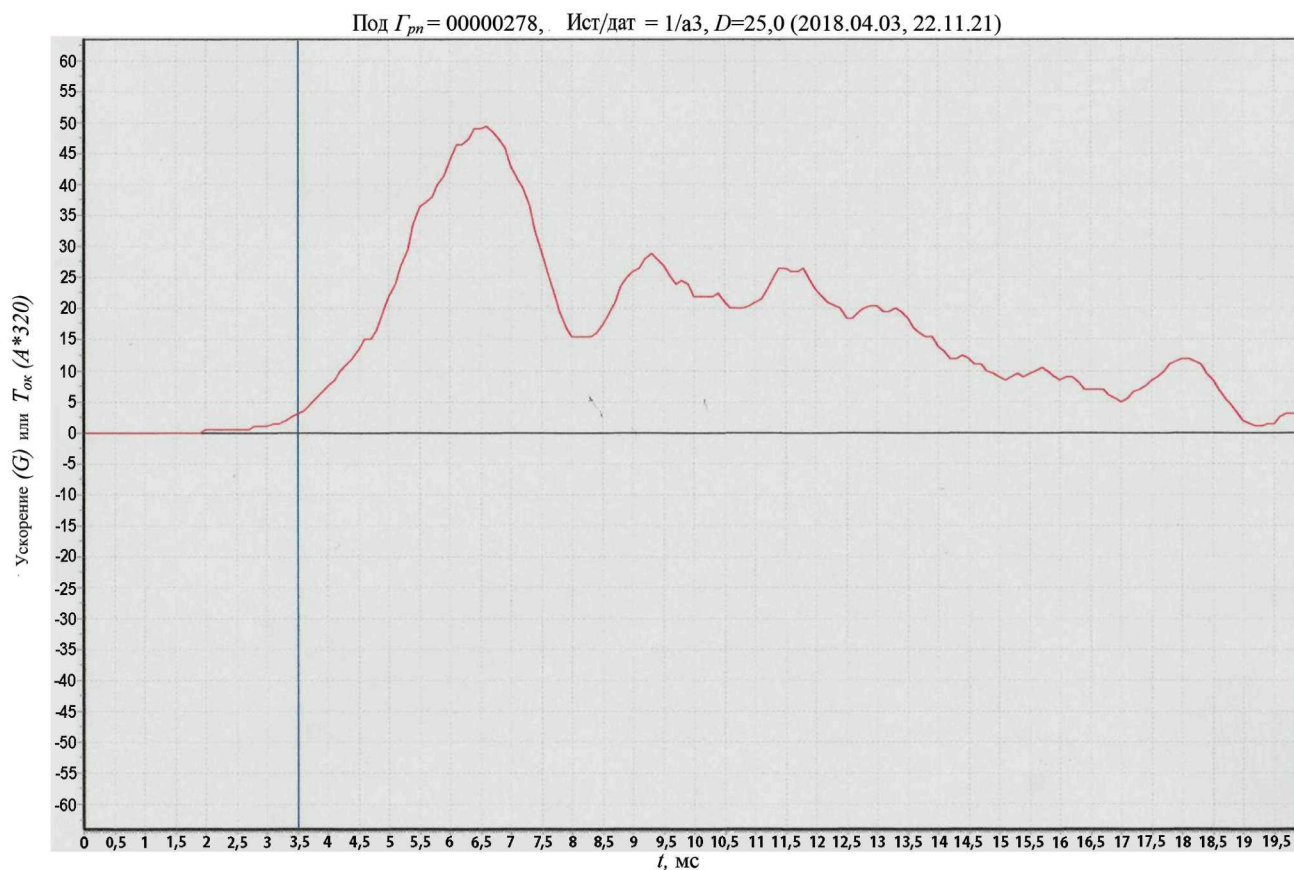


Рис. 2. Импульс второй камеры ГПИ-2

В таблице приведены результаты записей 25 ударов ГПИ-2. Синхронность здесь находится в пределах ± 1 мс. Настройка порога срабатывания ускорения соответствует 25 g. Это обусловлено тем, что на более низких значениях ускорения фиксируемая длительность импульса превышает время окна записи на сейсмостанции.

Интерес представляет оценка влияния степени синхронности излучателей на сейсмический эффект — амплитуду и частотный спектр генерируемых волн. Специальная серия опытов была выполнена с помощью газодинамического двухкамерного источника ГСК-6М [2]. Собственная синхронность срабатывания камер находилась в пределах 0,1 мс. В скважине глубиной 20 м была размещена группа сейсмоприемников. Камеры источника устанавливались на расстоянии 5 м от устья скважины. Для обеспечения временной задержки срабатывания камер одна относительно другой (Δt) использовался специально разработанный прибор. Сигналы от сейсмоприемников поступали на усилитель 8АН4-7М и далее на осциллограф К-115. На рис. 3 и 4 приведены полученные

зависимости амплитуд сигналов и видимой их частоты от времени задержки срабатывания (глубина размещения сейсмоприемника 18 м). Амплитуда сигнала при задержке Δt 8 мс падает на 45% и видимая частота сигнала также снижается. Таким образом, невысокая синхронность работы излучателей в группе действительно снижает сейсмический эффект работы источников. Однако синхронность в пределах 1 мс практически не влияет на достигаемый эффект.

Рассмотрим другой аспект работы источников в группе. В реальных условиях положение места установки на

Результаты записи 25 ударов ГПИ-2 системой SGD-SP

Подгруппа	Профиль	Пикет	Ист/Дат	Дата и время	t, мс	U, мс	D, мс
00000279	00000000	00000012	1 / а3	2018.07.19 18:01:36	6.0	0	25.0
00000279	00000000	00000013	1 / а1	2018.07.19 18:01:58	5.5	0	25.0
00000279	00000000	00000013	1 / а3	2018.07.19 18:01:58	6.1	0	25.0
00000279	00000000	00000014	1 / а1	2018.07.19 18:02:22	5.5	0	25.0
00000279	00000000	00000014	1 / а3	2018.07.19 18:02:22	6.0	0	25.0
00000279	00000000	00000015	1 / а1	2018.07.19 18:02:43	5.2	0	25.0
00000279	00000000	00000015	1 / а3	2018.07.19 18:02:43	5.8	0	25.0
00000279	00000000	00000016	1 / а1	2018.07.19 18:03:03	4.7	0	25.0
00000279	00000000	00000016	1 / а3	2018.07.19 18:03:03	5.2	0	25.0
00000279	00000000	00000017	1 / а1	2018.07.19 18:03:59	5.1	0	25.0
00000279	00000000	00000017	1 / а3	2018.07.19 18:03:59	5.8	0	25.0
00000279	00000000	00000018	1 / а1	2018.07.19 18:04:20	4.9	0	25.0
00000279	00000000	00000018	1 / а3	2018.07.19 18:04:20	5.7	0	25.0
00000279	00000000	00000019	1 / а1	2018.07.19 18:04:45	5.1	0	25.0
00000279	00000000	00000019	1 / а3	2018.07.19 18:04:45	5.7	0	25.0
00000279	00000000	00000020	1 / а1	2018.07.19 18:05:14	5.3	0	25.0
00000279	00000000	00000020	1 / а3	2018.07.19 18:05:14	5.8	0	25.0
00000279	00000000	00000021	1 / а1	2018.07.19 18:05:40	5.4	0	25.0
00000279	00000000	00000021	1 / а3	2018.07.19 18:05:40	5.9	0	25.0
00000279	00000000	00000022	1 / а1	2018.07.19 18:06:08	5.6	0	25.0
00000279	00000000	00000022	1 / а3	2018.07.19 18:06:08	6.1	0	25.0
00000279	00000000	00000023	1 / а1	2018.07.19 18:06:32	4.7	0	25.0
00000279	00000000	00000023	1 / а3	2018.07.19 18:06:32	5.3	0	25.0
00000279	00000000	00000024	1 / а1	2018.07.19 18:06:54	4.6	0	25.0
00000279	00000000	00000024	1 / а3	2018.07.19 18:06:54	5.3	0	25.0
00000279	00000000	00000025	1 / а1	2018.07.19 18:07:16	5.2	0	25.0
00000279	00000000	00000025	1 / а3	2018.07.19 18:07:16	5.9	0	25.0
00000279	00000000	00000026	1 / а1	2018.07.19 18:07:37	5.2	0	25.0
00000279	00000000	00000026	1 / а3	2018.07.19 18:07:37	5.9	0	25.0
00000279	00000000	00000027	1 / а1	2018.07.19 18:07:58	5.3	0	25.0
00000279	00000000	00000027	1 / а3	2018.07.19 18:07:58	6.0	0	25.0
00000279	00000000	00000028	1 / а1	2018.07.19 18:08:20	5.3	0	25.0
00000279	00000000	00000028	1 / а3	2018.07.19 18:08:20	6.0	0	25.0
00000279	00000000	00000029	1 / а1	2018.07.19 18:08:42	4.7	0	25.0
00000279	00000000	00000029	1 / а3	2018.07.19 18:08:42	5.4	0	25.0
00000279	00000000	00000030	1 / а1	2018.07.19 18:09:03	5.1	0	25.0
00000279	00000000	00000030	1 / а3	2018.07.19 18:09:03	5.9	0	25.0
00000279	00000000	00000031	1 / а1	2018.07.19 18:09:24	4.6	0	25.0
00000279	00000000	00000031	1 / а3	2018.07.19 18:09:24	5.5	0	25.0
00000279	00000000	00000032	1 / а1	2018.07.19 18:09:46	4.7	0	25.0
00000279	00000000	00000032	1 / а3	2018.07.19 18:09:46	5.4	0	25.0
00000279	00000000	00000033	1 / а1	2018.07.19 18:11:17	4.5	0	25.0
00000279	00000000	00000033	1 / а3	2018.07.19 18:11:17	5.3	0	25.0

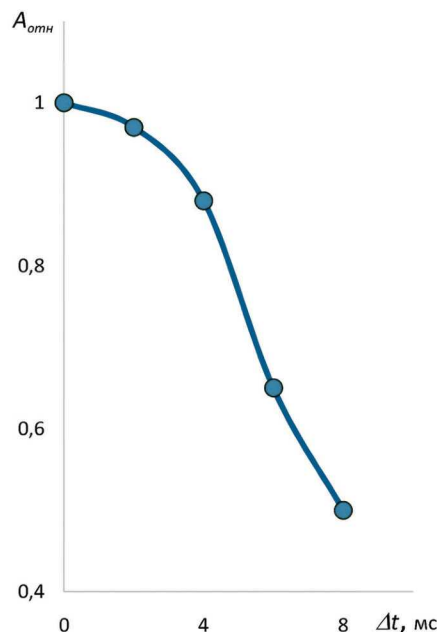


Рис. 3. Зависимость амплитуды сигнала от времени задержки срабатывания камер ГСК-6

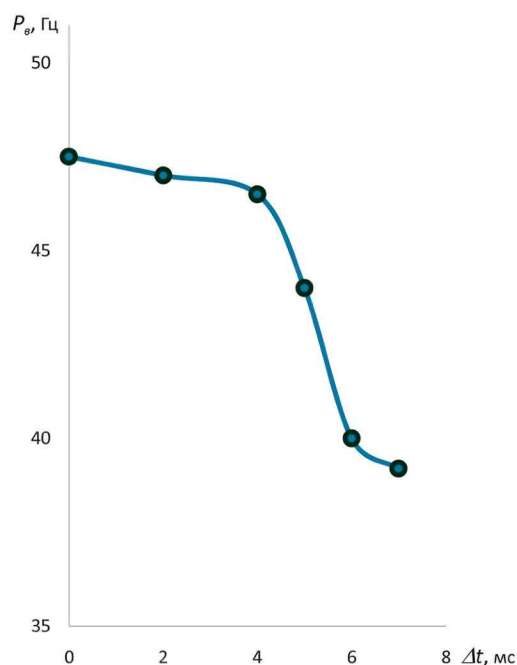


Рис. 4. Зависимость видимой частоты сигнала от времени задержки срабатывания камер ГСК-6

грунт плит излучателей на точке возбуждения относительно плоскости рельефа местности весьма различны. Например, плита одного излучателя находится выше относительно плиты другого излучателя на 0,2 м. Средняя скорость распространения продольной волны в верхних слоях и песков, и супесей, и суглинков не превышает 200 м/с [1]. Указанные выше 0,2 м будут пройдены волной за 1 мс. Таким образом, при абсолютной синхронной работе этих излучателей реализуется эффект несинхронного удара в пределах этой миллисекунды. В этой связи требования микросекундных уровней синхронности импульсных источников не обоснованы.

Выводы

1. Используемая система оценки стабильности времени срабатывания для источников с большим усилием удара вследствие возрастающего влияния жёсткости грунта не отражает истинную величину времени срабатывания.
2. Невысокая синхронность работы излучателей в группе снижает сейсмический эффект. Однако синхронность в пределах ± 1 мс практически не влияет на достигаемый эффект.
3. Требования микросекундных уровней синхронности импульсных источников не обоснованы.

ЛИТЕРАТУРА

1. Алешин А.С., Пиоро Е.В. О влиянии обводненности грунтов на результаты сейсмического микрорайонирования // Инженерные изыскания. 2015. № 4. С. 34–40.
2. Гафаров Р.М., Сираев И.А., Экомасов С.П., Барбieri П. Гидропневматический источник (ГПИ-2) — новый поверхностный источник возбуждения сейсмических колебаний // Геофизика. 2017. № 3. С. 14–23.
3. Фонберштейн Е.Г., Экомасов С.П. Импульсные газодинамические машины для горных и геологоразведочных работ. М.: Недра, 1994, 224 с.
4. Экомасов С.П. Аналитическое определение параметров гидропневматического источника сейсмических волн // Известия вузов. Геология и разведка. 2016. № 5. С. 41–44.

REFERENCES

1. Alyoshin A.S., Pioro E.V. About influence of water content of soil on results of seismic microdivision into districts. *Engineering researches*, 2015, no. 4, pp. 34–40.
2. Gafarov R.M., Sirayev I.A., Komarov S.P., Barbiyeri P. A hydro-pneumatic source (GPI-2) — a new superficial source of initiation of seismic fluctuations. *Geophysics*, 2017, no. 3, pp. 14–23.
3. Fonberstein E.G., Ekomasov S.P. *Pulse gasdynamic cars for mining and exploration works*. M., Nedra Publ., 1994, 224 p.
4. Komarov S.P. Analytical determination of parameters of a hydropneumatic source of seismic waves. *Izvestiya vysshikh uchebnykh zavedeniy. Geologiya i razvedka* — [Proceedings of higher educational establishments. Geology and Exploration], 2016, no. 5, pp. 41–44.

УДК 556.3.06

ГИДРОГЕОЛОГИЧЕСКИЕ И ГЕОЭКОЛОГИЧЕСКИЕ РИСКИ ПРИ ПРОГНОЗИРОВАНИИ КАЧЕСТВА ПИТЬЕВЫХ ПОДЗЕМНЫХ ВОД ПРИ ЭКСПЛУАТАЦИИ (ИЗУЧЕНИЕ, АНАЛИЗ, ПРОГНОЗ, УПРАВЛЕНИЕ)

В.Ю. АБРАМОВ, Б.В. БОРЕВСКИЙ, Г.Е. ЕРШОВ

Гидрогеологическая и геоэкологическая компания «ГИДЭК»
10а, 15я Парковая ул., г. Москва 105203, Россия
e-mail: info@hydec.ru

Рассмотрены гидрогеологические, геоэкологические и экономические риски, связанные с неподтверждением прогнозных расчётов расходов, уровней и качества подземных вод при оценке их запасов. Повышение достоверности прогнозов изменения качества питьевых подземных вод и соответствующее снижение рисков, связанных с их неподтверждением, может быть достигнуто путём проведения комплекса специальных гидрогеохимических, в том числе изотопных, исследований эксплуатируемых месторождений. На базе таких исследований возможно сопоставление данных прогнозных расчётов по результатам разведки и реально наблюдаемых при эксплуатации показателей качества подземных вод и усовершенствованы теоретические и методические основы изучения недр и прогнозирования.

К л ю ч е в ы е с л о в а: риски; запасы; качество; подземные воды; прогноз.

DOI:10.32454/0016-7762-2019-1-79-84