

УДК 534-18  
Код ГРНТИ 30.51.31

doi 10.54708/19926502\_2025\_29411048

## Экранирующие мембраны и защита от усиления переотраженных волн в насыпных средах

А.Т. Ахметов, Р.Ф. Гизатуллин\*, А.Ф. Мухаметзянов, А.А. Валиев

Институт механики им. Р.Р. Мавлютова УФИЦ РАН, Уфа, Россия,

**Аннотация.** Экранирование мембранами песчаной насыпной среды существенно изменяет эволюцию ударно-волновых импульсов. В работе представлены результаты экспериментальных исследований распространения ударных волн малой амплитуды в песке. Изучено влияние массы и формы мембран, помещенных на поверхность песка, на динамику прохождения основного и зондирующих импульсов в уплотненной песчаной насыпной среде. Обнаружено, что экранирование практически не изменяет форму распространяющегося основного импульса, но кардинально меняет форму проходящих зондирующих импульсов. Параметры формирующихся импульсов (амплитуда и крутизна) существенно зависят от типа мембраны. Эксперименты проведены на ударной трубе, оснащенной секцией насыпной среды.

**Ключевые слова:** ударная труба, ударно-волновой импульс, песчаная насыпка, пористость, мембрана, экранирование, зондирующий импульс, пик давления.

\*giz-renat@yandex.ru

### Введение

Интерес исследователей к изучению распространения волн в пористых средах связан с решением вопросов взрывобезопасности производственных процессов [1, 2], защиты сооружений от воздействия ударных волн [3, 4], вопросами сейсморазведки [5]. Экспериментальные исследования взаимодействия ударно-волновых импульсов (УВИ) с пористой средой [6] и особенностей их распространения [7] проводились в ударных трубах. Традиционно ударные трубы используются для изучения особенностей формирования УВИ в различных средах, анализа волновых свойств этих сред по скорости ударных волн и изменению формы падающего (основного) импульса. В ударной трубе, оснащенной секцией насыпных сред, волна многократно переотражается от поверхности изучаемой пористой среды и верхнего торца трубы. Использование переотраженных импульсов для изучения изменений в среде, произошедших под воздействием УВИ, как зондирующих импульсов, было предложено в работе [8].

Амплитуда УВИ, распространяющегося в воздухе, удваивается при отражении от твердой поверхности. Основной УВИ с удвоенной амплитудой входит в уплотненный песок, при распространении в насыпной среде происходит его поглощение. При изучении особенностей распространения переотраженных (зондирующих) УВИ в насыпных средах был обнаружен пик [8] с амплитудой, существенно превышающей амплитуду основного падающего импульса. Анализ показал, что пик формируется в верхнем слое песка, его форма изменяется с увеличением толщины слоя, а сам пик смещается с заднего фронта к переднему, сохраняя амплитуду [9].

Исследования условий формирования пиков давления при последовательных нагружениях рыхлого песка показали, что в нем пики не образуются [10]. Однако уплотнение песка при последующих нагружениях приводит к формированию пиков на зондирующем импульсе.

Эксперимент [11] с зернистым слоем, экранированным тонкой (10 мкм) полиэтиленовой пленкой для предотвращения фильтрации газа, показал небольшую разницу в форме сигналов по сравнению с непокрытым слоем. Было установлено, что пленка слабо влияет на форму проходящего УВИ, но его амплитуда при экранировании меньше. При меньшем размере зерен эффект уменьшения амплитуды также меньше.

Настоящая работа исследует, как изменяются характеристики основного и переотраженного (зондирующего) УВИ [8] при экранировании песчаной насыпки алюминиевой фольгой и массивным медным диском, предотвращающими фильтрацию воздуха в песчаную насыпную среду, а также динамику изменения импульсов при наличии слоя песка над диафрагмой.

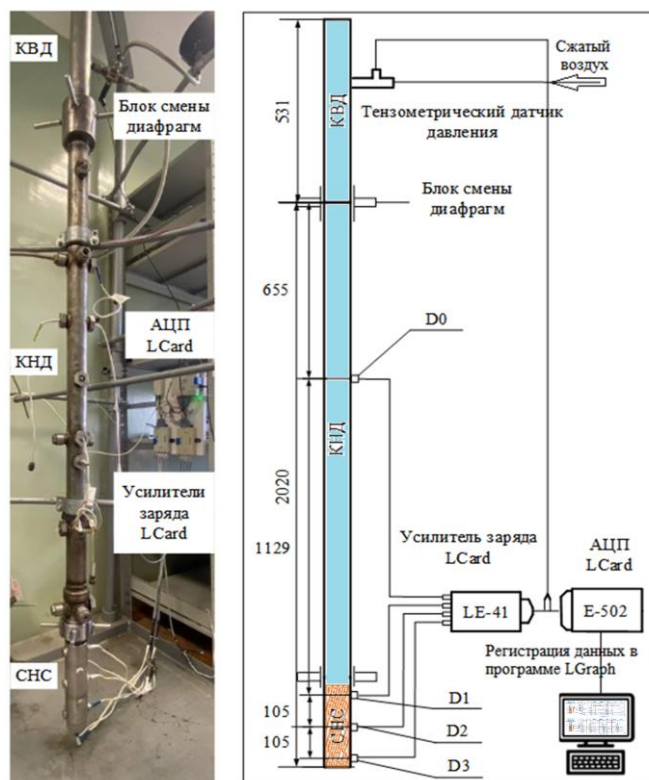
### Экспериментальная установка

Ударная труба (Рис. 1), состоит из камеры высокого давления (КВД) и камеры низкого давления (КНД), разделенных диафрагмой, и секции насыпных сред (СНС) [12]. Она оснащена пьезоэлектрическими акустическими датчиками типа ЛХ 610 с регистрирующей системой на базе L-CARD (усилитель заряда LE-41 с АЦП E14-440), сопряженной с компьютером. Давление разрыва диафрагмы в КВД регистрируется тензометрическим датчиком.

Нагнетание воздуха в камеру высокого давления приводит к разрыву диафрагмы из промасленной бумаги двух типов (калька и «Снегурочка»). В КНД формируется ударно-волновой импульс, длина которого определяется размером КВД, а амплитуда – давлением разрыва диафрагмы (15 кПа в случае кальки, 30 кПа – «Снегурочки»).

Датчик D0, регистрирует давление в воздухе, D1–D3, – в насыпной среде. Сформированный УВИ распространяется по трубе; почти вся его энергия (99,6%) отражается от насыпной среды, в песок проникает лишь малая доля (менее 1%), но с удвоенной амплитудой давления.

Секция насыпных сред послойно заполнялась песком, с сильной утряской и умеренной трамбовкой, пористость уплотненного таким образом песка составила 39,2%, что соответствует плотности  $1590 \text{ кг/м}^3$ . Среднеарифметический размер песчинок 390 мкм [8].



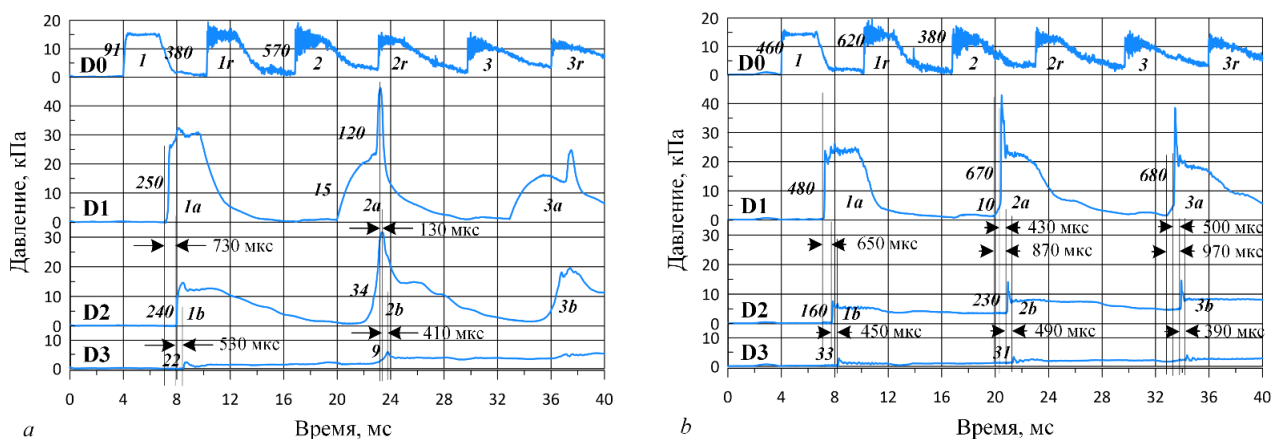
**Рисунок 1.** Ударная труба, фотография и схема установки: геометрические размеры, расположение диафрагмы, пьезоэлектрических датчиков давления D0, D1, D2, D3 и уровень насыпной среды, размеры приведены в мм.

### Экспериментальные результаты и их обсуждение

Одна из гипотез о природе формирования пика в зондирующем УВИ была связана с фильтрацией газа в песок во время воздействия основного УВИ [12]. Для исключения филь-

трации, на поверхности насыпной среды плотно устанавливалась алюминиевая фольга толщиной 10 мкм. Обнаружено кардинальное различие в формах зондирующих импульсов (Рис. 2) [12]. Рассмотрим эпюры давления датчиков D0–D3, Рис. 2. Датчик D0 расположен в воздухе, а датчики D1, D2 и D3 расположены в толще насыпки, все они закреплены на боковой стенке, заподлицо с внутренней поверхностью. Для характеристики переднего фронта импульсов удобно использовать понятие крутизны фронта [8]  $P_i = (\Delta p / \Delta t)_{\max}$ , [ $P_i$ ] = кПа/мс, где  $i$  соответствует выбранной эпюре, которая берется в точке максимального нарастания давления на фронте. Крутизны приведены на эпюрах давления (Рис. 2) слева от фронта.

Условия разрыва диафрагмы несколько различаются, это сказывается на крутизне основного импульса в песке на уровне датчиков D1 и D2, в экспериментах с открытой насыпкой она меняется в диапазоне от 200 до 1000 кПа/мс. Крутизна фронта основного УВИ в воздухе (Рис. 2а)  $P_1 = 91$  кПа/мс, при отражениях импульса она обычно нарастает: от поверхности песка вырастает до  $P_{1r} = 380$  кПа/мс, от верхнего торца трубы –  $P_2 = 570$  кПа/мс. В песке (D1, глубина 2 см) крутизна основного УВИ  $P_{1a} = 250$  кПа/мс. Крутизна переднего фронта зондирующего импульса, приходящего через 13 мс после основного, значительно ниже ( $P_{2a} = 15$  кПа/мс), что указывает на разрыхление насыпки. На заднем фронте формируется усиленный пик с крутизной  $P_{2a} = 120$  кПа/мс, амплитуда которого в полтора раза превышает амплитуду основного импульса [9]. Сформировавшийся усиленный импульс проходит с существенно меньшим поглощением (30%), чем основной (55%), в насыпную среду, и, что удивительно, пики давления на датчиках D1 и D2 формируются практически одновременно.



**Рисунок 2.** Эпюры давления УВИ в песке при открытой поверхности *a*, и экранировании фольгой *b*.

Экранирование поверхности уплотненного песка фольгой предотвращает проникновение воздуха в насыпную среду во время воздействия УВИ. Амплитуда основного импульса снижается на 17% (Рис. 2), что согласуется с [11]. Зондирующий импульс (Рис. 2b эпюра 2a) приобретает совершенно иную форму по сравнению с открытой поверхностью песка (Рис. 2a эпюра 2a): пик формируется на переднем фронте, имеет двухступенчатую структуру (крутизны 10 и 670 кПа/мс) и более чем в 1,5 раза превышает амплитуду основного импульса. На датчике D2 пик зондирующего импульса появляется с тем же запаздыванием, что и основной импульс. Уменьшение амплитуды обоих импульсов на 10,5 см насыпки происходит приблизительно одинаково (в 3 раза).

Сравнение открытой и экранированной фольгой насыпки выявило:

1. Пик зондирующего импульса смещается с заднего фронта на передний при экранировании.
2. Открытая насыпка значительно разрыхляется (плавный рост передней части импульса), тогда как под фольгой разрыхление незначительно (первая ступень двухступенчатой структуры).
3. Прошедшая в песок энергия основного импульса меньше при закрытой поверхности (лучшее отражение).

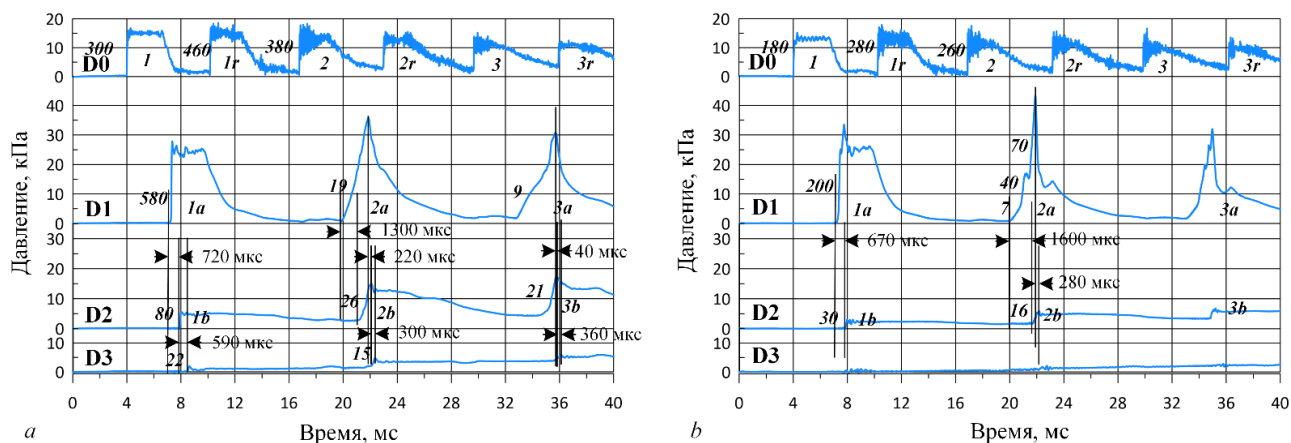
4. Зондирующий импульс лучше поглощается разрыхленным песком, большая часть его энергии, по сравнению с основным импульсом, поглощается песком, что обеспечивает его лучшее прохождение вглубь (песчинки ускоряются).

5. Форма зондирующих импульсов отражает структурные изменения в насыпной среде под воздействием основного УВИ.

Скорости основных импульсов в обоих случаях (открытая и экранированная насыпка) мало отличаются (145 м/с и 152 м/с), в то время как скорости зондирующих импульсов различаются практически вдвое (65 м/с и 126 м/с). Закрытая насыпка является более жесткой средой для зондирующего импульса, то есть открытая насыпка разрыхлилась основным импульсом, закрытая разрыхлилась значительно меньше. Оба пика связаны с разрыхлением песка, первый – со значительным, второй – с намного меньшим [12].

Для изучения влияния массы экранирующего слоя использовались 2 медных диска толщиной 0,5 мм (9 г) и 1,41 мм (26 г) и диаметром 52 мм. Диаметр диска был на 0,1–0,2 мм меньше внутреннего диаметра СНС, что допускало небольшое проникновение газа через щель во время воздействия УВИ (4 мс). Основной импульс по форме мало отличается от импульсов с открытой поверхностью песка или фольгой (см. Рис. 2 и 3), но крутизны фронтов при наличии дисков становятся выше. Хотя, казалось бы, инерция медного диска должна растянуть время нарастания импульса и уменьшить крутизну фронта.

Крутизна фронта зондирующего импульса 19 кПа/мс при наличии медного диска становится близка к крутизне фронта зондирующего импульса в песке с открытой поверхностью, что может свидетельствовать о разрыхлении песка под диском при воздействии основного импульса. Форма импульса – равнобедренный треугольник, амплитуда превышает основной импульс на 40%, задний фронт такой же пологий, как у основного импульса. Как и в случае открытого песка обнаруживается «одномоментность» формирования пиков на датчиках D1 и D2. Если предположить, что уменьшение крутизны фронта и скорости распространения в 1,5 раза по сравнению с основным импульсом связано с разрыхлением песка, то механизм его возникновения под диском требует объяснения.



**Рисунок 3.** Эпюры давления УВИ в песке при экранировании поверхности медными дисками.  
 а – медный диск толщиной 0,5 мм,  $m_1 = 9$  г; б – 1,41 мм,  $m_2 = 26$  г.

Можно предположить, что медный диск при отражении основного импульса слегка «подкидывается», при этом под ним песок слегка разрыхляется, поскольку диск по инерции «летит» вверх и формируется пик, как в открытом песке. «Одномоментность» видимо связана, с тем, что скорость импульсов в пике очень высока из-за того, что он распространяется по поджтому песку.

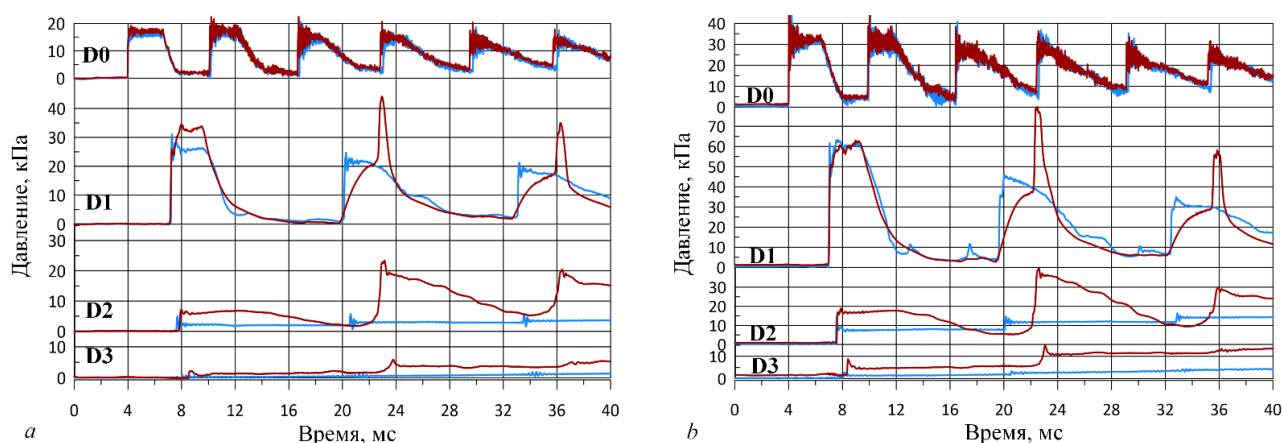
Напрашиваются два предположения:

1. Проникновение газа в верхний слой песка через щель между диском и стенками трубы (аналогично открытому песку, но с меньшей площадью).

2. Диск ускоряется основным импульсом, сжимая верхний слой. После отражения импульса диск движется вверх под действием сжатого песка, а затем по инерции, разрыхляя песок под собой до прихода зондирующего импульса. Зондирующий импульс снова ускоряет диск на рыхлом песке (уменьшение крутизны переднего фронта). Песок сжимается под действием инерционного движения диска и к нему добавляется постоянно действующее давление зондирующего импульса, что приводит к формированию пика ближе к заднему фронту импульса. Второе предположение представляется более реалистичным. В его пользу говорит то, что при большей амплитуде импульса пик выше. Следует отметить, что поглощение зондирующего импульса в случае медного диска существенно ниже поглощения основного импульса (2,5 раза), как и в случае песка с открытой поверхностью.

Форма основного УВИ с более тяжелым медным диском аналогична случаю легкого диска, но с небольшим пиком на переднем фронте. В отличие от сглаженного переднего фронта в открытом песке и с фольгой, при использовании медных дисков появляется дополнительный пик (более выраженный при 26 г диске). Сравнение амплитуд основных УВИ в открытом песке и экранированном дисками показывает, что без дисков амплитуда выше за счет давления, передающегося по газовой фазе, исключая небольшой дополнительный пик в случае медных дисков. При прохождении зондирующего импульса формируется структура в виде триплета, пологий передний фронт свидетельствует о разрыхлении песка под диском. Амплитуда заостренного пика такая же, как в открытом песке; небольшой пик на заднем фронте, вероятно, обусловлен торможением диска. Поглощение (снижение амплитуды) зондирующего импульса в слое 10,5 см происходит с той же интенсивностью, что и у основного (амплитуда уменьшается в 8 раз). Это отличает данный случай от открытого песка.

Исследовано, какие изменения произойдут в структуре песка при воздействии основного УВИ при наличии демпфирующего слоя песка разной толщины над поверхностью легкой экранирующей мембраны из алюминиевой фольги, и как они отразятся на форме зондирующего импульса при двух амплитудах УВИ (15 и 30 кПа). Для большей наглядности эпюры с открытой насыпной средой и фольгой при одинаковом слое песчаной насыпки приводятся на одном рисунке осциллограммами разного цвета (Рис. 4, 5). Расстояние от поверхности насыпной среды до датчика D1 составляет 32 мм (Рис. 4) и 72 мм (Рис. 5), от экранирующей мембраны – 22 мм.

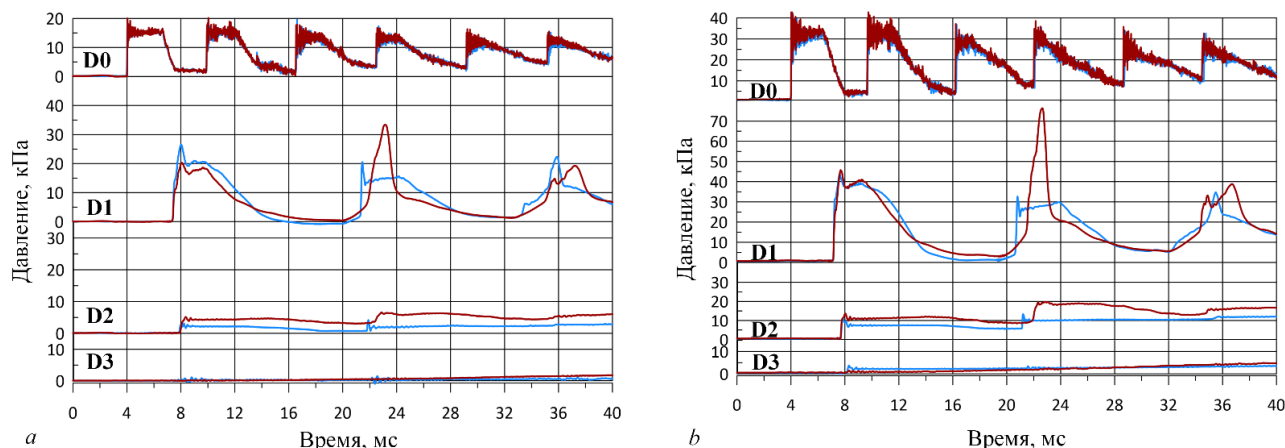


**Рисунок 4.** Эпюры давления УВИ в песчаной насыпке, слой песка над фольгой 1 см – синяя линия, без фольги – красная линия. Части *a* и *b* соответствуют амплитудам УВИ в воздухе: 15 кПа и 30 кПа.

Эпюры давления в насыпной среде с открытой поверхностью имеют традиционную форму с пиком у зондирующего импульса [9], связанным с разрыхлением слоя песка основным УВИ [10]. При наличии экранирующей мембраны форма зондирующих импульсов практически идентична форме основных УВИ. Основное различие – это растянутый задний фронт как в случае малой, так и удвоенной амплитуды УВИ. Слой песка 1 см предотвращает формирование пиков у зондирующих импульсов, то есть предотвращает разрыхление структуры, но



приводит к формированию «пучка» на переднем фронте основного импульса. Аналогичная картина наблюдается и при 5 см слое песка над фольгой (Рис. 5). Поглощение зондирующих УВИ в песке существенно выше при наличии экранирующей мембраны как на поверхности песка, так и на глубинах 1 см и 5 см. Казалось бы, в 5 см слое песка над экранирующей мембраной должен сформироваться пик зондирующего импульса и пройти дальше к датчику D1, но, как видно на приведенных эпюрах, этого не происходит, в то время как без экрана он сформировался и прошел. Это означает, что формирование пика зондирующего импульса связано с более глубокими структурными преобразованиями в песке, чем на 5 см.



**Рисунок 5.** Эпюры давления УВИ в песке:

при слое песка над экраном из фольги 5 см – синяя линия, без фольги – красная линия.

Части *a* и *b* соответствуют амплитудам УВИ в воздухе 15 кПа и 30 кПа.

Скорость основного импульса между датчиками D1 и D2 при наличии слоя песка над мембраной практически равна скорости без мембраны. Скорость зондирующих импульсов при слое песка над мембраной 5 см несколько выше, чем в открытой насыпке с тем же слоем, а в случае 1 см скорость в насыпке с экраном почти в 3 раза выше, чем в открытой насыпке (более 200 м/с) для обеих амплитуд УВИ.

### Заключение

Сравнительный анализ эпюр давления УВИ в открытой и экранированной песчаной насыпной среде позволяет сделать следующие выводы:

1. Наличие экранирующих мембран (фольга, медные диски) практически не влияет на форму основного импульса. Однако амплитуда его, проходящего 22 мм насыпной среды, снижается на 15% по сравнению с открытой поверхностью, что обусловлено исключением прохождения УВИ по поровому пространству и прекращением импульсной фильтрации газа.

2. Зондирующие импульсы кардинально меняются по сравнению с основным, но существенно иным образом:

- при прохождении волны малой амплитуды (15 кПа) в насыпной среде, экранированной фольгой, формируется пик на переднем фронте зондирующего импульса, вдвое превышающий амплитуду основного. Это результат поджатия верхнего слоя песка основным импульсом, делающего его более жестким.

- экранирование массивным медным диском (9 г) приводит к формированию пиков при распространении зондирующих импульсов (в центральной части), амплитуда которых в полтора раза выше амплитуды основного импульса, и уменьшается втрое в слое песка 10,5 см.

- увеличение массы диска (26 г) приводит к формированию зондирующего импульса в виде триплета с острым пиком, амплитуда которого на 30% выше амплитуды пика, образующегося при диске массой 9 г, который уменьшается в 9 раз в слое песка 10,5 см.

- при наличии слоя уплотненного насыпного песка (1 и 5 см) над фольгой, основной импульс незначительно отличается от стандартного случая без мембраны. Зондирующий им-

пульс формируется без пика, с формой идентичной основному, но с растянутым задним фронтом. Поглощение как зондирующего, так и основного импульса одинаково велико (более чем в 5 раз на 10,5 см) для обеих амплитуд УВИ.

– наличие экранирующей мембраны предотвращает структурные преобразования в песке, приводящие к усилению последовательно следующих друг за другом (13 мс) УВИ.

### Литература:

1. Уткин П.С., Чупров П.А. Численное моделирование распространения зондирующих импульсов в плотной засыпке гранулированной среды // Компьютерные исследования и моделирование. 2024. Т. 16. № 6. С. 1361–1384. [Utkin P.S., Chuprov P.A. Numerical simulation of probing pulse propagation in dense packing of granular medium. Computer Research and Modeling // 2024. Vol. 16. No. 6. P. 1361–1384. (in Russian)].
2. Мiroва О.А., Баженова Т.В., Голуб В.В. Влияние экрана из гранулированного материала на многократное отражение плоской ударной волны внутри замкнутого объема // Теплофизика высоких температур. 2020. Т. 58. № 1. С. 144–147. [Mirova O.A., Bazhenova T.V., Golub V.V. Influence of a granular material screen on multiple reflection of a plane shock wave inside a closed volume // High Temperature. 2020. Vol. 58. No. 1. P. 144–147 (in Russian)]. DOI: 10.31857/S0040364420010135. EDN: EJMKNKJ.
3. Болдырева О.Ю., Губайдуллин А.А., Дудко Д.Н., Кутушев А.Г. Численное исследование передачи ударно-волновой нагрузки экранируемой плоской стенке через слой порошкообразной среды и разделяющий их воздушный зазор // Физика горения и взрыва. 2007. Т. 43. № 1. С. 132–142 [Boldyreva O.Yu., Gubaidullin A.A., Dudko D.N., Kutushev A.G. Numerical study of the transmission of shock-wave loading to a shielded flat wall through a powder layer and an air gap // Combustion, Explosion, and Shock Waves. 2007. Vol. 43. No. 1. P. 132–142 (in Russian)]. EDN: OIHGZJ.
4. Балапанов Д.М., Урманчеев С.Ф. Роль межфазных взаимодействий при газовой детонации в инертной пористой среде // Письма в ЖТФ. 2010. Т. 36. № 13. С. 71–80. [Balapanov D.M., Urmancheev S.F. Role of interphase interactions in gas detonation in an inert porous medium // Technical Physics Letters. 2010. Vol. 36. No. 13. P. 71–80. (in Russian)].
5. Дучков А.Д., Дучков А.А., Дугаров Г.А., Дробчик А.Н. Скорости ультразвуковых волн в песчаных образцах, содержащих воду, лед или гидраты метана и тетрагидрофурана (лабораторные измерения) // Доклады Академии наук. 2018. Т. 478. № 1. С. 94–99. [Duchkov A.D., Duchkov A.A., Dugarov G.A., Drobchik A.N. Ultrasonic wave velocities in sand samples containing water, ice, or hydrates of methane and tetrahydrofuran (laboratory measurements) // Doklady Earth Sciences. 2018. Vol. 478. No. 1. P. 94–99 (in Russian)].
6. Гельфанд Б.Е., Медведев С.П., Поленов А.Н., Фролов С.М. Передача ударно-волновой нагрузки насыпным средам // Прикладная механика и техническая физика. 1988. № 2. С. 115–121. [Gelfand B.E., Medvedev S.P., Polenov A.N., Frolov S.M. Transmission of shock-wave loading to bulk media // Journal of Applied Mechanics and Technical Physics. 1988. No. 2. P. 115–121 (in Russian)].
7. Донцов В.Е., Накоряков В.Е., Покусаев Б.Г. Распространение волн давления в газонасыщенной пористой среде // Акустический журнал. 1994. Т. 40. № 4. С. 683–685. [Dontsov V.E., Nakoryakov V.E., Pokusaev B.G. Propagation of pressure waves in a gas-saturated porous medium. Acoustical Physics // 1994. Vol. 40. No. 4. P. 683–685 (in Russian)].
8. Ахметов А.Т., Гималтдинов И.К., Азаматов М.А., Мухаметзянов А.Ф., Богданов Д.Р. Зондирование водогазонасыщенных насыпных сред переотраженными волнами непосредственно после воздействия ударной волны // Письма в Журнал технической физики. 2022. Т. 48. № 1. С. 23–26. [Akhmetov A.T., Gimaltdinov I.K., Azamatov M.A., Mukhametzyanov A.F., Bogdanov D.R. Probing of water–gas-saturated granular media by reflected waves immediately after shock-wave impact // Technical Physics Letters. 2022. Vol. 48. No. 1. P. 23–26 (in Russian)].
9. Ахметов А.Т., Гималтдинов И.К., Мухаметзянов А.Ф., Гизатуллин Р.Ф. Эффект усиления ударных волн в насыпных средах // Доклады Российской академии наук. Физика, технические

- науки. 2024. Т. 519. № 1. С. 41–46. [Akhmetov A.T., Gimaltdinov I.K., Mukhametzyanov A.F., Gizatullin R.F. Effect of shock wave amplification in granular media // *Doklady Physics*. 2024. Vol. 519. No. 1. P. 41–46 (in Russian)]. DOI: 10.31857/S2686740024060076. EDN: HVZDMN.
10. Ахметов А.Т., Гималтдинов И.К., Мухаметзянов А.Ф. Выявление условий формирования пиков давления в зондирующем импульсе // *Инженерно-физический журнал*. 2025. Т. 98. № 1. С. 190–196. EDN: SYLQBM. [Akhmetov A.T., Gimaltdinov I.K., Mukhametzyanov A.F. Identification of conditions for the formation of pressure peaks in the probing pulse // *Journal of Engineering Physics and Thermophysics*. 2025. Vol. 98. No. 1. P. 190–196 (in Russian)].
11. Britan A, Ben-Dor G., Elperin T., Igra O., Jiang J. Mechanism of compressive stress formation during weak shock waves impact with granular materials // *Experiments in Fluids*. 1997. Vol. 22. P. 507–518. DOI: 10.1007/s003480050078.
12. Ахметов А.Т., Гималтдинов И.К., Гизатуллин Р.Ф., Богданов Д.Р., Азаматов М.А. Влияние мембраны на прохождение ударно-волнового импульса в песке // *Письма в Журнал технической физики*. 2025. Т. 51. № 24. С. 31–36. [Akhmetov A.T., Gimaltdinov I.K., Gizatullin R.F., Bogdanov D.R., Azamatov M.A. Influence of a membrane on shock-wave pulse propagation in sand // *Technical Physics Letters*. 2025. Vol. 51. No. 24. P. 31–36 (in Russian)]. DOI: 10.21883/00000000000.

### Об авторах:

**АХМЕТОВ Альфир Тимирзянович**, кандидат физико-математических наук, ведущий научный сотрудник лаборатории «Экспериментальная гидродинамика», Институт механики им. Р.Р. Мавлютова Федерального государственного бюджетного научного учреждения Уфимского федерального исследовательского центра Российской академии наук (ИМех УФИЦ РАН), Россия, 450054, г. Уфа, Проспект Октября, 71, alfir@anrb.ru.

**ГИЗАТУЛЛИН Ренат Фаргатович**, инженер-исследователь лаборатории «Экспериментальная гидродинамика», Институт механики им. Р.Р. Мавлютова Федерального государственного бюджетного научного учреждения Уфимского федерального исследовательского центра Российской академии наук (ИМех УФИЦ РАН), Россия, 450054, г. Уфа, Проспект Октября, 71, giz-renat@yandex.ru.

**МУХАМЕТЗЯНОВ Артур Фанилевич**, аспирант лаборатории «Экспериментальная гидродинамика», Институт механики им. Р.Р. Мавлютова Федерального государственного бюджетного научного учреждения Уфимского федерального исследовательского центра Российской академии наук (ИМех УФИЦ РАН), Россия, 450054, г. Уфа, Проспект Октября, 71, tuargu@yandex.ru.

**ВАЛИЕВ Азат Ахматович**, младший научный сотрудник лаборатории «Экспериментальная гидродинамика», Институт механики им. Р.Р. Мавлютова Федерального государственного бюджетного научного учреждения Уфимского федерального исследовательского центра Российской академии наук (ИМех УФИЦ РАН), Россия, 450054, г. Уфа, Проспект Октября, 71, azatphysic@mail.ru.

### Metadata:

**Title:** Shielding Membranes and Protection against Amplification of Reflected Waves in Bulk Media.

**Author 1:** Alfir Timirzyanovich Akhmetov, Candidate of Physical and Mathematical Sciences, Leading Researcher, Laboratory of Experimental Hydrodynamics, Institute of Mechanics named after R.R. Mavlyutov, Federal State Budgetary Scientific Institution, Ufa Federal Research Center of the Russian Academy of Sciences (IMech UFC RAS), Russia, 450054, Ufa, Oktyabrya Avenue, 71, alfir@anrb.ru.

**Author 2:** Renat Fargatovich Gizatullin, research engineer at the Experimental Hydrodynamics Laboratory, R.R. Mavlyutov Institute of Mechanics, Ufa Federal Research Center of the Russian Academy of Sciences (IMech UFC RAS), Russia, 450054, Ufa, Oktyabrya Avenue, 71, giz-renat@yandex.ru.



**Author 3:** Artur Fanilevich Mukhametzyanov, postgraduate student of the Experimental Hydrodynamics Laboratory, R.R. Mavlyutov Institute of Mechanics of the Ufa Federal Research Center of the Russian Academy of Sciences (IMEch UFC RAS), Russia, 450054, Ufa, Oktyabrya Avenue, 71, turya@yandex.ru.

**Author 4:** Azat Akhmatovich Valiev, Junior Researcher, Experimental Hydrodynamics Laboratory, R.R. Mavlyutov Institute of Mechanics, Ufa Federal Research Center of the Russian Academy of Sciences (IMEch UFC RAS), Russia, 450054, Ufa, Oktyabrya Avenue, 71, azatphysic@mail.ru.

**Abstract:** Shielding a sandy bulk medium with membranes significantly alters the evolution of shock wave pulses. This paper presents the results of experimental studies of the propagation of low-amplitude shock waves in sand. The effect of the mass and shape of membranes placed on the sand surface on the dynamics of the propagation of the main and probe pulses in a compacted sandy bulk medium is studied. It is found that shielding has virtually no effect on the shape of the propagating main pulse, but it dramatically alters the shape of the transmitted probe pulses. The parameters of the resulting pulses (amplitude and steepness) depend significantly on the membrane type. The experiments were conducted on a shock tube equipped with a section of the bulk medium.

**Keywords:** shock tube, shock wave pulse, sand fill, porosity, membrane, shielding, probing pulse, pressure peak.