

СРАВНИТЕЛЬНЫЙ АНАЛИЗ ПРИМЕНИМОСТИ ПЬЕЗОЭЛЕКТРИЧЕСКИХ И ПЬЕЗОРЕЗИСТИВНЫХ ДАТЧИКОВ ДЛЯ ИЗМЕРЕНИЯ УДАРНЫХ ВОЛНОВЫХ НАГРУЗОК

С.А. Шоларь

Севастопольский государственный университет, РФ, г. Севастополь, ул. Университетская, 33
E-mail: sa.sholar@mail.ru

Проведен сравнительный анализ датчиков давления, применяемых для измерения ударных волновых нагрузок. В экспериментальной части было рассмотрено четыре датчика давления: пьезорезистивный, пьезоэлектрический и два пьезоэлектрических датчика с интегральной схемой. В работе проверена чувствительность датчиков к ударным волновым нагрузкам и чувствительность к температурным перепадам между датчиками и окружающей средой.

Ключевые слова: пьезоэлектрический датчик, пьезорезистивный датчик, ударные волновые нагрузки.

Введение. В береговой зоне моря волны играют огромную роль, поскольку основным свойством волн является их способность переносить энергию, накопленную в море под воздействием ветра и других природных факторов, определяя морфолитодинамику берегов. Групповая структура волн способствует образованию инфрагравитационных колебаний в портах и гаванях и оказывает экстремальные нагрузки на береговые сооружения. Учет волновых нагрузок необходим при проектировании любых береговых гидroteхнических сооружений и проведении различного рода берегозащитных мероприятий. Однако на данный момент теоретические методы не обеспечивают достаточной расчетной точности [1 – 5], что приводит к необходимости прибегать к экспериментальным методам определения нагрузок при проектировании. Для измерения ударной силы волны, как правило, применяют пьезоэлектрики, однако четких рекомендаций в отношении ситуации и типов датчиков для оптимального их использования в работе пока нет. Так в публикации [4] для измерения ударных волновых нагрузок предлагается пьезоэлектрический датчик. В работах [1, 2], проведенных в Большом волновом канале (GWK, Ганновер, Германия), использовался емкостной датчик. В рекомендациях [5] предлагается использовать кассеты индуктивных или тензометрических датчиков. В патенте В.В. Шулейкина [6]

для измерения удара волны предложено располагать по пути распространения ударной волны в исследуемой среде последовательно емкостной и резистивный датчик. Такой разброс применяемых измерителей не дает четких указаний, в каком случае лучше использовать тот или иной датчик.

В работе [7] проведено сравнительное исследование датчиков предназначенных для измерения ударной волновой нагрузки.

Цель настоящего сообщения – сравнительный анализ применимости пьезоэлектрических датчиков для измерения ударных волновых нагрузок в опытном бассейне по собственным и литературным данным. Для выполнения поставленной цели рассматривались следующие задачи:

1. Проверка чувствительности четырех датчика давления (пьезорезистивный, пьезоэлектрический и два пьезоэлектрических датчика с интегральной схемой) к ударным волновым нагрузкам;

2. Проверка чувствительности датчиков к температурным перепадам между датчиками и окружающей средой.

Материалы и методы. Для измерения ударных нагрузок волны сравнивали пьезорезистивный, пьезоэлектрический и два пьезоэлектрических датчика с интегральной схемой (ICP – Integrated Circuit Piezoelectric). Основные характеристики этих датчиков приведены в табл. 1.

В эксперименте использовался замкнутый бак, в котором устанавливались датчики на верхней и боковой стенке. Расположение датчиков изображено на рис. 1. Для создания волнения бак располагали на подвижной платформе. Поскольку ударные волновые нагрузки воздействуют на очень малую область в пределах короткого промежутка времени, одними из требований к используемым в этом эксперименте датчикам давления являются относительно малый размер, высокая собственная частота колебаний и измерение давления в большом диапазоне.

В данной работе для определения чувствительности датчиков применялось линейное и нелинейное волнение, менялась температура.

Экспериментальные исследования.

При измерении ударных волновых нагрузок, когда на датчик попаременно действует воздух и вода, возможны погрешности из-за разных температур жидкости и воздуха, поэтому были проведены исследования направленные на оценку температурной устойчивости датчиков. Чтобы изучить стабильность датчиков давления, их оставляли в воде

на 50 мин. Зависимость давления от времени показана на рис. 2. Пьезоэлектрический датчик, несмотря на отсутствие давления, показывал линейное возрастание нагрузки. Следует отметить, что датчик был подключен без фильтров и усилителей. Как указано в работе [7], в случае подключения через фильтр, такой картины можно было бы избежать.

Чтобы исследовать влияние температуры на датчики их плавно опускали в горячую и холодную воду. Пьезорезистивный датчик оказался не чувствительным к изменению температуры, в то время как пьезоэлектрики показывали значительный скачок нагрузки. Площадь чувствительной мембранны у датчиков ICP меньше, чем у пьезоэлектрика, и как следствие у них наблюдалась большая чувствительность к перепаду температур. Когда датчики опускали в холодную воду, чувствительная мембрана датчика сжималась, и как следствие датчик показывал положительное давление. В горячей воде был противоположный эффект. Динамика изменения давления в зависимости от температуры отображена на рис. 3 и 4.

Таблица 1. Основные характеристики датчиков

Маркировка датчика	4005 B	701A	211B5	112A21
Фирма производитель	KISTLER	KISTLER	KISTLER	PCB
Тип	Пьезорезистивный	Пьезоэлектрический	ICP	ICP
Диапазон давления (бар)	10	25	7	7
Чувствительный диаметр (мм)	6,2	95	5,54	5,54
Естественная частота (кГц)	100	70	300	250
Диапазон рабочих температур (°C)	-40...125	-150...200	-55...120	-73...+135

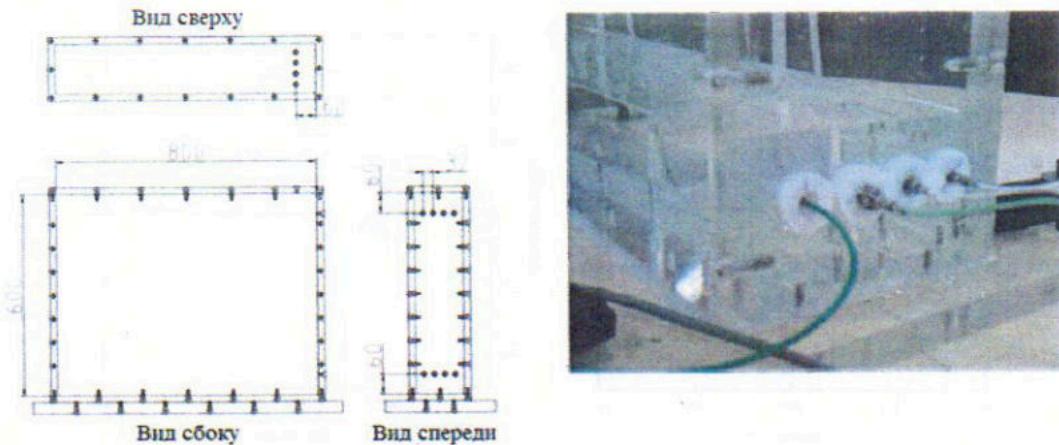
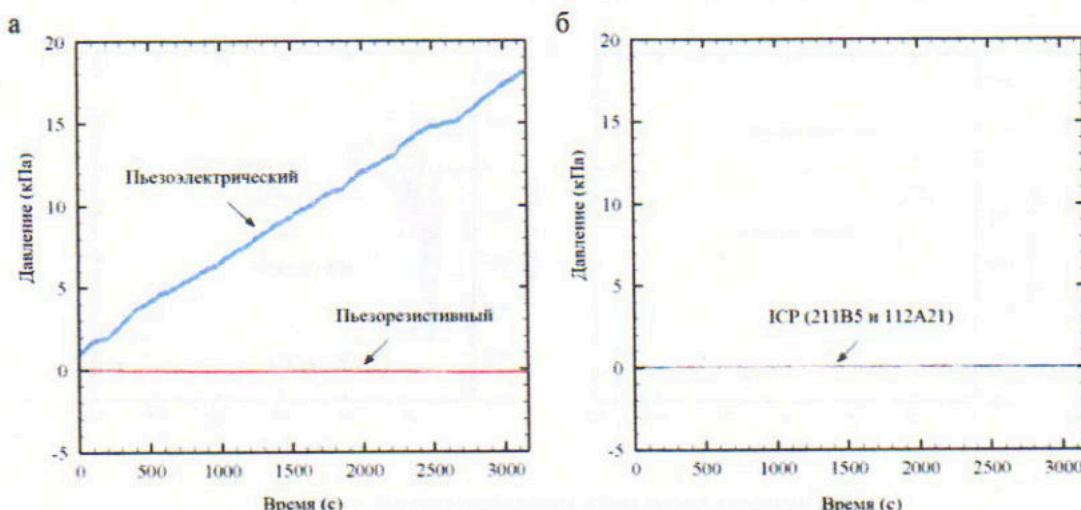


Рис. 1. Расположение датчиков в баке



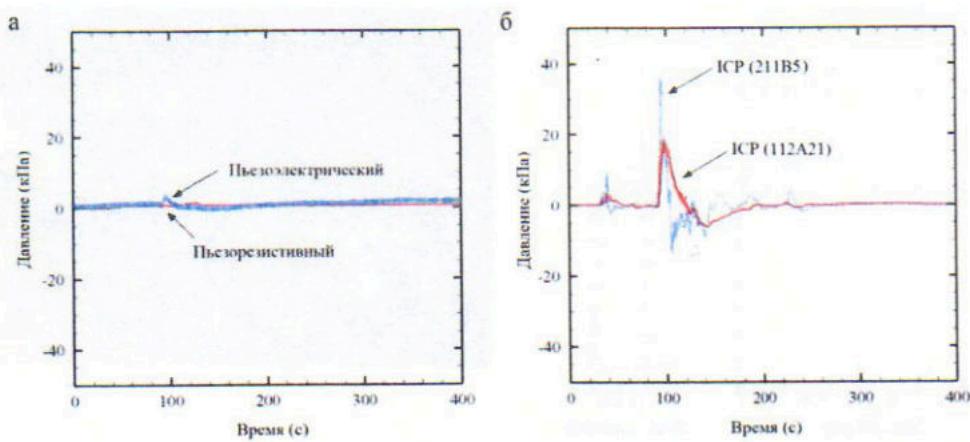
а) Пьезоэлектрический и пьезорезистивный датчик;
б) пьезоэлектрический датчик с интегральной схемой (ICP).

Рис. 2. Стабильность датчиков давления

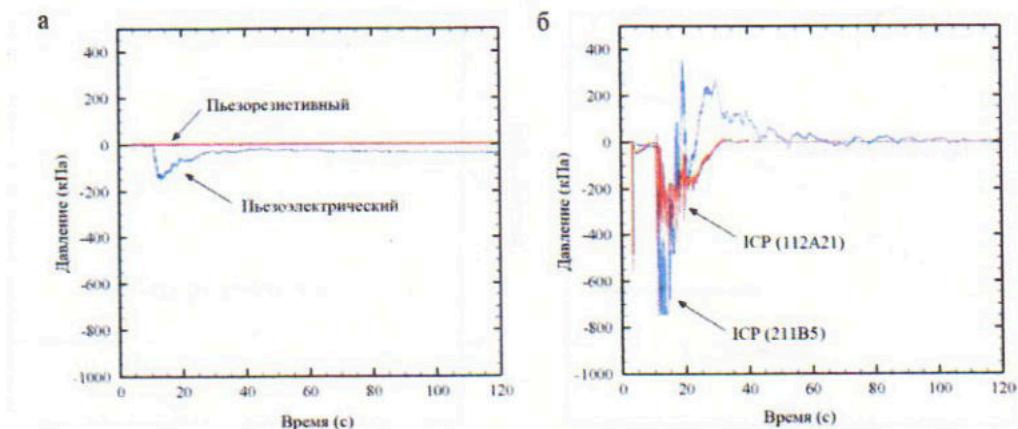
Также была проведена серия измерений при небольшом ударном волновом воздействии на датчики. При этом бак был заполнен таким образом, чтобы в спокойной воде датчики были опущены на 10% в воду.

Как можно видеть на рис. 5, пьезорезистивный и пьезоэлектрический датчики реагируют на изменение давления одинаково. Однако показания с пьезоэлектрика постепенно растут вверх (рис. 5). Два датчика ICP показывают разный характер нагрузки, также их по-

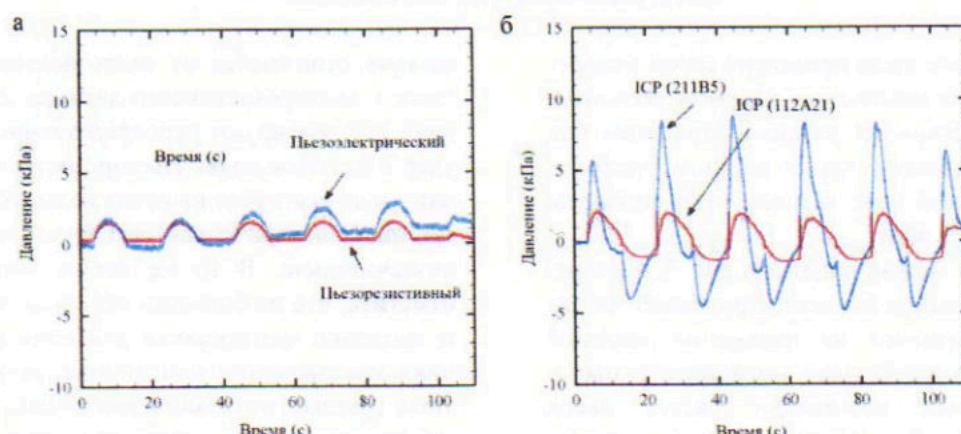
казания отличаются от пьезоэлектрического и пьезорезистивного датчика. Датчики ICP реагируют непосредственно на удар и на отток воды. Пьезорезистивный датчик не реагирует на отток воды, тогда как пьезоэлектрический реагирует очень незначительно. В то же время, можно отметить, что на больших периодах волн и медленно меняющемся давлении датчики показывают очень разные результаты (разные показания давления), что недопустимо при экспериментальном исследовании.



а) Пьезоэлектрический и пьезорезистивный датчик;
б) пьезоэлектрический датчик с интегральной схемой (ICP).
Рис. 3. Влияние температуры на датчики давления. Температура датчиков до контакта с водой 8,3°C. Температура воды 7,6°C



а) Пьезоэлектрический и пьезорезистивный датчик;
б) пьезоэлектрический датчик с интегральной схемой (ICP).
Рис. 4. Влияние температуры на датчики давления. Температура датчиков до контакта с водой 10,6°C. Температура воды 60°C



а) Пьезорезистивные и пьезоэлектрические датчики; б) датчики ICP.
Рис. 5. Воздействие на датчик волн малой амплитуды. Период волны 20 с.
Температура воды и датчиков 8,6°C

Заключение. На основании проведенного сравнительного анализа экспериментальных данных, полученных с датчиков давления по измерению ударных волновых нагрузок, были сделаны следующие выводы:

Пьезоэлектрические датчики, включая датчики с интегральной схемой (ICP – Integrated Circuit Piezoelectric), чувствительны к тепловым эффектам. Разница температур между датчиком и средой при измерении ударного волнового давления должны быть сведены к минимуму.

Несмотря на то, что два датчика ICP, имеют один и тот же тип и диаметр чувствительной мембранны, они показывают разное время и разные величины пикового давления.

Пьезоэлектрический датчик обладает слабым дрейфом (постепенное возрастание показания нагрузки без применения механического воздействия), следовательно, он не может быть использован для длительных экспериментов без применения специальных фильтров и антидрейфовых усилителей.

Сигнал давления может быть достаточно разным в зависимости от типа датчика давления. Таким образом, для проведения экспериментальных исследований, необходимо тщательно подбирать и исследовать датчик.

СПИСОК ЛИТЕРАТУРЫ

1. Крутизна и спектр нелинейно деформируемой волны на мелководье / И.И. Диденкулова, Н. Заibo, А.А. Куркин [и др.] // Известия Российской академии наук. Физика атмосферы и океана. 2006. Т. 42. № 6. С. 839–842.
2. Родин А.А., Пелиновский Е.Н. Динамика длинных волн в прибрежной зоне моря с учетом эффектов обрушения. Н. Новгород: Изд-во НГТУ, 2014. 93 с.
3. Кушнир В.М., Шоларь С.А., Душко В.Р. Экспериментальные исследования динамических нагрузок при разрушении поверхностных волн на наклонном дне // Приборы и техника эксперимента. 2016. № 3. С. 123–129.
4. Датчик для измерения ударного волнового давления на базе пьезоэлектрического элемента ЗП-4 / С.А. Шоларь, О.А. Иванова, В.Р. Душко [и др.] // Системы контроля окружающей среды. 2016. Вып. 3 (23). С. 33–38.
5. П 74-2000 Рекомендации по проведению натурных наблюдений и исследований креплений откосов грунтовых сооружений и береговых склонов // РАО «ЕЭС РОССИИ». СПб.: Изд-во ВНИИГ, 2000.
6. Патент SU № 934792/22, 15.06.1993.
7. Kim S., Kim K., Kim Y. Comparative study on pressure sensors for sloshing experiment // Ocean Engineering. 2015. № 94. P. 199–212.

COMPARATIVE ANALYSIS OF THE APPLICABILITY PIEZOELECTRIC AND PIEZORESISTIVE SENSOR TO MEASURE SHOCK WAVE LOADS

S.A. Sholar

Sevastopol State University, Russian Federation, Sevastopol, Universitetskaya St., 33

Comparative analysis of pressure sensors used for measuring the shock wave loads was carried. In the experimental part were considered the four pressure sensors: piezoresistive, piezoelectric, and two piezoelectric sensors with integrated circuit. Our study tested the sensor sensitivity to shock wave loads and sensitivity to temperature differences between the sensors and the environment.

Keywords: piezoelectric sensor, piezoresistive sensing, shock wave loading.