

На рис. 2 представлена схема расположения блока измерения координат контейнера на спредере, который включает в себя программируемый контроллер (PLC) со встроенным Web-сервером, модуль Wi-Fi, блок датчиков [5].

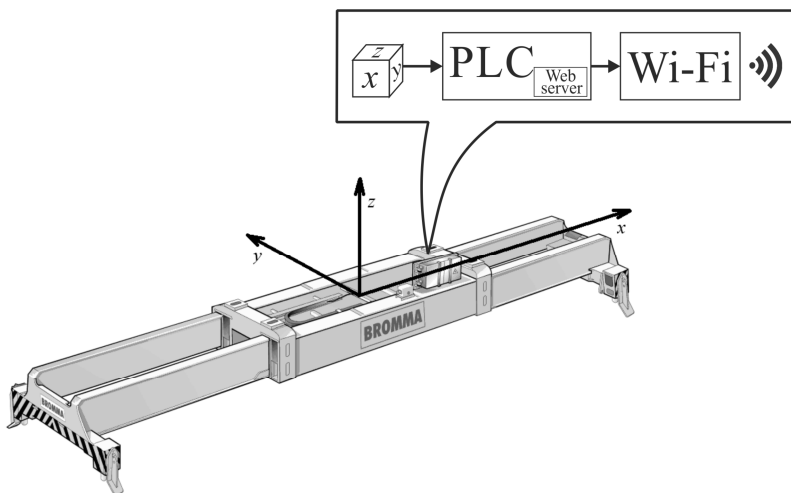


Рис. 2. Установка акселерометра на спредер

В настоящее время для определения координат используются следующие типы систем и датчиков: GPS, ИНС, БИНС, акселерометры, гироскопы, гирокомпасы. Проанализируем возможность использования этих систем и датчиков для компьютерной системы учета загрузки контейнерова.

При использовании GPS для регистрации перемещения контейнера в пространстве в качестве основной системы суммарная погрешность при влиянии всех составляющих для измерения псевдодалности составляет более 13 метров, что недопустимо при стандартных габаритных размерах 20-ти футового контейнера 6,1x2,4x2,8 м.

В отличие от GPS инерциальные навигационные системы (ИНС) имеют преимущества [6]:

- высокая информативность и универсальность применения;
- полная автономность действия;
- высокая помехозащищенность;

возможность высокоскоростной выдачи информации (до 100 Гц и выше).

Однако недостатком таких систем является то, что в своем составе ИНС используют гиросtabilизированные платформы, являющиеся сложными и дорогостоящими техническими устройствами.

Этого недостатка лишены бесплатформенные навигационные системы БИНС, которые по сравнению с ИНС имеют следующие преимущества:

- меньшие размеры, массу и энергоемкость;
- существенное упрощение механической части системы и ее компоновки и, как следствие, повышение надежности системы;
- сокращение времени установки начальных параметров;
- универсальность системы, поскольку переход к определению тех или иных параметров навигации осуществляется алгоритмически.

К главному недостатку БИНС-систем относят ошибки, которые накапливаются при долговременной и непрерывной работе (как правило, более шести часов), однако в разработанной компьютерной системе долговременная и непрерывная работа не предусмотрена спецификой работы – погрузочно/разгрузочными работами (загрузка одного контейнера происходит в течении двух минут).

В данных системах угловые скорости объекта измеряются гироскопами, а переносные ускорения – акселерометрами.

Классификация гироскопов и акселерометров выполнена на основе [7 - 10] после анализа и корректировки (рис. 3 и 4).

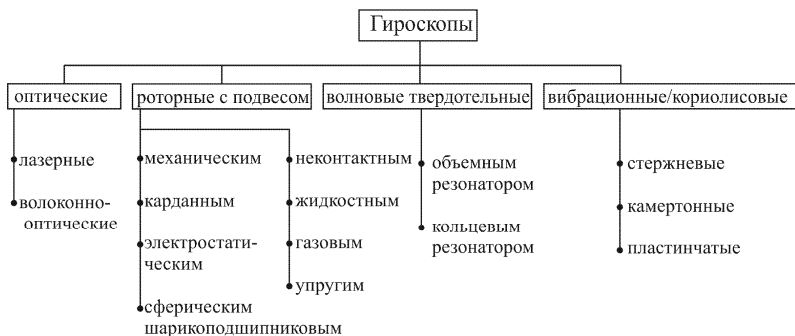


Рис. 3. Классификация гироскопов

Перед выбором гироскопа и акселерометра необходимо определиться с типом измеряемых параметров, которые присутствуют при погрузочно/разгрузочных работах.

В процессе работы эти параметры меняются и проходят три стадии:

- ударное ускорение в начале работы;

движение в процессе перемещения контейнера;
ударное ускорение в конце погрузки контейнера.



Рис. 4. Классификация акселерометров

В результате анализа [11] была синтезирована табл. по видам ударного ускорения в соответствии с применяемым к объекту воздействием.

Таблица
Ударное ускорение в соответствии с силой воздействия

Вид ускорения и зона регистрации	Сила воздействия, г
Низкий уровень	< 500
Столкновение	< 2000
Дальняя зона	500 ... 1000, датчик на расстоянии 2 м от точки удара
Ближняя зона	> 5000, датчик на расстоянии менее 1 м от точки удара

Детальный анализ этой группы ударных ускорений позволило сделать следующие выводы.

Для измерения малых ударных ускорений оптимально использовать акселерометры общего применения. Акселерометр должен иметь

линейный диапазон до 500 г и максимально допустимую ударопрочность 500 г. Обычно для этого используются датчики с выходным сигналом по напряжению, т.к. они менее чувствительны к вибрациям кабеля. Для ослабления резонанса рекомендуется использовать усилитель с фильтром нижних частот.

Большие ударные ускорения применяются в случае тестовых испытаний автотранспорта на безопасность при моделировании аварийных ситуаций и в разработанной компьютерной системе не могут быть использованы.

Для измерения ударов в дальней зоне применяются специализированные акселерометры со встроенным фильтром и сдвиговой модой. Электронный фильтр уменьшает собственную резонансную частоту акселерометра, предотвращая перегрузку оборудования.

Рабочий диапазон акселерометров для измерения в ближней зоне может достигать свыше 20 тыс. г. В этом случае используются устройства со встроенным механическим фильтром и параметрами, сопоставимыми с параметрами акселерометров дальней зоны.

Проведем анализ акселерометров (рис. 4), выполненных по различным технологиям, для использования в разработанной компьютерной системе.

Волоконно-оптические акселерометры [12, 13] используются в основном, как датчики вибраций и в разработанной системе могут применяться только как дополнительные датчики нивелирования данного паразитного эффекта. Пьезорезистивные акселерометры имеют низкую чувствительность и используются для измерения ударного ускорения и в меньшей степени – при измерении вибраций. Они широко применяются в испытаниях на ударную прочность при столкновении с препятствием и использование их в нашей системе малоэффективно. Емкостные акселерометры используются для измерений низкочастотных вибраций, движения и установившегося ускорения, но не предназначены для регистрации ударного ускорения.

Пьезоэлектрические акселерометры наиболее широко применяются в устройствах по тестированию и измерениям. Эти устройства работают в очень широком диапазоне частот (от нескольких Гц до 30 кГц) и имеют различную чувствительность, вес, размеры и форму. Они имеют зарядовый выход или выход по напряжению и применяются для измерения движения и ударов.

Однако пьезокерамика обладает следующими недостатками.

1. Нестабильность параметров материала во времени и при изменении температуры окружающей среды. Одним из важнейших параметров акселерометра является крутизна функциональной зависимости

сти выходного сигнала от измеряемого ускорения во всем диапазоне измерений. Если этот параметр линеен, он называется масштабным коэффициентом и зависит от температуры окружающей среды, в которой работает акселерометр. Эта зависимость объясняется влиянием температуры на электромеханические компоненты, составляющие собственно акселерометр – датчик, формирующий выходной электрический сигнал как функцию измеряемого ускорения, и электронные компоненты схемы обработки сигнала акселерометра [14].

2. При возбуждении пьезоэлемента на резонансной частоте на его электродах появляются переменные заряды, величина и фаза которых определяются амплитудой и фазой механических колебаний пьезоэлемента и соответственно внешнего возбуждающего напряжения и тока через него. Возникает резонансная зависимость сопротивления пьезоэлемента от частоты возбуждающего напряжения.

3. Гистерезис и зависимость перемещения при действии постоянной и переменной нагрузками. Режим переменной нагрузки является рабочим режимом. Введение в схему постоянной нагрузки позволяет сместить петлю гистерезиса. При проектировании предварительная нагрузка должна быть не менее $1/10$ от жесткости пьезоэлемента [15].

4. При воздействии на пьезоэлемент электрического поля, он деформируется и при этом у него, как и у многих других твердых тел, наблюдается релаксация, характеризуемая временем перехода в равновесное состояние. Если при чисто механической деформации это связано только с потерями на внутреннее трение, то в данном случае можно говорить о совокупном влиянии диэлектрических и механических потерь. Механическая релаксация пьезокерамики – это последнее (или ползучесть). Величина деформации ползучести для различных пьезоматериалов может находиться в пределах от 4 до 20 % от общего перемещения. Время релаксации также может колебаться от десятых долей секунды до нескольких часов. В отличие от ползучести, последствие представляет собой деформацию пьезоматериала после снятия электрического напряжения и имеет практически такие же численные значения характеристик.

Нивелирование рассмотренных недостатков возможно путем изменения режимов работы пьезоэлементов [16, 17].

Таким образом, в результате анализа существующих типов компонентов для измерения координат, типа измеряемых параметров, в связи со спецификой перемещаемого объекта проведено обоснование выбора пьезокерамики в качестве материала для блока датчиков в составе измерительного блока компьютерной системы учета загрузки контейнеровоза.

СПИСОК ЛІТЕРАТУРИ

1. Review of Maritime Transport 2015 [Електронний ресурс]. - Режим доступа: http://unctad.org/en/PublicationsLibrary/rmt2015_en.pdf (дата обращения: 27.08.2017).
2. WTO Annual Report 2015 [Електронний ресурс]. - Режим доступа: https://www.wto.org/english/res_e/booksp_e/anrep_e/anrep15_e.pdf (дата обращения: 02.09.2017).
3. Нікольський В.В. Система підтримки прийняття рішення по навантаженню великотоннажного контейнеровоза / В.В. Нікольський, М.В. Нікольський, Ю.А. Накул // Наукові праці ЧДУ ім. Петра Могили. – Серія: “Комп’ютерні технології”. – Вип. 271. – Т. 283. – Миколаїв, 2016. – С. 60 – 63.
4. Нікольський В.В., Накул Ю.А., Стовманенко В.С. Система контролю завантаження контейнеровозів / В.В. Нікольський, Ю.А. Накул, В.С. Стовманенко // Судовождение, – 2017. – Вип. 27. Одесса: НУ "ОМА". – С. 127 – 136.
5. Горб С.И., Никольский В.В., Хнюнин С.Г., Шапо В.Ф. Техническое обеспечение подготовки судовых инженеров по системам автоматизации с программируемыми контроллерами // Автоматизация судовых технических средств: науч. -техн. сб. – 2016. – Вип. 22. Одесса: НУ "ОМА". – С. 39 – 46.
6. Доросинский Л.Г., Богданов Л.А. Основы и принципы построения инерциальных навигационных систем // Современные проблемы науки и образования. – 2014. – № 5. [Электронный ресурс]. - Режим доступа: <https://www.science-education.ru/ru/article/view?id=14356> (дата обращения: 04.09.2017).
7. Распопов В.Я. Микромеханические приборы: Отдельное издание для вузов. – М.: Машиностроение, 2007. – 400 с.
8. Сандлер А.К., Никольский В.В., Хнюнин С.Г. Использование волоконно-оптических устройств для предотвращения техногенных катастроф на судах // Автоматизация судовых технических средств: науч. -техн. сб. - 2004. - Вип. 9. - Одесса: ОНМА. – С. 82 – 90.
9. Нікольський, В.В., Сандлер, А.К., Стеценко, М.С. Пьезоелектрические датчики перемещений. //Автоматика-2004: матеріали 11 міжнародної конференції по автоматичному управлінню – Київ: НУХТ. – 2004. – С. 46.
10. Нікольський, В.В., Сандлер, А.К. П'єзооптичний акселерометр: Деклараційний патент України № 71295А, МПК 7G01M11/00 – заявл. 18.12.2003. // Опубл. 15.11.2004, бюл. № 11.
11. Bruce Lent. Endeavo Corp. Simple Steps to Selecting the Right Accelerometer [Електронний ресурс] – Опубл. 01.03.2009. – Режим доступа:

тупа: <http://www.russianelectronics.ru/leader-r/review/2193/doc/48429/>,
<http://www.sensormag.com/components/simple-steps-to-selecting-right-accelerometer> (дата обращения: 02.09.2017).

12. Сандлер, А.К., Никольский, В.В. Разработка пьезооптического акселерометра для диагностирования энергоустановок. // Техніка в сільськогосподарському виробництві, галузеве машинобудування, автоматизація. – Кировоград: КДТУ. – 2004. – № 14. – С. 329 – 338.

13. Сандлер, А.К., Никольский, В.В. Разработка пьезооптического акселерометра для диагностирования энергоустановок. // Техніка в сільськогосподарському виробництві, галузеве машинобудування, автоматизація. – Кировоград: КДТУ. – 2004. – № 14. – С. 329 – 338.

14. Алалуев Р.В., Иванов Ю.В., Малютин Д.М., Распопов В.Я., Дмитриев В.А., Ермилов С.П., Ермилова Г.А. Высокоточная алгоритмическая компенсация температурной неустойчивости масштабного коэффициента акселерометра / Р.В. Алалуев, Ю.В. Иванов, Д.М. Малютин, В.Я. Распопов, В.А. Дмитриев, С.П. Ермилов, Г.А. Ермилова // Датчики и системы, 2009. [Электронный ресурс]. – Режим доступа: <http://naukarus.com/vysokotochnaya-algoritmicheskaya-kompensatsiya-temperaturnoy-nestabilnosti-masshtabnogo-koeffitsienta-akselerometra> (дата обращения: 02.09.2017).

15. Piezo Motion for Precision Positioning Introduction [Электронный ресурс]. – Режим доступа: http://www.pi-usa.us/tutorial/4_24.html (дата обращения: 02.09.2017).

16. Джагулов Р.Г., Плавинский Е.Б., Никольский В.В., Веретенник А.М. Измерительные преобразователи: учебное пособие. – Одесса: Астропринт, 2002. – 216 с.

17. Хнюнін С.Г. Моделі, методи та засоби створення комп'ютерної системи визначення ефекту Коанда на базі п'єзоперетворювачів: дис. ... канд. техн. наук : 05.13.05 / Хнюнін Сергій Герогійович. – Миколаїв, 2017. – 156 с. [Электронный ресурс]. – Режим доступа: <https://chmnu.edu.ua/wp-content/uploads/2016/04/dis.pdf> (дата обращения: 18.09.2017).