

Машины и Установки проектирование, разработка и эксплуатация

Сетевое издание
МОО «Стратегия объединения»
<http://maplants-journal.ru>

Ссылка на статью:

//Машины и установки: проектирование,
разработка и эксплуатация.
Электрон. журн. 2023. № 2. С. 44 – 57.

DOI:

Представлена в редакцию: 07.03.2023

Принята к публикации: 16.03.2023

© МОО «Стратегия объединения»

УДК 621. 86

Применение алгоритма скользящего среднего для задачи определения массы груза

Михалев А.В., Назаров А.Н. *

* alexnazavr@yandex.ru

МГТУ им. Н. Э. Баумана (Москва, Россия)

Исследование посвящено разработке алгоритма весоизмерения применительно к грузоподъемным кранам. Спецификой задачи является длительно затухающий динамический процесс с одной преобладающей по амплитуде гармоникой.

На основе анализа литературы выявлен фильтр (скользящее среднее), наиболее пригодный для условий данной задачи.

Целью исследования ставилась разработка алгоритма весоизмерения с использованием фильтра скользящего среднего.

Описаны этапы работы алгоритма: определение начала подъема, поиск пиковой нагрузки, определение периода колебаний, сглаживание данных, определение массы груза с заданной точностью.

Экспериментальное сравнение алгоритмов, использующих фильтр скользящего среднего и непосредственное осреднение, показало независимость влияния алгоритма на повторяемость. При этом за счет применения разработанного алгоритма удалось снизить время весоизмерения в 4...9 раз (1,0...6,1 с).

Выявлена зависимость времени измерения от точности вычисления длины буфера, определяемого по периоду наиболее высокоамплитудной гармоники. Данная зависимость определяет требование к аналого-цифровому преобразователю весоизмерительного устройства.

Сделан вывод о высокой степени применимости алгоритма с фильтром скользящего среднего для задачи измерения массы груза в условиях статического взвешивания (при отключенных механизмах).

Ключевые слова: алгоритм весоизмерения, крановые весы, алгоритм скользящего среднего, нагрузка на механизм подъема, измерение массы груза.

Благодарности: авторы статьи выражают свою благодарность научному руководителю к.т.н. Иванову Сергею Дмитриевичу, сотрудникам кафедры «Подъемно-транспортные системы» МГТУ им. Н.Э. Баумана и коллективу ЗАО «ИТЦ «КРОС» за их помощь, рекомендации, ценные замечания и критику.

Введение

Задача определения массы груза является важной как с точки зрения обеспечения безопасности эксплуатации грузоподъемных машин [1], так и для проведения вспомогательных технологических операций взвешивания [2]. Несмотря на схожесть задачи регистратора параметров работы крана и крановых весов, условия ее решения отличаются. В первом случае определение массы груза происходит при произвольном по продолжительности и очередности наборе команд управления механизмами, что является причиной возникновения продольно-поперечных колебаний в канате, являющихся результатом сложением гармоник разной частоты и амплитуды [3-5].

В свою очередь крановые весы являются прибором статического взвешивания. При применении статического взвешивания в технологический процесс крана должна быть встроена операция: остановка всех механизмов крана после отрыва груза от основания на время, необходимое для уменьшения ошибки измерения до допустимого значения. Введение в технологический процесс этой операции уменьшает производительность крана, и чем больше время, необходимое для измерения, тем меньше производительность.

При решении задачи определения массы груза необходимо учитывать, что динамические процессы в механической системе крана затухают дольше, чем происходит взвешивание (рис. 1). Таким образом, время, в течение которого требуется определить массу груза в пределах допустимой ошибки (в случае регистратора параметров работы крана¹) или класса точности (для крановых весов²), обработав и исключив влияние динамического процесса, является одной из ключевых эксплуатационных характеристик. Несмотря на важность времени измерения с точки зрения применимости устройства в реальном технологическом процессе, данная эксплуатационная характеристика в актуальной нормативной и технической документации не нормируется.

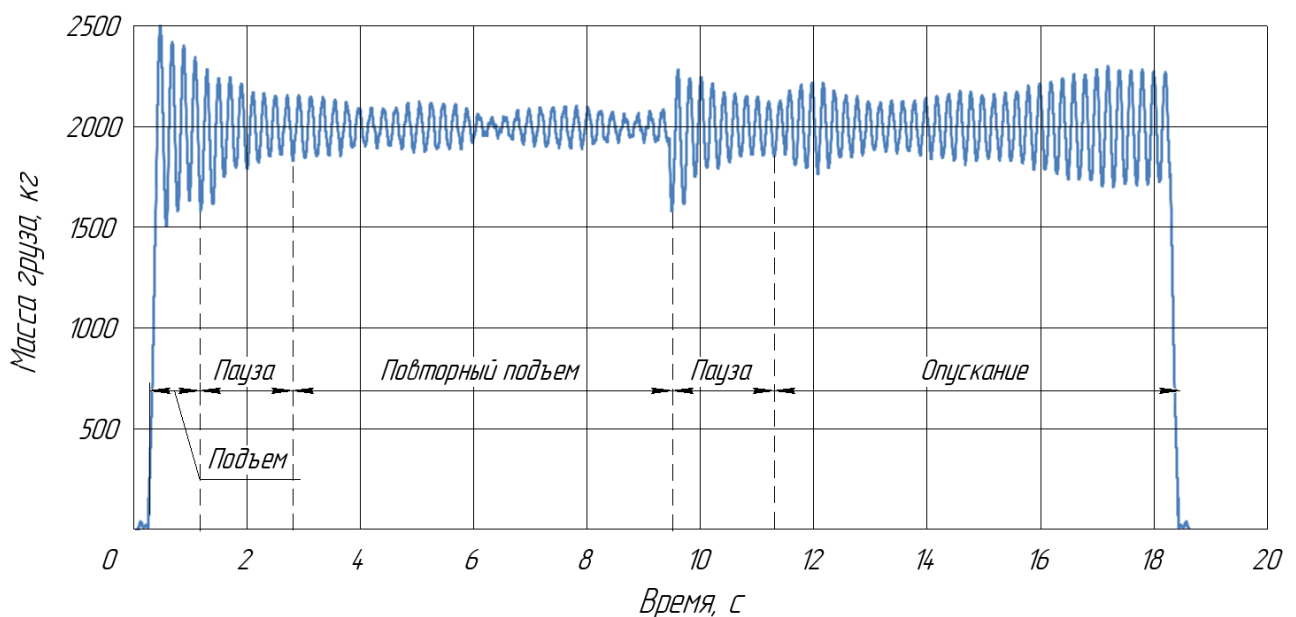


Рис. 1. Усилие в механизме подъема, приведенное к массе груза, за цикл работы механизма подъема.

¹ ГОСТ 33713-2015 Краны грузоподъемные. Регистраторы параметров работы. Общие требования.

² ГОСТ OIML R 76-1-2011 Государственная система обеспечения единства измерений (ГСИ). Весы неавтоматического действия. Часть 1. Метрологические и технические требования. Испытания.

В данной работе решалась задача применительно к статическому взвешиванию груза. Производители крановых весов утверждают, что время определения массы не превышает 5 секунд [6-8]. Таким образом, как видно из рис. 1, взвешивание следует проводить, пока динамический процесс еще не закончился.

Помимо точности нормируемой характеристикой крановых весов является повторяемость [9] – способность весов показывать близкие друг к другу результаты для одной и той же нагрузки, прикладываемой к грузоприемному устройству несколько раз практически одним и тем же способом при достаточно постоянных условиях испытаний. Алгоритм обработки выходного сигнала является одним из определяющих факторов для данной характеристики, так как выходной сигнал датчика достаточно мал, не более десятков милливольт. Соответственно значительное влияние на сигнал оказывают помехи со стороны токопроводящих частей крана и самих весов, помехи на питании тензометрического моста датчика нагрузки, помехи при усилении сигнала с датчика и обработке его на АЦП. Помимо этого, динамический процесс отличается от взвешивания к взвешиванию даже при одинаковой массе груза и одинаковом расположении тележки и крана (рис. 2).

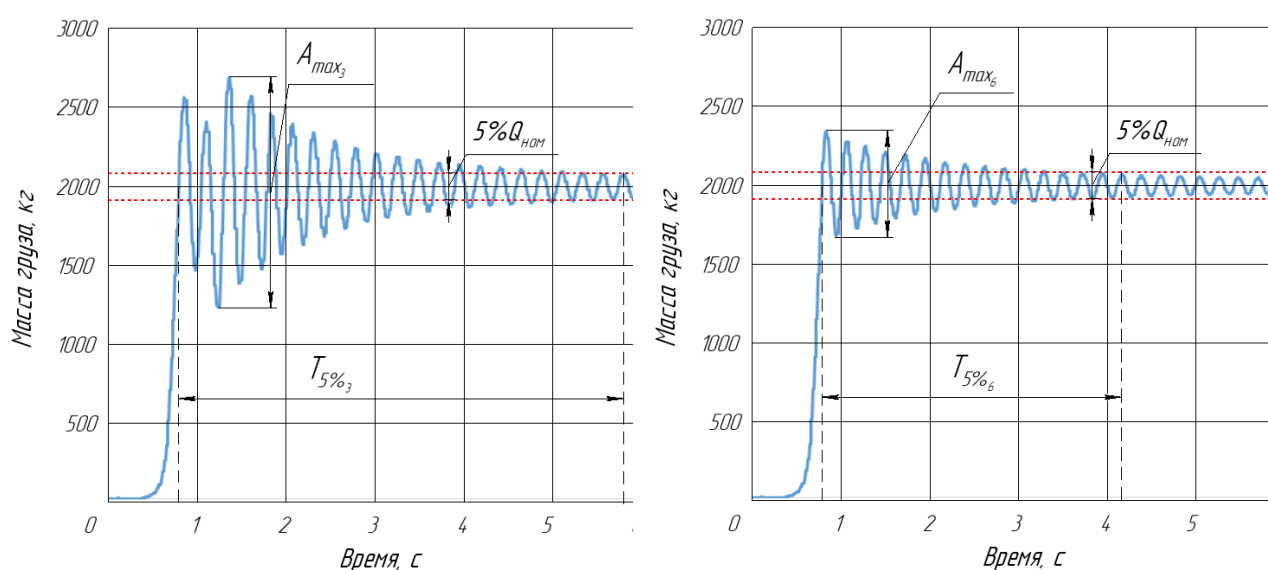


Рис. 2. Различия динамических процессов при взвешивании груза одной массы. A_{max_i} – максимальная амплитуда динамического процесса в i -м подъеме; $T_{5\%_i}$ – время снижения амплитуды колебаний до порогового значения (5% от среднего) в i -м подъеме.

Таким образом, выбор и реализация алгоритма для обработки выходного сигнала с датчика нагрузки является одной из важнейших задач при разработке и совершенствовании крановых весов.

В практических приложениях систем взвешивания из-за различий в окружающей среде взвешивания на процесс измерения оказывают влияние периодические сигналы помех и аperiodические случайные сигналы [10; 11]. Из-за различных помех алгоритмы фильтрации, используемые в системе, также различаются [12]. В современных алгоритмах фильтрации метод ограничения (the limiting filtering method) и метод медианной фильтрации могут эффективно фильтровать импульсные помехи, вызванные случайными факторами, но не могут подавить сигнал периодических помех [13]. Метод фильтрации скользящего среднего имеет хороший эффект подавления периодических помех с высокой плавностью, что наиболее применимо к фильтрации периодических колебаний груза. При этом данный фильтр плохо подавляет случайные импульсные помехи [14]. В работах [12; 15; 16] рассмотрена

применимость различных алгоритмов для весоизмерительной системы грузоподъемного крана (непосредственное осреднение, поиск экстремумов без сглаживания, с гауссовым сглаживанием и с предварительной интерполяцией, нелинейная интерполяция, скользящее среднее). Сравнение проводилось по повторяемости, сходимости и требовательности к параметрам АЦП. Наилучшим оказался алгоритм осреднения с фильтром скользящего среднего.

Целью исследования является разработка алгоритма весоизмерения с использованием фильтра скользящего среднего.

Задачи:

- разработать алгоритм весоизмерения, использующий для оценки массы груза фильтр скользящего среднего;
- оценить влияние на повторяемость длины окна сглаживания;
- сравнить алгоритм скользящего среднего и непосредственного осреднения.

Материалы и методы

В качестве экспериментальной установки использовали двухбалочный мостовой кран КМГ-201 грузоподъемностью 2 т и пролетом 16 м. Использован наборный груз общей массой 2000 кг (10 грузов по 200 кг). Механическая часть крановых весов, использованных в исследовании, содержит следующие элементы: омегаобразную скобу, тензометрический датчик – тензоось, крюк.

Выходной аналоговый сигнал принимался платой сбора данных, включающей в себя блок питания, усилитель сигнала с датчика, АЦП, микроконтроллер, преобразующий информацию от АЦП в протокол для передачи на ПК по последовательному порту, и микросхему, преобразующую выходной сигнал микроконтроллера в стандарт физического уровня RS-232.

Данная плата обеспечивает запись сигнала с частотой 20 Гц. Для приёма и сохранения полученных данных на компьютере использовалось специализированное программное обеспечение, которое в реальном времени принимает и записывает данные, отправляемые платой сбора данных. По окончании записи массивы данных, включающие время и значения усиленных и оцифрованных сигналов, сохранялись в текстовый файл для дальнейшего анализа. На рис. 3 представлена схема сбора данных во время эксперимента.

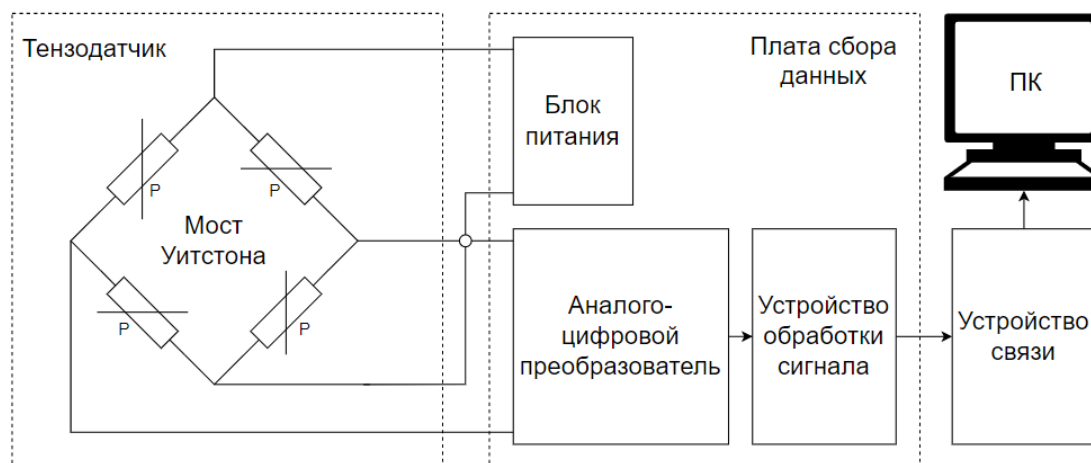


Рис. 3. Схема системы сбора и обработки данных усилия в механизме подъема.

Первой операцией, выполняемой алгоритмом весоизмерения, является определение момента начала подъёма груза. Для этого можно использовать срабатывание по порогу или по скорости возрастания значений, после преодоления которых устанавливается флаг, сигнализирующий о начале сохранения данных в массив измерения (рис. 4). С этого момента начинает сохраняться не только значение, но и счетчик значений.

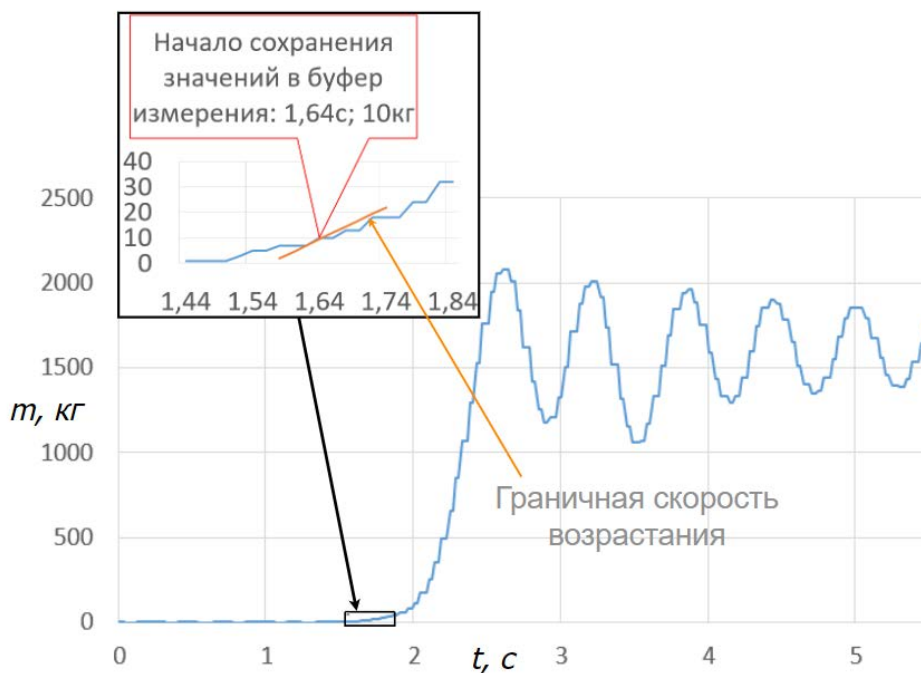


Рис. 4. Определение момента начала подъёма груза.

Следующим этапом алгоритма является определение пиковой нагрузки, необходимой для вычисления периода колебаний.

Алгоритм следует за записываемыми данными, отставая на 5 значений за последним считанным. Количество значений отставания определяется периодичностью шума и числом повторяющихся сигналов, возникающих из-за несовпадения частоты оцифровки сигнала и частоты передачи данных.

Суть поиска максимума заключается в следующих двух проверках (1), (2):

$$M_{i-5} \dots M_{i-1} < M_i < M_{i+1} \dots M_{i+5} \quad (1)$$

$$M_{i-5} < M_i - \Delta < M_{i+5} \quad (2)$$

где i – счетчик значений;

M_i – i -е значение сигнала;

M_{i+5} – значение сигнала в точке $i + 5$;

Δ – пороговая разница при определении пикового значения;

M_{i-5} – значение массы в точке $i - 5$.

Счетчик значения, которое проходит проверку, сохраняется и обозначается как i_{max} .

На рис. 5 представлена упрощенная иллюстрация алгоритма.

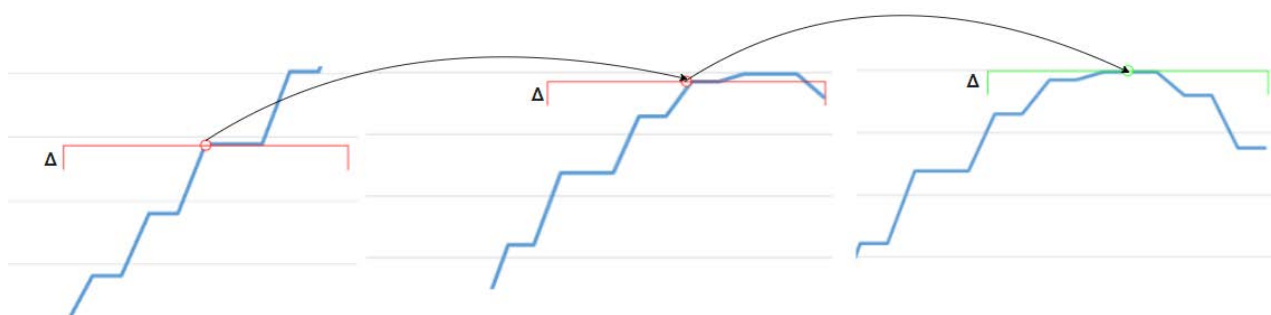


Рис. 5. Этап определение пикового значения нагрузки. Δ – пороговая разница при определении пикового значения.

Выбирается первое значение, удовлетворяющее заданным условиям (рис. 6). При этом значение счетчика указывает на временное расположение пика.

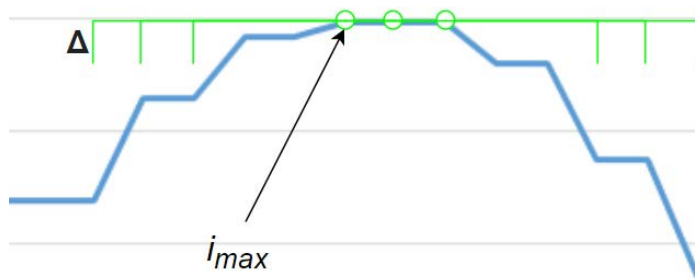


Рис. 61. Выделение пиковой нагрузки среди нескольких равных значений.
 i_{max} – номер измерения, соответствующего пиковому значению нагрузки.

Далее в случае метода непосредственного осреднения для каждого нового значения вычисляется среднее значение измерений на текущей итерации алгоритма (формула 3) [15]:

$$A_i = \frac{\sum_{k=i_{max}}^i M_k}{i - i_{max}} \quad (3)$$

и среднеквадратическое отклонение (формула 4) [15]:

$$S_i = \sqrt{\frac{\sum_{k=i_{max}}^i (M_k - A_k)^2}{i - i_{max} + 1}} \quad (4)$$

Далее происходит сравнение среднеквадратичного отклонения с заданной точностью весов. Когда среднеквадратичное отклонение входит в пределы точности, запускается счетчик. Если следующее среднеквадратичное отклонение также соответствует заданной точности, то счетчик прибавляется, если нет – обнуляется. Когда счетчик достигает требуемого числа, среднее значение измерения принимается соответствующим действительной массе груза.

При обработке сигнала с использованием фильтра скользящего среднего формируется дополнительный отфильтрованный массив данных. Результат фильтрации – есть среднее арифметическое последних N отсчетов входного сигнала (формула (5)). Далее массив данных, количество значений в котором равняется N , обозначается как буфер.

$$y_n = \frac{1}{N} \sum_{k=0}^{N-1} M_k, \quad (5)$$

где y_n – n -е значение выходного сигнала после фильтрации скользящим средним;

N – длина буфера;

M_k – k -е значение сигнала.

Длина буфера N является характерной для конкретного крана, груза, жесткости канатного подвеса, расположения тележки. При этом длина буфера должна быть кратна периоду колебаний наибольшей амплитуды.

Для вычисления периода колебаний после определения момента достижения максимума аналогично находим положение локального минимума, используя следующие соотношения (формула (6), (7)):

$$M_{i-5} \dots M_{i-1} > M_i > M_{i+1} \dots M_{i+5} \quad (6)$$

$$M_{i-5} > M_i - \Delta > M_{i+5} \quad (7)$$

Использование данного алгоритма вместо дифференцирования и определения момента смены знака производной обосновано тем, что возможны импульсные помехи, которые могут быть ложно приняты за локальный экстремум главной гармонике колебаний груза.

Значение периода собственных колебаний и зависящую от него длину буфера находят по формуле (8):

$$T = 2 \cdot (i_{max} - i_{min}) = \frac{1}{2} N \quad (8)$$

После окончания этапа заполнения первого буфера начинается вычисление среднего значения буфера, которое происходит на каждой следующей итерации при поступлении нового значения (формула (9)):

$$Mean_i = \frac{\sum_{k=0}^{i+N-1} M_k}{N} \quad (9)$$

Иллюстрация данного этапа представлена на рис. 7.

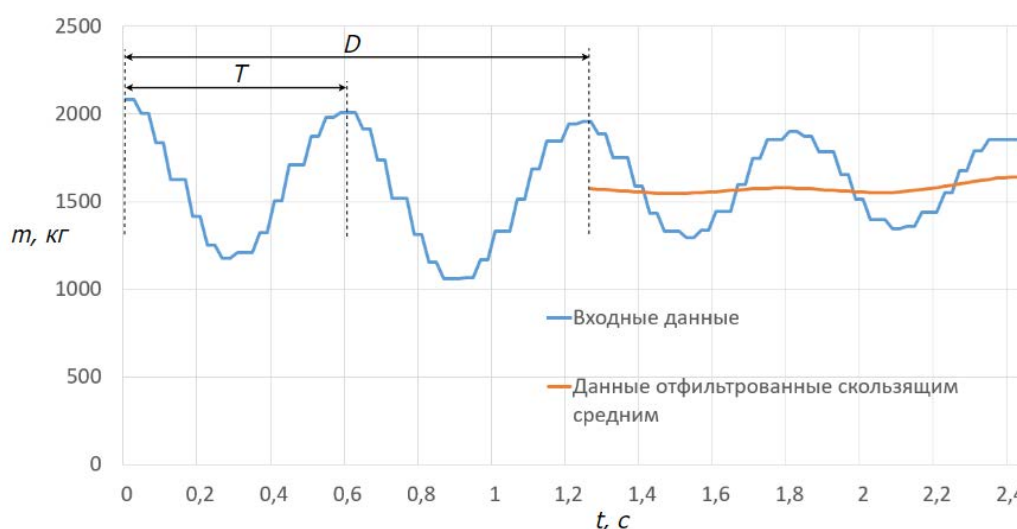


Рис.7. Графическое представление обработки сигнала скользящим средним. T – период собственных колебаний, D – отставание по времени данных в отфильтрованном массиве, равное произведению длины буфера на частоту опроса АЦП.

Вид динамического процесса после обработки исходных данных фильтром скользящего среднего имеет вид рис. 8.

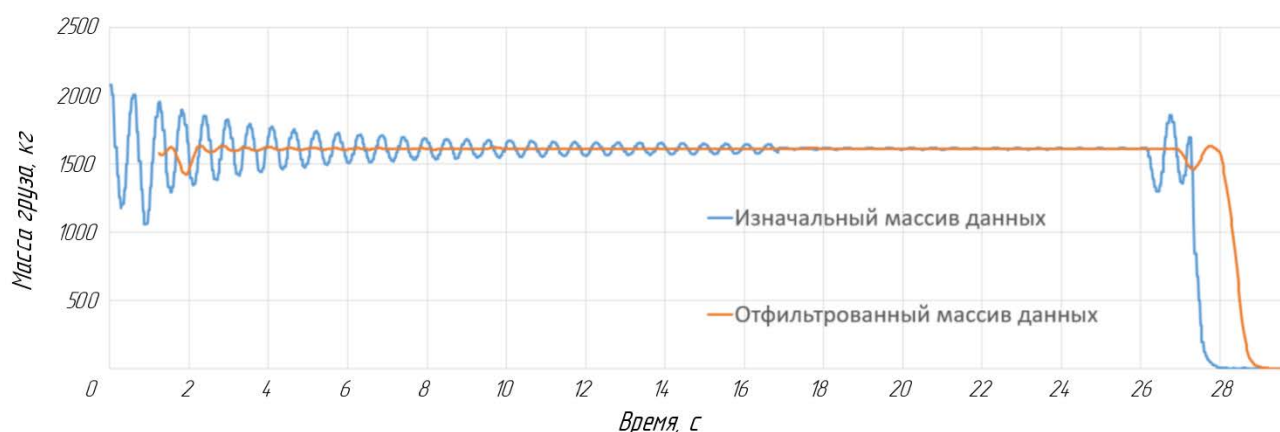


Рис. 8. Выходная функция после обработки сигнала фильтром скользящего среднего

Параллельно с началом вычисления среднего на длине буфера определяют среднее за общее время измерения и среднеквадратические отклонения по формулам (3) и (4), как и в случае непосредственного осреднения. При этом ожидается сокращение времени измерения за счет более быстрой сходимости предварительно отфильтрованных данных.

Результаты

В таблице 1 приведены результаты определения массы груза с применением описанных алгоритмов скользящего среднего и непосредственного осреднения в серии из 10 подъемов груза массой 2 т. Для каждого измерения представлено время, за которое среднеквадратичное отклонение сошлось до значения допустимой ошибки.

Таблица 1. Масса груза и время измерения в зависимости от алгоритма весоизмерения.

№ взвешивания	Масса (фильтр скользящего среднего), кг	Время измерения, с	Масса (непосредственное осреднение), кг	Время измерения, с
1	2005	5,1	2004	27,4
2	1997	6,0	1998	29,7
3	2002	5,4	2002	26,9
4	2003	1,0	2002	9,3
5	1998	1,0	1999	7,8
6	2001	12,7	-	более 30
7	1993	1,0	1993	11,2
8	2003	1,0	2001	8,5
9	1999	6,1	1999	23,8
10	2002	1,0	2003	9,4

Для определения влияния длины буфера была произведена обработка динамических процессов алгоритмом скользящего среднего. Проверялось влияние кратного увеличения длины буфера. Влияние точности определения длины буфера определялось варьированием его длины на 10% в сторону уменьшения и увеличения.

Таблица 2. Время измерения при различных длинах буфера в случае алгоритма скользящего среднего.

№ взвешивания	Масса (фильтр скользящего среднего), кг	Время измерения, с			
		N=T	N=2T	N=0,9T	N=1,1T
1	2005	5,1	5,3	12,5	11,2
2	1997	6,0	6,1	13,1	12,7
3	2002	5,4	5,2	13,0	12,9
4	2003	1,0	1,2	5,7	5,2
5	1998	1,0	1,3	4,8	4,3
6	2001	12,7	10,8	8,3	15,1
7	1993	1,0	1,2	4,5	4,4
8	2003	1,0	1,2	5,1	5,2
9	1999	6,1	5,7	4,2	4,7
10	2002	1,0	1,2	5,3	4,4

Заключение

В работе проведено сравнение алгоритмов весоизмерения: непосредственного осреднения и скользящего среднего. Установлено, что вне зависимости от алгоритма обработки измерений результаты взвешивания груза массой 2000 кг сходятся к одинаковым значениям с погрешностью 2 кг (удовлетворяет 3 классу точности). Эти же результаты определяют вывод о том, что разброс измерений в пределах серии подъемов определяется механической частью весов [17], а не электронной или алгоритмической.

Наибольшее отличие сравниваемых алгоритмов проявляется для эксплуатационной характеристики, не нормируемой существующими стандартами, но имеющей большое значение на практике – времени измерения. За счет предварительного сглаживания гармоник колебаний наибольшей частоты, соответствующей продольным колебаниям каната, удалось снизить время измерения в 4...9 раз. Время измерения при использовании алгоритма скользящего среднего составило от 1,0 до 6,1 с. Такой разброс времени измерения объясняется различными условиями при отрыве груза от основания и фазы отключения двигателя, что определяет различную начальную амплитуду колебаний.

Время измерения зависит также от точности определения периода колебаний и ассоциированной с ним длины буфера осреднения. Ошибка при определении длины буфера на 10% приводит к двукратному увеличению времени измерения. При этом в случае кратного увеличения длины буфера достоверно фиксируемого изменения времени измерения не

происходит. Присутствует лишь незначительное увеличение времени измерения за счет более длительного заполнения в начальный момент работы алгоритма буфера кратной длины.

Выявленная зависимость времени измерения от точности вычисления периода колебаний наибольшей амплитуды определяет требование к частоте оцифровки сигнала АЦП при использовании алгоритма скользящего среднего. В половине измерений удалось достичь времени определения массы груза порядка 1 с, в другой половине время составило 5 с (на уровне существующих на рынке крановых весов). Это свидетельствует об имеющемся потенциале исследуемого алгоритма при условии увеличения частоты опроса датчика нагрузки для более стабильной его работы, что определяется точностью определения длины буфера (периода колебаний).

Таким образом, удалось показать пригодность алгоритма скользящего среднего для задачи определения массы груза в условиях статического взвешивания. Рамки проведенного исследования позволяют судить о применимости исследуемого алгоритма лишь для крановых весов. При этом алгоритм позволяет при выборе достаточно высокой частоты АЦП значительно снизить время измерения, что положительно сказывается на параметрах обслуживаемого технологического процесса и удобстве применения устройства, использующего алгоритм скользящего среднего.

Список литературы

1. Иванов, С. Д. Оценка применимости электрических параметров привода для определения нагрузки на механизм подъема кранов мостового типа / С. Д. Иванов, А. Н. Назаров // Вестник Сибирского государственного автомобильно-дорожного университета. – 2022. – Т. 19, № 1(83). – С. 36-47. – DOI 10.26518/2071-7296-2022-19-1-36-47. – EDN XZSFJQ.
2. Дубровин, Л. М. Контроль грузов на подъёмно-транспортных машинах / Л. М. Дубровин, А. П. Никищечкин, В. И. Давыденко // Мир транспорта. – 2016. – Т. 14, № 3(64). – С. 98-105. – EDN XXJQJT. Визуальное моделирование двухбалочного мостового крана как сложной динамической системы / Л. Н. Ахтулова, А. Л. Ахтулов, О. М. Кирасиров, В. А. Машонский // Каталог научных и инновационных разработок ФГБОУ ВО Омский государственный аграрный университет имени П.А. Столыпина : сборник материалов по итогам научно-исследовательской деятельности. – Омск : Омский государственный аграрный университет имени П.А. Столыпина, 2021. – С. 61-63. – EDN RLWRUM.
3. Еремина, С. В. Особенности динамики механизма подъема груза мостового крана / С. В. Еремина, О. В. Курбацкая // Материалы Международного конгресса ФГБОУ ВПО "СибАДИ" Архитектура. Строительство.Транспорт.Технологии. Инновации, Омск, 01–03 октября 2013 года. Том Книга 1. – Омск: Федеральное государственное бюджетное образовательное учреждение высшего профессионального образования "Сибирская государственная автомобильно-дорожная академия (СибАДИ)", 2013. – С. 21-26. – EDN STZLVZ.
4. Скосырский, Н. П. Влияние предварительных порогов срабатывания ограничителя грузоподъемности на динамику мостового крана / Н. П. Скосырский, В. В. Даньшин, Д. С. Буданов // . – 2016. – № 7(9). – С. 8. – EDN VTPRKH.
5. Назаров А.Н., Иванов С.Д. Исследование влияния работы ограничителя грузоподъемности с промежуточными порогом на безопасность кранов мостового типа. Машины и установки: проектирование, разработка и эксплуатация. 2023;1(1):41 - 52.
6. Крановые весы ВЭК/8-5000. URL: www.smartves.ru/catalog/kranovye-vesy-5-tonn/promyshlennyye-kranovye-vesy-vek-3-5000-udaroprochnyye-do-5-tonn/ (Дата обращения 10.10.2022).

7. Крановые весы КВ Стандарт. URL: <https://uralves.ru/catalog/crane-weighter/crane-scales-standard> (Дата обращения 10.10.2022).
8. Крановые весы ВК «Стриж». URL: <https://www.tenso-m.ru/jelektronnye-vesy/kranovye-vesy/37/> (Дата обращения 07.03.2023).
9. Остривной, А. Ф. Методы поверки большегрузных весов / А. Ф. Остривной, И. Ю. Шмигельский, Р. Ю. Котляров // Законодательная и прикладная метрология. – 2021. – № 2(170). – С. 23-28. – EDN KTOSOB.
10. Исследование прецизионной весоизмерительной системы на платформе PXI/PXI Express в аэродинамической трубе т-102 / Ю. К. Блокин-Мечталин, Н. П. Ильяшенко, Б. Д. Муриев [и др.] // Кимила 2020 : МАТЕРИАЛЫ IV ОТРАСЛЕВОЙ КОНФЕРЕНЦИИ ПО ИЗМЕРИТЕЛЬНОЙ ТЕХНИКЕ И МЕТРОЛОГИИ ДЛЯ ИССЛЕДОВАНИЙ ЛЕТАТЕЛЬНЫХ АППАРАТОВ, Жуковский, 10–11 ноября 2020 года. – Жуковский: ЦЕНТРАЛЬНЫЙ АЭРОГИДРОДИНАМИЧЕСКИЙ ИНСТИТУТ ИМЕНИ ПРОФЕССОРА Н. Е. ЖУКОВСКОГО (ФГУП «ЦАГИ»), 2020. – С. 331-346. – EDN KYJALV.
11. Блокин-Мечталин Ю.К. Цифровой прецизионный тензометрический преобразователь на несущей частоте // Датчики и системы. - 2019. № 7-8. - С. 41-46. EDN: NZDQRL
12. Иванов, С. Д. Создание и экспериментальное обоснование алгоритма работы весоизмерительной системы на базе регистратора параметров / С. Д. Иванов, Н. Л. Михальчик // Подъемно-транспортное дело. – 2019. – № 3-4(97). – С. 27-30. – EDN WRJTFW.
13. Fang Liang, Ou Qingli, “Design of Weighing System Based on Improved Moving Average Filter Algorithm,” Journal of Artificial Intelligence Practice (2021) Vol. 4: 74-77 Clausius Scientific Press, Canada.
14. Kweon SJ, Shin SH, YooHJ. High-Order Temporal Moving-Average Filter Using a Multi-Transconductance Amplifier. Electronics Letters, 2012, 48(15):961-962.
15. Ivanov, S. D. Selection of a rational algorithm for data processing of the weight measuring system of a hoisting crane / S. D. Ivanov, A. N. Nazarov, N. L. Mikhalev // Journal of Physics: Conference Series, Belgorod, 09–10 марта 2021 года. Vol. 1926. – Belgorod: IOP Publishing Ltd, 2021. – P. 012047. – DOI 10.1088/1742-6596/1926/1/012047. – EDN JIUUGG.
16. Михальчик, Н. Л. Построение весоизмерительной системы путем расширения функционала электронного регистратора параметров работы мостового крана / Н. Л. Михальчик, С. Д. Иванов // Инновационное развитие техники и технологий наземного транспорта, Екатеринбург, 06 декабря 2019 года / Уральский федеральный университет имени первого Президента России Б. Н. Ельцина. – Екатеринбург: Издательство Уральского университета, 2020. – С. 169-171. – EDN HAFJBZ.
17. Mikhalev, A. V. Development of the load pin for the crane scales / A. V. Mikhalev // European Journal of Technical and Natural Sciences. – 2022. – No. 6. – P. 62-68. – DOI 10.29013/EJTNS-22-6-62-68. – EDN WPUFWR.

АВТОРЫ

Михалев Александр Васильевич, студент 6 курса каф. «Подъемно-транспортные системы» МГТУ им. Н.Э. Баумана, г. Москва, 2-я Бауманская ул., д. 5, стр. 1, 105005, Россия, mikhalev.alexandr@mail.ru.

Назаров Александр Николаевич, аспирант, ассистент каф. «Подъемно-транспортные системы» МГТУ им. Н.Э. Баумана, г. Москва, 2-я Бауманская ул., д. 5, стр. 1, 105005, Россия, alexnazavr@yandex.ru, ORCID 0000-0002-8039-4331.

Applying the moving average algorithm for the weight calculation task

Aleksandr V. Mikhalev,
Aleksandr N. Nazarov *

* alexnazavr@yandex.ru

Bauman Moscow State Technical University,
Moscow, Russian Federation

The research is devoted to the development of the weight-measurement algorithm for load-lifting cranes. The specifics of the problem is a long damping dynamic process with one amplitude-dominant harmonic. Based on the analysis of the literature, the filter (moving average) most applicable to the conditions of this problem has been found.

The research goal was to develop an algorithm for weight measurement using a moving average filter. The stages of algorithm operation are described: determining the lifting start, searching for the peak load, determining the oscillation period, smoothing the data, determining the mass of the load with a defined accuracy.

Experimental comparison of the algorithms using a moving average filter and a direct averaging showed the independence of the algorithm on the repeatability. At the same time, the application of the developed algorithm made it possible to reduce the weighting time by 4...9 times (1.0...6.1 sec).

The correlation between the measurement time and the accuracy of the buffer length calculation is revealed. This correlation determines the requirement for the analog-to-digital converter of the weighing devices.

It is concluded that the algorithm with a moving average filter is highly applicable to the task of measuring the load mass in conditions of static weighing (with switching off mechanisms).

Keywords: weighing algorithm, crane scales, moving average algorithm, hoisting mechanism workload, weight measurement

Acknowledgements: the authors express their gratitude to the research supervisor PhD Sergey D. Ivanov, employees of the Department "Lifting and Transport Systems" of N.E. Bauman Moscow State Technical University and the team of CJSC «ITC «KROS» for their help, recommendations, valuable comments and criticism.

References

1. Ivanov S. D., Nazarov A. N. Assessment of applicability of electric drive parameters to determine the load on the lifting mechanism of overhead cranes / S. D. Ivanov, A. N. Nazarov // Bulletin of the Siberian State Automobile and Road University. - 2022. - T. 19, № 1(83). - C. 36-47. - DOI 10.26518/2071-7296-2022-19-1-36-47. - EDN XZSFJQ.

2. Dubrovin, L. M. Cargo control on handling machines / L. M. Dubrovin, A. P. Nikishechkin, V. I. Davydenko // *Transport World*. - 2016. - T. 14, № 3(64). - C. 98-105. - EDN XXJQJT. Visual modeling of a double-girder bridge crane as a complex dynamic system / L. N. Akhtulova, A. L. Akhtulov, O. M. Kirasirov, V. A. Mashonsky // *Catalogue of scientific and innovative developments of FSBEI VO Omsk State Agrarian University named after P. A. Stolypin : collection of materials on the results of research activities*. - Omsk : Omsk State Agrarian University named after P.A. Stolypin, 2021. - C. 61-63. - EDN RLWRUM.
3. Eremina S. V. Features of the dynamics of the lifting mechanism of an overhead crane / S. V. Eremina, O. V. Kurbatskaya // *Proceedings of the International Congress of FGBOU VPO "SibADI" Architecture. Construction. Transport. Technologies. Innovations, Omsk, 01-03 October 2013. Vol. Book 1*. - Omsk: Federal State Budgetary Educational Institution of Higher Professional Education "Siberian State Automobile and Road Academy (SibADI)", 2013. - C. 21-26. - EDN STZLVZ.
4. Skosyrsky, N. P. Influence of preliminary thresholds of a load-limiting device on the dynamics of an overhead crane / N. P. Skosyrsky, V. V. Danshin, D. S. Budanov // . - 2016. - № 7(9). - P. 8. - EDN VTPRKH.
5. Nazarov A.N., Ivanov S.D. Study of the effect of the load capacity limiter operation with intermediate thresholds on the safety of bridge-type cranes. *Machines and installations: design, development and operation*. 2023;1(1):41 - 52.
6. VEK/8-5000 crane scales. URL: www.smartves.ru/catalog/kranovye-vesy-5-tonn/promyshlennyye-kranovye-vesy-vek-3-5000-udaroprochnyye-do-5-tonn/ (Accessed 10.10.2022).
7. Crane scales KV Standard. URL: <https://uralves.ru/catalog/crane-weighter/crane-scales-standard> (Accessed 10.10.2022).
8. Crane scales VK "Strizh". URL: <https://www.tenso-m.ru/jelektronnyye-vesy/kranovye-vesy/37/> (Date of access 07.03.2023).
9. Ostrivnaya, A.F. Methods of verification of heavy-load scales / A.F. Ostrivnaya, I.Y. Shmigelsky, R.Y. Kotlyarov // *Legislative and Applied Metrology*. - 2021. - № 2(170). - C. 23-28. - EDN KTOSOB.
10. Research of precision weight-measuring system on platform PXI/PXI Express in wind tunnel t-102 / Yu. K. Blokin-Mechtaln, N.P. Iliashenko, B.D. Muriev [et al] // *Kymila 2020 : MATERIALS OF IV INDUSTRIAL CONFERENCE ON MEASURING TECHNOLOGIES AND METROLOGY FOR FUTURE APPLICATIONS*, Zhukovsky, November 10-11 2020. - Zhukovsky: Central Aero-Hydrodynamic Institute n.a. PROFESSOR N.E. Zhukovsky (FGUP "TSAGI"), 2020. - C. 331-346. - EDN KYJALV.
11. Blokin-Mechtaln Y.K. Digital precision strain gauge transducer at carrier frequency // *Sensors and Systems*. - 2019. № 7-8. - C. 41-46. EDN: NZDQRL.
12. Ivanov, S. D. Creation and experimental justification of the algorithm of the weight measuring system based on the parameter recorder / S. D. Ivanov, N. L. Mikhalechik // *Lifting and Transport Business*. - 2019. - № 3-4(97). - C. 27-30. - EDN WRJTFW.
13. Fang Liang, Ou Qingli, "Design of Weighing System Based on Improved Moving Average Filter Algorithm," *Journal of Artificial Intelligence Practice* (2021) Vol. 4: 74-77 Clausius Scientific Press, Canada.
14. Kweon SJ, Shin SH, YooHJ. High-Order Temporal Moving-Average Filter Using a Multi-Transconductance Amplifier. *Electronics Letters*, 2012, 48(15):961-962.
15. Ivanov, S. D. Selection of a rational algorithm for data processing of the weight measuring system of a hoisting crane / S. D. D. Ivanov, A. N. Nazarov, N. L. Mikhalechik // *Journal of Physics*:

Conference Series, Belgorod, March 09-10, 2021. Vol. 1926. - Belgorod: IOP Publishing Ltd. - P. 012047. - DOI 10.1088/1742-6596/1926/1/012047. - EDN JIUUGG.

16. Mikhalev, N. L. Construction of a weight-measuring system by extending the functionality of the electronic recorder of the parameters of an overhead crane / N. L. Mikhalev, S. D. Ivanov // Innovative development of machinery and technologies of land transport, Ekaterinburg, December 06, 2019 / Ural Federal University named after the first President of Russia B. N. Yeltsin. - Yekaterinburg: Urals University Press, 2020. - C. 169-171. - EDN HAFJBZ.

17. Mikhalev, A. V. Development of the load pin for the crane scales / A. V. Mikhalev // European Journal of Technical and Natural Sciences. – 2022. – No. 6. – P. 62-68. – DOI 10.29013/EJTNS-22-6-62-68. – EDN WPUFWR.

AUTHORS

Aleksandr V. Mikhalev, 6th year student of the department "Lifting and transport systems" of Bauman Moscow State Technical University, Moscow, 2nd Baumanskaya str. 1, 105005, Russia, mikhalev.alexandr@mail.ru.

Alexander N. Nazarov, post-graduate student, assistant of the department "Lifting and transport systems" of Bauman Moscow State Technical University, Moscow, 2nd Baumanskaya str. 1, 105005, Russia, alexnazavr@yandex.ru, ORCID 0000-0002-8039-4331.