

УДК 620.1.052.5:531.7

С.А. Нефёдов, А.В. Ушаков, С.Г. Синичкин

**ОЦЕНКА ВОЗМОЖНОСТЕЙ ПРИМЕНЕНИЯ ВИДЕОСЧИТЫВАНИЯ  
В СИСТЕМЕ УПРАВЛЕНИЯ СИЛОИЗМЕРИТЕЛЬНЫМИ МАШИНАМИ  
ДЛЯ ПОВЕРКИ ДИНАМОМЕТРОВ**

Нижегородский государственный технический университет им. Р.Е. Алексеева

Цель статьи – оценить возможность применения видеосчитывания в системе управления силоизмерительными машинами поверки динамометров для решения задач, связанных с контролем и управлением процессом установки грузов, арретирования грузового рычага и считывания показаний с поверяемого прибора.

*Ключевые слова:* образцовая силоизмерительная машина 2-го порядка механического типа, поверка, динамометр, видеосчитывание, система технического зрения, автоматизированная система управления.

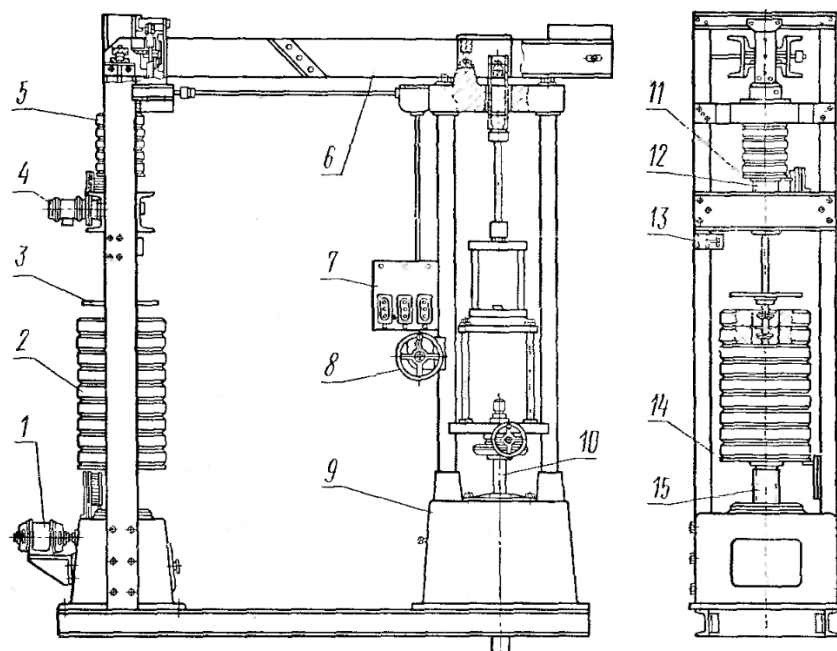
В промышленности широко используются различные динамометры, которые представляют из себя приборы для измерения силы или момента силы. Динамометр состоит из силового звена (упругого элемента) и отсчётного устройства, который обеспечивает визуальное восприятие значений измеряемой величины или связанных с ней величин. В силовом звене измеряемое усилие вызывает деформацию, которая напрямую или через передачу сообщается отсчётному устройству. Существующие динамометры предназначены для измерения усилия от долей до нескольких тысяч ньютонов.

Динамометры, как и другие средства измерений, которые используются в области государственного регулирования обеспечения единства измерений, перед началом применения и в случае ремонта, по его окончанию обязаны пройти первичную поверку, а в период эксплуатации должна быть пройдена периодическая поверка. Поверка средств измерений проводится в строгом соответствии с разработанными и утвержденными стандартами и алгоритмами. Цель поверки - осуществить передачу рабочему средству измерения размер единицы величины от исходного эталонного средства. При выполнении установленного алгоритма поверки, должны быть в наличии требуемые первичные государственные эталоны единиц величин, схемы поверки, необходимая техническая оснастка, утвержденные поверочные методы, высококвалифицированный персонал. Первичная поверка, как и периодическая, выполняется при помощи метода нагрузки и разгрузки динамометров или методом сравнения с эталонными динамометрами, в соответствии с ГОСТ 13782-68.

В настоящее время поверка динамометров выполняется в основном с помощью образцовых силоизмерительных машин 2-го порядка механического типа (ОСМ). Это связано, прежде всего, с высокой точностью процедуры поверки, надежности и универсальности применяемого оборудования.

ОСМ рычажного типа бывают трех типоразмеров с предельными нагрузками: 5, 50 и 100 тс, что соответствует 49, 490 и 980 кН. Конструктивно ОСМ представляют из себя рычажную систему с неравноплечими грузовыми рычагами. К одному из плеч рычага силоизмерительной машины подвешиваются грузы. Каждый отдельный груз или их комплект можно подвесить к рычагу, снять независимо друг от друга, исходя из решаемой задачи. На противоположном конце грузового рычага в специальные захваты устанавливается динамометр. Захваты подбираются в зависимости от принципа действия поверяемого прибора: на сжатие или растяжение. Поверяемый динамометр фиксируется на оборудовании при помощи специального приспособления. Далее его подвергают предварительному обжатию при предельных нагрузках, после чего выполняется его нагружение до максимального уровня измерения и разгрузка - до нулевого, с паузами в проверяемых точках.

Схема ОСМ на усилия до 5 тс представлена на рис. 1.



**Рис. 1. Схема ОСМ на усилия до 5 тс:**

1, 4 - электродвигатель; 2 - нижний комплект грузов; 3 - тарельчатое основание;  
5 - верхний комплект грузов; 6 - грузовой рычаг; 7 - пульт управления; 8 - маховичок;  
9 - основание; 10 - винт нагружения; 11, 14 - поддоны;  
12, 15 - подъемный винт; 13 - указатель равновесия

Оба комплекта грузов 2 и 5 располагаются на поддонах 11 и 14, которые размещены на подъемных винтах 12 и 15. Эти винты приводятся в движение от двух независимо работающих электродвигателей 1 и 4. Во время опускания винта, грузы, установленные на поддоне, опускаются вслед за ним, пока не будет выставлен требуемый вес. Исходя из этого, грузы подвешиваются к длинному плечу рычага 6. Управление винтами 12, 15 осуществляются с пульта 7 или компьютера оператора. Тарельчатое основание 3 расположено между двумя комплектами грузов. Оно необходимо для уравнивания рычага при проверке динамометра или для создания нагрузки, меньшей 100 кгс, что соответствует 900 кН.

Поступательное перемещение винта нагружения 10 с установленным на нем нижним захватом для закрепления динамометра выполняется за счет редуктора с червячной парой и электрического двигателя, которые установлены в основании 9. Равновесие неравноплечего рычага определяют с помощью указателя 13. Арретирование рычага осуществляется маховичком 8, закрепленным на колонне. При проверке динамометра на сжатие используется реверс.

В Нижнем Новгороде поверку динамометров выполняет ФБУ "Государственный региональный центр стандартизации, метрологии и испытаний в Нижегородской области" (НЦСМ) с использованием ОСМ 5 и 50 тс. Для автоматизации этого процесса инженерным центром ИПТМ Нижегородского государственного технического университета им. Р.Е. Алексеева в 2006 году была разработана система управления ОСМ на базе персонального компьютера, средств микропроцессорной техники и бесконтактной автоматики.

Структурная схема автоматизированной системы управления (АСУ) ОСМ представлена на рис. 2. Аппаратные средства АСУ можно разделить на две части:

- 1) блоки, установленные непосредственно на ОСМ (исполнительные двигатели, силовой блок, блок датчиков и автономный пульт управления);
- 2) персональный компьютер с клавиатурой и принтером.

Автономный пульт управления и персональный компьютер связаны интерфейсом RS-232C.

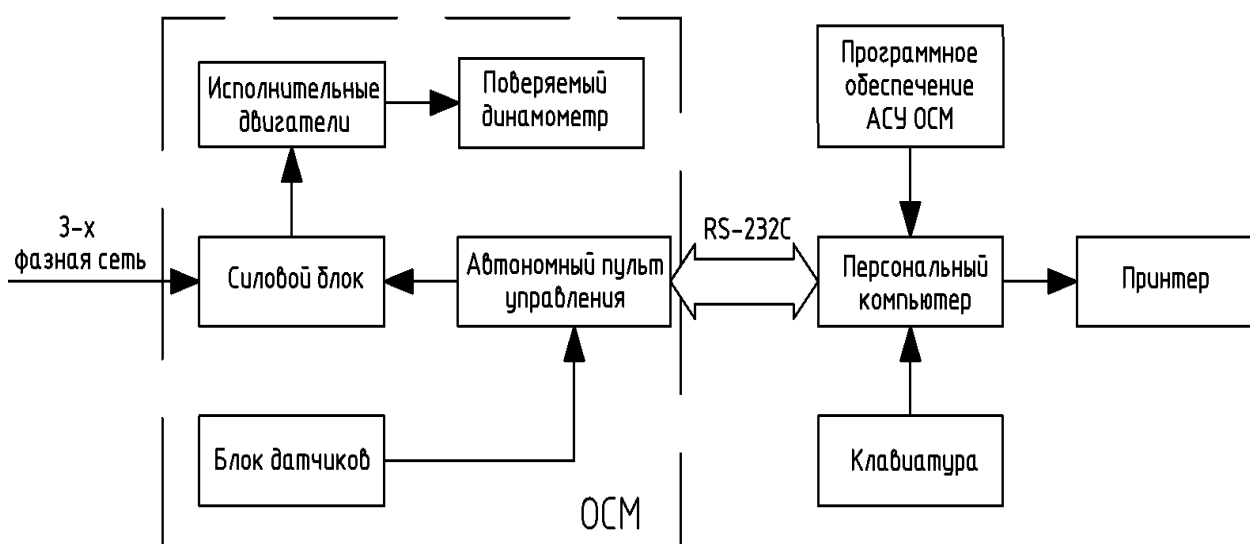


Рис. 2. Структурная схема АСУ ОСМ 5 и 50 тс

Десятилетний опыт эксплуатации в НЦСМ ОСМ с разработанной АСУ позволил определить направления дальнейшего развития АСУ:

- исключение сложной калибровки датчиков отсчета устанавливаемых грузов;
- исключение возможных рывков в механической системе нагружения динамометров в процессе уравнивания;
- обеспечение дистанционного управления и контроля процесса арретирования рычага;
- повышение точности работы устройства определения равновесия грузового рычага в процессе нагружения;
- учет деформации рычага в зависимости от величин установленных грузов для повышения точности определения равновесия рычага;
- исключение визуального считывания оператором показаний с поверяемого динамометра в процессе его нагружения при достижении равновесия рычага;
- повышение уровня автоматизации процесса поверки динамометров ОСМ 5 и 50 тс путем организации комплекса поверки динамометров с единым центром управления.

На основании проведенного анализа ряд перечисленных выше недостатков может быть уменьшен за счет применения метода технического зрения, который заключается в дистанционном видеосчитывании и его использовании в существующей АСУ ОСМ 5 и 50 тс. Используя данный метод можно решить ряд задач:

- разработка системы дистанционного управления установкой грузов;
- разработка системы определения положения равновесия рычага с учетом компенсаций его деформаций в процессе нагружения;
- разработка устройства дистанционного управления и контроля процесса арретирования рычага;
- разработка системы автоматического дистанционного считывания показаний с поверяемого динамометра в процессе нагружения.

Система технического зрения (СТЗ) широко применяется в различных отраслях промышленности и науки. Чаще всего используется для получения информации о местоположении, контроля состояния объектов, распознавания форм объектов и т.д. СТЗ является современным средством визуального контроля и гарантирует максимальную эффективность производства. Правильное использование такой системы ведет к экономии ресурсов и позволяет минимизировать ошибки производства.

Рассмотрим особенности процесса видеосчитывания на базе СТЗ, обобщенная схема которой представлена на рис. 3.



Рис. 3. Обобщенная схема СТЗ

СТЗ реализует сложный процесс выделения, идентификации и преобразования фото- и видеоинформации. Этот процесс содержит шесть основных этапов:

- получение информации;
- предварительная обработка;
- сегментация;
- описание;
- распознавание;
- интерпретация.

Освещение, используемое для подсветки объекта контроля, позволяет выделить необходимые особенности объекта и скрыть или свести к минимуму не интересующие (например, тени или отражения). Для этой цели часто используются светодиоды, люминесцентные и галогенные лампы. Далее визуальная информация, полученная с помощью фото- или видеокамеры, преобразуется в электрические сигналы путем использования оптических электронных преобразователей или видеодатчиков.

После этого информация проходит предварительную обработку для снижения посторонних помех, улучшения изображений отдельных элементов объекта или сцены. Затем она подвергается сегментации, которая заключается в разделении сцены на составные части или элементы для выделения нужных объектов. Последующая обработка состоит в определении параметров, которые необходимы для выявления нужных объектов или элементов сцены и дальнейшего их распознавания путем идентификации. Далее за счет интерпретации определяется принадлежность выделенного объекта к группе распознаваемых. Затем осуществляется вывод обработанной информации.

Видеодатчики представляют из себя первичные преобразователи светового излучения в электрические сигналы и состоят из чувствительного элемента, приемной оптической камеры, устройств сканирования, считывания и усиления.

Положение видеодатчиков зависит от того, необходима ли информация о рельефе объекта. Один неподвижный датчик данную информацию предоставить не может. Поэтому, если необходима информация о рельефе объекта, в состав СТЗ входят несколько датчиков или один подвижный датчик (сканер). Оптическая система представляет из себя линзовый объектив, позволяющий выполнять диафрагмирование – тем самым регулировать интенсивность светового потока и осуществлять фокусировку, которая необходима для задания требуемой четкости изображения путем изменения расстояния до объекта.

Рассмотрим состав аппаратных и программных средств, входящий в состав СТЗ.

Классическая СТЗ состоит из:

- цифровых или аналоговых камер (черно-белых или цветных) с подходящей оптикой для получения изображений;

- процессора (в большинстве случаев - встроенного, но иногда используется много-ядерный процессор компьютера) для работы с информацией;
- программного обеспечения для получения информации с изображения и её обработки;
- набор специальных приложений и библиотек программного обеспечения для обработки изображений и определения свойств объекта;
- специализированных источников света (светодиодов, люминесцентных и галогенных ламп и т. д.);
- датчики;
- оборудования ввода-вывода или каналов связи, передающих информацию с небольшими потерями и высокой частотой сигналов.

По структуре вычислительного процесса современные СТЗ классифицируются на: однопроцессорные, многошинные, системы на базе матричного процессора.

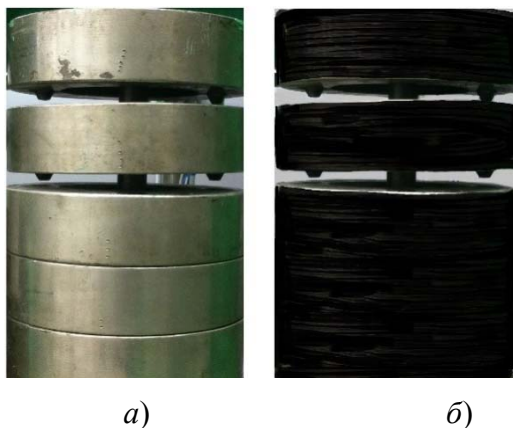
Наиболее распространенными являются однопроцессорные СТЗ, построенные на базе персонального компьютера. Системы данного типа еще называют персональными. Более 75% применяемых СТЗ являются однопроцессорными. У систем такого рода предварительная обработка изображений выполняется аппаратным способом при помощи специальных устройств ввода – фреймграбберов, которые позволяют извлечь нужный кадр. При однопроцессорной структуре СТЗ нет возможности осуществлять обработку сложных, цветных изображений. Невозможность распараллелить вычисления и отсутствие шины для передачи изображений понижают быстродействие системы.

Для повышения быстродействия производится разделение потоков информации. Такие системы называются многошинными. Обычно такие системы имеют две шины, по одной из которых передается информация, по другой – сигналы управления. Такая структура позволяет одновременно управлять системой и передавать данные. Система имеет несколько блоков обработки данных, которые решают определенные задачи. Управление СТЗ осуществляется персональным компьютером. Данная структура требует большого числа вычислительных блоков.

Структура СТЗ на базе матричного процессора выполняет параллельную обработку информации при максимальной загрузке всех процессоров. Данная структура состоит из матрицы процессорных элементов, управление которыми осуществляется одним устройством. Устройство управления образует единый поток команд для всех процессоров, выполняющих одновременно аналогичные операции, но с разными данными. Данная система обладает максимальным быстродействием, но имеет высокую стоимость.

Рассмотрим варианты использования видеосчитывания для ряда перечисленных задач более подробно.

В системе дистанционного управлением ОСМ контроль управления грузами заключается в определении количества установленных грузов при помощи видеосчитывания, которое реализуется за счет использования видеокамеры. Она позволит получать изображения состояний комплектов грузов в процессе работы машины. Полученное изображение объекта управления обрабатывается в контроллере в режиме реального времени. В результате обработки определяется количество зазоров между грузами, исходя из которого рассчитывается текущий вес, приложенный к грузовому рычагу ОСМ. На рис. 4 представлен комплект с грузами ОСМ. Для упрощения процесса определения количества выставленных грузов (количества зазоров) можно использовать контраст объектов наблюдения и фона. Например, на рис. 4, б используется контраст темных грузов и светлого фона (или наоборот). Так как объекты наблюдения имеют простые геометрические формы и предполагается использование контраста, то нет необходимости применять камеру с высоким разрешением матрицы и изображения, а достаточно использовать черно-белую камеру. Для корректной работы видеосчитывания необходимо предусмотреть достаточное освещение контролируемых объектов.



**Рис. 4. Комплект грузов**

*a* – исходное изображение; *б* – контрастное изображение

Аналогичным образом, можно управлять и контролировать процесс арретирования грузового рычага. Только необходимо использовать видеосчитывание для контроля зазора между подвижной гайкой привода арретира и неподвижной рамой машины.

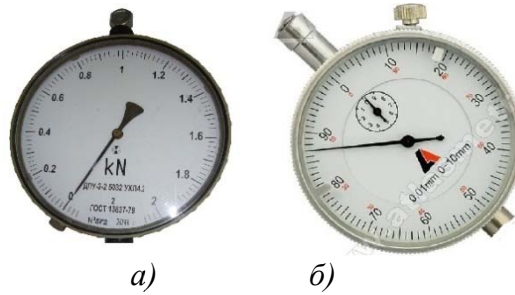
Завершающей процедурой процесса поверки динамометра на ОСМ является снятие показаний с поверяемого прибора, которое осуществляется визуальным способом. Далее эти данные заносятся вручную в специальные протоколы. Описанные выше действия выполняются оператором, следовательно, в процессе поверки могут возникать ошибки, связанные с человеческим фактором. Это ведет к возникновению случайных погрешностей, оказывающих существенное влияние на результаты поверки прибора. Ошибки можно значительно снизить, разработав систему автоматического дистанционного считывания показаний с поверяемого динамометра на основе видеосчитывания. В процессе разработки следует иметь в виду, что поверяются как стрелочные, так и цифровые приборы.

При контроле цифровых и стрелочных измерительных приборов считывание показаний выполняется с помощью видеокамеры. Считанное изображение цифрового прибора подвергается программной фильтрации, после чего производится распознавание цифр индикации и занесение их в электронный протокол поверки. Динамометр с цифровой индикацией представлен на рис. 5.



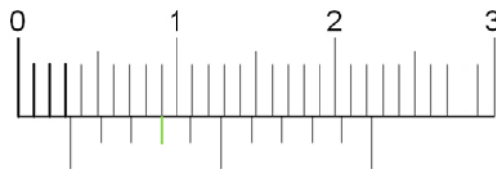
**Рис. 5. Динамометр с цифровой индикацией**

Стрелочные приборы бывают с однооборотной или многооборотной измерительной шкалой, изображения которых представлены на рис. 6, *a* и *б*. При использовании видеосчитывания, необходимо определять количество оборотов стрелки динамометра. Для этого требуется создать программные маски измерительных шкал поверяемых приборов, которые будут однозначно идентифицировать положение нуля и цену деления шкалы прибора. Подсчет оборотов стрелки будет осуществляться относительно нуля шкалы. После этого фиксируется угол конечного положения стрелки прибора относительно нуля. По калибровочной таблице, в соответствии с углом наклона стрелки и количеством оборотов, рассчитывается числовое значение измеряемой величины поверяемого прибора.



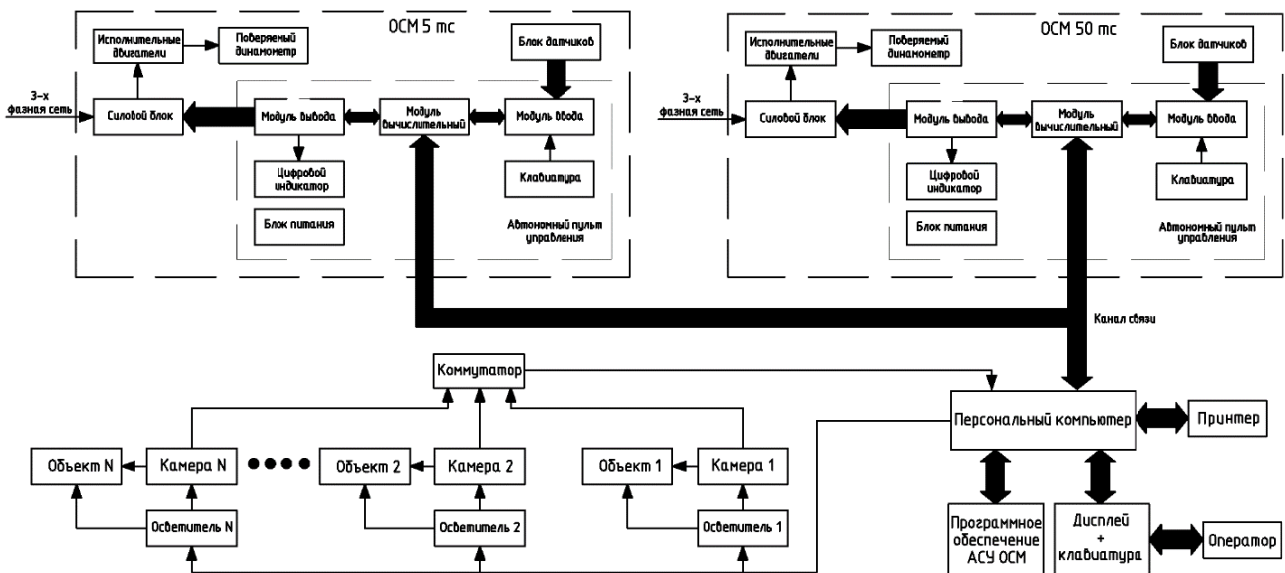
**Рис. 6. Стрелочные индикаторы:**  
 а – однооборотный; б – многооборотный

При проверке измерительных приборов с линейной шкалой, изображенной на рис. 7, используется аналогичный алгоритм, отличающийся только калибровочной таблицей, которая показывает связь не углового перемещения стрелки прибора с значением величины, а линейного.



**Рис. 7. Линейный индикатор**

Проведенный анализ показывает возможность рационального использования видеосчитывания для расширения функциональных возможностей АСУ ОСМ. Для решения вышеописанных задач при помощи видеосчитывания была разработана структурная схема новой АСУ комплекса поверки динамометров, которая представлена на рис. 8.



**Рис. 8. Обобщенная схема АСУ комплексом поверки динамометров**

**Библиографический список**

1. **Авдеев, Б.А.** Поверка машин и приборов для механических испытаний материалов / Б.А. Авдеев. – М: Издательство комитета стандартов. Мер и измерительных приборов при совете министров СССР, 1969. – 175 с.
2. **Визильтер, Ю.В.** Обработка и анализ цифровых изображений / Ю.В. Визильтер, С.Ю. Желтов, А.В. Князь. – М: Издательство ДМК, 2008. – 463 с.

3. **Мошкин, В.И.** Техническое зрение роботов / В.И. Мошкин, А.А. Петров, В.С. Титов. – М.: Машиностроение, 1990. – 268 с.
4. **Ким, Н.В.** Обработка и анализ изображений в системах технического зрения / Н.В. Ким. – М.: Издательство МАИ, 2009. – 342 с.
5. **Горелик, А.П.** Методы распознавания / А.П. Горелик. – М.: Высш. шк., 2008. – 188 с.

*Дата поступления  
в редакцию 06.04.2017*

**S. A. Nefedov, A. V. Ushakov, S. G. Sinichkin**

**ASSESSMENT OF OPPORTUNITIES OF APPLICATION OF VIDEO READING  
IN THE CONTROL SYSTEM OF FORCE MEASURING MACHINE  
FOR CHECKING OF DYNAMOMETERS**

Nizhny Novgorod state technical university n.a. R.E. Alexeyev

**Purpose:** The estimate a possibility of application of video reading in a control system of force measuring machine of checking of dynamometers for the solution of the tasks connected with control and management of process of installation of freights, an fixing of the cargo lever and reading of indications from the calibrated device.

**Design/ methodology/ approach:** The analysis of problems of process of checking of dynamometers by force measuring machine. Their elimination by means of system of technical sight.

**Findings:** The possibility of introduction of technical sight in the existing control system of the force measuring machine.

**Research limitation/ implications:** The use of this method will allow you functionality of a control system of the force measuring machine that finally will allow to increase the accuracy of process of checking of dynamometers.

**Originality/value:** The original direction for increase in accuracy of process of checking of dynamometers by force measuring machine.

*Key words:* force measuring machine, verification, dynamometer, video reading, system of technical sight, automated control system.