

УДК 59.01.85

С.М. Алфёров, А.М. Корилов

## Автоматизация процессов сборки и настройки манометров

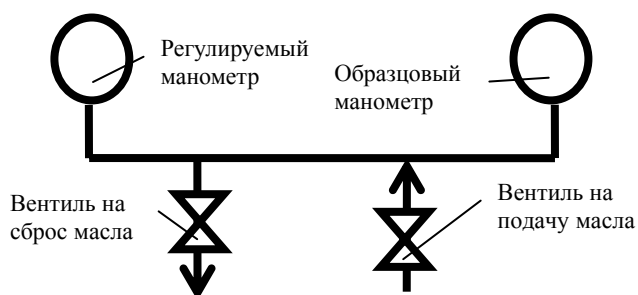
Проведен системный анализ процессов сборки и настройки манометров и их автоматизации. Предложена реализация процесса автоматизированной сборки и настройки манометров на основе способа индивидуальной градуировки шкал.

**Ключевые слова:** автоматизация, управление, сборка, настройка, манометр.

Манометрические приборы имеют разнообразные сферы применения: промышленность, транспорт, бытовая техника, научные исследования и т.д. Конкуренция производителей в данной области приборостроения высока и заставляет предприятия отечественного приборостроения и в частности ОАО «Манотомь», развиваться в направлении повышения качества выпускаемой продукции, осваивать новые технологии и осуществлять автоматизацию выпуска манометров [1, 2]. В этом направлении проделан большой объем исследований, отраженный частично в цитируемых работах, а также в диссертациях [3, 4]. В [3] предложены конструкция прибора, позволяющая автоматизировать процесс сборки манометра, способ автоматизированной сборки и расчет регулировочных параметров. В [4] разработан стенд для автоматизированной регулировки узлов манометров с трубкой Бурдона по одному параметру путем измерения характеристик чувствительного элемента и обработки механизма по вычисленному регулировочному параметру (координаты крепежного отверстия к чувствительному элементу). В [1] предложен проект системы автоматизированной настройки манометров с помощью нанесения шкал. Из перечисленных проектов автоматизации процессов сборки и настройки манометрических приборов наибольшую практическую ценность для ОАО «Манотомь» имеет автоматизированный комплекс А.А. Кузнецова [4], но и он со временем оказался экономически не выгодным. Поиск оригинальных технических решений проблемы автоматизации сборки и настройки манометров продолжается, в частности соавтором данной статьи С.М. Алфёровым совместно с сотрудниками ОАО «Манотомь» разработаны способ индивидуальной градуировки шкал манометров и устройство для его осуществления [2].

Актуальность проведения исследований в избранном авторами направлении обусловлена также тем, что на многих предприятиях отечественного приборостроения и в частности ОАО «Манотомь» до настоящего времени используется механизированный способ настройки с использованием стенда (рис. 1), на который подается масло под необходимым давлением, и регулировщик при помощи вентилей вручную управляет давлением на манометрах.

Рис. 1. Схема механизированного регулировочного стенда



Ручная настройка манометров является трудоемкой технологической операцией и занимает около 30% времени сборки приборов. Класс точности манометра и, в конечном итоге, качество выпускаемой продукции определяются квалификацией настройщика.

Успешное решение проблем автоматизации процессов сборки и настройки манометрических приборов возможно на основе методов теории систем и системного анализа [5], среди которых представляют особый интерес достаточно хорошо разработанные к настоящему времени структурные методологии IDEF [6].

### Модель сборки и настройки манометров As is – «как есть»

Рассмотрим процесс механизированной настройки манометров с точки зрения оператора-регулирущика и инженера АСУ ТП. Цель данного анализа: формализовать процесс настройки ма-

нометров, выявить возможные способы оптимизации процесса и автоматизировать некоторые действия настройщика манометров.

На рис. 2 с использованием методологии IDEF0 [6] представлена функциональная схема процесса настройки.



Рис. 2. Функциональная схема цикла настройки манометра

Методология IDEF0 предполагает изображение процесса с помощью блоков и стрелок. Блоки обозначают функции, стрелки – материальные и объектные потоки. Потоки, входящие в левую грань блока, обозначают объекты, обрабатываемые этим блоком. Потоки, исходящие из правой грани блока, обозначают продукты функции, объекты, являющиеся результатом обработки. Потоки, входящие в нижнюю грань блока, обозначают механизмы, с помощью которых выполняются функции, и субъекты, которые выполняют эти функции. Потоки, входящие в верхнюю грань блока, обозначают условия, при которых выполняется функция, и управляющие сообщения.

Все действия по настройке манометрического прибора выполняются одним лицом (регулирующим), поэтому, чтобы не затенять рисунки, на схемах это действующее лицо не показано. Для настройки используется специальный регулировочный стенд (см. рис. 1) и отвертка для сборки/разборки прибора и настройки регулировочных параметров прибора.

Цикл настройки манометра:

1. Регулировщик закрепляет неотрегулированный узел на регулировочном стенде для подачи давления. Соединение должно быть герметично.

2. Винтами закрепляет на узле циферблат с типовой линейной шкалой, так, чтобы ось узла проходила по центру отверстия циферблата. Затем одевает стрелку на ось, установив ее в положение «0» по шкале.

3. Ориентируясь по показаниям образцового манометра, регулировщик подает давление, соответствующее оцифрованным значениям регулируемого манометра и определяет погрешности показаний.

4. В зависимости от погрешностей выполняется один из следующих пунктов:

4.1. Если на всех оцифрованных точках регулируемый манометр показал давление с погрешностью в пределах своего класса точности с допуском 0,6, то манометр отрегулирован. Регулировщик снимается узел со стенда и собирает в корпус.

4.2. Иначе, регулировщик снимает стрелку и циферблат, затем поправляет регулируемые параметры для устранения ошибок и повторяет действия 2–4.

На рис. 3 представлена структура функции «съем и полная сборка манометра или разборка и настройка узла», реализуемой блоком 4 (см. рис. 2).

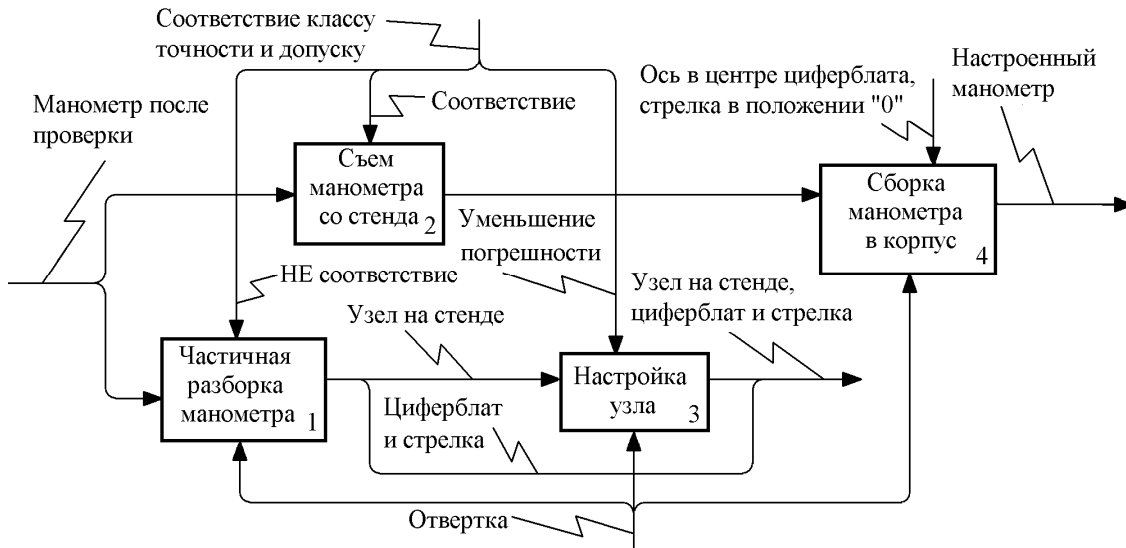


Рис. 3. Функция «Съем и полная сборка манометра или разборка и настройка узла»

Последовательность действий процесса настройки манометра показана на рис. 4, для этого использована методология IDEF3 [6]. Данная методология предполагает изображение процесса блоками и стрелками. Блоками на рис. 4 изображаются функции и действия, стрелками изображается порядок действий (временное предшествование), двойными стрелками – объектные потоки, пунктирными стрелками – прочие потоки, требующие пояснения. Ветвление процесса изображается с помощью перекрестков, классификация и значения которых приведены в таблице. Здесь использованы перекрестки следующих типов: соединения (несколько входов и один выход) и ветвления (один вход и несколько выходов). Каждый из этих типов делится на подтипы: перекресток «И» (обозначается символом &), перекресток «ИЛИ» (обозначается символом O), перекресток «Исключающее ИЛИ» (обозначается символом X).

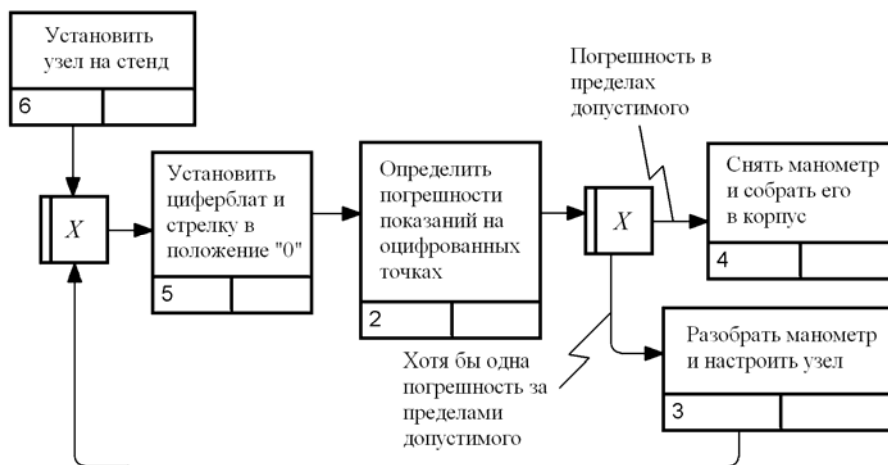


Рис. 4. Последовательность действий в процессе настройки

**Типы и значения использованных перекрестков**

Типы перекрестков	Соединение	Ветвление
	Последующее действие будет выполняться ...	После завершения предшествующего действия ...
&	только после завершения всех предшествующих	будут выполняться все последующие
O	после завершения одного или нескольких предшествующих	будут выполняться одно или несколько последующих
X	после завершения только одного из предшествующих	будет выполняться только одно из последующих

Для рассматриваемого процесса последовательность действий совпадает с функциональной структурой с учетом некоторого произвола авторов процесса декомпозиции. Весь процесс механизированной настройки опытным регулировщиком выполняется за 3 мин, но есть следующие недостатки:

1. Все действия в процессе выполняются регулировщиком.
2. За один процесс регулировщик может настраивать только один манометр.
3. Итерационный характер процесса, настройка может затянуться на длительное время.
4. При наличии итераций в процессе будут лишние операции сборки и разборки. Перед проверкой показаний манометра, необходимо выполнить частичную сборку. Перед выполнением операции настройки необходимо выполнить частичную разборку.
5. Сложность операции настройки, которую может выполнять только квалифицированный и опытный регулировщик.

#### О задаче автоматизации процессов сборки и настройки манометров

Изложим наши предложения по решению проблемы автоматизации процессов сборки и настройки манометрических приборов также на основе структурной методологии IDEF [6]. Для автоматизации рассматриваемых процессов на данный момент собран стенд для автоматизированной настройки манометров, схема которого показана на рис. 5.

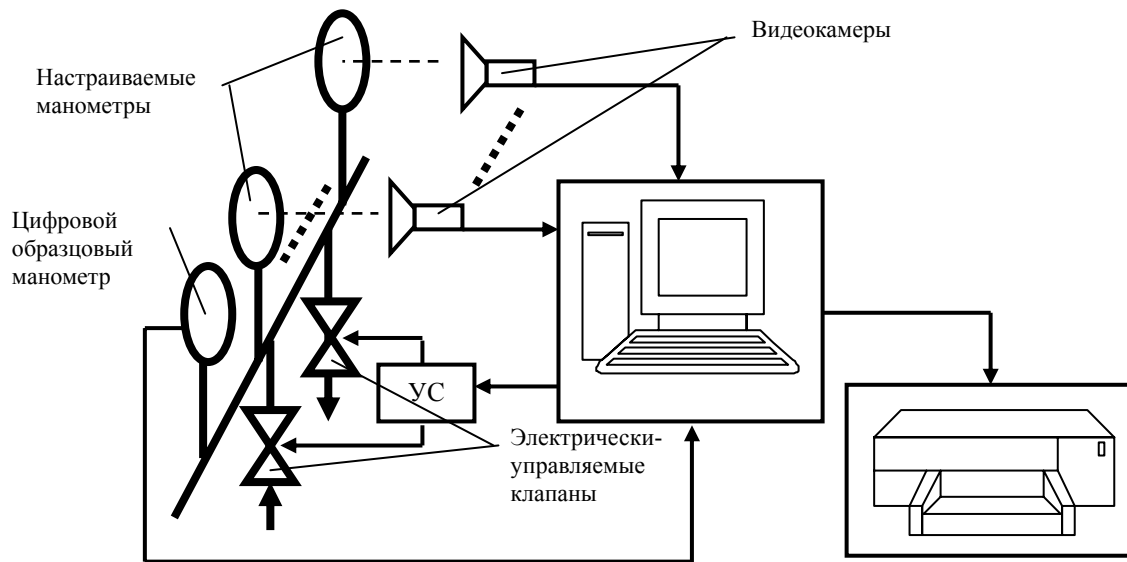


Рис. 5. Схема стенда для автоматизированной настройки манометров

Схема на рис. 5 аналогична схеме, приведенной в статье [1], но имеются следующие отличия:

1. Используются обычные видеокamеры, подключаемые к USB-порту компьютера, это позволяет использовать произвольное количество видеокamер и не требует дополнительного оборудования.
2. Устройство сопряжения (УС) выполняет прием цифрового сигнала от компьютера, преобразование его в аналоговый сигнал и усиление по мощности.
3. В качестве датчика давления использован цифровой манометр, который подключается напрямую к компьютеру через COM-порт. Вычислительные функции по управлению клапанами переложены на компьютер, что упрощает конструкцию УС в отличие от устройства сопряжения и управления задвижками УСУЗ [1].

Структура программного обеспечения и его взаимодействие с внешними объектами показана на рис. 6 с использованием методологии DFD [6].

Методология предполагает изображение скругленными блоками функций обработки информации, стрелками – информационных потоков, блоками с левым и верхним двойным бордюром – объекты, порождающие или потребляющие информацию, блоками с левым двойным бордюром – хранилища данных.

Рассмотрим подробнее работу разработанной информационной системы.

Регулировщик вводит тип регулируемого манометра в память ЭВМ и запускает процесс съема характеристики. Блок «Управление» обеспечивает подъем давления до необходимого уровня, опре-

деляемого шкалой манометра, и спад до нуля. Параллельно с этим блок «Определение угла стрелки» снимает характеристику настраиваемого манометра и записывает положения стрелки, соответствующие оцифрованным значениям давления, в таблицу «Давление–угол». После записи в таблицу всех значений запускается блок «Печать шкалы».

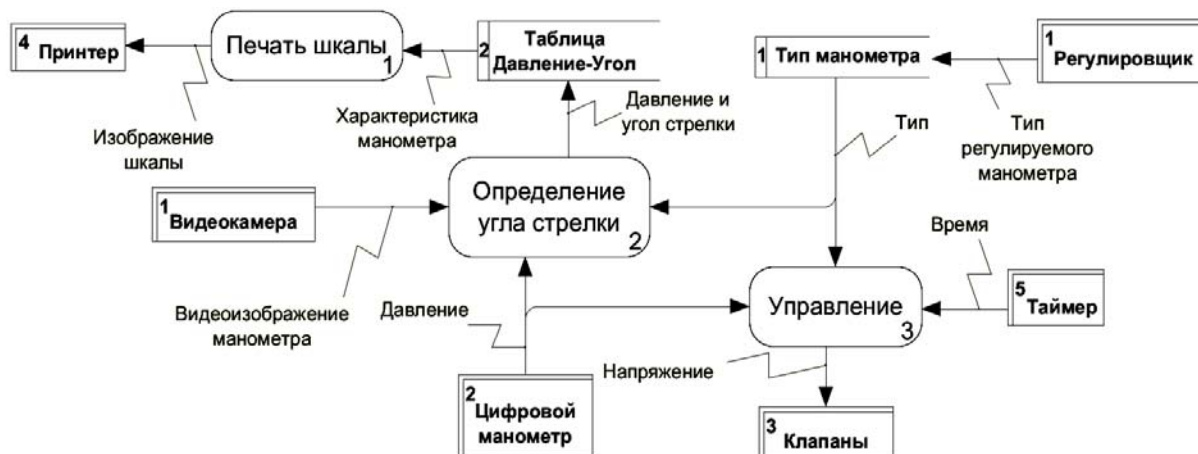


Рис. 6. Структура информационных потоков в системе

Блок «Управление» работает следующим образом:

1. На основе данных о типе манометра (класс точности, шкала) и значении давления на впускном клапане определяется максимально допустимая скорость роста давления.
2. Для получения текущего давления с определенной периодичностью опрашивается цифровой манометр. Зная текущий момент времени, вычисляется текущая скорость роста давления.
3. По данным о текущем состоянии гидравлической системы (давление, скорость роста давления) определяются параметры управляющего сигнала.

Функция «Определение угла стрелки» реализует следующие действия:

1. Зная тип настраиваемого манометра и текущее давление, решается необходимость определить угол. Если текущее значение давления находится в окрестности оцифрованного значения шкалы настраиваемого манометра, то выполняется п. 2. Если давление «только что» вышло за пределы вышеуказанной окрестности, то выполняется п. 3.
2. Определяется угол наклона стрелки с помощью алгоритма, описанного в статье [7]. Угол записывается в массив и если снята не вся характеристика прибора, то выполняется п. 1.
3. Значения из массива аппроксимируются параболой с помощью МНК, вычисляется угол при точно заданном давлении, соответствующем оцифрованному значению шкалы. Найденный угол и давление записываются в таблицу «Давление–угол».

Алгоритм формирования шкалы реализован следующим образом:

1. Пересчет снятых углов таким образом, чтобы шкала была расположена симметрично относительно вертикальной оси циферблата.
2. Вычисление координат расположения цифр и печать.
3. Печать оцифрованных рисок.
4. Вычисление координат промежуточных рисок при помощи линейной интерполяции и печать.

#### Модель сборки и настройки манометров To be – «как должно быть»

Рассмотрим процесс автоматизированной настройки манометров с точки зрения оператора-регулирующего и инженера АСУ ТП. Цель анализа: выделить автоматизируемые действия настройки манометров, выявить достоинства и недостатки такого процесса перед механизированным процессом.

На рис. 7, 8 изображены функциональные структуры автоматизированного процесса.

Отличие схемы на рис. 7 от схемы на рис. 2 состоит в следующем:

1. Упрощается частичная сборка, достаточно установить только стрелку на узел, причем произвольно в левый нижний квадрант, но сам узел необходимо точно ориентировать по видеокамере.
2. Вместо определения погрешностей появляется блок «Съем характеристики», который запускается регулировщиком, но выполняется полностью автоматически.

3. Отсутствует процесс разборки перед настройкой. Процесс настройки узла заменяется процессом распечатки шкалы, который запускается регулировщиком, но выполняется автоматически. Итерация не требует операций сборки/разборки манометра и будет выполняться только для тех узлов, у которых размер шкалы оказался за пределами 260–280°. На производстве такие ситуации бывают крайне редко, поэтому на уменьшении производительности это практически не скажется.

4. Все действия являются простыми и требуют знания основ работы с компьютерной техникой.

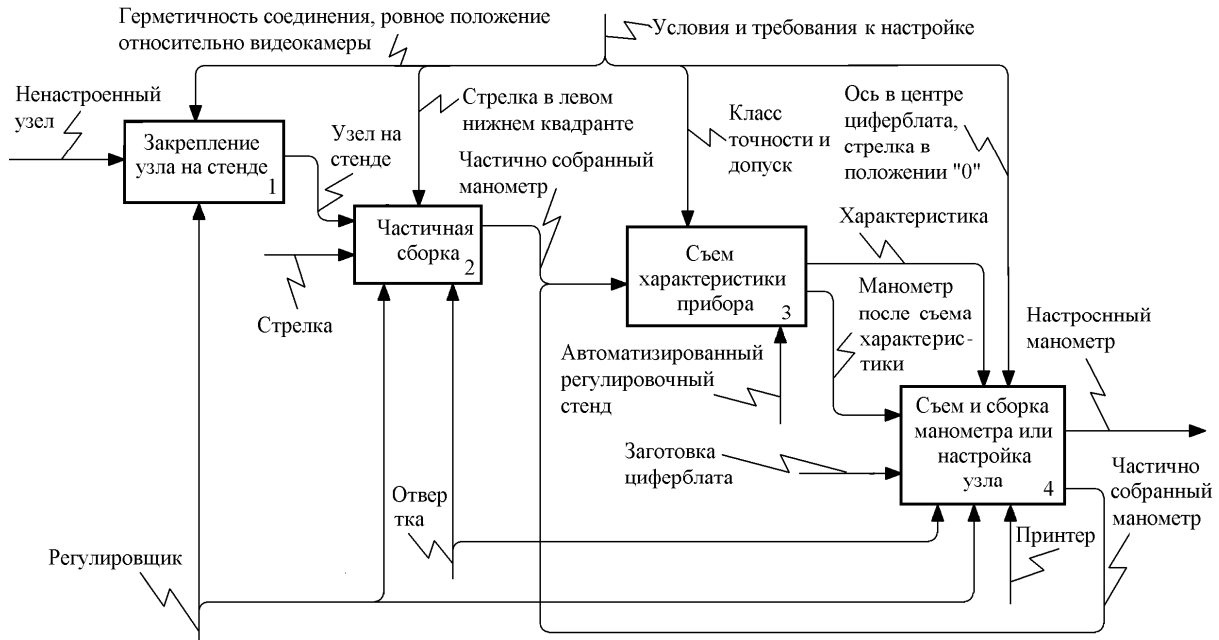


Рис. 7. Функциональная схема настройки манометра «как должно быть»

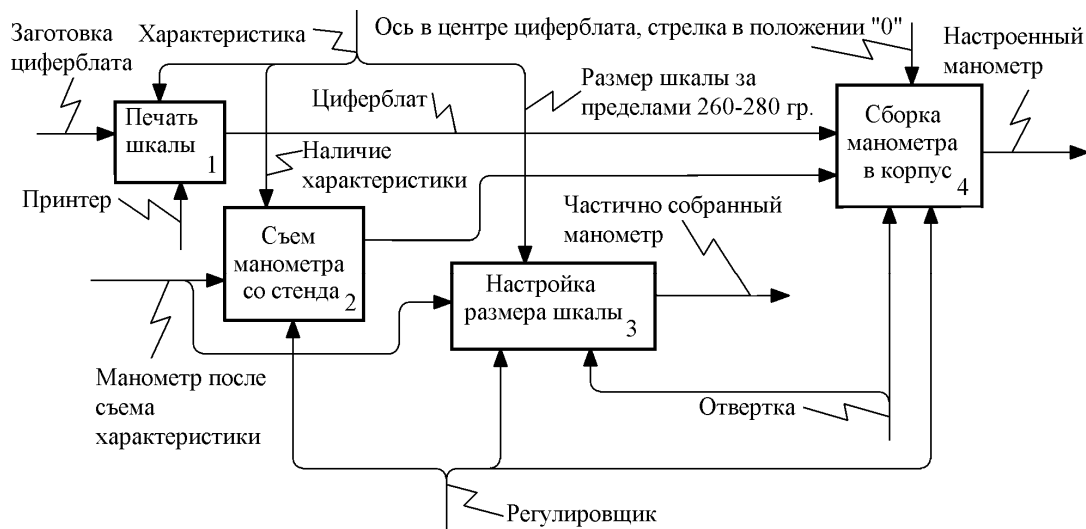


Рис. 8. Функциональная схема сборки манометра «как должно быть»

На рис. 9 представлена последовательность действий в автоматизированном процессе настройки манометров.

После установки узлов на стенд, стрелок на них и запуска процесса настройки, регулировщик заряжает заготовки циферблатов в принтер и собирает манометры, шкалы для которых были распечатаны на предыдущем цикле настройки. После завершения съема характеристик запускается процесс печати шкал для тех узлов, размеры шкал которых лежат в заданных пределах. После завершения процессов № 2 и 3 регулировщик снимает со стенда узлы, для которых распечатаны шкалы. Весь процесс в данном случае будет занимать около 10 мин, на партию из четырех манометров по

2,5 мин на манометр, в этом случае производительность повышается на 20%. Как видно из рис. 9, автоматизация некоторых действий позволяет распараллелить процесс настройки манометров.

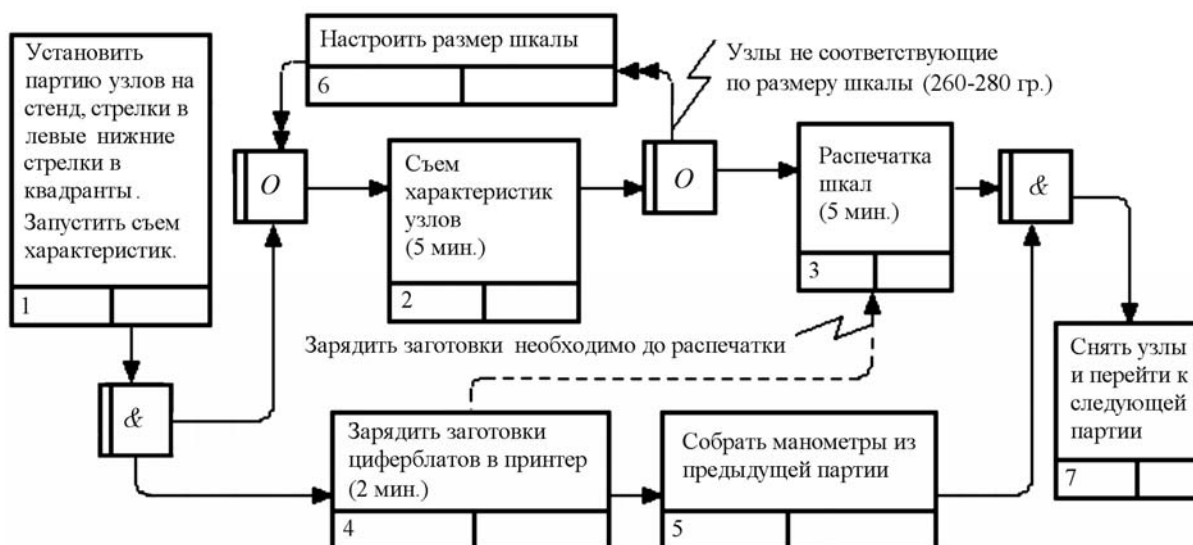


Рис. 9. Последовательность действий в автоматизированном процессе

### Заключение

На основе системного анализа процессов сборки и настройки манометрических приборов определены основные недостатки существующего механизированного процесса. Предложена техническая реализация всех этапов для автоматизации процесса индивидуальной градуировки манометров: стенд для автоматизации настройки манометров, устройство сопряжения компьютера с клапанами, система управления давлением, датчик угла наклона стрелки [7], программа печати шкалы. На данный момент реализована система управления, способная примерно за 5 мин повысить давление до 25 Па и понизить до 5 Па (при давлении на входе повышающего клапана 45 Па и на выходе понижающего примерно 0). Расчетное увеличение производительности при использовании данного стенда 20%. Реализация автоматизированной системы сборки и настройки манометрических приборов базируется на патенте [2], полученном с участием одного из авторов данной статьи. Организованный таким образом процесс настройки имеет перспективы дальнейшего увеличения производительности за счет использования более современной техники и совершенствования процессов управления. Авторы выражают благодарность коллективу ОАО «Манотомь»: начальнику службы по надежности В.И. Мачкинису, зам. ген. дир. по производству А.Ю. Метальникову и главному конструктору С.М. Везнер за поддержку и консультации по проведению исследований.

Работа выполнена при финансовой поддержке ФЦП «Научные и научно-педагогические кадры инновационной России» (госконтракт 14.740.11.0398 от 20.09.10).

### Литература

1. Лазичев А.А. Система автоматизированной настройки манометров с помощью нанесения шкал / А.А. Лазичев, Ю.А. Самулеева // Мехатроника, автоматизация, управление. – 2008. – №8. – С. 35–38.
2. Гетц А.Ю. Способ индивидуальной градуировки шкал манометров и устройство для его осуществления // А.Ю. Гетц, В.И. Мачкинис, С.М. Везнер и др. // Патент РФ на изобретение №2428668, зарегистрировано в Государственном реестре РФ 10.09.2011.
3. Бригадин А.Г. Автоматизация регулировки манометров: дис. ... канд. техн. наук / Томский гос. ун-т систем управления и радиоэлектроники. – Томск, 1998. – 151 с.
4. Кузнецов А.А. Компьютерный измерительно-технологический комплекс для автоматизированной настройки манометров: дис. ... канд. техн. наук. – Томск, 2004. – 149 с.
5. Корилов А.М. Теория систем и системный анализ / А.М. Корилов, С.Н. Павлов / учеб. пособие. – 2-е изд., доп. и перераб. – Томск: Том. гос. ун-т систем управления и радиоэлектроники, 2008. – 264 с.

6. Теория информационных процессов и систем: учеб. для студ. вузов / под ред. Б.Я. Советова. – М.: Изд. Центр «Академия», 2010. – 432 с.

7. Алфёров С.М. Измерение угла наклона объекта на видеокадре низкого разрешения с использованием априорной информации // Доклады Томского государственного университета систем управления и радиоэлектроники. – Томск, 2011. – Ч. 1, №1 (23). – С. 168–170.

---

**Алфёров Сергей Михайлович**

Аспирант, программист каф. автоматизированных систем управления ТУСУРа

Моб. тел.: 8-909-538-80-02

Эл. почта: alhoesm@sibmail.com

**Кориков Анатолий Михайлович**

Д-р техн. наук, профессор, зав. каф. автоматизированных систем управления ТУСУРа

Тел.: 8 (382-2) 41-42-79

Эл. почта: korikov@asu.tusur.ru

Alferov S.M., Korikov A.M.

**Automation of processes of assembly and adjustment of gauges**

In the research we conducted a systematic analysis of the processes of assembly and adjustment of gauges and their automation. We offer the implementation of automated processes of assembly and adjustment of gauges based on the method of individual grading scales.

**Keywords:** automation, control, assembly, adjustment, gauges.

---