

Федеральное государственное бюджетное образовательное  
учреждение высшего профессионального образования

ТОМСКИЙ ГОСУДАРСТВЕННЫЙ УНИВЕРСИТЕТ СИСТЕМ  
УПРАВЛЕНИЯ И РАДИОЭЛЕКТРОНИКИ

**Алфёров Сергей Михайлович**

**АВТОМАТИЗАЦИЯ ПРОЦЕССА РЕГУЛИРОВКИ МАНОМЕТРОВ**

Научный руководитель  
доктор технических наук,  
профессор Корилов А.М.

Томск - 2015

# Актуальность

- Не стабильность параметров компонентов требует регулировки
- Трудоемкость процесса регулировки
- Необходимость снизить затраты на производство, уменьшить влияние ошибки человека на качество прибора

# Цель и задачи работы

## Цель

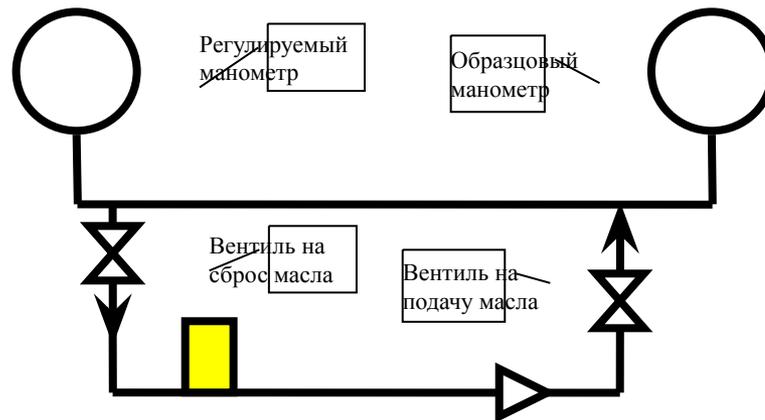
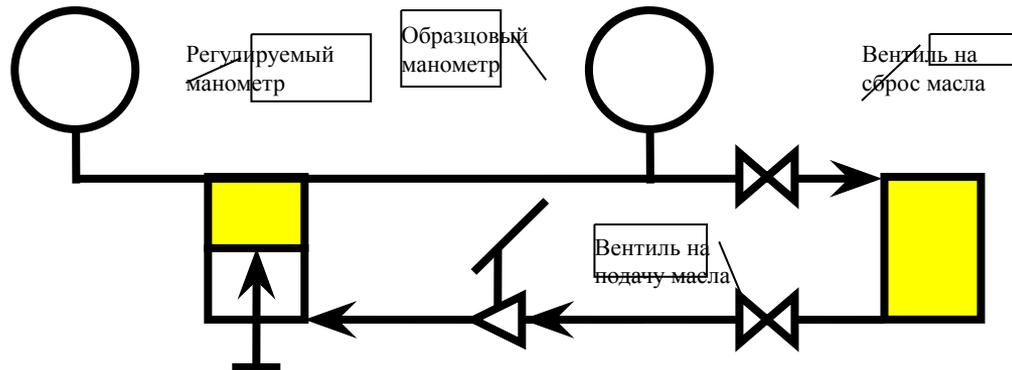
- Проведение исследований по автоматизации регулировки манометров.
- Разработка и исследование алгоритмов и программных средств АСГМ.

## Задачи

- Определить недостатки и ограничения известных процессов настройки манометров и обосновать направления автоматизации данных процессов.
- Выполнить математическое и компьютерное моделирование процессов, протекающих при регулировке манометров.
- Исследовать поведение системы: зависимость роста давления от управляющих воздействий в статических и динамических режимах.
- Разработать алгоритм управления ростом давления с предварительной идентификацией параметров системы в процессе управления.
- Разработать схемы информационных потоков для АСГМ.
- Разработать и исследовать алгоритмы для градуировки манометров.
- Спроектировать устройство управления давлением, спроектировать информационную систему (схему информационных потоков и структуру хранения данных).
- Исследовать возможность градуировки приборов с использованием предложенных алгоритмов.
- Реализовать АСГМ на ОАО "Манотомь".

# Обзор предметной области

## Используемое оборудование



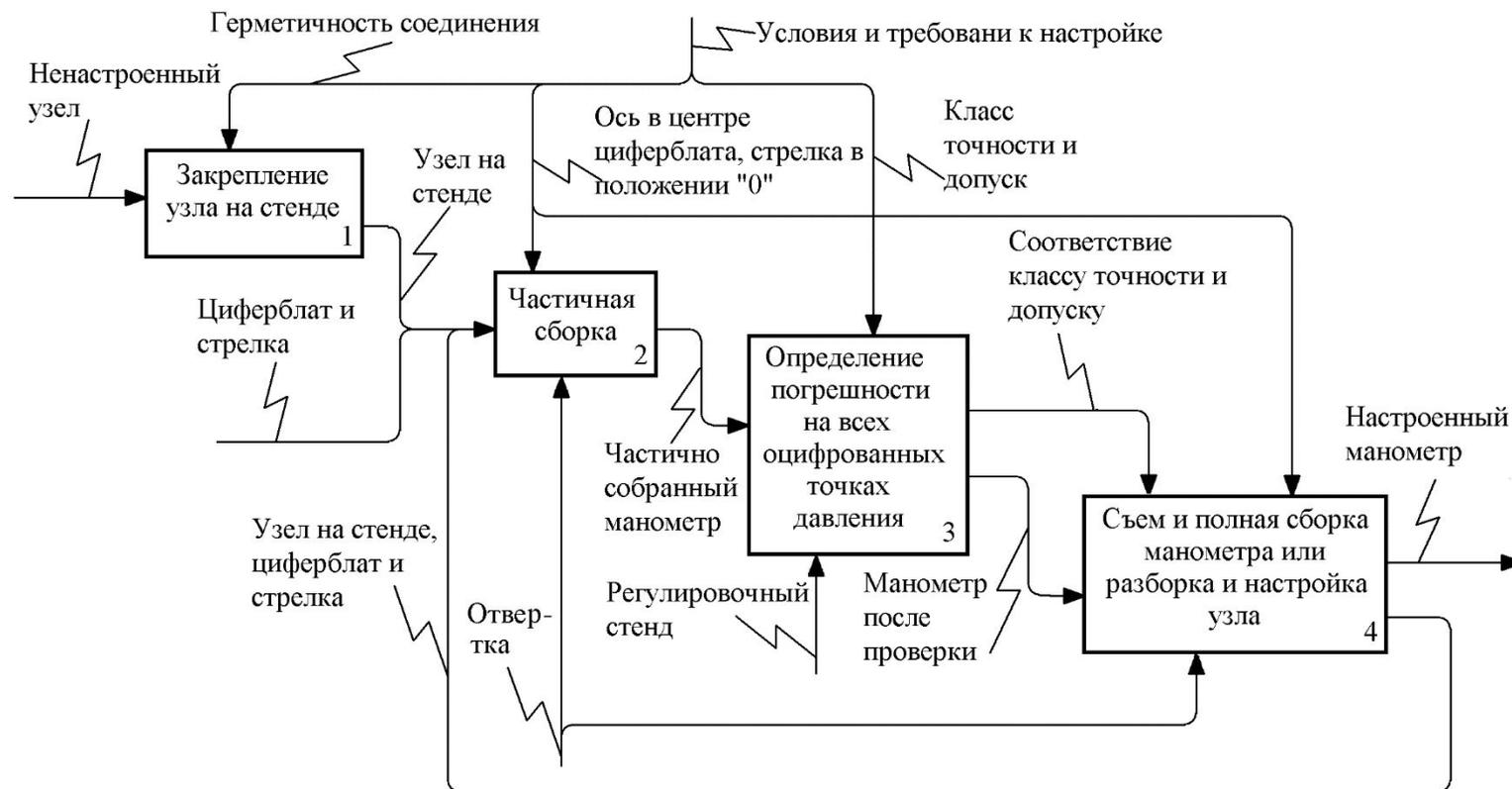
# Обзор предметной области

## Сравнение ручного и механизированного стенда

Критерий	Ручной	Механизированный
Простота конструкции, простота управления давлением (малое количество органов управления)	-	+
Легкость органов управления	-	+
Скорость регулировки	-	+
Универсальность	+	-
Комфорт	+	-

# Обзор предметной области

## Тех. процесс настройки



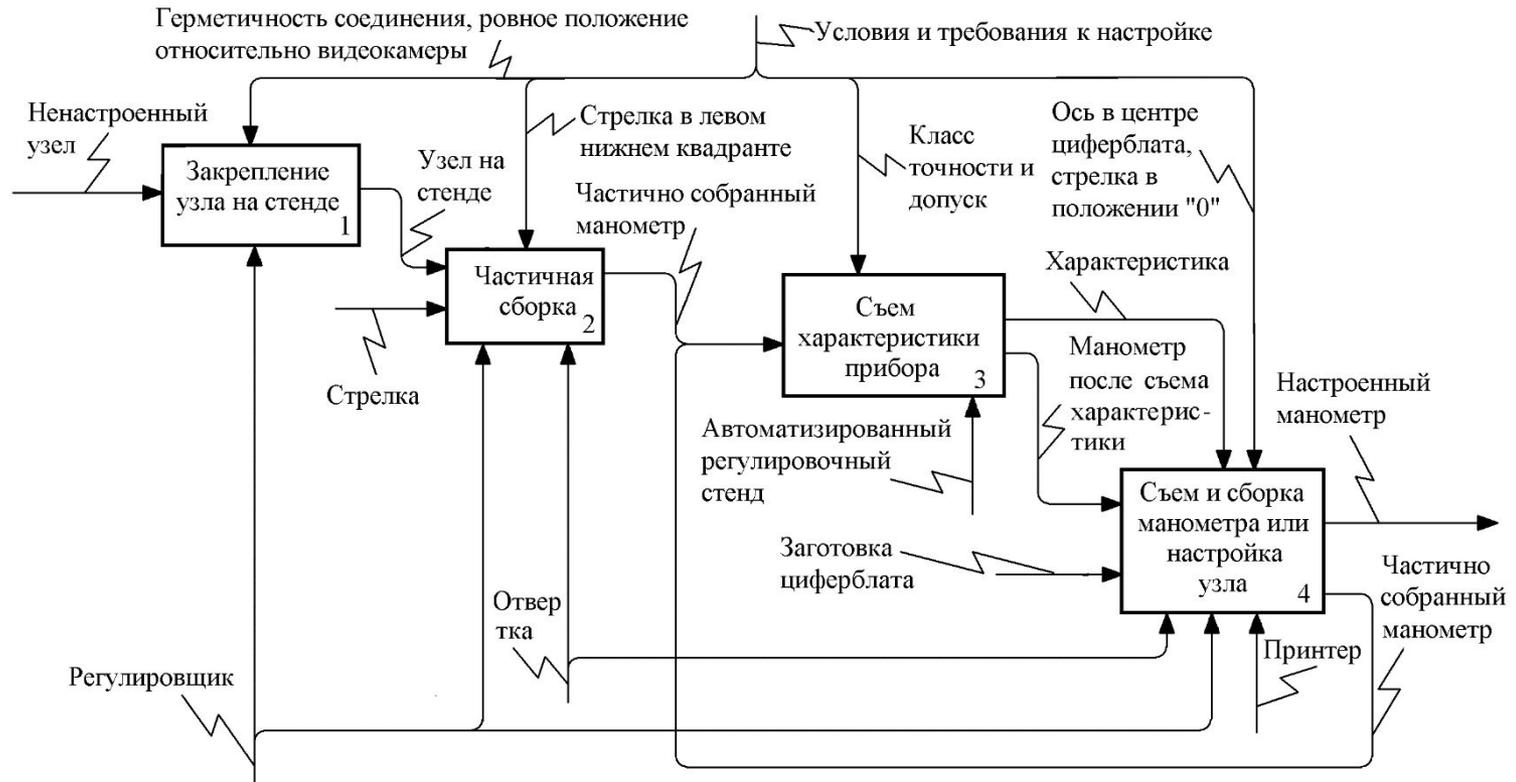
# Постановка задачи

- На вход тех.процесса поступает:
- Неотрегулированный манометр (узел с механизмом в корпусе)
- Заготовки для циферблатов, винты и шайбы для крепления циферблатов
- Стрелки

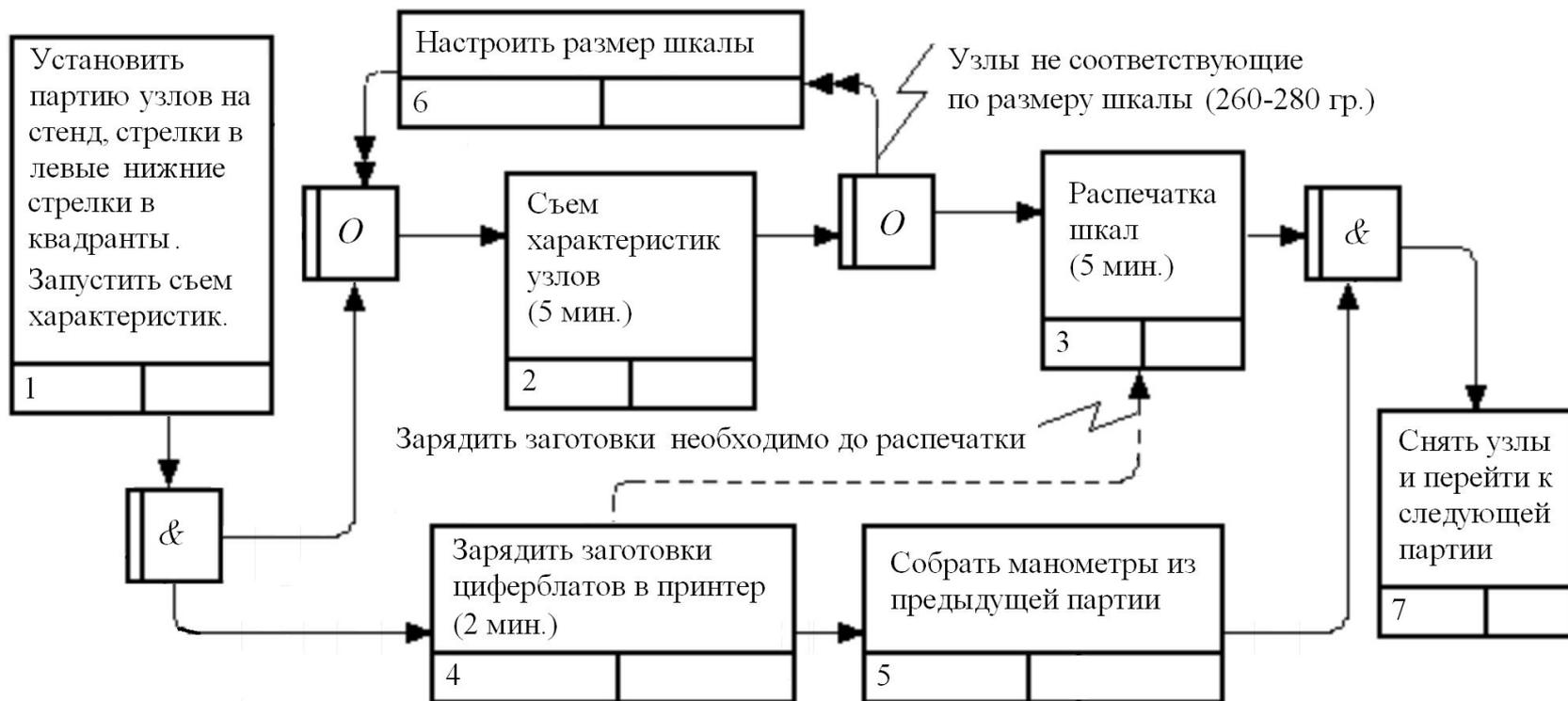
## На выходе тех.процесса

- Отрегулированный манометр

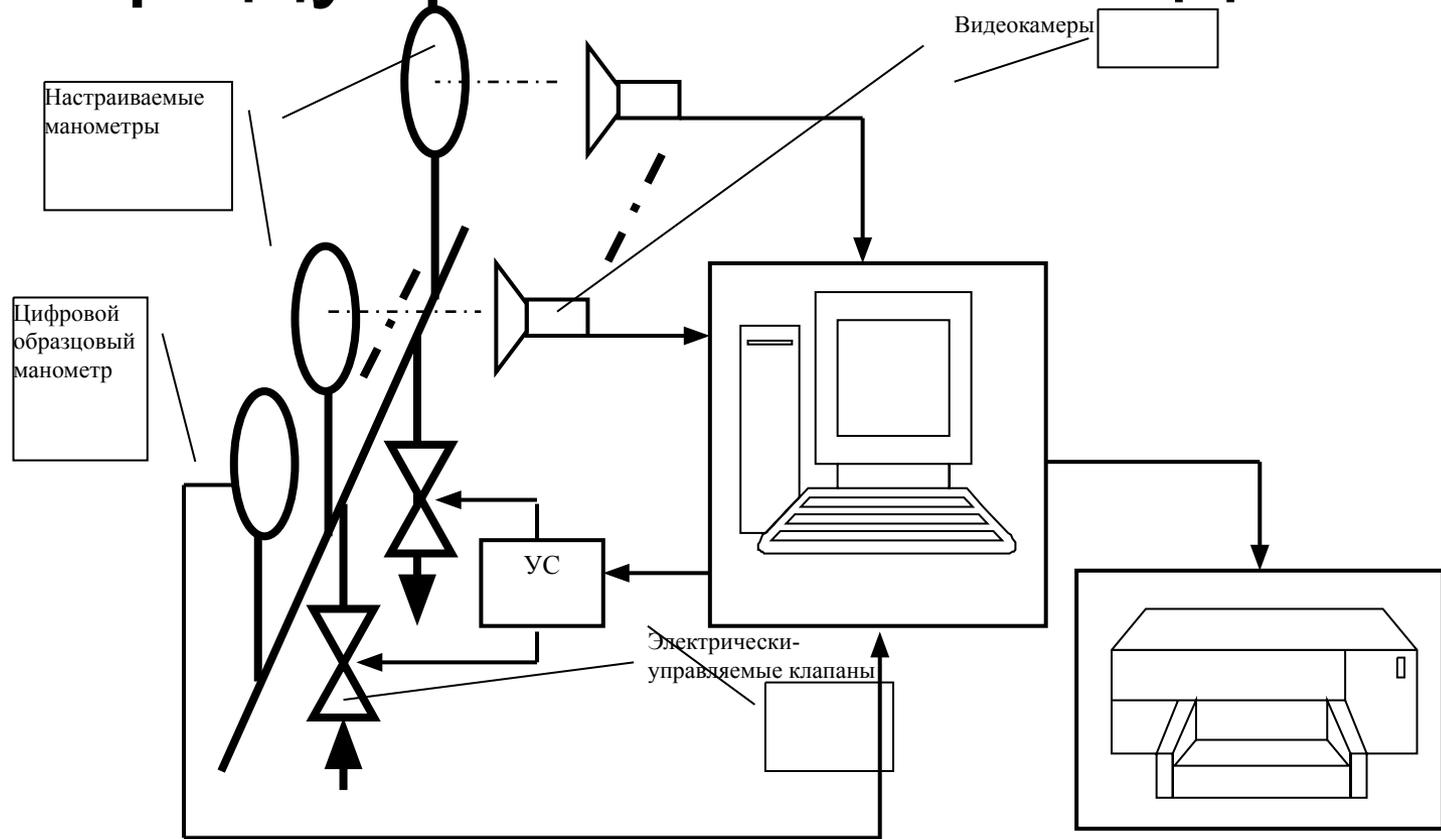
# Проект тех. процесса



# Проект тех.процесса

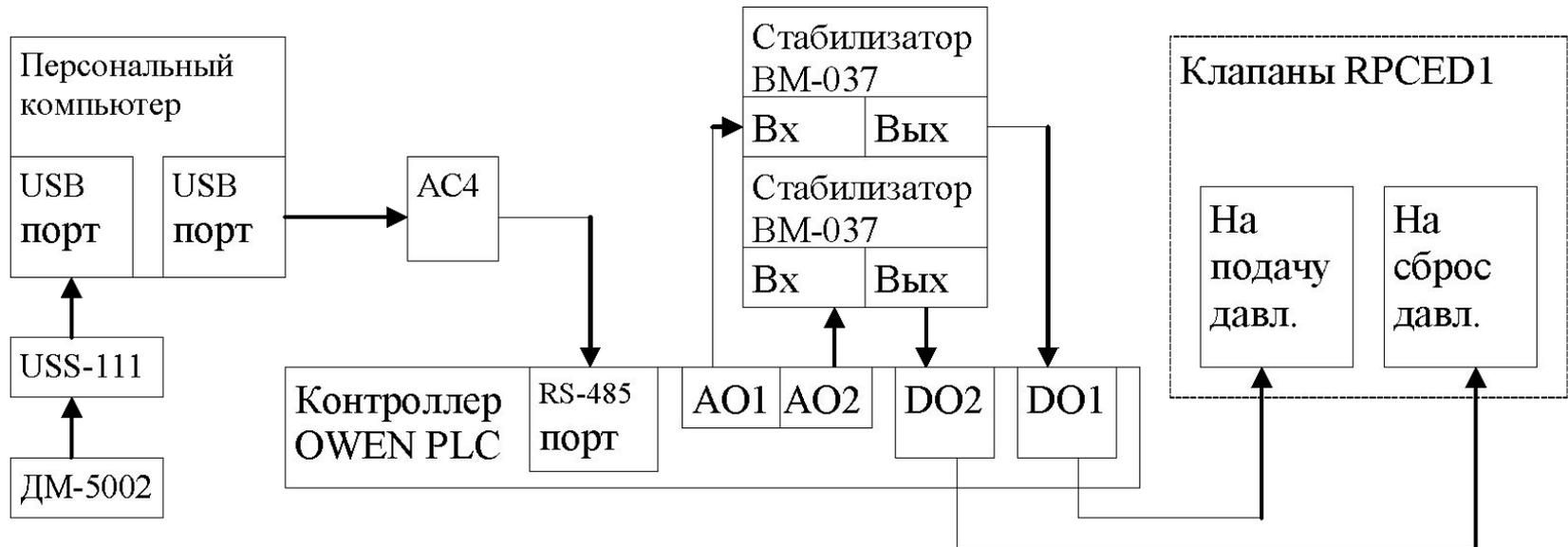


# Проект клапанного градуировочного стенда





# Схема устройства сопряжения в устройстве управления





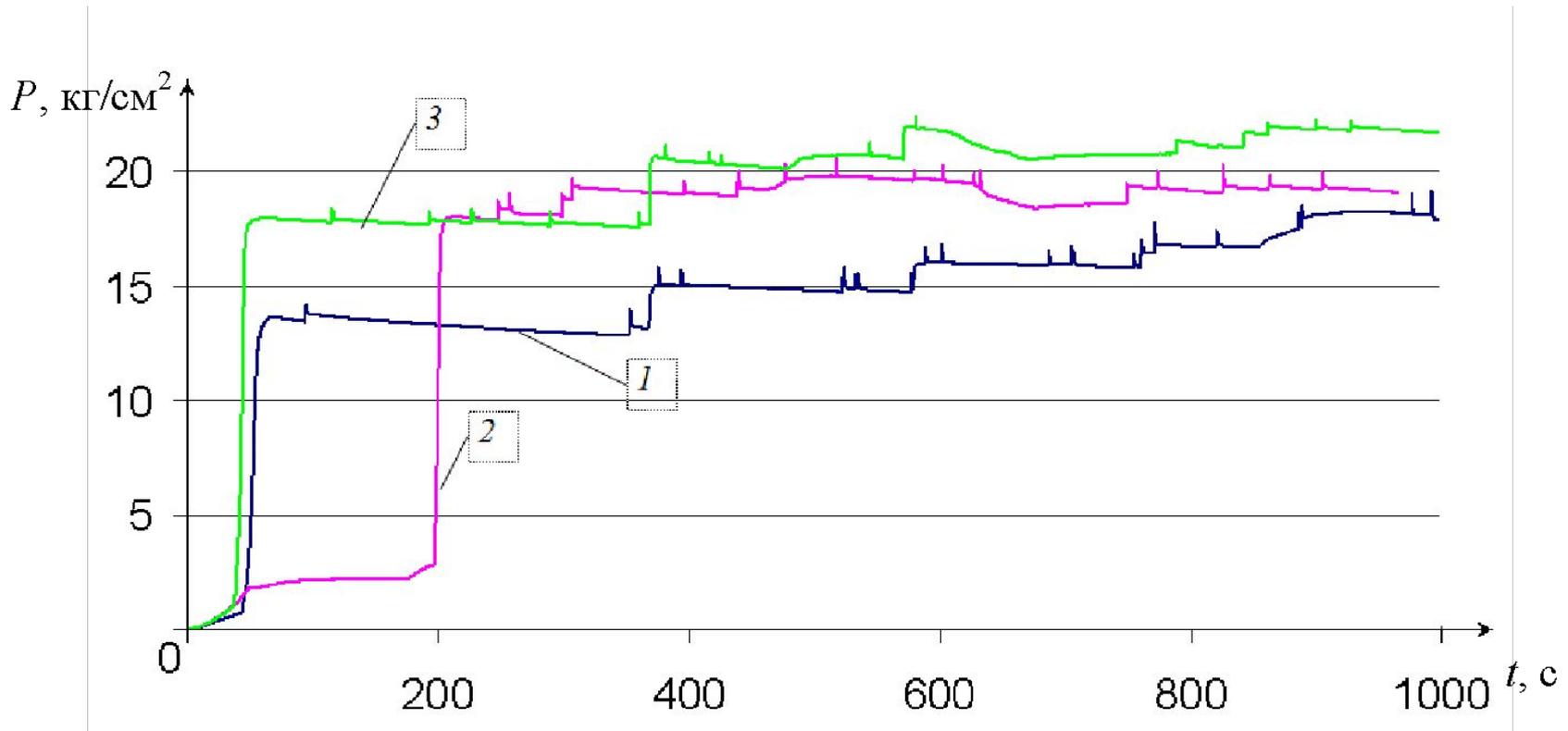
# Модель клапанного ЗД

- Модель с учетом сухого трения задвижки клапана

$V, P$  – объем воздуха и давление в системе;  $V_0$  – начальный объем воздуха в системе;  $Q_1, Q_2$  – поток масла через впускной (Кл<sub>1</sub>) и выпускной (Кл<sub>2</sub>) клапан;  $P_{in}, P_0$  – давление на входе Кл<sub>1</sub> и на выходе Кл<sub>2</sub>;  $G_1, G_2$  – коэффициенты проводимости клапанов Кл<sub>1</sub>, Кл<sub>2</sub>;  $x_1, x_2$  – положение задвижки клапанов.

# Нестабильность работы клапанного ЗД

- Рост давления от времени при постоянных токах  $I_{ktr}=4$  мА



1 -  $I_{ktr2}=20$  мА, 2 -  $I_{ktr2}=18$  мА, 3 -  $I_{ktr2}=16$  мА

# Математическая модель прессового 3Д

- Статическая модель без учета утечек

$P_0, V_0$  – давление и объем воздуха в прессе перед началом движения поршня пресса;  $P(t), V(t)$  – текущие значения давления и объема воздуха в прессе;  $F(t)$  – текущее положение поршня;  
 $K$  – коэффициент пропорциональности.

# Математическая модель прессового ЗД

- Идентификация параметров

$\Delta V$  - объем, забираемый поршнем пресса;  $\Delta F$  – количество шагов ШД, необходимое для этого,  $F_0$  - начальное положение поршня, можно принять равным 0.

# Алгоритм управления давлением

- Алгоритм управления давлением с помощью прессового 3Д без обратной связи, с идентификацией параметров в процессе управления
  1. Включить впускной клапан и подождать, пока давление в системе не наберется до необходимого уровня.
  2. Выключить впускной клапан.
  3. Измерить давление  $P_0$ .
  4. Включить шаговый двигатель, подождать пока он не наберет давление  $P(t_1)$  (это давление может соответствовать, например первой оцифрованной точки регулируемого прибора).
  5. В процессе набора давления  $P(t_1)$  выполнить подсчет количества шагов двигателя  $F(t_1)$ .
  6. Зная  $P_0$ ,  $P(t_1)$  и  $F(t_1)$  вычислить параметр  $V_0$  по формуле (3.16).
  7. Зная параметры системы  $K$ ,  $V_0$ ,  $P_0$  по формуле (3.15) можно заранее определить, на каком шаге  $F$  надо остановить поршень, для обеспечения требуемого давления  $P$ .

# Результаты работы.

Разница между двумя измерениями

Прибор1	Прибор2	Прибор3	Прибор4	Прибор5	Прибор6	Прибор7	Макс. отклон.
1,56	1,26	1,87	1,1	0,97	0,94	2,11	2,11
0,14	0,07	0,22	0,22	0,21	0,04	0,03	0,22
0,31	0,12	0,2	0,17	0,13	0,13	0,01	0,31
0,12	0,07	0,23	0,19	0,16	0,05	0,05	0,23
0,62	0,2	0,3	0,01	0,19	0,1	0,01	0,62
0,16	0,13	0,36	0,52	0,3	0,06	0,03	0,52

Результаты управления давлением без обратной связи

$P_{тр}$	Для прибора номиналом 2,5		$P_{тр}$	Для прибора номиналом 1	
	$P$	$\varepsilon, \%$		$P$	$\varepsilon, \%$
1	0,98	2	0,4	0,39	2,5
1,5	1,46	2,7	0,6	0,6	0
2	1,9	5	0,8	0,79	1,3
2,5	2,37	5,2	1	0,98	2

# Результаты работы.

## Интерфейс программы

The screenshot displays a software interface for a printing machine. On the left, there is a 4x2 grid of images showing a fan-like component, likely a pressure sensor or a similar mechanical part, in various states or positions. On the right, the main control panel is visible, featuring a data table, control buttons, and status information.

**Шкала**

уп1	yo.1	уп2	yo.2	уп3	yo.3	уп4	yo.4	уп5	yo.5	уп6	yo.6	уп7	yo.7	уп8
33.1	33.1	28.1	28.1	34.5	34.5	29.3	29.3	32.1	32.1	32.9	32.9	28.0	28.0	37.0
68.0	70.1	62.5	64.5	67.1	68.9	61.8	63.2	66.7	68.2	66.8	68.8	60.9	62.6	69.5
103.6	104.6	97.1	99.0	100.7	102.5	94.0	95.5	101.4	103.2	100.7	102.6	95.3	96.5	102.6
137.6	139.6	131.6	132.6	133.6	135.4	126.0	128.0	136.2	137.4	135.6	137.6	128.6	130.0	135.4
172.6	173.7	165.6	166.7	166.6	168.1	159.2	160.2	171.0	172.2	169.6	171.2	162.2	163.2	167.7
206.6	208.2	199.1	200.7	199.7	200.6	191.1	192.6	205.6	206.6	203.6	205.0	195.6	197.0	200.0
241.2	242.2	233.0	234.6	232.6	233.6	223.6	225.6	240.1	241.2	236.6	238.0	229.6	230.6	232.6
275.6	276.7	267.1	268.2	265.4	266.6	256.4	257.6	274.6	275.6	270.4	271.6	263.2	263.6	265.4
310.6	310.6	301.6	301.6	299.0	299.0		288.6	309.2	309.2	304.4	304.4	297.0	297.0	298.6
277.6		273.4		264.4		259.6		277.1		271.6		269.0		261.6
2.1		1.5		1.8		2.2		0.8		2.7		2.2		2.0

**Перед запуском откройте "Давление станции"**

Обр. ход  
 Замедление

Ручное управление

Печать

Смещение X/Y [мм]:

В файл

На принтер

С ободком и отверст

Показания

**Неснимаемой партии: 16** Неснимаемой партии: 1 Кол-во циф. отпечатано: 0

колесо изн.: 122 / 120 / 122 / 120 / 121 / 119 / 122 / 119 // 11  
 Угль: 53.0 / 53.8 / 58.5 / 53.1 / 57.3 / 57.7 / 52.2 / 60.9 / 0

ТАЙМЕР ЗАПУЩЕН

Label21  
 \_vPressure: -0.00161 9.8E-0315  
 0

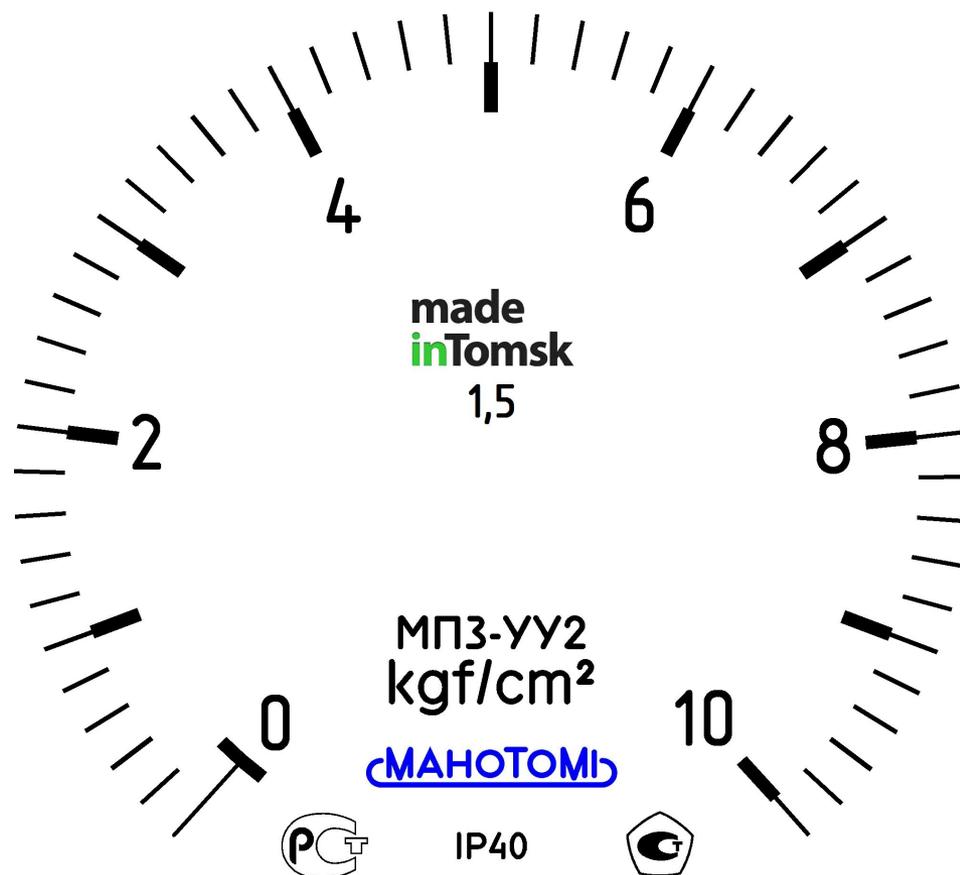
Label6  
 Time: 485  
**Давление в системе: 1.38127**  
 /

-99  
 no decide  
 Fill

LIM2 **LIM1**

# Результаты работы.

Пример сформированного циферблата



# АКТЫ О внедрении

ОТКРЫТОЕ АКЦИОНЕРНОЕ ОБЩЕСТВО  
**МАНОТОМЬ** Создаём историю качества!

г. Комсомольский, 62, г. Томск, Россия, 634061  
Генеральный директор (3822) 44 26 28, факс (3822) 44 29 06, E-mail: priem@manotom-tmz.ru  
Служба продаж: (3822) 28 86 64, 44 39 11, E-mail: sbt@manotom-tmz.ru  
Отдел маркетинга: (3822) 28 88 12, 28 87 32, E-mail: marketing@manotom-tmz.ru  
факс (3822) 44 28 43, 44 33 37  
http://www.manotom-tmz.ru  
ОКПО 00225590 ИНН/КПП 7021000501/701701601

**made in Tomsk**

УТВЕРЖДАЮ  
Ген. директор ОАО "Манотомь"  
Гетц А.Ю.  
05 2014 г.

Акт внедрения результатов кандидатской диссертации  
Алфёрова Сергея Михайловича  
«Автоматизация процесса регулировки манометров»

Настоящим актом подтверждается, что разработанное в кандидатской диссертации Алфёрова С.М. программное обеспечение для автоматизированной системы градуировки манометров (ПО АСГМ), внедрено в ОАО «Манотомь».

Программа внедрена в производственный процесс ОАО «Манотомь» 1 октября 2012 года и продолжает совершенствоваться автором.

Под управлением ПО АСГМ выполняется градуировка следующих манометров:

- Широкого потребления (МПЗ, МП4), аммиачных приборов (МПЗА-УУ2, МП4А-УУ2), коррозионностойких (МПЗА-Кс), судовых (МТПСд), железнодорожных приборов (МПУЗ).
- Поминалов:
  - Среднего давления: 10, 16, 25, 40 кг/кв.см. или 1, 1,6, 2,5, 4 МПа.
  - Высокого давления «гидравлика»: 100, 160, 250, 400, 600 кг/кв.см. или 10, 16, 25, 40, 60 МПа.
- Стеннолю защиты: IP-40, IP50, IP-53, IPX4D.
- Для отечественного потребителя и на импорт.

ПО АСГМ обеспечивает съем характеристик одновременно от одного до восьми приборов (их число ограничено количеством мест для приборов на стенде АСГМ). Длительность цикла съема характеристик приборов составляет примерно 3 мин.

Процесс опытной эксплуатации ПО АСГМ за последние 6 месяцев выявил, что внедрение результатов кандидатской диссертации Алфёрова С.М. обеспечивает выпуск изделий со средним процентом отбраковки 1% для приборов класса точности 1,5.

Нач. цеха №5 ОАО «Манотомь»

Карпов Д.Е.

Согласовано: *Метаминисов А.Ю.*

Акт внедрения в учебный процесс



МИНИСТЕРСТВО ОБРАЗОВАНИЯ И НАУКИ РОССИЙСКОЙ ФЕДЕРАЦИИ  
Федеральное государственное бюджетное образовательное учреждение  
высшего профессионального образования

«Томский государственный университет систем управления и радиоэлектроники» (ТУСУР)

АКТ  
от 14.08.2015 № 04  
о внедрении в учебный процесс  
результатов диссертации Алфёрова С.М.  
«Автоматизация процесса регулировки  
манометров»

УТВЕРЖДАЮ  
Проректор по учебной работе  
Л. А. Бокор  
2015 г.



Комиссия в составе:

Председателя:  
Декан ФСУ

П.В. Сеченко

Члены комиссии:  
Зав.кафедрой АСУ  
Доцент кафедры АСУ  
Доцент кафедры АСУ

А.М. Кориков  
М.В. Григорьева  
А.А. Шелестов

рассмотрела результаты работ выполненных при непосредственном участии сотрудника кафедры «Автоматизированные системы управления» (АСУ) ФГБОУ ВПО ТУСУР Алфёрова Сергея Михайловича и составила настоящий акт об использовании в учебном процессе на кафедре АСУ их результатов вошедших в диссертацию «Автоматизация процесса регулировки манометров» (далее Результаты).

Комиссия подтверждает, что Результаты используются в учебном процессе на кафедре АСУ ФГБОУ ВПО ТУСУР. Разработанные в диссертации «Модели механизмов и устройств градуировочного стенда» включены в лабораторный практикум по учебному курсу «Основы теории управления». Результаты по «Структурному моделированию процессов градуировки манометров» включены в учебный курс «Компьютерное моделирование» и методически указания к лабораторным по данному учебному курсу. Результаты по разработке алгоритмов для градуировки манометров применяются при выполнении лабораторного практикума по учебному курсу «Системы цифровой обработки сигналов».

Председатель

Члены комиссии

*Сеченко*  
*Кориков*  
*Григорьева*  
*Шелестов*

П.В. Сеченко  
А.М. Кориков  
М.В. Григорьева  
А.А. Шелестов

Исполнитель: Логина О.М.  
(3822) 701-536 плустр.(2005)

# Заключение.

## Практическая ценность

- Предложен способ индивидуальной градуировки манометров.
- Предложенный способ регулировки манометров распараллеливается, что обеспечивает значительное уменьшение временных и финансовых затрат на регулировку.
- Проведена экспериментальная проверка предложенного способа.
- Использование АСГМ в производственном процессе позволяет:
  - уменьшить время обучения персонала для регулировки приборов;
  - сократить длительность процесса регулировки;
  - регулировать приборы, которые не регулируются вручную;
  - определять дефекты в механизмах приборов, таких как трение («цепление»), «проскальзывание»; и выдавать рекомендации по их устранению.

# Заключение.

## Новизна

- Разработан комплекс алгоритмов, позволяющий выявлять дефекты в механизмах приборах.
- Сравнение двух алгоритмов определения угла по точкам границы дает следующие результаты:
  - МНК определяет угол точнее предложенного в случае использования технологической стрелки и при отсутствии изъянов на ней.
  - Предложенный алгоритм точнее определяет угол стрелки в случае использования обычной стрелки на фоне механизма.
- Точность измерения шкалы манометра выше, при условии запуска процесса как можно ближе к давлению равному нулю.
- Выбрана технология DirectShow захвата видеоизображения, для обеспечения приемлемой скорости чтения и обработки кадров.
- Построена математическая модель работы клапанного задатчика давления (ЗД), питаемого станцией давления аккумуляторного типа через редукционный клапан М-ПКР («дроссель») с учетом помех на входе ЗД (помех от некачественной работы дресселя). Выявлена необходимость доработки клапанного стенда для успешного управления давлением.
- Построена математическая модель прессового ЗД и доказана её адекватность. Алгоритм, разработанный на основе модели, позволяют заранее рассчитать положение поршня для обеспечения в системе требуемого давления.