

end  
end

В программе для визуализации решения дифференциальных уравнений (6) используется стандартная функция MATLAB *odephas3*, с помощью которой осуществляется построение графика фазовой траектории. Фазовая траектория системы представлена на рис. 2.

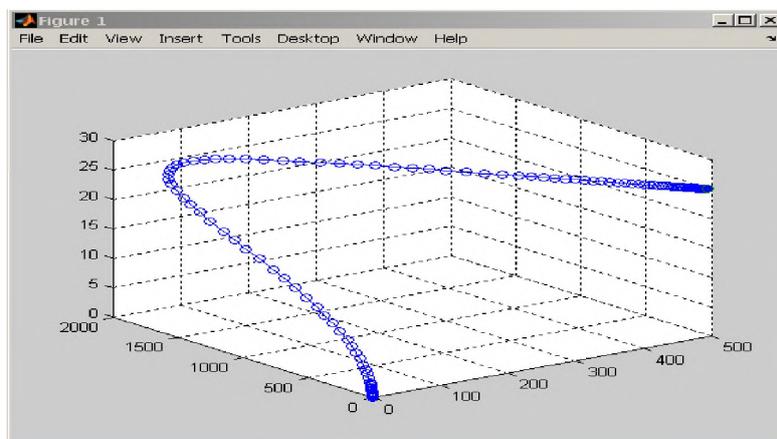


Рис. 2 Фазовая траектория замкнутой системы ПЧ – АД

Из рис. 2 видно, что фазовая траектория стремится к равновесному состоянию нелинейной системы ПЧ – АД, т.е. в точку  $[0, 0, 0]$  по всем координатам системы. Согласно [4] замкнутая система ПЧ – АД устойчива.

#### Выводы

1. Программа расчета фазовой траектории замкнутых нелинейных систем управления позволяет определять устойчивость систем управления описываемых дифференциальными уравнениями третьего порядка.
2. Программа расчета фазовой траектории систем управления может быть использована со многими нелинейностями с условием их математического описания известными уравнениями.

#### Список литературы

1. Попов Е.П. Теория нелинейных систем автоматического регулирования и управления. – М.: Наука, Гл. ред. физ. – мат. лит., 1988. – 256 с.
2. Терехов В.М., Осипов О.И. Системы управления электроприводов. – М.: Издат. центр «Академия», 2008. – 304 с.
3. Алексеев Е.Р., Чеснокова О.В. MATLAB 7. – М.: НТ Пресс, 2006. - 464 с.
4. Теория автоматического управления. Ч. II. Под ред. А.В. Нетушила. – М.: «Высшая школа», 1972. – 432 с.

#### References

1. Popov EP The theory of nonlinear systems of automatic control and management. - M.: Science, Ch. Ed. nat. - Mat. lit., 1988. - 256.
2. Terekhov V. Osipov, OI Control system actuators. - M.: Izdat. center "Academy", 2008. - 304 p.
3. Alekseev ER, Chesnokov O. MATLAB 7. - M.: NT Press, 2006. - 464 p.
4. Automatic Control Theory. Part II. Ed. AV Netushila. - M.: "High School", 1972. - 432 p.

УДК.: 658.52.011.56: 667.6

#### РАЗРАБОТКА АВТОМАТИЗИРОВАННОЙ СИСТЕМЫ УПРАВЛЕНИЯ ТЕХНОЛОГИЧЕСКИМ ПРОЦЕССОМ СМЕШИВАНИЯ КРАСОК

**Акылбеков Адилет Акылбекович**, КГТУ им.И.Раззакова, Кыргызстан, 720044, г.Бишкек, пр. Мира, 66, e-mail: adiletakylbekov@gmail.com

**Кошова Бибигуль Бейшенбековна**, к.т.н., доцент, КГТУ им.И.Раззакова, 720044, г.Бишкек, пр. Мира, 66, e-mail: bibigul200472@mail.ru.

Цель - разработка АСУТП смешивания красок на базе ПЛК S7-300 фирмы Siemens и программного обеспечения Step 7 v 5.4 на нижнем уровне, WinCC Flexible - 2008 на верхнем уровне автоматизации. Лакосмешивающая машина широко применяется на сегодняшний день в лакокрасочной, автомобильной, текстильной промышленности.

**Ключевые слова:** программируемый логический контроллер (ПЛК), ПЛК Simatic S7-300, ПО Step 7 v 5.4, SCADA Win CC Flexible - 2008, машина смешивания красок.

## DEVELOPMENT OF AN AUTOMATED PROCESS CONTROL COLOR MIXING

**Akylbekov Adilet**, Kyrgyzstan, 720044, с. Bishkek, KSTU named after I.Razzakov,  
e-mail: : adiletakylbekov@gmail.com

**Koshoeva Bibigul**, Phd (Engineering), Associate Professor, Kyrgyzstan, 720044, с. Bishkek, KSTU named after I.Razzakov, e-mail: bibigul200472@mail.ru

**Purpose** - to develop the control system of mixing colors based on Siemens S7-300 PLC and Software Step 7 v 5.4 on the lower level, WinCC Flexible 2008 at the top level of automation. Paint mixing machine is widely used today in the paint, automotive and textile industries.

**Keywords:** programmable logic controller (PLC), PLC Simatic S7-300, Software Step 7 v 5.4, SCADA Win CC Flexible 2008, paint mixing machine.

**Введение.** В Кыргызской Республике в последнее время заметно развивается сфера промышленности. Для снижения затрат на производство, уменьшения расходов сырья, улучшения качества и увеличения количества продукции активно начали применять средства автоматизации в сферах пищевой, строительной, аграрной промышленности. Программируемый логический контроллер (ПЛК), как средство автоматизации позволяет автоматизировать работу больших и малых систем технологических процессов в производстве для обеспечения быстрой, качественной и безопасной продукцией.

**Постановка задачи.** Сущность решения заключается в управлении технологическим процессом лакокрасочной машины, производящей лакокрасочные материалы требуемого цвета. Технологическую базу составляют современные аппаратные и коммуникационные средства для автоматизации управления в лакокрасочной промышленности.

Для АСУТП смешивания красок, разработанной на нижнем и верхнем уровнях автоматизации, использовались следующие технические, программные и коммуникационные средства:

- ПЛК S7-300 (CPU 314C-2DP);
- Блок питания PS307(2A);
- Коммуникационные средства (*MPI ПК аданмер USB Siemens*);
- Учебный стенд ПЛК S7-300 «Christiani»;
- ПО Step7 (5.4);
- ПО WinCC Flexible (2008);

**Описание работы машины.** Лакокрасочная машина позволяет получить в процессе смешивания лак необходимого цвета. Для этого в бочке-смесителе смешивают лаки из 4 бочек-резервуаров следующих цветов: красный, синий, зеленый, желтый. Машина должна смешивать лаки по двум разным рецептам для получения на выходе лака двух разных цветов. Нажатием кнопки SWP1/2 можно выбрать тон лака 1 (программа 1) или тон лака 2 (программа 2). На рис.1 представлена технологическая схема управления лакокрасочной машиной.

**Работа машины смешивания красок (МСК) по программе 1.** Мотор - смеситель M1 должен включиться в автоматический режим при:

- ВКЛ машину (контакт Q1 замкнут),
- выбор тона лака 1 (программа 1, SWP1/2 открыть),
- ВКЛ кнопку S1.

Далее по истечении 4сек (T1) клапан Y1 бочки1 будет открыт. По истечении 2сек (T2) включен мотор-насос M2. Теперь краска из бочки1 вкачивается в смеситель красок, пока сенсор наполнения 1 (SE1) не включен. Включение SE1 приведет к закрытию клапана Y1 и через 2сек (T3) выключится мотор M2. По истечении 4сек (T1) клапан Y2 бочки2 будет открыт. По истечении 2сек (T2) включен мотор-насос M2. Теперь краска из бочки2 вкачивается в смеситель красок, пока сенсор наполнения 2 (SE2) не включится. Включение сенсора SE2 приведет к закрытию клапана Y2 и через 2сек (T3) выключится мотор M2. По истечении 4сек (T1) клапан Y3 бочки3 будет открыт. По истечении 2сек (T2) включен мотор-насос M2. Теперь краска из бочки3 вкачивается в смеситель красок, пока сенсор наполнения 3 (SE3) не включится. Включение SE3 приведет к закрытию клапана Y3 и через 2сек (T3) выключится мотор M2. После выключения M2 клапан Y5 будет открыт, и смешанная краска идет на дальнейшую обработку из смесителя. На сенсор SEBL подается сигнал сразу же, как только смеситель будет опустошен. При наличии этого сигнала клапан Y5 будет снова закрыт и выключится мотор M1. Сейчас машина находится в исходном положении. Нажатием кнопки S1 можно заново начать новый цикл смешивания.

Работа машины смешивания красок по программе 2

Мотор - смеситель M1 должен включиться в автоматический режим при:

- ВКЛ машину (Q1 замкнут),
- выбор тона лака 2 (программа 1, SWP1/2 закрыть),
- ВКЛ кнопки S1.

Далее по истечении 4сек (T1) вентиль Y2 бочки2 будет открыт. По истечении 2сек (T2) включен мотор-насос M2. Теперь краска из бочки2 вкачивается в смеситель красок, пока сенсор наполнения 1 (SE1) не включится. Включение SE1 приведет к закрытию вентиля Y1 и через 2сек (T3) выключится мотор M2. По истечении 4сек (T1) вентиль Y3 бочки3 будет открыт. По истечении 2сек (T2) включен мотор-насос M2. Теперь краска из бочки3 вкачивается в смеситель красок, пока сенсор наполнения 2 (SE2) не выключится. Включение SE2 приведет к закрытию вентиля Y3 и через 2сек (T3) выключится мотор M2. По истечении 4сек (T1) вентиль Y4 бочки4 будет открыт.

По истечении 2сек (T2) включен мотор-насос M2. Теперь краска из бочки4 вкачивается в смеситель красок, пока сенсор наполнения 3 (SE3) не включится. Включение SE3 приведет к закрытию вентиля Y4 и через 2сек (T3) выключится M2. После выключения M2 вентиль Y5 будет открыт, и смешанная краска идет на дальнейшую обработку из смесителя. На сенсор SEBL подается сигнал сразу же, как только смеситель будет опустошен. При наличии этого сигнала вентиль Y5 будет снова закрыт и выключится мотор1. Сейчас машина находится в исходном положении. Нажатием кнопки S1 можно заново начать новый цикл смешивания.

Режимы работы машины - ручной и автоматический - будут показаны индикаторными лампами H1H и H1A. Нахождение машины в первоначальном состоянии будет показано лампой H1G. Автоматический процесс будет показан моргающим светом лампы H1S с частотой 1Гц, выбор программы - лампами HP1 и HP2.

При разработке программы определили входные, выходные параметры, меркеры, которые включены в таблицу символов (табл.1).

На основе таблицы 1 сформировали функциональную схему SFC MCK (рис.2.). **Sequential Function Chart** (последовательные функциональные схемы) — язык программирования стандарта IEC61131-3, предназначенный для программирования промышленных контроллеров. Последовательная функциональная схема (SFC) идеально подходит для разработки и программирования технологических последовательностей обработки на MCK [1]. Она может использоваться для определения шагов и условий соответствующих переходов между ними, а также альтернативных и параллельных ветвей. SFC MCK состоит из 16 основных шагов, которые отражают цикл работы процесса смешивания красок по программам 1 или 2.

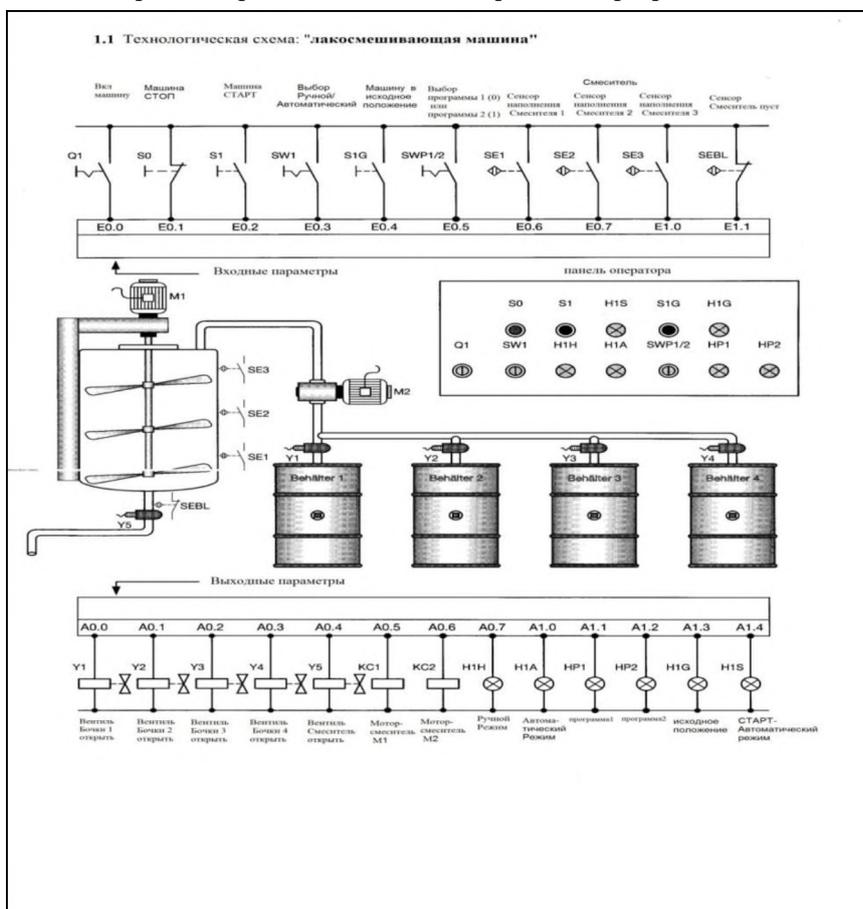


Рис. 1. Технологическая схема машины смешивания красок

Символьный адрес	Обозначение	Примечание
<b>Входы:</b>		
E 0.0	Q1	Включить машину
E 0.1	SO	Машина СТОП
E 0.2	S1	Машина СТАРТ
E 0.3	SW1	Выбор ручной/автоматический
E 0.4	S1G	Машину в исходное положение
E 0.5	SWP1/2	Выбор программы 1 или программы 2
E 0.6	SE1	Сенсорнаполнения смесителя 1
E 0.7	SE2	Сенсорнаполнения смесителя 2
E 1.0	SE3	Сенсорнаполнения смесителя 3
E 1.1	SEBL	Сенсор смеситель пуст
<b>Выходы:</b>		
A 0.0	Y1	Вентиль Бочки 1 открыть
A 0.1	Y2	Вентиль Бочки 2 открыть
A 0.2	Y3	Вентиль Бочки 3 открыть
A 0.3	Y4	Вентиль Бочки 4 открыть
A 0.4	Y5	Вентиль смеситель открыть
A 0.5	KC1	Мотор-смеситель M1
A 0.6	KC2	Мотор-насос M2
A 0.7	H1H	Индикатор - лампа ручной режим
A 0.7	H1A	Индикатор - лампа автоматический режим
A 1.0	H1G	Индикатор - лампа машина в исходном положении
A 1.1	H1S	Индикатор - лампа автоматический режим СТАРТ
<b>Меркеры:</b>		
M0.0	SM0	Меркер 0, Начальный шаг
M0.1	SM1	Меркер 1 - KC1 ВКЛ / Y1 и KC2 задержать ВКЛ
M0.2	SM2	Меркер 2- KC2 задержать ВЫКЛ
M0.3	SM3	Меркер 3- Y2 задержать ВКЛ / KC2 задержать ВКЛ
M 0.4	SM4	Меркер 4- KC2 задержать ВЫКЛ
M 0.5	SM5	Меркер 5- Y3 задержать ВКЛ / KC2 задержать ВКЛ
M 0.6	SM6	Меркер 6- KC2 задержать ВЫКЛ
M 0.7	SM7	Меркер 7- Y5 ВКЛ
M 1.0	SM8	Меркер 8 - KC1 ВЫКЛ
M1.1	SM9	Меркер 9 - KC1 ВКЛ / Y2 und KC2 задержать ВКЛ
M 1.2	SM10	Меркер 10- KC2 задержать ВЫКЛ
M 1.3	SM11	Меркер 11- Y3 задержать ВКЛ / KC2 задержать ВКЛ
M 1.4	SM12	Меркер 12- KC2 задержать ВЫКЛ

Каждая из программ (1 и 2 программа работы машины смешивания красок) состоит из 9 последовательных шагов, включая нулевой M 0.0- шаг инициализации. Остальные восемь шагов описывают последовательный алгоритм процесса смешивания красок. Все шаги описаны в функциональном блоке при помощи SR-триггеров.

При разработке программы на ПО Step 7 v 5.4 использовался язык программирования-FBD. **FBD (Functional Block Diagram)** - графический язык, в котором используются функциональные блоки, по внешнему виду - микросхемы. Программа работы машины смешивания красок была написана при помощи функциональных блоков, вызванных через организационный блок для организации циклической обработки данных[2,3]. На рис. 3 представлен фрагмент программы Network 2 «Включить машину, выбрать тип программы 1 и открыть вентиль бочки 1».

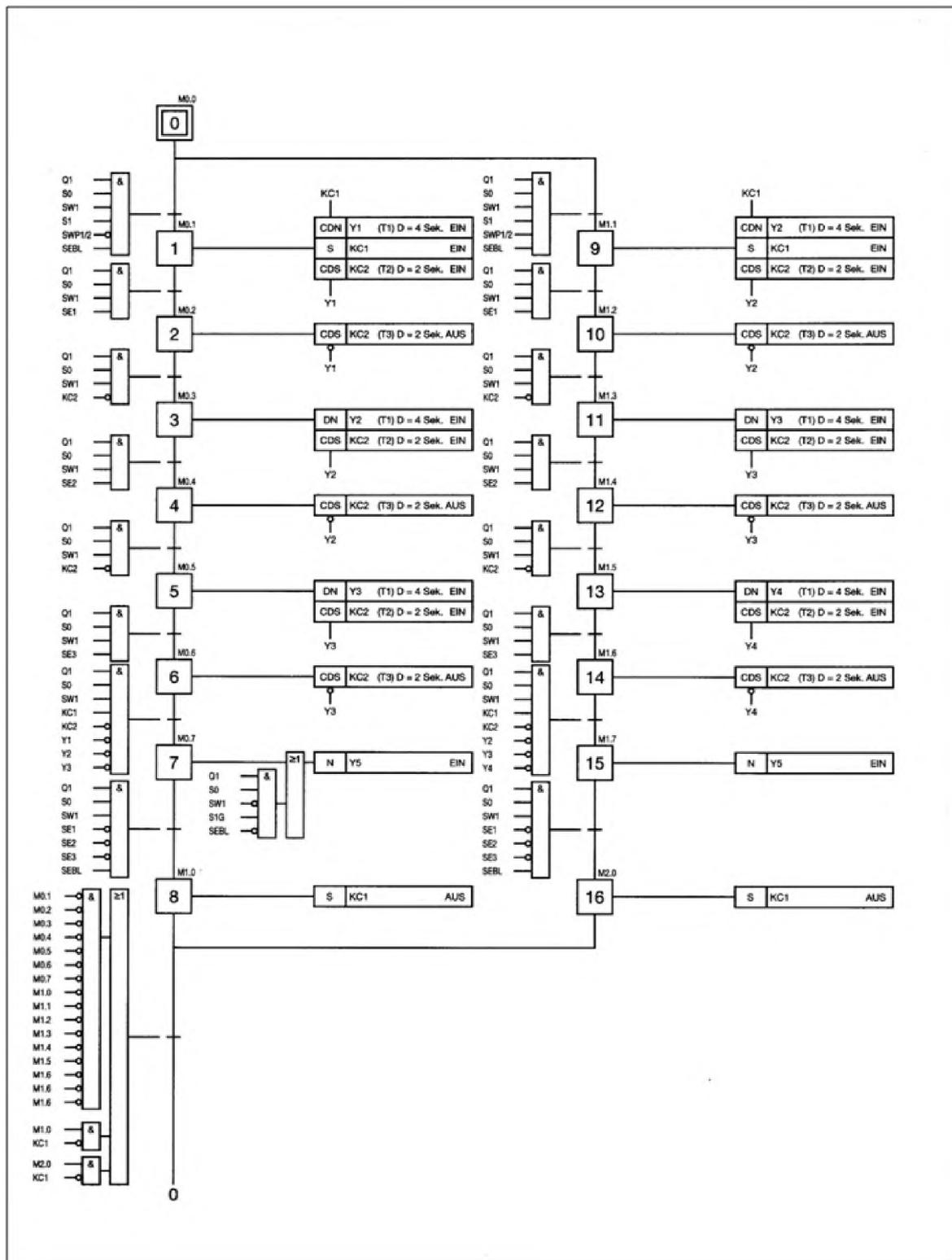


Рис. 2 Функциональная схема SFC машины смешивания красок

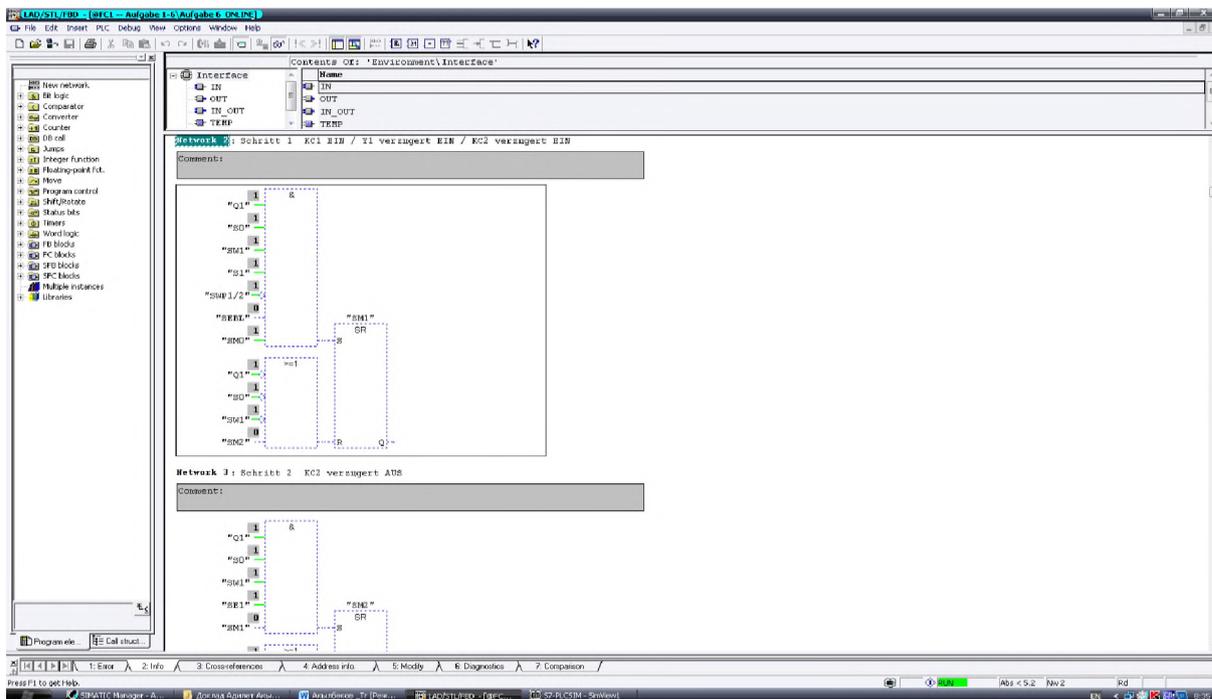


Рис. 3 Фрагмент программы МСК

**Макет машины смешивания красок.** Для симуляции реального технологического процесса был собран макет лакокрасочной машины и подключен к стенду “Christiani” с выходными узлами от CPU 314C-2DP с напряжением 24В.

На рис.4 представлена демонстрация макета МСК, который работает по программе 1: клапан Y1 бочки 1 открыт и краска из бочки вкачивается в смеситель красок, пока датчик наполнения1 не включится.

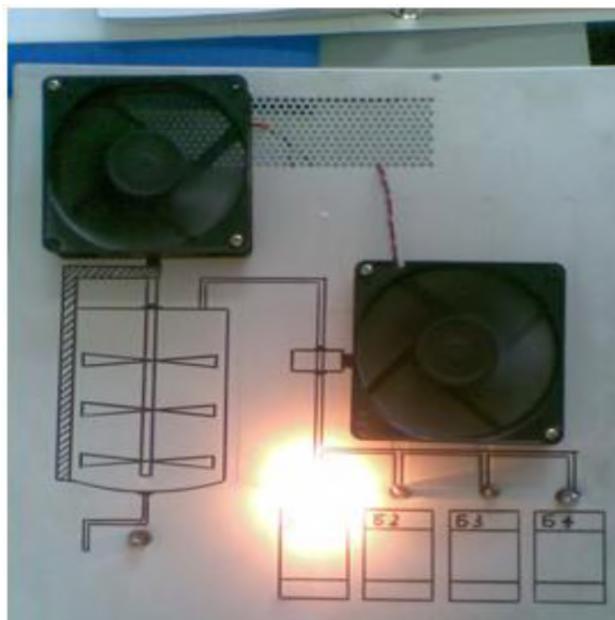


Рис. 4. Вид макета МСК

Для МСК на верхнем уровне автоматизации реализовывалась с помощью SCADA WinCC Flexible. **SCADA** (аббр. от англ. Supervisory Control And Data Acquisition, Диспетчерское управление и сбор данных) — программный пакет, предназначенный для разработки или обеспечения работы в реальном времени систем сбора, обработки, отображения и архивирования информации об объекте мониторинга или управления.

WinCC - первый в мире IHMI (Integrated Human Machine Interface - интегрированный человеко-машинный интерфейс) - программная система, которая полностью интегрирует программное обеспечение для управления установкой в наш автоматизируемый процесс.

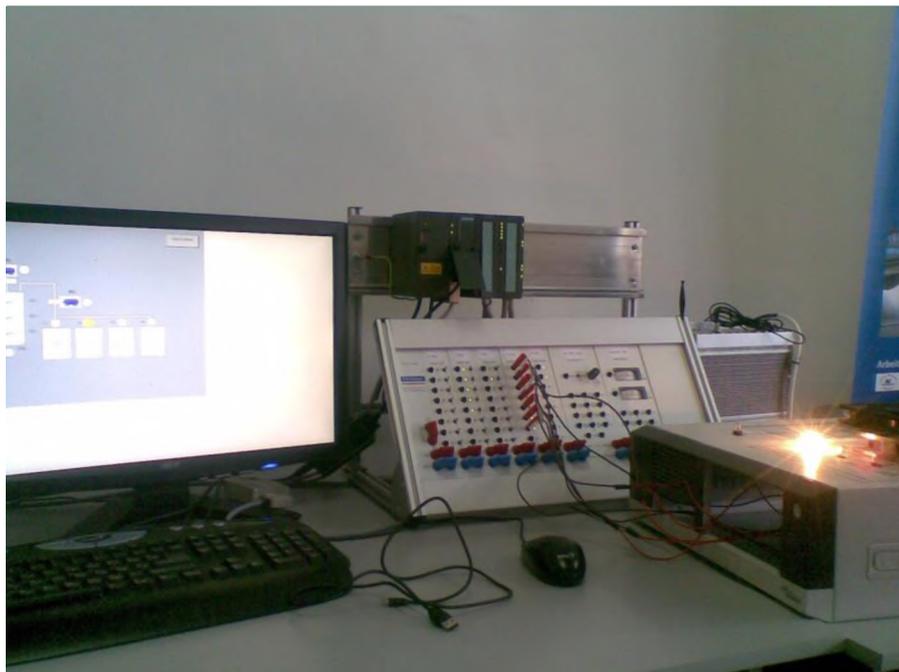


Рис.5.Операторская панель (WinCC Flexible) + ПЛК S7-300+ макет МСК

#### Список литературы

1. Петров И. В. Программируемые контроллеры. Стандартные языки и приемы прикладного проектирования / Под ред. проф. В. П. Дьяконова. — М.: СОЛОН - Пресс, 2004. — 256 с. ISBN 5-98003-079-4
2. Gans Berger "Automating with Step 7 in LAD & FBD" Siemens AG. 2001. -605с.
3. Juergen Kaftan "SPS-Grundkurs" Vogel Buchverlag Wurzburg.1989. -283с.

#### References

1. Petrov IV Programmable Controllers . Standard languages and techniques of applied design / Ed. prof. VP Dyakonov . - М .: SOLON - Press , 2004. - 256 с. ISBN 5-98003-079-4
2. Gans Berger "Automating with Step 7 in LAD & FBD" Siemens AG. 2001. -605с.
3. Juergen Kaftan "SPS-Grundkurs" Vogel Buchverlag Wurzburg.1989. -283с.