



УДК 621.313.333.1

**С.С. Исенов, И.А. Пястолова**

Казахский агротехнический университет им. С. Сейфуллина, Астана

**РАЗРАБОТКА СХЕМНОГО РЕШЕНИЯ И ПРИНЦИПА РАБОТЫ УСТРОЙСТВА МИКРОПРОЦЕССОРНОГО УПРАВЛЕНИЯ МНОГОДВИГАТЕЛЬНЫМ АСИНХРОННЫМ ЭЛЕКТРОПРИВОДОМ**

Повышение производственных и строительных мощностей в промышленности, в последние годы, привело к возросшему объему транспортных и подъемно-транспортных операций. Все это приводит к необходимости повышения производительности и автоматизации управления подъемно-транспортными работами. В ряде случаев для механизмов передвижения крановых установок, учитывая технологические требования и режимы работы, целесообразно применение многодвигательного асинхронного электропривода. Одним из возможных модернизационных решений является автоматическое регулирование многодвигательным асинхронным электроприводом с использованием в качестве системы управления микропроцессорного устройства, что позволяет повысить технический уровень и упростить эксплуатацию кранового механизма.

Для расширения диапазона регулирования скорости, согласованного вращения электродвигателей разработано устройство автоматического управления многодвигательным асинхронным электроприводом с применением двунаправленных регистров сдвига и магазинов сопротивлений [1].

Принцип работы устройства автоматического управления многодвигательным асинхронным электроприводом с применением двунаправленных регистров сдвига и магазинов сопротивлений заключается в следующем. В микропроцессорную (МП) систему управления поступает аналоговая информация от датчиков тока статора и датчиков скорости. На основе поступившей информации цифровая система управления определяет необходимость вмешательства в процесс работы электропривода. Если двигатели системы вращаются с отклонением от номинального значения, вводятся сопротивления с определенным большим либо меньшим значениями с помощью регистров сдвига в цепи роторов, позволяющих в зависимости от текущего режима работы выровнять скорости вращения электродвигателей и вывести их к номинальному режиму работы в соответствии с заданной программой работы.

На рис. 1 приведено разработанное устройство автоматического управления многодвигательным асинхронным электроприводом с использованием микроконтроллера Atmega 48, двунаправленных регистров сдвига серии ИР 24, магазинов сопротивлений [2].

Принципиальная схема устройства автоматического управления содержит следующие основные элементы:  $\sim 380$  В – трехфазная электрическая сеть; М1, М2 – асинхронные электродвигатели с фазным ротором; UZ1, UZ2 – выпрямители; L1, L3 – сглаживающие пульсации дроссели; R<sub>1</sub>, R<sub>3</sub> – среднее значение сопротивлений М1, М2; VS1, VS3 – главные тиристоры; C1, C2 – конденсаторы; VS2, VS4 – вспомогательные тиристоры, подключающие конденсаторы C1, C2 к основным тиристорам; L2, L4 – индуктивности,

обеспечивающие колебательный перезаряд конденсатора;  $U_{n1}$ ,  $U_{n2}$  – независимые источники питания конденсаторов C1, C2; VD1, VD3 – диоды, служащие для прерывания колебательного разряда конденсаторов C1, C2 от источников подпитки  $U_{n1}$ ,  $U_{n2}$ ; R<sub>2</sub>, R<sub>4</sub> – сопротивления, ограничивающие ток подзарядки конденсаторов C1, C2 от независимых источников питания  $U_{n1}$ ,  $U_{n2}$ ; VD2, VD4 – диоды, ограничивающие ток к источникам  $U_{n1}$ ,  $U_{n2}$ ; RG1, RG2 – двунаправленные регистры сдвига, серии ИР 24; R<sub>5</sub>, R<sub>6</sub>, R<sub>7</sub> – меньшие значения сопротивлений, входящие в магазин сопротивлений, подключенный к M1; R<sub>8</sub>, R<sub>9</sub>, R<sub>10</sub> – большие значения сопротивлений, входящие в магазин сопротивлений, подключенный к M1; R<sub>11</sub>, R<sub>12</sub>, R<sub>13</sub> – меньшие значения сопротивлений, входящие в магазин сопротивлений, подключенный к M2; R<sub>14</sub>, R<sub>15</sub>, R<sub>16</sub> – большие значения сопротивлений, входящие в магазин сопротивлений, подключенный к M2; ОПТ<sub>1</sub> ÷ ОПТ<sub>7</sub>, ОПТ<sub>8</sub> ÷ ОПТ<sub>14</sub> – оптопары, служащие гальванической развязкой между силовой цепью M1, M2 и микроконтроллером; ТА1, ТА3 – датчики тока статора, на основе трансформаторов тока; ТС1, ТС2 – датчики скорости, на основе датчиков напряжения; ATmega48 – микроконтроллер фирмы Atmel Corporation; HD 44780 – жидкокристаллический экран; "+", "-", "ON/OFF" – кнопки управления.

Устройство автоматического управления многодвигательным асинхронным электроприводом с использованием двунаправленных регистров сдвига и магазинов сопротивлений работает следующим образом.

Сигналы  $I_{11}$ ,  $I_{12}$ ,  $U_{21}$ ,  $U_{22}$ , содержащие информацию о ходе работы электродвигателей – M1, M2, с вторичных обмоток ТА1, ТА2, ТС1, ТС2, посредством выпрямительных мостов, конденсаторов и резисторов, преобразовываются под требуемый диапазон, и текущие значения поступают в микропроцессорную систему управления, на вход порта ввода и далее в аналого-цифровой преобразователь (АЦП). Поступившие данные АЦП преобразовывает в цифровые коды и с помощью внутренней шины передает их центральному процессору (ЦП). В соответствии с заданной программой ЦП производит вычисление поступивших данных и при необходимости инициирует операцию, заложенную в программе, которую возможно и необходимо выполнить, код операции через внутреннюю шину поступает в широтно-импульсный модулятор (ШИМ). В ШИМ входная координата в виде двоичного кода преобразовывается в координату – скважность включения вентиля, и на основе поступивших и обработанных ЦП данных в цепи роторов подключаются сопротивления с заданными значениями на определенный период времени.

Управление происходит следующим образом. В начале задаем временной отрезок  $t=500$  мкс, т. е.  $T_p=0,5 \cdot 10^{-3}$  с, на который в цепи роторов электродвигателей, учитывая, что двигатели – инерционные звенья, вводятся заданные значения сопротивлений.

На основе пределов регулирования (рис. 2, 3), для системы электропривода составляется внутренняя структура управления, служащая основой для составления программного обеспечения, разбитая на следующие участки:

1. Работа M1, входящего в систему многодвигательного асинхронного электропривода в пределах: по току статора  $I_{11MIN1} = I_{11NOM} = I_{11MAX1}$ ; по скорости вращения  $W_{11MIN1} = W_{11NOM} = W_{11MAX1}$ . Данные области для M1 соответствуют заданным режимам работы многодвигательного асинхронного электропривода, электродвигатели функцио-

нируют согласованно. Микропроцессорная система управления в соответствии с программой работает в режиме диагностики и выдает на дисплей сигнал о номинальном режиме работы.

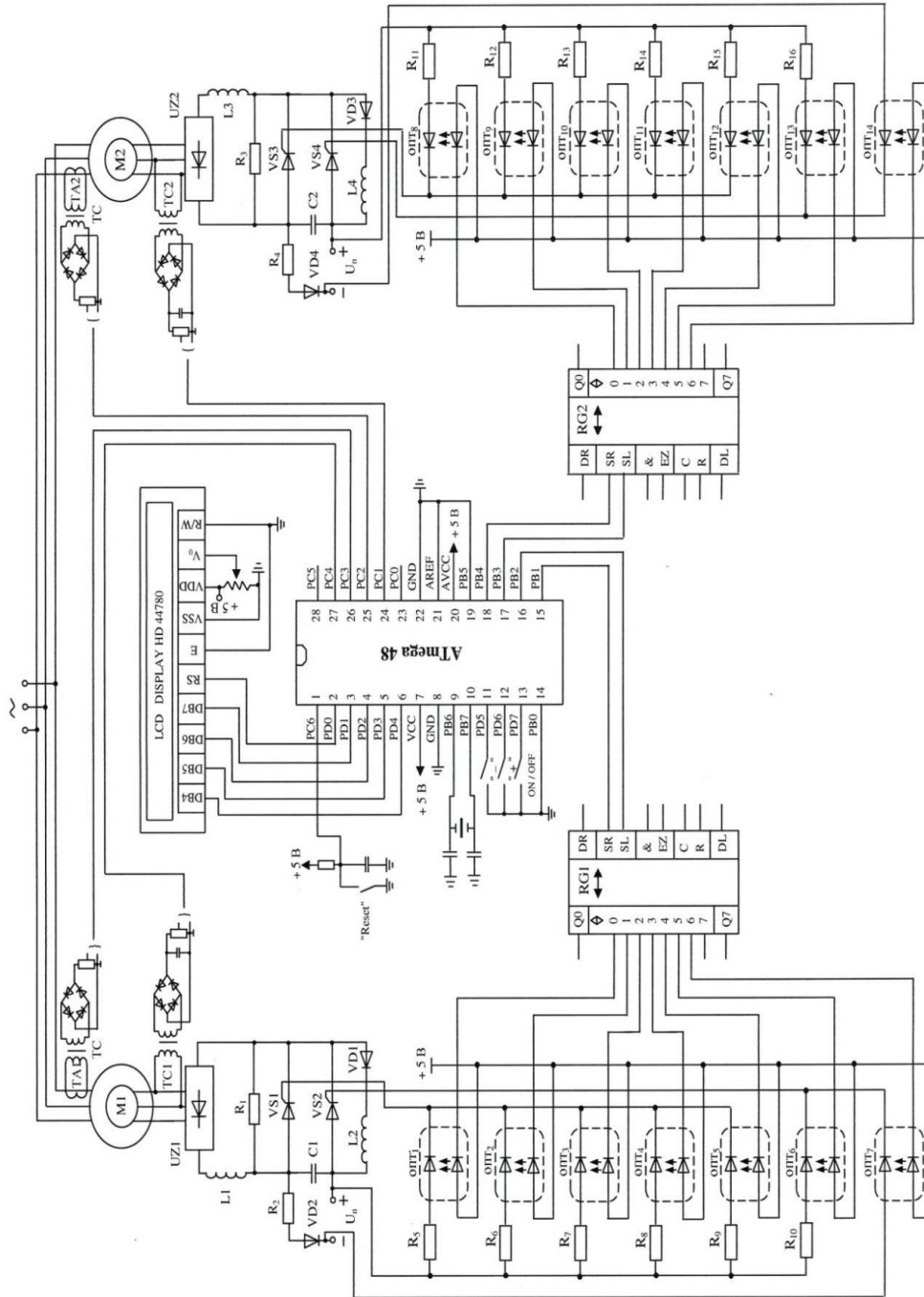


Рисунок 1 – Принципиальная схема устройства автоматического управления многодвигательным асинхронным электроприводом с применением двунаправленных регистров сдвига и магазинов сопротивлений

Ток статора I двигателя										
$I_{11MIN2}$	$I_{MIN7}$	$I_{MIN6}$	$I_{MIN5}$	$I_{11MIN1}$	$I_{11NOM}$	$I_{11MAX1}$	$I_{MAX8}$	$I_{MAX9}$	$I_{MAX10}$	$I_{11MAX2}$
Скорость вращения I двигателя										
$W_{11MIN2}$	$W_{MIN7}$	$W_{MIN6}$	$W_{MIN5}$	$W_{11MIN1}$	$W_{11NOM}$	$W_{11MAX1}$	$W_{MAX8}$	$W_{MAX9}$	$W_{MAX10}$	$W_{11MAX2}$
Добавочные сопротивления I двигателя										
$R_{7MIN}$	$R_{6MIN}$	$R_{5MIN}$	$R_{1MIN}$	<b>NOMINALM1</b>	$R_{1MAX}$	$R_{8MAX}$	$R_{9MAX}$	$R_{10MAX}$		

Рисунок 2 – Пределы регулирования устройства автоматического управления многодвигательным асинхронным электроприводом для M1

Ток статора 2 двигателя

$I_{12\text{ MIN}2}$	$I_{\text{MIN}13}$	$I_{\text{MIN}12}$	$I_{\text{MIN}11}$	$I_{12\text{ MIN}1}$	$I_{12\text{ NOM}}$	$I_{12\text{ MAX}1}$	$I_{\text{MAX}14}$	$I_{\text{MAX}15}$	$I_{\text{MAX}16}$	$I_{12\text{ MAX}2}$
----------------------	--------------------	--------------------	--------------------	----------------------	---------------------	----------------------	--------------------	--------------------	--------------------	----------------------

Скорость вращения 2 двигателя

$W_{12\text{ MIN}2}$	$W_{\text{MIN}13}$	$W_{\text{MIN}12}$	$W_{\text{MIN}11}$	$W_{12\text{ MIN}1}$	$W_{12\text{ NOM}}$	$W_{12\text{ MAX}1}$	$W_{\text{MAX}14}$	$W_{\text{MAX}15}$	$W_{\text{MAX}16}$	$W_{12\text{ MAX}2}$
----------------------	--------------------	--------------------	--------------------	----------------------	---------------------	----------------------	--------------------	--------------------	--------------------	----------------------

Добавочные сопротивления 2 двигателя

$R_{13\text{ MIN}}$	$R_{12\text{ MIN}}$	$R_{11\text{ MIN}}$	$R_{3\text{ MIN}}$	<b>NOMINALM2</b>	$R_{3\text{ MAX}}$	$R_{14\text{ MAX}}$	$R_{15\text{ MAX}}$	$R_{16\text{ MAX}}$
---------------------	---------------------	---------------------	--------------------	------------------	--------------------	---------------------	---------------------	---------------------

Рисунок 3 – Пределы регулирования устройства автоматического управления многодвигательным асинхронным электроприводом для M2

2. При работе электропривода в областях по минимуму для  $M1$  в пределах по току статора  $I_{11MIN1} \geq I_{11MIN2}$  и скорости вращения  $W_{11MIN1} \geq W_{11MIN2}$  регулирование системы электропривода с микропроцессорным управлением происходит следующим образом:

а) если текущие значения тока статора и скорости вращения находятся в пределах от  $I_{11MIN1}$  до  $I_{MIN5}$  и от  $W_{11MIN1}$  до  $W_{MIN5}$ , то в цепь ротора  $M1$  вводится сопротивление  $R_{1MIN}$  на заданный период времени;

б) если параметры тока статора и скорости вращения находятся в области от  $I_{MIN5}$  до  $I_{MIN6}$  и от  $W_{MIN5}$  до  $W_{MIN6}$ , то в цепь ротора  $M1$  вводится сопротивление  $R_{5MIN}$  на заданный период времени;

в) если текущие значения тока статора и скорости вращения в пределах от  $I_{MIN6}$  до  $I_{MIN7}$  и скорости вращения от  $W_{MIN6}$  до  $W_{MIN7}$ , то в цепь ротора  $M1$  вводится сопротивление  $R_{6MIN}$  на заданный период времени;

г) если параметры тока статора и скорости вращения находятся в пределах от  $I_{MIN7}$  до  $I_{11MIN2}$  и от  $W_{MIN7}$  до  $W_{11MIN2}$ , то в цепь ротора  $M1$  вводится сопротивление  $R_{7MIN}$  на заданный период времени.

3. При работе электропривода в областях по максимуму для  $M1$  в пределах по току статора  $I_{11MAX1} \leq I_{11MAX2}$  и скорости вращения  $W_{11MAX1} \leq W_{11MAX2}$  регулирование микропроцессорным средством системы электропривода с помощью двунаправленного регистра сдвига и магазина сопротивлений происходит следующим образом:

а) если текущие значения тока статора и скорости вращения находятся в пределах от  $I_{11MAX1}$  до  $I_{MAX8}$  и от  $W_{11MAX1}$  до  $W_{MAX8}$ , то в цепь ротора  $M1$  вводится значение сопротивления  $R_{1MAX}$  на заданный период времени;

б) если параметры тока статора и скорости вращения находятся в пределах от  $I_{MAX8}$  до  $I_{MAX9}$  и от  $W_{MAX8}$  до  $W_{MAX9}$ , то в цепь ротора  $M1$  вводится значение сопротивления  $R_{8MAX}$  на заданный период времени;

в) если текущие значения тока статора и скорости вращения находятся в пределах от  $I_{MAX9}$  до  $I_{MAX10}$  и от  $W_{MAX9}$  до  $W_{MAX10}$ , то в цепь ротора  $M1$  вводится значение сопротивления  $R_{9MAX}$  на заданный период времени;

г) если параметры тока статора и скорости вращения находятся в пределах от  $I_{MAX10}$  до  $I_{11MAX2}$  и от  $W_{MAX10}$  до  $W_{11MAX2}$ , то в цепь ротора  $M1$  вводится значение сопротивления  $R_{10MAX}$  на заданный период времени.

4. Работа  $M2$ , входящего в систему многодвигательного асинхронного электропривода, в пределах: а) по току статора  $I_{12MIN1} = I_{12NOM} = I_{12MAX1}$ ; б) по скорости вращения  $W_{12MIN1} = W_{12NOM} = W_{12MAX1}$ .

Данные области для  $M2$  соответствуют номинальным режимам работы системы электропривода, двигатели функционируют согласованно. Микропроцессорное средство, в соответствии с программой, работает в режиме диагностики и выдает на дисплей сигнал

о номинальном режиме работы.

5. При работе электропривода в областях по минимуму для  $M2$  в пределах по току статора  $I_{12\ MIN1} \geq I_{12\ MIN2}$  и скорости вращения  $W_{12\ MIN1} \geq W_{12\ MIN2}$  регулирование микропроцессорным средством системы электропривода с помощью двунаправленного регистра сдвига и магазина сопротивлений происходит следующим образом:

а) если текущие значения тока статора и скорости вращения находятся в пределах от  $I_{12\ MIN1}$  до  $I_{MIN11}$  и от  $W_{12\ MIN1}$  до  $W_{MIN11}$ , то в цепь ротора  $M2$  вводится значение сопротивления  $R_{3\ MIN}$  на заданный период времени;

б) если параметры тока статора и скорости вращения находятся в пределах от  $I_{MIN11}$  до  $I_{MIN12}$  и от  $W_{MIN11}$  до  $W_{MIN12}$ , то в цепь ротора  $M2$  вводится значение сопротивления  $R_{11\ MIN}$  на заданный период времени;

в) если текущие значения тока статора и скорости вращения находятся в пределах от  $I_{MIN12}$  до  $I_{MIN13}$  и от  $W_{MIN12}$  до  $W_{MIN13}$ , то в цепь ротора  $M2$  вводится значение сопротивления  $R_{12\ MIN}$  на заданный период времени;

г) если параметры тока статора и скорости вращения находятся в пределах от  $I_{MIN13}$  до  $I_{12\ MIN2}$  и от  $W_{MIN13}$  до  $W_{12\ MIN2}$ , то в цепь ротора  $M2$  вводится значение сопротивления  $R_{13\ MIN}$  на заданный период времени.

6. При работе многодвигательного асинхронного электропривода в областях по максимуму для  $M2$  в пределах по току статора  $I_{12\ MAX1} \leq I_{12\ MAX2}$  и скорости вращения  $W_{12\ MAX1} \leq W_{12\ MAX2}$  регулирование МП средством системы электропривода происходит следующим образом:

а) если текущие значения тока статора и скорости вращения находятся в пределах от  $I_{12\ MAX1}$  до  $I_{MAX14}$  и от  $W_{12\ MAX1}$  до  $W_{MAX14}$ , то в цепь ротора  $M2$  вводится значение сопротивления  $R_{3\ MAX}$  на заданный период времени;

б) если параметры тока статора и скорости вращения находятся в пределах от  $I_{MAX14}$  до  $I_{MAX15}$  и от  $W_{MAX14}$  до  $W_{MAX15}$ , то в цепь ротора  $M2$  вводится значение сопротивления  $R_{14\ MAX}$  на заданный период времени;

в) если текущие значения тока статора и скорости вращения находятся в пределах от  $I_{MAX15}$  до  $I_{MAX16}$  и от  $W_{MAX15}$  до  $W_{MAX16}$ , то в цепь ротора  $M2$  вводится значение сопротивления  $R_{15\ MAX}$  на заданный период времени;

г) если параметры тока статора и скорости вращения находятся в пределах от  $I_{MAX16}$  до  $I_{12\ MAX2}$  и от  $W_{MAX16}$  до  $W_{12\ MAX2}$ , то в цепь ротора  $M2$  вводится значение сопротивления  $R_{16\ MAX}$  на заданный период времени.

7. При работе  $M1$  и  $M2$ , входящих в систему многодвигательного асинхронного электропривода:

а) если значения по току статора и скорости вращения выходят за пределы:  $I_{11\ MIN2}$  и  $I_{11\ MAX2}$  и за  $W_{11\ MIN2}$  и  $W_{11\ MAX2}$  – для  $M1$ ;

б) если параметры по току статора и скорости вращения выходят за области:  $I_{12\ MIN2}$  и  $I_{12\ MAX2}$  и за  $W_{12\ MIN2}$  и  $W_{12\ MAX2}$  – для  $M2$ .

Данные области для многодвигательного асинхронного электропривода выходят за пределы номинального режима работы и являются аварийными, так как электродвигатели системы перегружены, возникает перегрев, что ведет к нарушению и износу внутренней конструкции двигателей, вследствие чего они выходят из строя.

На основании вышеизложенного можно сделать следующие выводы: использование в качестве основы системы управления многодвигательным асинхронным электроприводом микропроцессорного устройства характеризуется рядом преимуществ, одним из которых является её гибкость, т.е. возможность изменения функций практически без изменения состава системы только за счет изменения программы ее работы, также малые габариты и небольшая цена систем автоматического управления. Эти особенности специализированных микропроцессорных систем управления электроприводами обеспечивают дальнейший технический прогресс в автоматизированном электроприводе.

#### Список литературы

1. Исенов С.С. Способ автоматического импульсного регулирования двухдвигательного асинхронного электропривода с применением двунаправленных регистров сдвига и магистров сопротивлений / С.С. Исенов, Б.Б. Утегулов, В.П. Марковский // Вестник Евразийского национального университета им. Л.Н. Гумилева. – 2008. – № 6. – С. 5-9.
2. Исенов С.С. Разработка принципиальной схемы устройства автоматического регулирования двухдвигательным асинхронным электроприводом / С.С. Исенов, Б.Б. Утегулов, В.П. Марковский // Материалы I Междунар. науч.-практ. конф. «Ресурсосбережение и возобновляемые источники энергии: экономика, экология, опыт применения». – Санкт-Петербург; Чита, 2008. – № 3. – Т.13. – С. 96-98.

Получено 12.07.12

---

УДК 629.113-192

**М.С. Муздыбаев, А.С. Муздыбаева, Д.М. Мырзабекова, А.А. Кривенко**  
ВКГТУ им. Д. Серикбаева, г. Усть-Каменогорск

#### ПОДДЕРЖАНИЕ НАДЕЖНОСТИ ТОПЛИВНОЙ АППАРАТУРЫ ГОРОДСКИХ АВТОБУСОВ

Парк городских автобусов г. Усть-Каменогорска морально и физически устарел. От надежности их работы зависит эффективность и бесперебойное функционирование городского общественного транспорта.

ТОО «Ульба-Транспорт» в числе первых предприняло шаги по постепенному решению данного вопроса. Выбор был остановлен на городских маршрутных автобусах Yutong 6108 NGH (производство КНР). Выбор ТОО «Ульба-Транспорт» обоснован тем, что данный автобус изготавливается по лицензии компании MAN (Германия) и является оптимальным по соотношению «цена–качество» применительно к условиям г. Усть-Каменогорска.

Учитывая, что по указанной модели автобуса отсутствует информация об ее эксплуатационной надежности, перед инженерно-технической службой предприятия была по-



ставлена задача сбора информации об отказах конструктивных элементов и ее анализ. Выявление наиболее часто отказывающихся элементов конструкции позволит выполнить анализ причин их отказов и предложить научно-обоснованные решения по поддержанию надежности машин в эксплуатации.

Известно, что на надежность транспортных машин оказывает влияние множество факторов, в том числе качество применяемых топлив. Применение в эксплуатации дизельного топлива неудовлетворительного качества приводит к различным неисправностям, в том числе к износу плунжерных пар и клапанов топливных насосов, осмолению и коксованию в каналах сопел форсунок, и, как следствие, неустойчивости работы двигателя. Неустойчивая работа двигателя сопровождается повышением колебаний и вибраций двигателя, соединенных с ним трубопроводов, а также влияет на состояние элементов трансмиссии. В частности, были зафиксированы многочисленные повреждения (трещинообразование, разрушение) топливопроводов. За двухлетнюю эксплуатацию производились замены топливных форсунок и насосов высокого давления. В связи с этим, исследование надежности топливоподающей аппаратуры дизельных двигателей городских автобусов Yutong 6108 NGH является актуальным.

Для решения задач рассматриваемого исследования была составлена общая методика оценки показателей надежности элементов конструкций топливоподающей аппаратуры автобусов. Произведен анализ собранной статистической информации [1]. В результате выявлены наиболее часто отказывающиеся элементы топливоподающей аппаратуры автобусов. На рис. 1 указанные элементы расположены в порядке убывания долей их отказов от общего числа отказов элементов топливоподающей аппаратуры.

Как видно, к наиболее часто отказывающимся элементам топливоподающей аппаратуры автобуса Yutong 6108 NGH относятся ТНВД, форсунки, топливопровод и топливный фильтр тонкой очистки. При этом наибольшую долю отказов обусловили ТНВД и форсунки (23 % и 16 % соответственно).

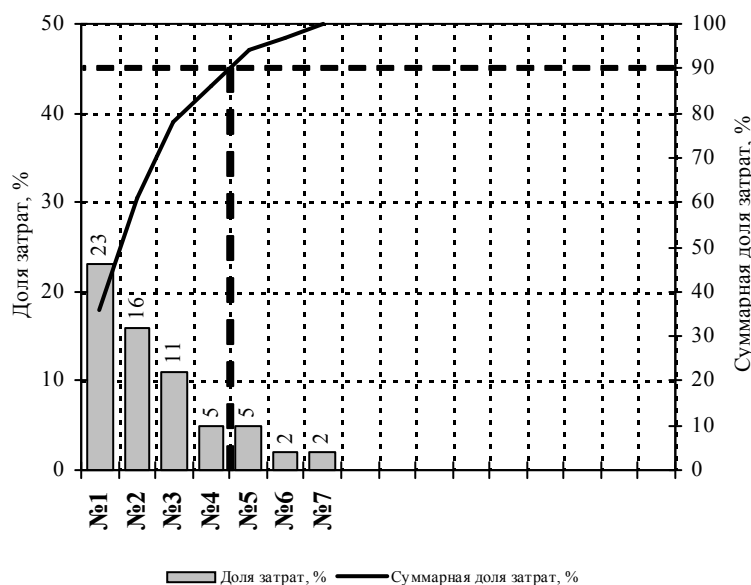


Рисунок 1 - Распределение долей отказов элементов топливоподающей аппаратуры автобусов

Yutong 6108 NGH: 1 – ТНВД; 2 – форсунка; 3 – топливопровод; 4 – трубка топливная; 5 – фильтр топливный тонкой очистки; 6 – топливоподкачивающий насос; 7 – топливная система низкого давления

Произведен подбор теоретических законов, описывающих распределения наработок часто отказывающихся элементов до отказов. Установлено, что их наработки не противоречат нормальному закону распределения или закону Вейбулла [2]. Результаты аппроксимации распределений наработок ТНВД и форсунок до первого отказа представлены на рис. 2.

Для эффективной профилактики необходимо было выявить и назначить величину межсервисного интервала применительно к ТНВД. Кроме того, необходимо произвести подтверждение целесообразности предлагаемого метода, предусматривающего поддержание надежности элементов путем профилактического обслуживания, вместо метода их замены, рекомендованного изготовителем автобусов. Это наглядно представлено на примере топливных форсунок.

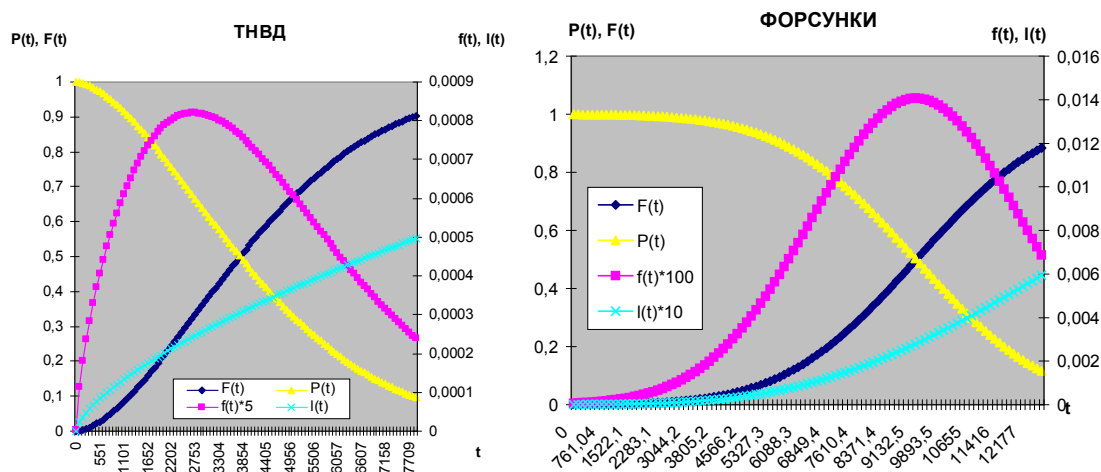


Рисунок 2 - Теоретическое распределение наработок узлов топливоподающей аппаратуры до первого отказа

Для практического использования результатов исследования были предложены способы поддержания надежности узлов топливоподающей аппаратуры автобуса Yutong 6108 NGH. В их числе следует выделить ранее апробированные методы, такие, как профилактическое техническое обслуживание с целью предотвращения элементарных и функциональных отказов, в том числе плановые промывку топливных форсунок и регулировку топливного насоса высокого давления.

Определение установленного межсервисного интервала необходимо не только для бесперебойной работы ТНВД, но также для бесперебойной работы всей топливоподающей аппаратуры в целом, так как при разрегулировках ТНВД происходит неравномерный впрыск топлива, двигатель переходит в режим неустойчивой работы, создается вибрация в зоне крепления топливопроводов к корпусным элементам, вследствие чего ломаются

топливные трубки. Определение межсервисного интервала произведено по техническому критерию на основе гамма-процентного уровня. Как видно на рис. 3, гамма-процентная наработка и приравненный к ней межсервисный интервал технического обслуживания ТНВД в среднем составят 1967 км.

В ТОО «Ульба-Транспорт» до 2012 года при отказах форсунок их не промывали, а заменяли согласно рекомендациям завода-изготовителя. Межремонтный интервал составил в среднем 6764 км. Необходимо оценить целесообразность замены форсунок в сравнении с методом восстановления их работоспособности путем профилактического промывания сольвентом с той же периодичностью. Техническое обслуживание форсунок будет целесообразно при выполнении следующего условия

$$C_{\text{ТОфорс}} = \frac{C_{\text{монт}} + C_{\text{пром}} + C_{\text{мат}}}{\bar{t}_{\text{зам}}} < C_{\text{зап.част}} = \frac{\sum C_{\text{фор}} + C_{\text{монт}}}{\bar{t}_{\text{зам}}}.$$

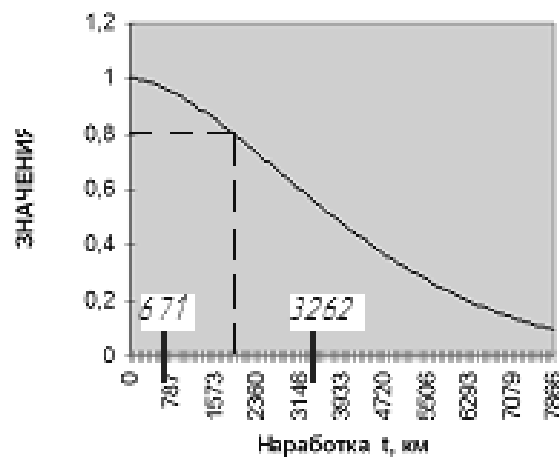


Рисунок 3 - Определение  $\gamma$ -процентной наработки и межсервисного интервала ТНВД

Если учесть, что удельные затраты на замену форсунок и на их промывку составят соответственно

$$C_{\text{зап.част}} = \frac{12000 + 5000}{6764} = 2,5 \text{ тенге/км},$$
$$C_{\text{ТОфорс}} = \frac{2500 + 1400 + 1000}{6764} = 0,7 \text{ тенге/км},$$

то при сравнении их значений видно, что вышеуказанное условие выполняется

$$C_{\text{ТОфорс}} = 0,7 \text{ тенге/км} < C_{\text{зап.част}} = 2,5 \text{ тенге/км}.$$

На основе представленных расчетов установлено, что промывка форсунок является экономически выгоднее их замены. С учетом ежегодного пробега 21 автобуса в размере 6750 км годовой эффект только по форсункам составит 394 тыс. тенге в год.

На основе полученных результатов исследования разработаны и переданы для внедрения практические рекомендации по поддержанию надежности топливной аппаратуры автобусов в ТОО «Ульба-Транспорт».

Список литературы

1. РД 50-690-89. Методические указания. Надежность в технике. Методы оценки показателей надежности по экспериментальным данным. - М.: Издательство стандартов.
2. Кульсеитов Ж.О. Математические модели и поддержание надежности машин / Ж.О. Кульсеитов, В.П. Лисьев. - Алматы: Гылым, 1996. - 222 с.

Получено 25.09.12

УДК 681.2 (075.8): 681.5(075.8): 006.91(075.8)

**А. П. Парамзин, О.Е. Акболин**  
ВКГТУ, г. Усть-Каменогорск

**АДАПТИВНОЕ УПРАВЛЕНИЕ ПЕРЕХОДНЫМ ПРОЦЕССОМ  
В ДВУХКАНАЛЬНОЙ СИСТЕМЕ (Часть 2)**

В статье, опубликованной в [1], изложены результаты моделирования алгоритма функционирования адаптивного регулятора, предназначенного для параметрического управления переходными процессами в двухканальной линейной непрерывной автоматической системе (рис. 1).

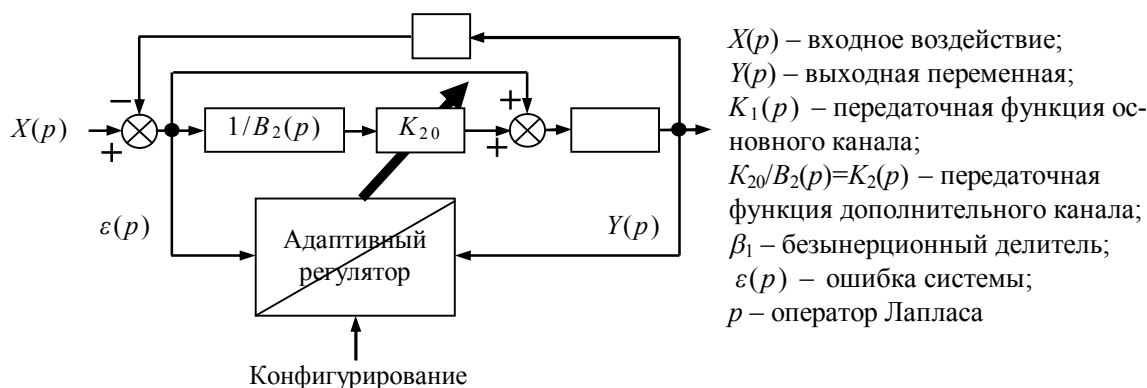


Рисунок 1 – Структура двухканальной автоматической системы

В качестве критериальных показателей качества переходного процесса как реакции системы на входное единичное ступенчатое воздействие были отобраны:

- быстродействие (интервал времени от начала подачи входного воздействия до момента первого входа выходной переменной в допустимую зону  $y(\infty) \pm \delta$ );
- перерегулирование (адаптивный регулятор должен обеспечивать нулевое перерегулирование);
- длительность переходного процесса (интервал времени от начала подачи входного воздействия до момента окончательного входа выходной переменной в допустимую зону);
- величина статической ошибки управления (данный показатель является целевым при синтезе рассматриваемой автоматической системы и должен остаться предельным

после выполнения адаптивным регулятором своей функции).

В принятом для моделирования алгоритме входным воздействием адаптивного регулятора служит выходная переменная системы  $y(t)$ , а регулируемым параметром является значение статического коэффициента усиления дополнительного канала, являющегося частью *активного корректора* с передаточной функцией  $[1 + K_2(p)]$ . В основе алгоритма лежит фрагментирование области переходной функции  $h(t)$  (при  $t \geq 0$ ) на уровневые зоны, на границах которой осуществляется смена значения  $K_{20}$  с предельного  $K_{20 \max}$  на минимальное  $K_{20 \min}$  и наоборот (рис. 2). Поведение системы оценивалось с помощью дифференциального уравнения (1), являющегося результатом проектирования системы по критерию максимизации глубины обратной связи с целью обеспечения высоких показателей качества в статическом режиме в заданном диапазоне частот.

$$y(t) \left[ C_4 \frac{d^4}{dt^4} + C_3 \frac{d^3}{dt^3} + C_2 \frac{d^2}{dt^2} + C_1 \frac{d}{dt} + C_0 \right] = x(t) \left[ D_2 \frac{d^2}{dt^2} + D_1 \frac{d}{dt} + D_0 \right], \quad (1)$$

где  $C_0 = [(1 + \beta_1 K_{10}) + \beta_1 K_{10} K_{20}]$ ;  $C_1 = 2[1 + (1 + \beta_1 K_{10})]\tau$ ;  $C_2 = [5 + (1 + \beta_1 K_{10})]\tau^2$ ;  $C_3 = 4\tau^3$ ;  $C_4 = \tau^4$ ;  $D_0 = K_{10}(1 + K_{20})$ ;  $D_1 = 2K_{10}\tau$ ;  $D_2 = K_{10}\tau^2$ .

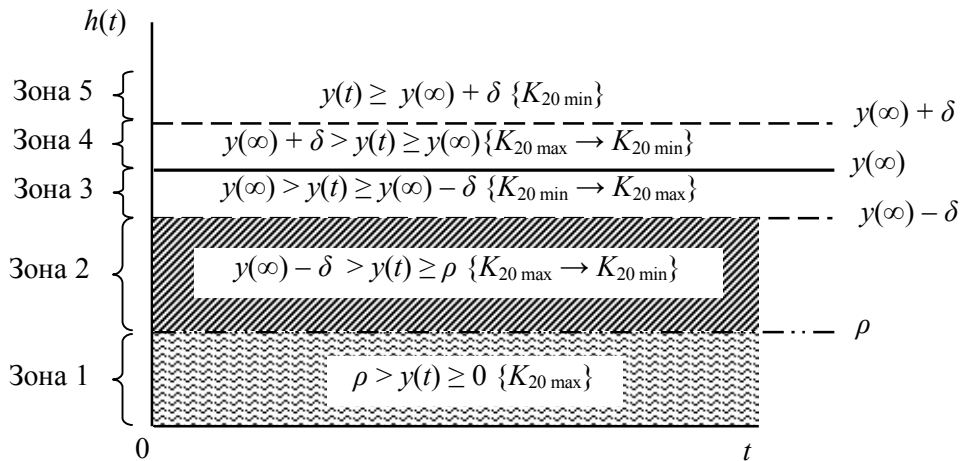


Рисунок 2 – Зонная фрагментация области переходной функции

Такой алгоритм функционирования адаптивного регулятора позволил лишь частично достичь желаемого результата, что было отмечено в [1]. Это обусловлено тем, что система реагирует на изменения статического коэффициента передачи с запаздыванием, учесть которое в алгоритме не представляется возможным из-за отсутствия прямой связи между временной и частотной областями. В данной статье предложен вариант алгоритма с внесённой в него корректировкой и приводятся результаты его моделирования.

Корректировка алгоритма функционирования адаптивного регулятора предполагает наряду с уровневыми параметрами учитывать временной фактор. В частности, весь интервал  $t \geq 0$  разбивается на три участка, как показано на рис. 3. На первом участке  $0 \leq t \leq t_1$  происходит разгон системы с максимальным значением статического коэффициента передачи  $K_{20} = K_{20 \max}$ . Момент  $t_1$  непосредственно привязан к значению параметра  $\rho$ , вы-

бор которого рассмотрен в [1]. В момент времени  $t_1$  производится переключение значения статического коэффициента передачи на  $K_{20 \text{ min}}$ . Длительность временного участка  $t_1 < t \leq t_2$  должна быть достаточной, чтобы гарантировать устранение нежелательного перерегулирования (правда, с некоторым увеличением длительности переходного процесса). В предлагаемом алгоритме  $t_2$  определяется как момент первого входа  $y(t)$  в допустимую зону около установившегося значения. В момент  $t_2$  коэффициент передачи  $K_{20}$  переключается на максимальное значение  $K_{20 \text{ max}}$ .

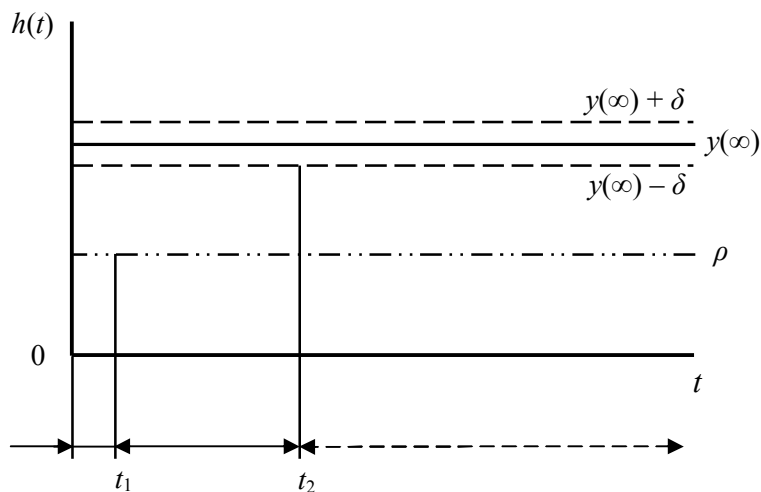


Рисунок 3 – Интерпретация алгоритма функционирования адаптивного регулятора

Наряду с предлагаемым механизмом выбора значения момента  $t_2$  как наиболее простого (по мнению авторов) существуют и другие. В частности,  $t_2$  можно определять как момент безвозвратного входа  $y(t)$  в допустимую зону около установившегося значения. Однако в этом случае непосредственно определить значение  $t_2$  можно только в результате проведения натурного эксперимента или при наличии модели системы. Натурный эксперимент не всегда возможен, поэтому оправданным следует считать включение в структуру системы её модели, что предполагается рассмотреть в последующих работах. Здесь предлагается такой подход. В качестве опорного ориентира взято утверждение, что длительность экспоненциального переходного процесса при пятипроцентной допустимой зоне равна трём постоянным времени, а при двухпроцентной допустимой зоне равна четырём постоянным времени [2]. Воспользуемся этим утверждением, несмотря на то, что рассматриваемая система имеет четвёртый порядок. Значение постоянной времени системы определим по верхней границе диапазона рабочих частот, задаваемой как  $f_0$ . Принимая во внимание специфику методики синтеза рассматриваемой системы [3], постоянная времени будет равна  $\tau = 1 / \omega_0 = 1 / 2\pi f_0$ , откуда  $t_2 \geq 3 \cdot \tau = 3 / 2\pi f_0$  или  $t_2 \geq 4 \cdot \tau = 4 / 2\pi f_0$ .

Далее приводятся и анализируются результаты численного моделирования.ю предложенного и показанного на рис. 3 алгоритма функционирования адаптивного регулятора. В качестве исходных характеристик и данных приняты:

– передаточные функции основного канала (объекта регулирования) и дополнительно канала (составной части активного корректора)

$$K_1(p) = \frac{K_{10}}{(\tau p + 1)^2}; \quad K_2(p) = \frac{K_{20}}{(\tau p + 1)^2}; \quad (2)$$

– верхняя граница диапазона рабочих частот  $f_0 = 1$  Гц ( $\omega_0 = 2 \cdot \pi \cdot f_0 \approx 6,283$  рад), откуда  $\tau = 1/\omega_0 \approx 1/6,283 \approx 0,159$  с; (3)

– статические коэффициенты передачи каналов (выбраны по методике общей теории систем аддитивной коррекции по входу [3])

$$\beta_1 K_{10} = 100, \quad K_{20 \max} = 10, \quad K_{20 \min} = 1; \quad (4)$$

– дифференциальное уравнение (1), описывающее поведение системы;

– установившееся значение выходной (регулируемой) величины и размер зоны около установившегося значения

$$y(\infty) = 10, \quad \delta = \pm 0,05 y(\infty); \quad (5)$$

– входное единичное ступенчатое воздействие  $x(t) = 1(t)$  при  $t \geq 0$ .

На рис. 4 представлены две переходные функции при условии, что адаптивный регулятор не участвует в процессе регулирования.

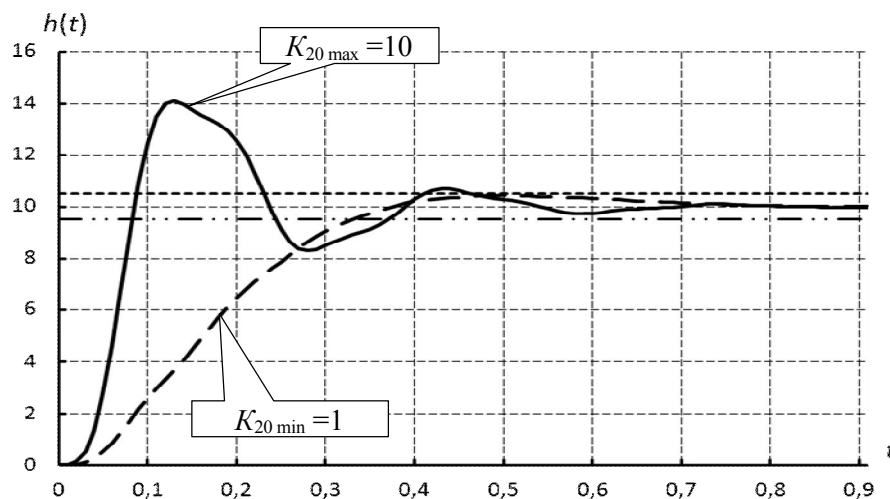


Рисунок 4 – Кривые переходных процессов системы

Включение в структуру автоматической системы адаптивного регулятора и формирование алгоритма его функционирования преследовало цель найти компромисс между параметрами двух переходных процессов, изображённых на рис. 4. На рис. 5 совместно с данными переходными функциями представлены ещё четыре переходные функции, отображающие переходные процессы, формируемые при участии адаптивного регулятора с различными настройками – задаются значения  $\rho$ .

Результаты моделирования свидетельствуют, что для конкретных исходных условий можно подобрать такие конфигурационные значения параметров адаптивного регулятора, которые при отсутствии перерегулирования позволяют быстрее достигнуть установившегося значения автоматической системы, уменьшив длительность переходного процесса (в конкретном рассматриваемом случае длительность переходного процесса уменьшилась примерно вдвое: с 0,47 с

до 0,24 с).

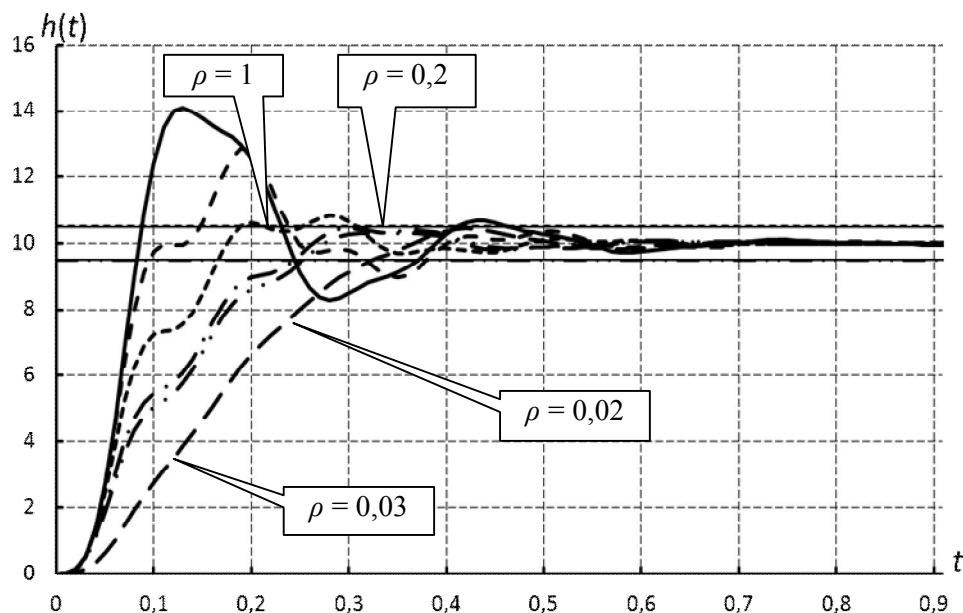


Рисунок 5 – Результаты моделирования алгоритма функционирования адаптивного регулятора

Список литературы

1. Парамзин А.П. Адаптивное управление переходным процессом в двухканальной системе / А.П. Парамзин, С.Ж. Рахметуллина // Вестник ВКГТУ. - 2011. - № 3. - Усть-Каменогорск, 2011.
2. Воронов А.А. Основы теории автоматического управления. - М.;Л.: Энергия, 1965. - 396 с.
3. Парамзин А.П. Оптимизация частотных характеристик в замкнутых системах аддитивной коррекции погрешностей по входу / А.П. Парамзин, В.М. Сергеев // Проблемы технического прогресса и экологии в строительстве и других отраслях экономики Казахстана: Сб. науч. тр. - Усть-Каменогорск: ВКГУ, 1998.

Получено 21.06.12

по страницам



## ДОМ С ВОЗДУШНЫМИ ПОДУШКАМИ

В Барселоне (Испания) построено офисное здание для инновационного центра, часть окон которого защищают от палящего испанского солнца полупрозрачные надувные подушки. Они наполняются воздухом, когда температура в помещениях превосходит определенное значение, и затеняют окна. Подушки изготовлены из пленки фторированного полимера, родственного тому, из которого делают бутылки для газированных напитков. На пленке вытиснен узор, хорошо пропускающий свет, когда два слоя пленки сжаты вме-



сте, но дающий тень, когда подушка надута и слои разошлись.

«Наука и жизнь» № 3, 2011