

Черный С. П., Хрульков В. Н.
S. P. Cherniy, V. N. Khrulkov

МОДЕЛИРОВАНИЕ МНОГОКАСКАДНОГО НЕЧЁТКОГО ЛОГИЧЕСКОГО РЕГУЛЯТОРА ДЛЯ УПРАВЛЕНИЯ МНОГОСОСТАВНЫМ ТРАЛОВЫМ МЕХАНИЗМОМ НА ОСНОВЕ ОПЕРАТОРА СЛОЖЕНИЯ

MODELING OF MULTI-CASCADE FUZZY LOGIC REGULATOR FOR CONTROL OF MULTICOMPONENT TRAWL GEAR BASED ON ADDITION OPERATOR

Черный Сергей Петрович – кандидат технических наук, доцент, заведующий кафедрой «Электропривод и автоматизация промышленных установок» Комсомольского-на-Амуре государственного университета (Россия, Комсомольск-на-Амуре). E-mail: keraпу@knastu.ru.

Sergei P. Cherniy – PhD in Engineering, Associate Professor, Head of the Electric Drive and Automation of Industrial Installations Department, Komsomolsk-na-Amure State University (Russia, Komsomolsk-on-Amur). E-mail: keraпу@knastu.ru.

Хрульков Владимир Николаевич – аспирант Комсомольского-на-Амуре государственного университета (Россия, Комсомольск-на-Амуре). E-mail: eрапу@knastu.ru.

Vladimir N. Khrulkov – Postgraduate, Komsomolsk-na-Amure State University (Russia, Komsomolsk-on-Amur). E-mail: eрапу@knastu.ru.

Аннотация. В работе рассматривается синтез нечёткого логического регулятора внешнего каскада одной четвёртой системы управления комбинированного тралового механизма для перемещения высокотоннажных крупногабаритных объектов, получающего информацию от гироскопического датчика об отклонении платформы от горизонтального положения на определённый угол. Сгенерированный сигнал от внешнего регулятора передаётся на интеллектуальные модули внутреннего каскада, которые управляют положением золотника пропорционального гидравлического распределителя. Представленный подход, учитывающий сгенерированную информацию с внешнего каскада и передающий синтезированный сигнал управления на внутренний каскад нечёткого логического регулятора, позволяет в условиях недетерминированных возмущающих воздействиях плавно регулировать перемещение гидравлического привода, стабилизируя транспортную платформу в пространстве, и уменьшает возможность возникновения гидроудара в гидравлической системе. Приведены графики переходных процессов в гидроприводах с различными формами возмущающих воздействий на объект управления.

Summary. The paper discusses the synthesis of a fuzzy logic controller of the external cascade of one fourth of the control system of a combined trawl mechanism for moving high-tonnage large-sized objects, receiving information from a gyroscopic sensor about the deviation of the platform from a horizontal position at a certain angle. The generated signal from the external controller is transmitted to the intelligent modules of the internal cascade, which control the position of the proportional hydraulic valve spool. The presented approach, which takes into account the generated information from the external cascade and transmits a synthesized control signal to the internal cascade of the fuzzy logic controller, allows, under conditions of non-deterministic disturbing influences, to smoothly regulate the movement of the hydraulic drive, stabilize the transport platform in space and reduce the possibility of water hammer occurring in the hydraulic system. Graphs of transient processes in hydraulic drives with various forms of disturbing influences on the control object are presented.

Ключевые слова: нечёткий логический регулятор, терм-множество, нечёткое множество, лингвистическая переменная, интеллектуальная система управления.

Key words: fuzzy logic controller, term, fuzzy set, linguistic variable, intelligent control system.

УДК 681.5.01:658.5

Ввиду сложности функционирования системы управления высокотоннажного модульного трала использовать классические методы настройки системы для стабилизации перемещаемого груза не представляется возможным, т. к. объект управления действует в условиях недетермини-

рованных нагрузок. Применение интеллектуального подхода, основанного на аппарате нечёткой логики, позволяет на основе экспертных знаний добиться необходимого функционирования системы управления. Использование многокаскадного способа нечёткого вывода является одним из направлений развития нечётких систем управления. Реализация принципов многокаскадности позволяет повысить интеллектуальную составляющую системы, что положительно скажется на расширении диапазона применения нечётких систем управления.

Нечёткий логический регулятор внешнего каскада гидравлической передвижной платформы, управляющий внутренними интеллектуальными модулями, осуществляющий контроль над положением пропорциональных гидравлических распределителей, реализован следующим образом:

1. Нечёткий логический регулятор, формирующий уставки внутренних модулей за счёт суммирования значений сигналов управления.

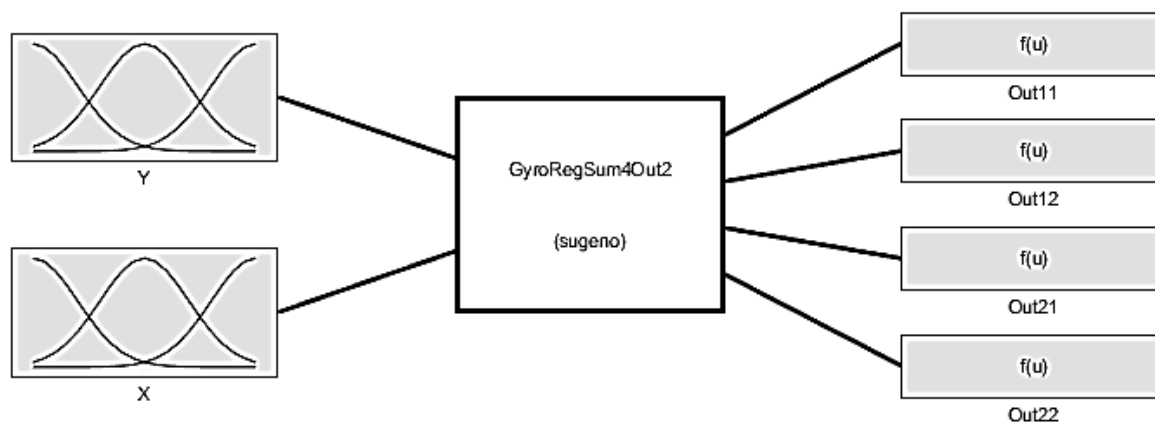


Рис. 1. Нечёткий модуль управления, формирующий уставки внутренних модулей за счёт суммирования значений сигналов управления

2. Настройка нечёткого логического регулятора с алгоритмом вывода Такаги – Сугено для управления гидравлической системой многосоставного тралового механизма, формирующего уставки внутренних модулей за счёт суммирования значений сигналов управления, представлена на рис. 1 – 3. Входные лингвистические переменные «X» и «Y» имеют треугольную функцию принадлежности и состоят из пяти элементов терм-множеств, определяющих горизонтальное отклонение транспортировочного аппарата. Выходные переменные представляют константы – сигнал управления на модули внутреннего каскада.

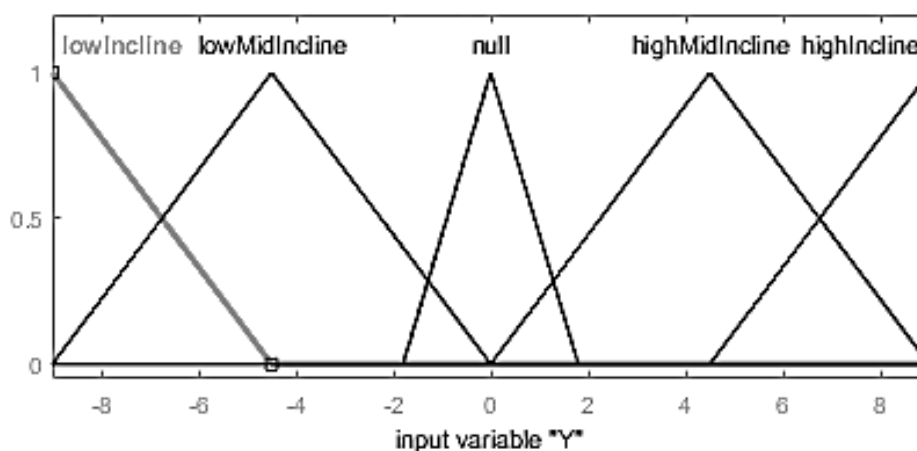


Рис. 2. Входная лингвистическая переменная «Y»

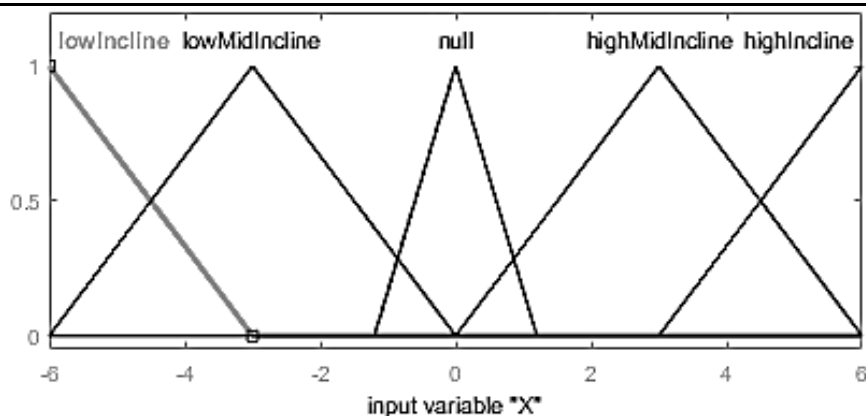


Рис. 3. Входная лингвистическая переменная «X»

База знаний нечёткого логического регулятора внешнего каскада состоит из 25 правил и имеет следующую форму представления:

1. If (Y is null) и (X is null) then (Out11 = 0) (Out12 = 0) (Out21 = 0) (Out22 = 0);
2. If (Y is low_Incline) and (X is null) then (Out11 = -0,25) (Out12 = 0) (Out21 = -0,25) (Out22 = 0);
3. If (Y is low_MidIncline) and (X is null) then (Out11 = -0,125) (Out12 = 0) (Out21 = -0,125) (Out22 = 0);
4. If (Y is high_MidIncline) and (X is null) then (Out11 = 0) (Out12 = -0,125) (Out21 = 0) (Out22 = -0,125);
5. If (Y is high_Incline) and (X is null) then (Out11 = 0) (Out12 = -0,25) (Out21 = 0) (Out22 = -0,25);
6. If (Y is null) and (X is low_Incline) then (Out11 = -0,25) (Out12 = -0,25) (Out21 = 0) (Out22 = 0);
7. If (Y is null) and (X is low_MidIncline) then (Out11 = -0,125) (Out12 = -0,125) (Out21 = 0) (Out22 = 0);
8. If (Y is null) and (X is highMidIncline) then (Out11 = 0) (Out12 = 0) (Out21 = -0,125) (Out22 = -0,125);
9. If (Y is null) and (X is high_Incline) then (Out11 = 0) (Out12 = 0) (Out21 = -0,25) (Out22 = -0,25);
10. If (Y is high_Incline) and (X is high_Incline) then (Out11 = 0,25) (Out12 = 0) (Out21 = 0) (Out22 = -0,25);
11. If (Y is high_Incline) and (X is high_MidIncline) then (Out11 = 0,25) (Out12 = 0) (Out21 = 0) (Out22 = -0,25);
12. If (Y is high_MidIncline) and (X is high_Incline) then (Out11 = 0,25) (Out12 = 0) (Out21 = 0) (Out22 = -0,25);
13. If (Y is high_MidIncline) and (X is high_MidIncline) then (Out11 = 0,125) (Out12 = 0) (Out21 = 0) (Out22 = -0,125);
14. If (Y is high_Incline) and (X is low_Incline) then (Out11 = 0) (Out12 = -0,25) (Out21 = 0,25) (Out22 = 0);
15. If (Y is high_MidIncline) and (X is low_Incline) then (Out11 = 0) (Out12 = -0,25) (Out21 = 0,25) (Out22 = 0);
16. If (Y is high_Incline) and (X is low_MidIncline) then (Out11 = 0) (Out12 = -0,25) (Out21 = 0,25) (Out22 = 0);
17. If (Y is high_MidIncline) and (X is low_MidIncline) then (Out11 = 0) (Out12 = -0,125) (Out21 = 0,125) (Out22 = 0);
18. If (Y is low_Incline) and (X is high_Incline) then (Out11 = 0) (Out12 = 0,25) (Out21 = -0,25) (Out22 = 0);

19. If (Y is low_MidIncline) and (X is high_Incline) then (Out11 = 0) (Out12 = 0,25) (Out21 = -0,25) (Out22 = 0);
20. If (Y is low_Incline) and (X is high_MidIncline) then (Out11 = 0) (Out12 = 0,25) (Out21 = -0,25) (Out22 = 0);
21. If (Y is low_MidIncline) and (X is high_MidIncline) then (Out11 = 0) (Out12 = 0,125) (Out21 = -0,125) (Out22 = 0);
22. If (Y is low_Incline) and (X is low_Incline) then (Out11 = -0,25) (Out12 = 0) (Out21 = 0) (Out22 = 0,25);
23. If (Y is low_MidIncline) and (X is low_Incline) then (Out11 = -0,25) (Out12 = 0) (Out21 = 0) (Out22 = 0,25);
24. If (Y is low_Incline) and (X is low_MidIncline) then (Out11 = -0,25) (Out12 = 0) (Out21 = 0) (Out22 = 0,25);
25. If (Y is low_MidIncline) и (X is low_MidIncline) then (Out11 = -0,125) (Out12 = 0) (Out21 = 0) (Out22 = 0,125).

На рис. 4 представлен график переходного процесса в гидроприводах с использованием нечётким модулем управления внешнего каскада, формирующего уставки внутренних модулей за счёт суммирования значений сигналов управления.

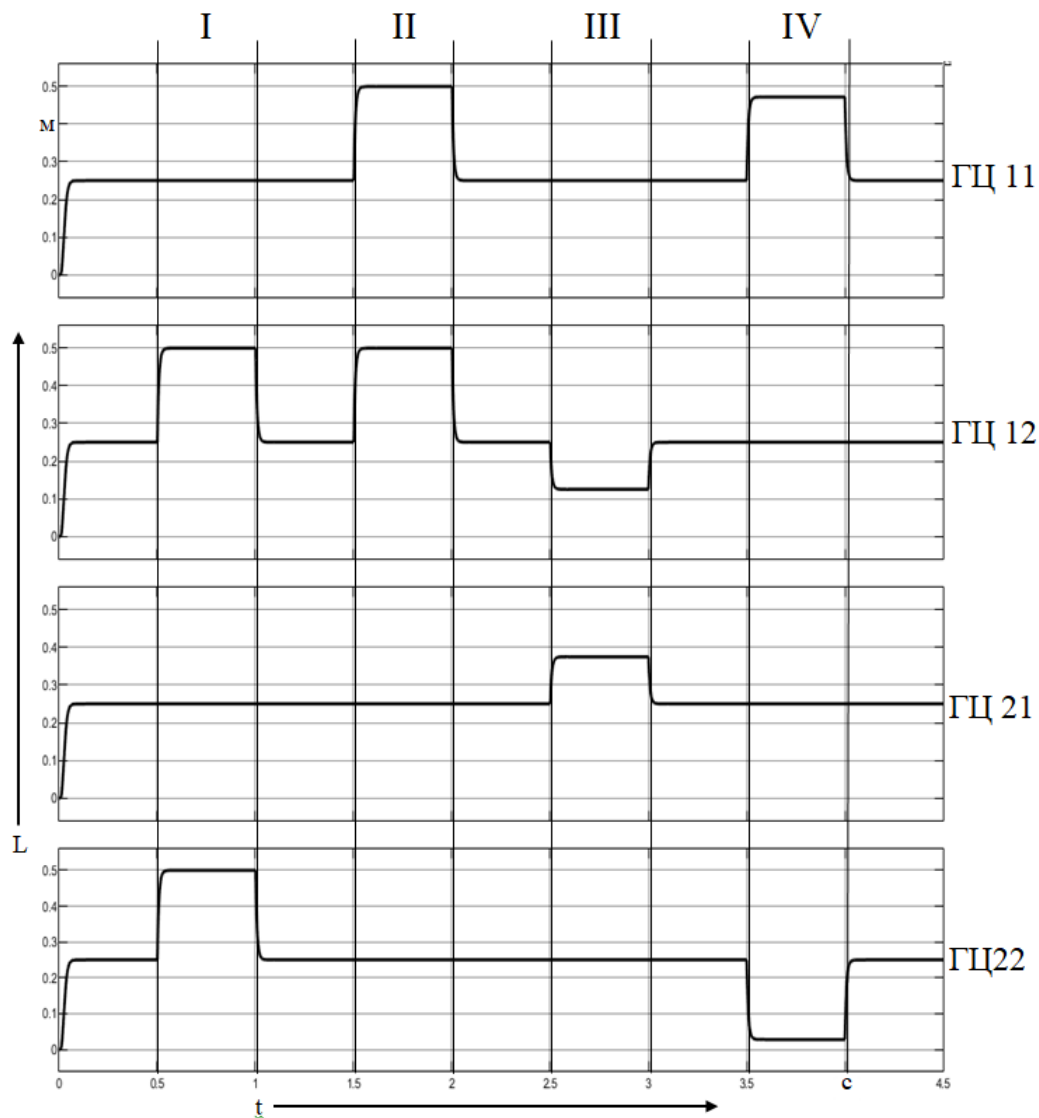


Рис. 4. Графики переходных процессов в гидроприводах при воздействии на систему ступенчатым возмущающим воздействием

Графики переходных процессов в гидроприводах при подаче на систему возмущающих воздействий в виде синусоидального сигнала и синусоидального сигнала с белым шумом, что позволит смоделировать неровность дорожного покрытия, а также локальные экстремумы представлены на рис. 5 и 6.

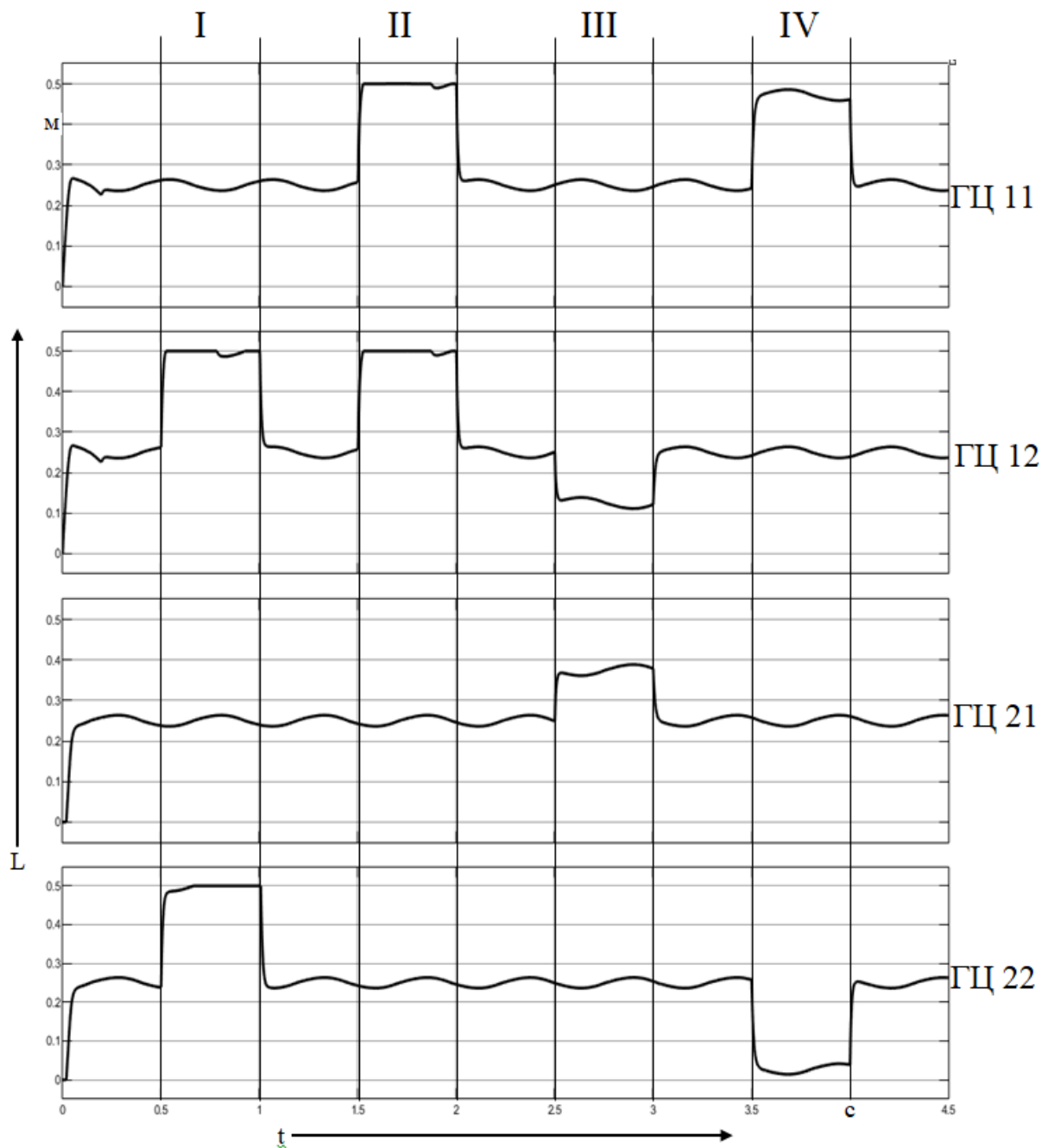


Рис. 5. Графики переходного процесса в гидроцилиндрах при воздействии на систему ступенчатым и синусоидальным возмущающим воздействием

На рис. 7 представлен график переходного процесса в гидроприводах с использованием нечётким модулем управления внешнего каскада, формирующего уставки внутренних модулей за счёт суммирования значений сигналов управления при подаче на систему синусоидального сигнала с белым шумом, имитирующего неровность дорожного покрытия.

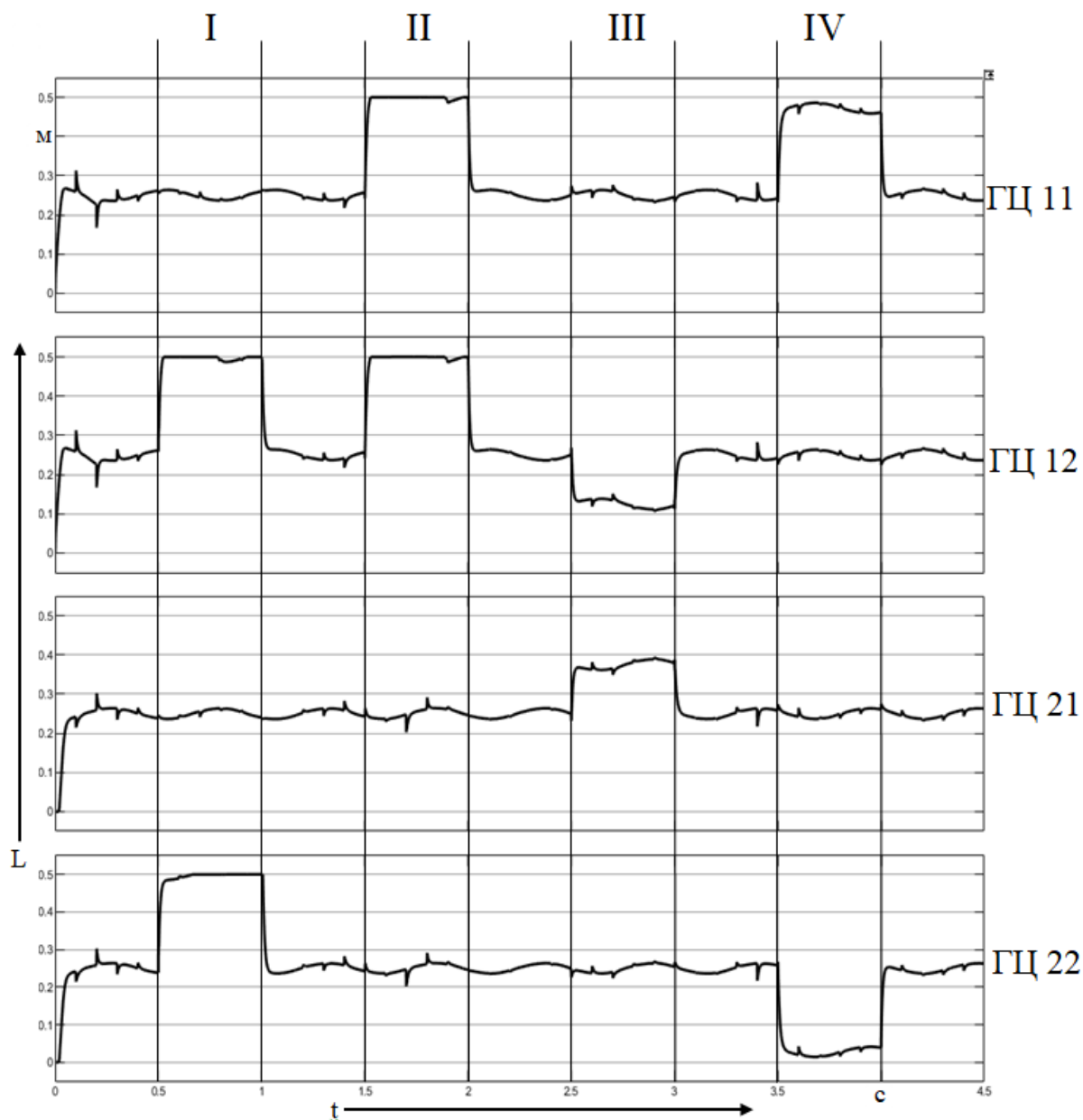


Рис. 6. Графики переходного процесса в гидроцилиндрах при воздействии на систему ступенчатым и синусоидальным возмущающим воздействием с белым шумом

Рассмотрим графики переходных процессов в гидроцилиндрах после работы нечёткого логического регулятора внешнего каскада:

1. Временной период I (время с 0,5 до 1 с): на вход нечёткого логического регулятора поступают сигналы от гироскопического датчика, представленного в виде ступенчатой функции, со следующими показателями: $X=0^\circ$, $Y=+9^\circ$, указывающими на отклонение платформы от горизонтального положения на определённый угол. Данные датчика представляются интеллектуальной системой как «появление крена на транспортировочном аппарате относительно оси Y ». Реагируя на полученные от гироскопического датчика значения, интеллектуальная система синтезирует управляющее выходное воздействие для внутреннего интеллектуального модуля, отвечающего за работу пропорциональных гидравлических распределителей, выдвигая гидропривода 12 и 22 (см. рис. 7), которые корректируют положение транспортного аппарата в пространстве.

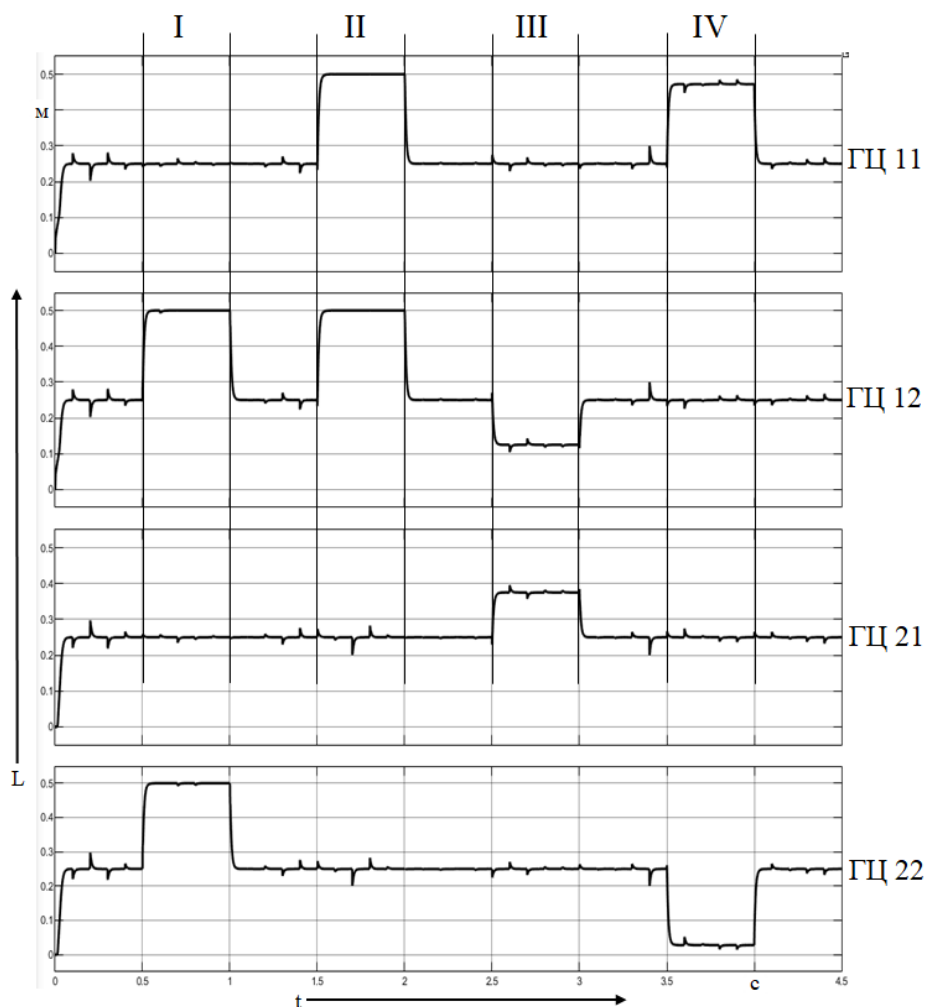


Рис. 7. Графики переходного процесса в гидроцилиндрах при воздействии на систему сигналом в виде белого шума

2. Временной период II (время с 1,5 до 2 с): на вход нечёткого логического регулятора поступают сигналы от гироскопического датчика, представленного в виде ступенчатой функции, со следующими показателями: $X = -6^\circ$, $Y = 0^\circ$, указывающими на отклонение платформы от горизонтального положения на определённый угол. Данные датчика представляются интеллектуальной системой как «появление крена на транспортировочном аппарате относительно оси X ». Реагируя на полученные от гироскопического датчика значения, интеллектуальная система синтезирует управляющее выходное воздействие для внутреннего интеллектуального модуля, отвечающего за работу пропорциональных гидравлических распределителей, выдвигая гидропривод 11 и 12 (см. рис. 7), которые корректируют положение транспортного аппарата в пространстве.

3. Временной период III (время с 2,5 до 3 с): на вход нечёткого логического регулятора поступают сигналы от гироскопического датчика, представленного в виде ступенчатой функции, со следующими показателями: $X = +3^\circ$, $Y = -4,5^\circ$, указывающими на отклонение платформы от горизонтального положения на определённый угол. Данные датчика представляются интеллектуальной системой как «появление крена на транспортировочном аппарате относительно оси X и Y ». Реагируя на полученные от гироскопического датчика значения, интеллектуальная система синтезирует управляющее выходное воздействие для внутреннего интеллектуального модуля, отвечающего за работу пропорциональных гидравлических распределителей, выдвигая гидропривод 21 и втягивая гидропривод 12 (см. рис. 7), корректируя положение транспортного аппарата в пространстве.

4. Временной период IV (время с 3,5 до 4 с): на вход нечёткого логического регулятора поступают сигналы от гироскопического датчика, представленного в виде ступенчатой функции со следующими показателями: $X = -5^\circ$, $Y = -6^\circ$, указывающими на отклонение платформы от горизонтального положения на определённый угол. Данные датчика представляются интеллектуальной системой как «появление крена на транспортировочном аппарате относительно оси X и Y ». Реагируя на полученные от гироскопического датчика значения, интеллектуальная система синтезирует управляющее выходное воздействие для внутреннего интеллектуального модуля, отвечающего за работу пропорциональных гидравлических распределителей, выдвигая гидропривод 11 и втягивая гидропривод 22 (см. рис. 7), корректируя положение транспортного аппарата в пространстве.

Анализируя модели предложенных многокаскадных регуляторов с различными операторами при сопряжении каскадов, можно сделать вывод, что применение функции суммирования позволяет реализовать необходимые законы управления с более высокой точностью, адаптивностью к ряду внешних возмущающих факторов, а также с упрощённой понятийной составляющей при настройке интеллектуальной системы. Кроме того, можно отметить, что качество настройки развитой интеллектуальной системы управления в меньшей степени зависит от выбора сочетания механизмов выводов и скорее продиктовано особенностями функционирования самого объекта регулирования. Предложенный подход к реализации модели развитой нечёткой системы управления гидравлической системой высокотоннажного модульного трала представляет собой нижний локальный уровень. Дальнейшее развитие такой системы будет направлено на реализацию процедур позиционирования и стабилизации всех четырёх платформ под управлением иерархически верхнего уровня системы, реализующей набор метапроцедур на основе дополнительного надстроенного каскада.

ЛИТЕРАТУРА

1. Шмитт, А. Учебный курс гидравлики: пособие по гидравлике / А. Шмитт. – Лор-на-Майне: Германия, 2012. – 226 с.
2. Руппель, А. А. Моделирование гидравлических систем в MATLAB: учеб. пособие / А. А. Руппель, А. А. Сагандыков, М. С. Корытов. – Омск: Федеральное агентство по образованию ГОУ ВПО «СибАДИ», 2009. – 174 с.
3. Кингсеп, А. С. Основы физики. Курс общей физики: учеб. В 2 т. Т. 1. Механика, электричество и магнетизм, колебания и волны, волновая оптика / А. С. Кингсеп, Г. Р. Локшин, О. А. Ольхов. – М.: ФИЗМАТЛИТ, 2001. – 560 с.
4. Стельмашук, С. В. Работа рулевого привода в следящем и позиционном режиме / С. В. Стельмашук // Морские интеллектуальные технологии. – 2021. – Т. 2. – № 2 (5). – С. 73-79.
5. Хрульков, В. Н. Один из подходов к моделированию процесса стабилизации высокотоннажной платформы / В. Н. Хрульков, С. П. Черный, А. В. Охотников // Производственные технологии будущего: от создания к внедрению: материалы V Междунар. науч.-практ. конф., г. Комсомольск-на-Амуре, 6-11 декабря 2021 г. – Комсомольск-на-Амуре: ФГБОУ ВО «КнАГУ», 2022. – С. 100-103.
6. Черный, С. П. Моделирование развитой нечёткой системы управления с интеграцией внутренних модулей на основе оператора умножения / С. П. Черный, А. В. Охотников // Учёные записки Комсомольского-на-Амуре государственного технического университета. Науки о природе и технике. – 2023. – № I (65). – С. 102-108.