

10-29-2021

## IMPLEMENTATION OF THE PID CONTROL LAW OF A MULTIDIMENSIONAL DYNAMIC SYSTEM

Khurshid Salim Ugli Turayev

*Tashkent State Technical University, Address: 2 Universitetskaya st., 100095, Tashkent city, Republic of Uzbekistan, E-mail: xturayev@mail.ru, Phone: +998-90-325-85-55., xturayev@mail.ru*

Follow this and additional works at: <https://ijctcm.researchcommons.org/journal>

 Part of the [Complex Fluids Commons](#), [Controls and Control Theory Commons](#), [Industrial Technology Commons](#), and the [Process Control and Systems Commons](#)

---

### Recommended Citation

Turayev, Khurshid Salim Ugli (2021) "IMPLEMENTATION OF THE PID CONTROL LAW OF A MULTIDIMENSIONAL DYNAMIC SYSTEM," *Chemical Technology, Control and Management*. Vol. 2021: Iss. 5, Article 6.

DOI: <https://doi.org/10.51346/tstu-02.21.5-77-0039>

This Article is brought to you for free and open access by Chemical Technology, Control and Management. It has been accepted for inclusion in Chemical Technology, Control and Management by an authorized editor of Chemical Technology, Control and Management. For more information, please contact [app-tgtu@mail.ru](mailto:app-tgtu@mail.ru).



ISSN 1815-4840, E-ISSN 2181-1105

Himičeskaâ tehnologiâ. Kontrol' i upravlenie

## CHEMICAL TECHNOLOGY. CONTROL AND MANAGEMENT

2021, №5 (101) pp.39-44. <https://doi.org/10.51346/tstu-02.21.5-77-0039>

International scientific and technical journal  
journal homepage: <https://uzjournals.edu.uz/ijctcm/>



Since 2005

### IMPLEMENTATION OF THE PID CONTROL LAW OF A MULTIDIMENSIONAL DYNAMIC SYSTEM

**Turaev Khurshid Salim Ugli**

Tashkent State Technical University, Address: 2 Universitetskaya st., 100095, Tashkent city, Republic of Uzbekistan,  
E-mail: [xturayev@mail.ru](mailto:xturayev@mail.ru), Phone: +998-90-325-85-55.

**Abstract:** Most industrial automation facilities are multi-circuit with a significant influence of cross-links between the goals. The paper develops a system for automatic parameter adjustment of a programmable logic controller that implements the proportional-integral-differential control law of a multidimensional dynamic object. The issues of decentralized management of multidimensional dynamic objects are discussed. The control system is based on the method of independent synthesis with static compensation of the impact of cross-links. Additional software has been developed to determine the parameters of the control system. After setting the necessary parameters, the process of automatic adjustment of the controller parameters starts. Self-tuning procedures are performed relatively quickly and do not require additional calculations.

**Keywords:** Decentralized control, PID controller, multistage PID controller modification, PID controller tuning method.

**Аннотация:** Саноатни автоматлаштириши объектларининг кўплиги ўзаро кесишувчан алоқа таъсирларига эга бўлган кўп контурли объектлар ҳисобланади. Ишда кўп ўлчамли динамик объектларни бошқаришнинг пропорционал-интеграл-дифференциал қонунини амалга оширувчи дастурланадиган мантиқий контроллер параметрларини автоматик созлаш тизими ишлаб чиқилган. Кўп ўлчамли динамик объектларни марказлашмаган бошқариш масалалари муҳокама қилинган. Бошқариш тизими кўндаланг алоқаларни статик компенсациялашни амалга ошириб, мустақил синтезлаш усулига асосланган. Бошқариш тизимининг параметрларини аниқлаш учун қўшимча дастурий таъминот ишлаб чиқилган. Зарурий параметрлар ўрнатилганидан кейин автоматик созлаш жараёни ишга туширилади. Ўз-ўзини созлаш амаллари нисбатан тез бажарилади ва қўшимча ҳисоблашларни талаб этмайди.

**Таянч сўзлар:** марказлашмаган бошқариш, ПИД-ростлагич, ПИД-ростлагични кўп каскадли такомиллаштириш, ПИД-ростлагични созлаш усули.

**Аннотация:** Большинство объектов промышленной автоматизации является многоконтурными со значительным влиянием перекрестных связей между целями. В работе разработана система автоматической настройки параметров программируемого логического контроллера, реализующего пропорционально-интегрально-дифференциальный закон управления многомерным динамическим объектом. Обсуждены вопросы децентрализованного управления многомерными динамическими объектами. Система управления основана на методе независимого синтеза с выполнением статической компенсации воздействия поперечных связей. Для определения параметров системы управления разработана дополнительное программное обеспечение. После установки необходимых параметров запускается процесс автоматической настройки параметров регулятора. Процедуры самонастройки выполняются относительно быстро и не требуют дополнительных расчетов.

**Ключевые слова:** Децентрализованное управление, ПИД-регулятор, многокаскадная модификация ПИД-регулятора, метод настройки ПИД-регулятора.

#### Введение

С появлением микропроцессорных пропорционально-интегрально-дифференциальных регуляторов применяется автоматическая настройка параметров, усложняется структура регуляторов (с двумя и выше степенями свободы), расширяется применение принципа разомкнутого регулирования в различных сочетаниях с обратной связью. [1-3].

Однако в настоящее время имеют место нерешенные вопросы устранения явлений интегрального насыщения, при управлении исследуемых нелинейных объектов, а также

структурно-параметрического анализа и синтеза, идентификации математической модели непосредственно для определения параметров пропорционально–интегрально–дифференциальных регуляторов [4,5].

### Децентрализованное управление многомерным динамическим объектом

Этот объект представляет собой систему из трех основных петель и перекрестных связей между всеми каналами. Управление таким объектом с помощью трех отдельных ПИД-регуляторов практически невозможно. Альтернативный подход – использование многомерного контроллера. Однако при этом процесс вычисления матриц сложен, требует идентификации объекта с помощью сложных вычислительных процедур. [6,7].

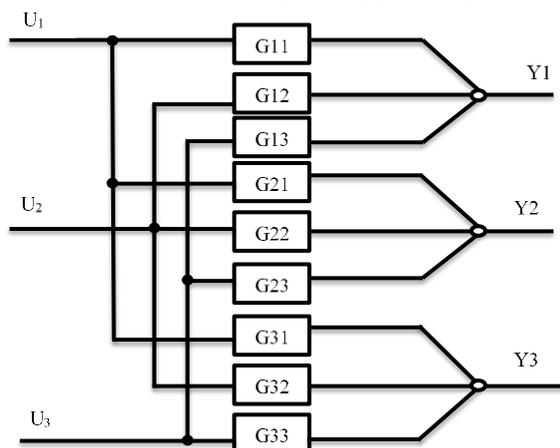


Рис.1. Структурная схема объекта управления.

Параметры многомерного объекта определенные экспериментальными приемами представлены в табл.1.

Таблица 1.

Параметры элементов объекта

Обозначение звена	$T_1, s$	$T_2, s$	K
$G_{11}$	12.5	17.6	1
$G_{12}$	3	-	-7
$G_{13}$	32	-	-4
$G_{21}$	21	-	-7
$G_{22}$	5	31	6
$G_{23}$	8	-	2
$G_{31}$	6	-	-10
$G_{32}$	16	-	2
$G_{33}$	17	26.8	2

Сигнал с цифро-аналоговых преобразователей (ЦАП) контроллера поступает на входы объектов  $U_1$ ,  $U_2$  и  $U_3$ , а выходные сигналы объекта - на аналого-цифровые преобразователи (АЦП) входного сигнала. Система управления реализована на базе ПЛК Siemens S7-1513-1PN, к которому добавлены необходимые сигнальные модули.

Система управления основана на методе независимого синтеза [2], в котором выполняется статическая компенсация поперечных связей. Таким образом, корректируемый объект характеризуется отсутствием связи между отдельными контурами регулирования. Для управления этим объектом используются три одноконтурных ПИД-регулятора. Программное

обеспечение разрабатывается в программной среде TIA PORTAL V15. Программа, содержащая расчет всех необходимых параметров и коэффициентов, написана на специальном для языка программирования TIA PORTAL языке программирования SCL. Разработан дискретный ПИД-регулятор с анти-интегральным насыщением. Дискретный ПИД-регулятор реализован с помощью функционального блока [8-10]:

$$u(k) = K_p \left( \varepsilon(k) + 1(k) \frac{T_d}{T_0} \varepsilon(k) - \varepsilon(k - 1) \right), \quad (1)$$

где  $T_0 = 100$  миллисекунд, это частота дискретизации;  $I(k)$  - рассчитывается следующим образом:

$$I(k) = I(k - 1) + \frac{T_0}{T_i} \cdot e(k), \quad (2)$$

$$I(0) = 0.$$

Использование функционального блока для реализации ПИД-регулятора позволяет легко реализовать три отдельных регулятора.

Для определения параметров системы разработано дополнительное программное обеспечение. На шаге 1 вычисляются коэффициенты усиления всех каналов – осуществляется определение матрицы  $G$ . Для определения этих коэффициентов подаются статические сигналы на три входа объекта - сигнал подается на исследуемый вход, например, 1V, а для остальных - 0. Таким образом, вычисляются статические коэффициенты для входа, для которого проводится эксперимент.

$$G(i, j) = \frac{Y(i)}{U(j)}, \quad (3)$$

где:  $Y(i), i = [1, 2, 3]$ , - выходной сигнал;  $U(j)$  - входной сигнал  $j$ , к которому применяется сигнал, отличный от 0.

Таким образом, определяются параметры корректируемого объекта (при статической компенсации в установившемся режиме).

$$G_{sh}(s) = G(s) \cdot D. \quad (5)$$

Структурная схема исследуемого многомерного объекта приведена на рис. 2.

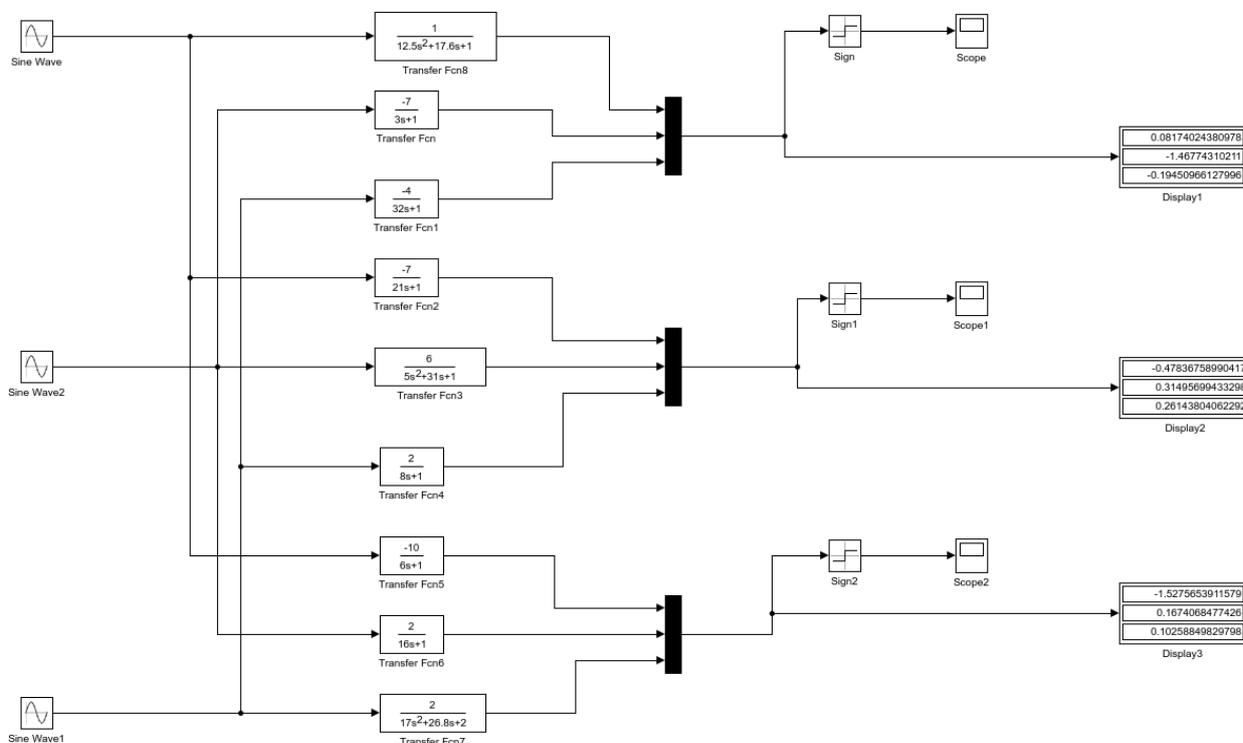


Рис. 2. Структурная схема многомерного динамического объекта.

На третьем шаге каждый из контроллеров настраивается автоматически. Метод Astrom-Hagglund-2 используется для каждого выхода (1, 2, 3) скорректированного объекта. Сигнал тестового реле подается одновременно на все входы объекта, (рис. 3).

На рис. 3 показана часть процесса автоматической настройки параметров ПИД<sub>1</sub>-регулятора. Здесь отчетливо видны сигналы с релейного выхода системы автоматической настройки. Аналогичным образом производятся настройки остальных контроллеров. Элемент SCADA – системы используется для управления процессом с автоматической настройкой, установки размера релейного выхода и установки в режиме получения симметричных колебаний и передачи вычисленных коэффициентов в ПИД-регуляторе. [9].

После установки необходимых параметров запускается процесс автоматической настройки. Параметры колебаний определяются автоматически и равны вычисленным коэффициентам соответствующего ПИД-регулятора. Процедура самонастройки не требует дополнительных расчетов и выполняется относительно быстро. Самонастройка выполняется в непосредственной близости от рабочей точки объекта. Амплитуда выходного сигнала реле соответствует специфике объекта.

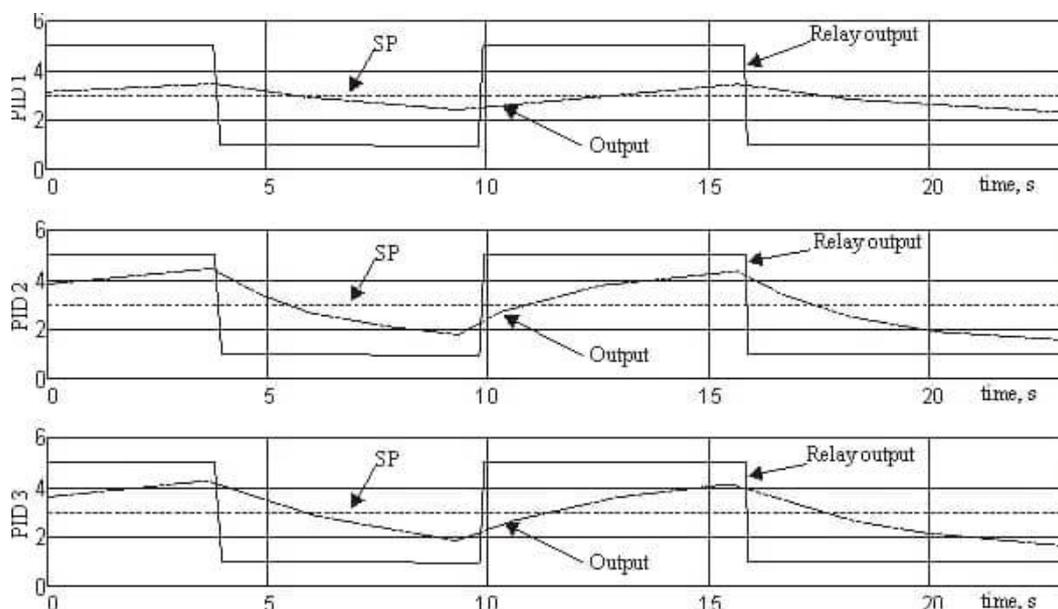


Рис. 3. График процесса самонастройки ПИД<sub>1</sub>-регулятора.

На рис. 4 показан элемент системы SCADA, который используется для настройки параметров и настройки регуляторов. Каждый регулятор может работать в автоматическом или ручном режиме. Ручной режим используется для проведения экспериментов с системой в разомкнутом контуре, а в автоматическом режиме проводятся эксперименты по контролю за качеством системы. Вычисленные автоматически настройки (коэффициенты регуляторов) передаются автоматически соответствующему контроллеру и система может быть запущена.

All	1	2	3
Auto/Manual	Start/Stop	Start/Stop	Start/Stop
Start/Stop	Start/Stop	Start/Stop	Start/Stop
Auto/Man	Auto/Man	Auto/Man	Auto/Man
Auto	Auto	Auto	Auto
SP	+3.00	+3.00	+3.00
ManOut	+3.07	+3.05	+3.02
Kp	+6.72	+3.87	+3.91
Ti	+1.69	+1.06	+1.40
Td	+0.40	+0.26	+0.34
OutMax	+10.00	+10.00	+10.00
OutMin	-10.00	-10.00	-10.00

Рис. 4. Параметры и режимы регуляторов.

На разработанной таким образом системе были проведены эксперименты, направленные на определение влияния контуров на характер переходных процессов при изменении уставки каждого из регуляторов. На рис.5-6 приведены результаты экспериментов по изменению установки каждого контроллера.

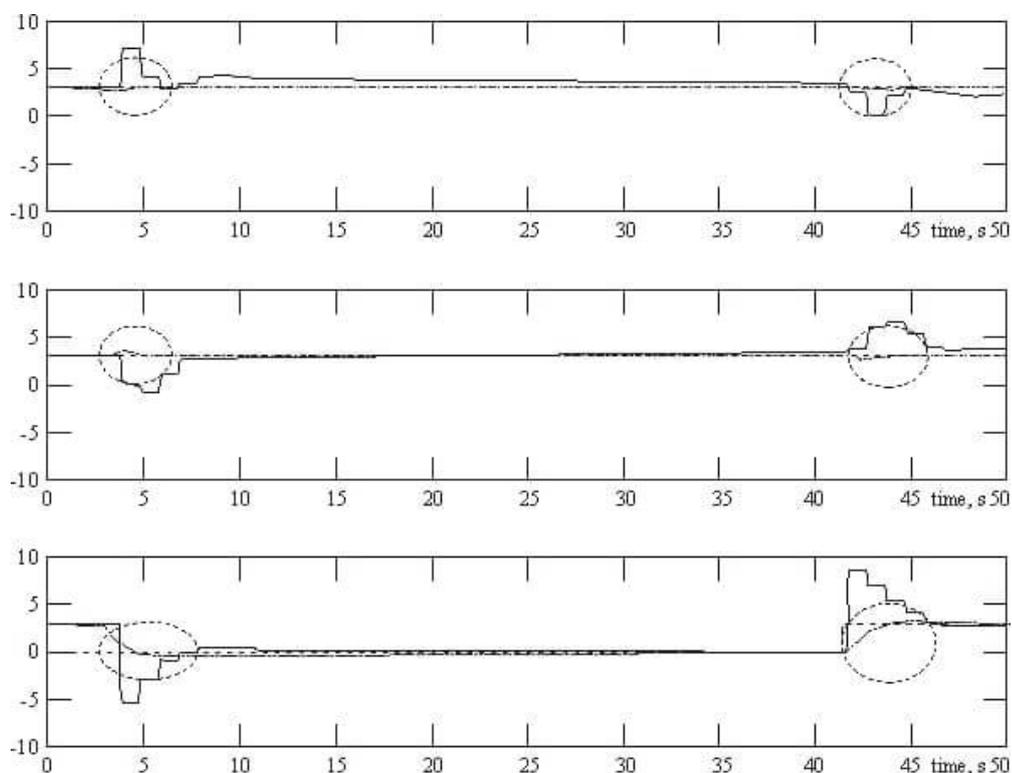


Рис. 5. Изменение параметров контура 3.

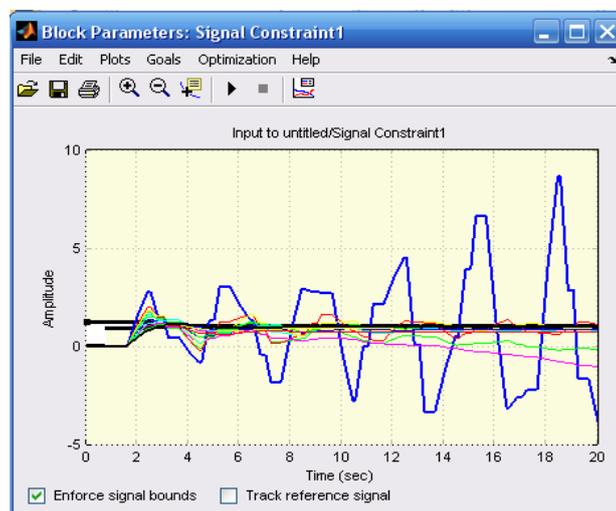


Рис. 6. Определение оптимального значения параметров цифрового регулятора системы регулирования объекта.

Можно видеть, что влияние контура, в котором происходит изменение уставки на другие контуры очень слабое, а в некоторых случаях это влияние незначительно. Переходные процессы на втором и третьем входе характеризуются высокой скоростью и позитивным влиянием на процессы, которые возникли в результате взаимосвязи между контурами. Выходные сигналы находятся в допустимом диапазоне. Рассмотренная система позволяет производить настройку

параметров регуляторов. Это возможно потому, что влияние коэффициентов на переходный процесс известно и они имеют ясный физический смысл.

### Заключение

Реализована система управления реальным объектом, для управления которым используется программируемый логический контроллер (ПЛК). Программное обеспечение разработано в среде TIA PORTAL на языке программирования SCL. Визуализация выполнения в гибкой SCSA - системе WinCC. Структурный синтез системы выполнен на основе компенсации взаимных влияний между каналами в стационарном режиме. Такой подход позволяет использовать стандартные программно реализованные издромные устройства регулирования. Настройка системы состоит из следующих шагов:

1. Экспериментальное определение статического режима для каждой схемы.
2. Расчет обратной матрицы  $D(4)$  и определение параметров настраиваемого объекта.
3. Настройка трех ПИД-регуляторов. При этом используется подход к автоматической настройке по методу Astrom-Hagglund-2, когда релейный сигнал подается одновременно на входы корректируемого объекта. Амплитуда сигнала реле учитывает возможности системы. Разработано необходимое программное обеспечение и выполнена визуализация для управления процессом настройки и расчета параметров.

4. Подход, используемый для настройки контроллеров, позволяет автоматизировать процесс, который быстро и легко применим к промышленным приложениям, когда необходимо перенастроить систему при изменении внутренних или внешних параметров системы.

5. Система позволяет легко настраивать параметры ПИД-регуляторов для достижения наилучших результатов регулирования. Существенным преимуществом является то, что настройки просты, а эффект каждой из них хорошо известен. Это позволяет вручную изменять любой из параметров без выполнения процедуры самонастройки. Данная функция чрезвычайно полезна в промышленных системах.

6. Полученные результаты показывают очень хорошую компенсацию перекрестных соединений; переходные процессы протекают быстро и с очень небольшим перерегулированием.

### References:

1. K.J.Astrom, T.Hagglund, *Advanced PID control*. ISA - The Instrumentation, Systems, and Automation Society, 2006, 460 p.
2. V.V.Denisenko, "PID-regulatory: voprosy realizacii" [PID regulators: implementation issues]. *STA*. 2007, no 4, pp. 86-97. (in Russian).
3. D.S.Pereira, J.O.P.Pinto, "Genetic algorithm based system identification and PID tuning for optimum adaptive control". *Advanced Intelligent Mechatronics. Proceedings*, 2005, IEEE/ASME International Conference on., pp. 801-806.
4. K.J.Astrom, T.Hagglund, "Revisiting the Ziegler-Nichols step response method for PID control". *Journal of Process Control*. 2004, no 4, pp.635-650.
5. N.R.Yusupbekov, F.A.Abdurasulov, F.T.Adilov, A.I.Ivanyan, "[Application of cloud technologies for optimization of complex processes of industrial enterprises](#)". *Advances in Intelligent Systems and Computing*, 2020, pp. 852-858. DOI: 10.1007/978-3-030-04164-9\_112.
6. N.R.Yusupbekov, Sh. M.Gulyamov, S.Kasymov, N.Usmanova, D.Mirzaev, "[Software implementation of exchange processes in a distributed network environment of transmission and processing of information](#)". *Journal of Automation, Mobile Robotics and Intelligent Systems*. Vol. 12(4), pp. 64-69. DOI: 10.14313/JAMRIS\_4-2018/27.
7. Q.Yang, Y.Xue, Q.Wu, "Stabilization and robust control of a class of processes with long time delay". *30th Annual Conference of IEEE Industrial Electronics Society, IECON*, Vol. 2, 2-6 Nov. 2004, pp.1304-1308.
8. N.R.Yusupbekov, A.R.Marakhimov, H.Z.Igamberdiev, Sh.X.Umarov, "[An Adaptive Fuzzy-Logic Traffic Control System in Conditions of Saturated Transport Stream](#)". *Scientific World Journal*. 2016, 6719459. DOI: 10.1155/2016/6719459.
9. V.L.Bajanov, A.V.Vayshnarus, "Programma "MM-nastroyka" dlya opredeleniya parametrov PID-regulyatorov po metodu masshtabirovaniya" [MM-tuning program for determining the parameters of PID controllers by the scaling method]. *Avtomatizatsiya v promy'shlyennosti*. 2007, no 6, pp. 60-64.
10. A.Yusupbekov, Sh.Gulyamov, Kh.Turaev, "Optimization of the rules base of genetic fuzzy systems". *CEUR Workshop Proceedingsthis link is disabled*. 2021, 2965, pp. 120-125.