International Journal of Education, Social Science & Humanities.
Finland Academic Research Science Publishers
ISSN: 2945-4492 (online) | (SJIF) = 8.09 Impact factor
Volume-12| Issue-5| 2024 Published: |22-05-2024|

УДК 629.62-50.621.311.

ОСНОВЫ ХАРАКТЕРИСТИКИ ТЕОРИИ АДАПТИВНОЙ ИДЕНТИФИКАЦИИ ДЛЯ АВТОМАТИЗАЦИИ МНОГОСВЯЗНЫХ ОБЪЕКТОВ.

https://doi.org/10.5281/zenodo.11530786

Умид Садирдинович Холматов
старший преподаватель кафедры «Инженерия транспортных средств»
Андижанского машиностроительного института.
Узбекистан, Андижан, E-mail: umid.xolmatov.76@mail.ru
umid.xolmatov.76@gmail.com
https://orcid.org/0000-0003-2295-502X.

Аннотация

В статье предложены решения задачи от перехода автоматизации отдельных процессов к автоматизации производственных комплексов и показаны возможности применения теории адаптивной идентификации многосвязных объектов на примере очистных сооружений.

Ключевые слова

Дискретные системы, водоотводящие и очистные сооружения, управление многосвязными объектами, адаптивная идентификация, линейные неоднородные дифференциальные уравнения, матричные коэффициенты, составные векторы, структурная схема.

BASICS OF CHARACTERISTICS OF THE THEORY OF ADAPTIVE IDENTIFICATION FOR AUTOMATION OF MULTI-CONNECTED OBJECTS.

Abstract

In article, solutions of a task from transition of automation of separate processes to automation are proposedindustrial complexes possibilities of application of the theory of adaptive identification of multicoherent objects are also shown on example of treatment facilities.

Keywords

The discrete systems, which are water taking away and treatment facilities, management of multicoherent objects, adaptive identification, linear non-uniform differential equations, matrix coefficients, compound vectors, structural scheme.

International Journal of Education, Social Science & Humanities. Finland Academic Research Science Publishers
ISSN: 2945-4492 (online) | (SJIF) = 8.09 Impact factor
Volume-12| Issue-5| 2024 Published: |22-05-2024|

Введение

Многочисленные задачи управления производственными процессами и сложными установками к которым следует отнести химическую и биологическую очистку сточных вод, являются многосвязными объектами, требуют перехода от автоматизации отдельных процессов к автоматизации производственных комплексов.

Это приводит к необходимости учета взаимосвязанности входных и выходных координат отдельных процессов, а, следовательно, и структурных связей между ними. Отсутствие достаточно полной априорной информации об объекте, законах распределения случайных параметров и случайных воздействий вызывает необходимость применение теории адаптивной идентификации.

В дальнейшем под адаптивной идентификацией многосвязных объектов будем понимать определение параметров и структуры объектов в условиях начальной неопределенности, на основании результатов наблюдения за изменением входных и выходных величин, в процессе нормальной эксплуатации. С этой точки зрения особый интересе представляют электроэнергетические системы водоотводящих и очистных сооружений, в которых осуществляется одновременное регулирование частоты и напряжения, потоков активных и реактивных мощностей, производительности турбокомпрессоров насосных станций, и по технологическому режиму относятся, как многосвязные объекты с сепаратными каналами управления, режимами работы [1, 2, 4].

Методы

Известно, что параметры объекта управления, например, водоотводящих и очистных сооружений изменяются в широких пределах [1, 3, 5]. Если считать, что на изменение параметров объекта влияет только один фактор (например, концентрация сточной воды), пренебрегая при этом режимами работы турбокомпрессоров и насосных агрегатов, то использовать полученные параметры объекта управления не возможно без больших погрешностей. Если же решать задачу идентификации очистных сооружений как многосвязного объекта с учетом всех указанных величин в процессе эксплуатации, то получаемые при этом параметры объекта будут определены значительно точнее [1, 3, 6, 7].

International Journal of Education, Social Science & Humanities.
Finland Academic Research Science Publishers
ISSN: 2945-4492 (online) | (SJIF) = 8.09 Impact factor
Volume-12| Issue-5| 2024 Published: |22-05-2024|

Задача адаптивной идентификации возникает связи с тем, что в общем случае внутреннее и внешнее воздействие, которое действует на объект, имеет случайный характер. Для водоочистных сооружений как объектов эта случайность обусловлена случайным характером возмущающих моментов и других факторов, вызванных неравномерностью распределения мощностей двигателей насосов, нестабильностью давления в турбокомпрессоры от цикла к циклу, концентрации активного ила дозы активного хлора и т. п. [3, 4]. Для очистных сооружений такими воздействиями являются: заполнения отстойников и аэротенков, выхода из строя одного из симметрично расположенных двигателей и насосов и т.д.

Несложно определить законы распределения каждого из указанных факторов в отдельности [8, 9, 10], но определить результирующий закон распределения всей совокупности факторов, а соответственно и зависящих от них идентифицируемых параметров объекта почти невозможно. В связи с этим задача идентификации многосвязных объектов сводится к задаче адаптивной идентификации.

Результаты и обсуждение

В настоящее время не имеется полной теории адаптивной идентификации многосвязных объектов. В данной статье изложены некоторые вопросы теории адаптивной идентификации многосвязных объектов, содержащих прямые и обратные перекрестные связи.

Опишем процессы в многосвязных объектах системы линейных неоднородных дифференциальных уравнений l-го порядка с r неизвестными переменными $x_1, x_2, \ldots, x_r$ аргумента t с постоянными коэффициентами

$$\sum_{j=1}^{r} a_{ij}(D)x_j = \sum_{j=1}^{r} b_{ij}(D)v_j \qquad (1)$$

где совокупность координат $\bar{x} = \{x_1, x_2, \ldots, x_r\}$; $\bar{v} = \{v_1, v_2, \ldots, v_r\}$ - векторы – столбцы состояния объекта и управления соответственно; i- номер сепаратного канала; D=d/dt – оператор дифференцирования; $a_{ij}(D), b_{ij}(D)$- полиномы от D, которые имеют вид

$$a_{ij}(D) = a_{ij}^{(l)}D^{l} + a_{ij}^{(l-1)}D^{l-1} + \ldots + a_{ij}^{(1)}D + a_{ij}^{(0)}; \qquad (2)$$

$$b_{ij}(D) = b_{ij}^{(l_1)}D^{j_1} + b_{ij}^{(l_1-1)}D^{l_1-1} + \ldots + b_{ij}^{(1)}D + b_{ij}^{(0)};$$

Здесь i, j=1, 2, . . ., r; l, l_1- порядок полинома коэффициентов, a и b соответственно; r- число сепаратных каналов управляемого объекта. Предполагается, что число прямых перекрестных связей равно числу обратных; порядок дифференциальных уравнений обратных перекрестных

International Journal of Education, Social Science & Humanities.
Finland Academic Research Science Publishers
ISSN: 2945-4492 (online) | (SJIF) = 8.09 Impact factor
Volume-12| Issue-5| 2024 Published: |22-05-2024|

связей равен порядку дифференциальных уравнений прямых перекрестных связей. Эти предположения не сужают общности задачи, так как она при наличии любых других вариантов и сочетаний перекрестных связей, а также порядка дифференциальных уравнений сводится к частным случаям. Введем многочисленные матрицы операторных коэффициентов [11, 12, 13]:

$$\mathrm{A(D)} = \|a_{ij}(D)\|;$$

$$\mathrm{B(D)} = \|b_{ij}(D)\|; \qquad (3)$$

или в развернутом виде

$$A(D) = \left\| \begin{matrix} a_{11}(D)a_{12}(D)\ldots a_{1r}(D) \\ a_{21}(D)a_{22}(D)\ldots a_{2r}(D) \\ \cdots\cdots\cdots\cdots\cdots\cdots\cdots \\ a_{r1}(D)a_{r2}(D)\ldots a_{rr}(D) \end{matrix} \right\|;$$

(4)

$$B(D) = \left\| \begin{matrix} b_{11}(D)b_{12}(D)\ldots b_{1r}(D) \\ b_{21}(D)b_{22}(D)\ldots b_{2r}(D) \\ \cdots\cdots\cdots\cdots\cdots\cdots\cdots \\ b_{r1}(D)b_{r2}(D)\ldots b_{rr}(D) \end{matrix} \right\|;$$

Пологая

$$A_k = \|a_{ij}^{(k)}\|(i, j = 1, 2, \ldots, r;$$

k=0, 1, 2,. . . , l; (5)

$$B_q = \left\|b_{ij}^{(q)}\right\| q = 0, 1, 2, \ldots l_1),$$

можно представить многочисленные матрицы A (D) в B (D) в виде многочленов с матричными коэффициентами

$\mathrm{A(D)=A_lD^l+A_{l-1}D^{l-1}+\ldots+A_1D+A_0}$;

$\mathrm{B(D)=B_{l1}D^{l}{}_1+B_{l-1}D^{l1-1}+\ldots+B_1D+B_0}$; (6)

Тогда в матричной форме система дифференциальных уравнений (1) принимает вид

$$\sum_{k=0}^{l} A_k D^k x = \sum_{q=1}^{l_1} B_q D^q \bar{u} \qquad (7)$$

В развернутой форме для любого сепаратного канала можно записать

$$\sum_{k=0}^{l} \sum_{j=1}^{r} a_{ij}^{(k)} D^k x_j = \sum_{q=0}^{l_1} \sum_{j=1}^{r} b_{ij}^{(q)} D^q u_j \qquad (8)$$

Перепишем уравнение (8) в разностном виде (в рекуррентной форме):

$$x_i[n] = \sum_{k=0}^{l} \sum_{j=1}^{r} c_{ij}^{(k)} x_i[n-k] + \sum_{q=1}^{l_1} \sum_{j=1}^{r} d_{ij}^{(q)} u[n-q] \qquad (9)$$

Матричные коэффициенты уравнений связаны между собой соотношениями [14, 15, 18, 19].

$$c_{ij}^{(l-k)} = -\sum_{v=0}^{k} a_{ij}^{(l-v)} (-1)^{k-v}\, c_{l-v}^{k-v};$$

$$a_{ij}^{(l_1-q)} = -\sum_{v=0}^{q} a_{ij}^{(l_1-v)} (-1)^{q-v}\, c_{l_1-v}^{q-v};$$

где

International Journal of Education, Social Science & Humanities. Finland Academic Research Science Publishers
ISSN: 2945-4492 (online) | (SJIF) = 8.09 Impact factor
Volume-12| Issue-5| 2024 Published: |22-05-2024|

$$c_{l-v}^{k-v} = \frac{(1-v)!}{(k-v)!\,(l-k)!};$$

$$c_{l_1-v}^{k-v} = \frac{(1_1-v)!}{(q-v)!\,(l_1-k)!};$$

Для управляемого объекта при наличии только прямых перекрестных связей уравнение (9) имеет вид

$x_i[n] = \sum_{m=1}^{l} c_{ii}^{(m)} x_i[n-m] + \sum_{j=1}^{r} \sum_{m=1}^{S} d_{ij}^{(m)} v_j[n-m],$ (9.a)

а при наличии только обратных –

$x_i[n] = \sum_{j=1}^{r} \sum_{m=1}^{S} c_{ij}^{(m)} x_i[n-m] + \sum_{m=1}^{l} \quad d_{ij}^{(m)} v_i[n-m],$ (9.б)

В отдельных случаях некоторые из коэффициентов c_{ii}^{m} и d_{ij}^{m} могут быть равны, что соответствует отсутствию каких-либо связей.

Для решения задачи идентификации введем составной вектор ситуации. По аналогии с работой [1, 2, 16, 17] обозначим вектор ситуаций $\bar{Z}$, а составной вектор - $\vec{t}$.

Рассмотрим многочисленный составной вектор коэффициентов:

$\widehat{c_\mu} = f_\mu(c_{ij}^{\mu}) = f_c(c_{11}^{\mu}, c_{12}^{\mu}, \ldots, c_{1r}^{\mu}; c_{22}^{\mu},$
$c_{22}^{\mu}, \ldots, c_{2r}^{\mu}; \ldots; c_{1r}^{\mu},\ c_{r2}^{\mu}, \ldots, c_{rr}^{\mu};\ d_{11}^{\mu}, d_{12}^{\mu}, \ldots, d_{r1}^{\mu}; \ldots; d_{r1}^{\mu}, d_{r2}^{\mu}, \ldots, d_{rr}^{\mu}$ (10)

Следует отметить, что размерность многочисленного составного вектора $\widehat{c_\mu}$ зависит от мерности системы и порядка разностного уравнения (9).

Выразим составной вектор ситуации $\vec{Z}$ через вектор $\bar{Z}$:

$\vec{Z}[n] = \varphi_z(\vec{Z}_i[n]) = \varphi_z \quad (x_{i1,} x_{i2}, \ldots, x_{ir,} v_{i1}, v_{i2}, \ldots, v_{ir}),$ (11)

где $\bar{Z}_i[n] = \{x_i[n-1], x_i[n-2], \ldots, x_i[n-l], v_i[n-1], v_i[n-2], \ldots, v_i[n-l_1]\}$.

качеством идентификации оценивается с помощью функционалов от ошибок управления, представляющих собой интегральные среднеквадратичные оценки. Поэтому каждая из них выражается через математическое ожидание, учитывая стохастический характер всех воздействий [1, 18]. В общем случае критерий оптимальности запишем в виде

$\mathrm{J}(\hat{c}, \hat{d}) = \mathrm{M}\{F[\vec{x}[n] - \widehat{c^m}\vec{\varphi}(x)[n]) - \widehat{d^m}\vec{\varphi}(v)[n])]\}$ (12)

Адаптивный алгоритм идентификации в этом случае будет иметь вид.

$\hat{c}[n] = \hat{c}[n-1] + \Gamma_x[n] F_x' \left(\vec{x}[n] - \bar{c}^m[n-1]\vec{\varphi}_x(x[n]) - \hat{d}^m[n-1]\vec{\varphi}_u(v[n])\right) \vec{\varphi}(x[n]);$

$\hat{d}[n] =$
$\hat{d}[n-1] + \Gamma_u[n] F_u' \left(\vec{x}[n] - \bar{c}^m[n-1]\vec{\varphi}_x[n]) - \hat{d}^m[n-1]\vec{\varphi}_u(v[n])\right) \vec{\varphi}(v[n]),$ (13)

где $\Gamma_x[n]$ и $\Gamma_u[n]$ – диагональные матрицы коэффициентов γ_{ij}^{k} $(k=x,\ u)$,

International Journal of Education, Social Science & Humanities. Finland Academic Research Science Publishers
ISSN: 2945-4492 (online) | (SJIF) = 8.09 Impact factor
Volume-12| Issue-5| 2024 Published: |22-05-2024|

$$\Gamma_k[n] = \left\| \begin{matrix} \gamma_{11}^k & 0 & 0 & 0 & 0 \\ 0 & \gamma_{22}^k & 0 & 0 & 0 \\ \dots & \dots & \dots & \dots & \dots \\ 0 & 0 & 0 & 0 & \gamma_{rr}^k \end{matrix} \right\|.$$

Структурная схема дискретной системы, соответствующая алгоритму идентификации (13) в векторной форме, представлена на рис.1. В развернутом виде алгоритм (13) можно выразить через составные векторы

$$\vec{c}^{\mu}[n] = \vec{c}^{\mu}[n-1] + \Gamma_{\text{x}}[n]\text{x}\left(\bar{x}[\text{n}] - \sum_{v=1}^{l} \vec{c}^{v}[n-1]\overline{\varphi_{xv}}\ \text{x}\,(\text{x})[\text{n}]\right)$$

$$-\sum_{q=1}^{l_1} \overrightarrow{d^{q}}[n-1]\overline{\varphi_{q_u}}\,x(v[n]))\overline{\varphi_{\mu x}}(x[n]);$$

$\vec{d}^{\rho}[n] = \vec{c}^{\rho}[n-1] + \Gamma_u[n]\text{x}(\bar{x}[\text{n}] - \sum_{v=1}^{l} \vec{c}^{v}[n-1]\overline{\varphi_{vx}}\,(\text{x})[\text{n}]) - \sum_{q=1}^{l_1} \overrightarrow{d^{q}}[n-1]\overline{\varphi_{q_u}}\,v[n]))\overline{\varphi\quad_{\rho u}}(v[n]),$ (14)

где μ,v=0, 1, 2, . . .,l; q. p=1, 2, . . .,l$_1$; $\vec{c}^{\mu}$=($c_{11}^{\mu}, c_{12}^{\mu}, \dots, c_{1r}^{\mu}$; $c_{21}^{\mu}, c_{22}^{\mu}$, . . $c_{2r}^{\mu}; \dots$; c_{r1}^{μ}; $c_{r2}^{\mu}, \dots, c_{rr}^{\mu}$; $\vec{d}^{\rho} = (d_{11}^{p}, d_{12}^{p}, \dots, d_{1r}^{p};\ d_{21}^{p}, d_{22}^{p}, \dots, d_{2r}^{p}; \dots; d_{r1}^{p}, d_{r2}^{p}, \dots, d_{rr}^{p})$.

$$\bar{\varphi}_{\mu x}(x[n]) = \bar{x}[n-\mu];$$
$$\varphi_{\mu x}(x[n]) = \bar{x}[n-\mu];$$
$$\bar{\varphi}_{qu}(v[n]) = \bar{v}[n-q];$$

$\bar{\varphi}_{pu}(v[n]) = \bar{v}[n-p].$ (15)

Рис.1. Дискретная система, реализующая алгоритм адаптивной идентификации многосвязных объектов в векторной форме.

В выражении (14) функции $\bar{\varphi}(x[n])$и $\bar{\varphi}(v[n])$ представляют собой $\bar{\varphi}_{vx}(x[n]) = \bar{x}[n-v]$;

С учетом значений функций (15) для квадратичного функционала алгоритм (14) преобразуется к виду

$\vec{c}^{\mu}[n] = \vec{c}^{\mu}[n-1] + \Gamma_{\text{x}}[n]\big(\bar{x}[n] - \sum_{v=0}^{l} c^{v}[n-1]\text{x}\bar{x}\,[n-v] - \sum_{q=1}^{l_1} \vec{d}\,[n-1]\bar{v}[n-q]\big)\bar{x}[n-\mu]$; (16)

$$\vec{d}^{\mu}[n] = \vec{d}^{p}[n-1] + \Gamma_u[n]\left(\bar{x}[n] - \sum_{v=0}^{l} \overrightarrow{c}\ [n-1]\text{x}\,x\,[n-v] - \sum_{q=1}^{l_1} \overrightarrow{d^{p}}\,[n-1]\bar{v}[n-q]\right)\bar{v}[n-p];$$

Вывод

Приведенные алгоритма позволяют решить задачи от перехода автоматизации отдельных процессов к автоматизации производственных комплексов, и определить возможности применения теории адаптивной идентификации многосвязных объектов, а также рассмотреть комплексные вопросы составления алгоритмов идентификации путем использования итеративного вероятностного метода.

ИСПОЛЬЗОВАННАЯ ЛИТЕРАТУРА:

1. Kholmatov U. S. et al. Characteristics of optoelectronic discrete displacement converters with hollow and fiber light guides //E3S Web of Conferences. – EDP Sciences, 2024. – Т. 471. – С. 06015.
2. Холматов У. С. СТАТИЧЕСКИЕ ХАРАКТЕРИСТИКИ ОПТОЭЛЕКТРОННЫХ ДИСКРЕТНЫХ ПРЕОБРАЗОВАТЕЛЕЙ ДЛЯ АВТОМАТИЧЕСКОГО ИЗМЕРЕНИЯ ПЕРЕМЕЩЕНИЙ И РАЗМЕРОВ //НАУЧНО-ТЕХНИЧЕСКИЙ ЖУРНАЛ МАШИНОСТРОЕНИЕ. – 2023. – №. 2. – С. 190-201.
3. Холматов, У. С. (2024). ХАРАКТЕРИСТИКИ ОСНОВНЫХ ТЕОРИИ АДАПТИВНОЙ ИДЕНТИФИКАЦИИ ДЛЯ АВТОМАТИЗАЦИИ МНОГОСВЯЗНЫХ ОБЪЕКТОВ. International Journal of Education, Social Science & Humanities, 12(4), 1360-1369.
4. Холматов У. С. РАСШИРЕНИЕ ТЕОРИИ АДАПТИВНОЙ ИДЕНТИФИКАЦИИ ПРИМЕНИТЕЛЬНО К МНОГОСВЯЗНЫМ ОБЪЕКТАМ //НАУЧНО-ТЕХНИЧЕСКИЙ ЖУРНАЛ МАШИНОСТРОЕНИЕ. – 2023. – №. 1. – С. 376-382.
5. Zhumaev O. A. et al. PROBLEMS OF OPTOELECTRONIC TRANSDUCERS FOR GAS-MEASURING INSTALLATIONS DESIGN AND DEVELOPMENT //ВЕСТНИК. – С. 113.
6. Шипулин Ю. Г. и др. Оптоэлектронный преобразователь для автоматических измерений перемещений и размеров //Мир измерений. – 2013. – №. 1. – С. 41-43.
7. АЛМАТАЕВ О. Т. и др. ОПТОЭЛЕКТРОННЫЕ ПРЕОБРАЗОВАТЕЛИ РЕФЛЕКТИВНОГО ТИПА ДЛЯ АВТОМАТИЗАЦИИ ЖИДКОСТНЫХ И ГАЗОВЫХ ПОВЕРОЧНЫХ РАСХОДОМЕРНЫХ УСТАНОВОК //Механика. Научные исследования и учебно-методические разработки. – 2014. – №. 8. – С. 27-34.

8. Хамдамов Б. М. и др. ИНТЕЛЛЕКТУАЛЬНЫЙ ОПТОЭЛЕКТРОННЫЙ ПРИБОР ДЛЯ КОНТРОЛЯ РАСХОДА ВОДЫ В ОТКРЫТЫХ КАНАЛАХ //Наука. Образование. Техника. – 2015. – №. 2. – С. 72-82.

9. Жумаев О. А. и др. Задачи разработки и проектирования оптоэлектронных преобразо ватель ей для газомерных установок //Вестник Курганского государственного университета. – 2015. – №. 3 (37). – С. 113-116.

10. Азимов Р. К. и др. Морфологический метод структурного проектирования оптоэлектронных преобразователей на основе полых и волоконных световодов (ОЭГТВС) //Современные материалы, техника и технологии в машиностроении». III Международная научно-практическая конференция. – 2016. – С. 15-19.

11. Kholmatov U. THE POSSIBILITY OF APPLYING THE THEORY OF ADAPTIVE IDENTIFICATION TO AUTOMATE MULTI-CONNECTED OBJECTS //The American Journal of Engineering and Technology. – 2022. – Т. 4. – №. 03. – С. 31-38.

12. Холматов У. С. ИССЛЕДОВАНИЯ МАТЕМАТИЧЕСКОЙ МОДЕЛИ ВОЛОКОННО-ОПТИЧЕСКОГО ДАТЧИКА ПРИ ПРОДОЛЬНОМ И ПОПЕРЕЧНОМ ПЕРЕМЕЩЕНИЯХ //НАУЧНО-ТЕХНИЧЕСКИЙ ЖУРНАЛ МАШИНОСТРОЕНИЕ. – 2022. – №. 1. – С. 78-85.

13. Kholmatov U. OPTIMIZATION OF MATHEMATICAL MODEL OF OPTOELECTRONIC DISCRETE DISPLACEMENT CONVERTER //SCIENTIFIC AND TECHNICAL JOURNAL MACHINE BUILDING. – 2022. – №. 2. – С. 74-82.

14. Kholmatov U. DETERMINATION OF THE MAIN CHARACTERISTICS OF OPTOELECTRONIC DISCRETE DISPLACEMENT TRANSDUCERS WITH HOLLOW AND FIBER FIBER //SCIENTIFIC AND TECHNICAL JOURNAL MACHINE BUILDING. – 2022. – №. 4. – С. 160-168.

15. Холматов У. С. Определение основных и статические характеристики оптоэлектронных дискретных преобразователей перемещений с полыми и волоконными светов //НАУЧНО-ТЕХНИЧЕСКИЙ ЖУРНАЛ МАШИНОСТРОЕНИЕ. – 2022. – №. 5. – С. 711-719.

16. Холматов У. С. Определение основных теории адаптивной идентификации для автоматизации многосвязных объектов //Namangan muhandislik texnologiya instituti ILMIY-TEXNIKA JURNALI. – 2022. – №. 1/7. – С. 544-550.

International Journal of Education, Social Science & Humanities. Finland Academic Research Science Publishers
ISSN: 2945-4492 (online) | (SJIF) = 8.09 Impact factor
Volume-12| Issue-5| 2024 Published: |22-05-2024|

17. Kholmatov U. Intelligent discrete systems for monitoring and control of the parameters of technological processes on the basis of fiber and hollow fiber //Monograph.–2022.–С. – 2022. – С. 5-114

18. Шипулин Ю. Г., Холматов У. С. Интеллектуальные дискретные системы для контроля и управления параметрами технологических процессов на основе волоконных и полых световодов //Монография, Андижан.–2018.–С. – 2018. – С. 1-140.

19. Холматов У. С. Анализ шумовых факторов в волоконных и полых оптических датчиках информационно-измерительных систем //Технология новых материалов: перспективы развития полимерных композиционных материалов, применяемых в машиностроении». Международной научно-практической конференция, Андижан. – 2022. – С. 197-201.