

УДК 004.94

EDN [HHMYQF](#)



<https://www.doi.org/10.47813/rosnio-II.2023.8.161-171>

Моделирование системы автоматического управления информационным потоком клиентской информации транспортно-логистического центра

Н.С. Шагов, Н.А. Мамедова*, А.И. Уринцов

ФГБОУ ВО «Российский экономический университет им. Г.В. Плеханова»,
Стремянный пер., 36, Москва, 117997, Россия

*E-mail: mamedova.na@rea.ru

Аннотация. Представлено решение по моделированию информационных потоков клиентской информации транспортно-логистического центра на базе аппарата теории автоматического управления. Транспортно-логистический центр представлен как система автоматического регулирования информационных потоков между отделами. Контроль за поведением системы сталкивается с проблемой определения точного места для управляющего воздействия. Проверена гипотеза о том, что эффективность управляющего воздействия прямо зависит от правильной локализации контрольных точек в инфраструктуре данных. Проведен поиск контрольных точек в инфраструктуре данных, локализуемых для повышения устойчивости системы автоматического регулирования. Логика модели продемонстрирована на примере информационных потоков при выполнении алгоритма операций «клиент-отдел-поставка». Предлагаемое решение по моделированию инфраструктуры данных обеспечивает контролируемое наблюдение изменений по возмущению при единичном управляющем воздействии за счет включенного компонента отрицательной обратной связи. Материалы исследования могут рассматриваться как иллюстрация нахождения передаточной функции звена внутри контура системы автоматического регулирования.

Ключевые слова: транспортный логистический центр, теория автоматического управления, отрицательная обратная связь, управляющее воздействие, инфраструктура данных

Modelling of automatic control system of client information flow in a transport-logistics centre

N.S. Shagov, N.A. Mamedova*, A.I. Urintsov

Plekhanov Russian University of Economics, 36 Stremyanny Lane, Moscow, 117997, Russia

*E-mail: mamedova.na@rea.ru

Abstract A solution for modeling information flows of client information of a transport logistics center based on the apparatus of automatic control theory is presented. A transport and logistics center is presented as a system of automatic control of information flows between departments. Controlling the behavior of the system faces the problem of determining the exact location for the controlling action. The hypothesis that the effectiveness of the control action directly depends on the correct localization of control points in the data infrastructure is tested. A search for control points in the data infrastructure that are localizable to improve the stability of the automatic control system is conducted. The logic of the model is demonstrated by the example of information flows in the execution of the algorithm of "customer-department-delivery" operations. The proposed data infrastructure modeling solution provides a controlled observation of changes by perturbation under a single control action due to the included negative feedback component. The materials of the study can be considered as an illustration of finding the transfer function of a link inside the automatic control system loop.

Keywords: transport logistics center, automatic control theory, negative feedback, control action, data infrastructure

1. Введение

Управление логистическими процессами, если рассматривать их в широком смысле, – как технологические процессы, – допускает возможность их декомпозиции на отдельные объекты управленческого воздействия – рабочие операции и операции управления [1]. Автоматизация операций управления и внедрение автоматических и автоматизированных систем позволяет реализовать потенциал регулирования логистических процессов, сдвигая в область еще большего комфорта деятельность человека. Но, если брать в расчет саму теоретическую природу регулирования, как частный случай управления, то его предназначение состоит в поддержании заданного состояния объектов управленческого воздействия. И если объекты регулирования действительно разнообразны, то принципы, на которых основано построение системы регулирования, остаются одними и теми же. Это позволяет распространить методы исследования систем управления на логистические процессы, рассмотреть их в фокусе теории автоматического управления (ТАУ).

Соответственно, регулируемым объектом определим транспортно-логистический центр (ТЛЦ), сооружаемый в узлах транспортной сети на пересечении магистральных путей сообщения, гарантированно обеспечивающий клиентуру комплексным транспортно-экспедиционным и логистическим сервисным обслуживанием [2]. В свою очередь, автоматическим регулятором такого объекта будут служить цепи автоматического регулирования потоков данных информационной системы ТЛЦ. Совокупность регулируемого объекта и автоматического регулятора составят систему автоматического управления (САУ).

Структурная схема САУ для ТЛЦ строится по иерархическому принципу на основе реальной или проектируемой системы и включает элементы системы и связи между элементами, которые указывают направление передачи сигнала [3]. Состояние любого элемента системы можно описать через входную переменную (сигнал), которая носит возмущающий или регулирующий характер. Для контроля изменений состояния элементов ТЛЦ – структурных подразделений (отделов) – измерению подлежит управляющее (регулирующее) воздействие, что позволяет поддерживать заданное состояние выходной (регулируемой) переменной. И, если наблюдается отклонение состояния регулируемой переменной от заданного, в действие должен вступать регулятор, который изменяет входную переменную объекта в зависимости от значения

выходной переменной. При этом регулятор оказывает регулирующее воздействие независимо от причин такого отклонения.

Действие регулятора в отношении объекта формирует замкнутую систему – автоматическую систему регулирования (АСР). Алгоритм регулирования цепи потоков данных информационной системы ТЛЦ реализован посредством обратной связи – по ней в обратном направлении (от выходной переменной объекта на вход) передается сигнал. Обратная связь позволяет АСР функционировать «разумно» [4], не нагружая элементы объекта дополнительными функциями управления. И, поскольку речь идет об автоматическом регулирующем воздействии на объект, при котором измеряется отклонение регулируемой величины от заданного значения, сигнал обратной связи вычитается из сигнала передачи основного воздействия на объект. Это является характеристикой отрицательной обратной связи.

Анализ параметров функционирования системы регулирования ТЛЦ показывает, что она относится к динамическим системам, поведение которых в ТАУ описывается такими характеристиками как передаточная функция, временные и частотные характеристики. Передаточная функция определяется внутренними свойствами системы и связана с ее временными характеристиками. Если говорить непосредственно о системе регулирования ТЛЦ, то для нее передаточная функция характеризует динамику объекта только по каналу, связывающему конкретный вход объекта и конкретный выход. Вывод передаточной функции сложной системы, которой является система регулирования ТЛЦ, должен содержать обратные связи для того, чтобы компенсировать изменения основного регулирующего воздействия и, тем самым, формировать задел для оптимизации САУ. Оптимальная САУ обладает лучшими характеристиками для каждого состояния динамической системы, что выражается не только в сохранении заданного состояния регулируемой переменной, но и возможности улучшить экстремальные значения функции качества [5]. Такое состояние достигается за счет изменения управляющего воздействия и параметров САУ, и уже полученные результаты, переложенные на теорию оптимизации и оптимального управления, могут обеспечить достижение экономического эффекта для ТЛЦ как регулируемого объекта.

2. Постановка задачи (Цель исследования)

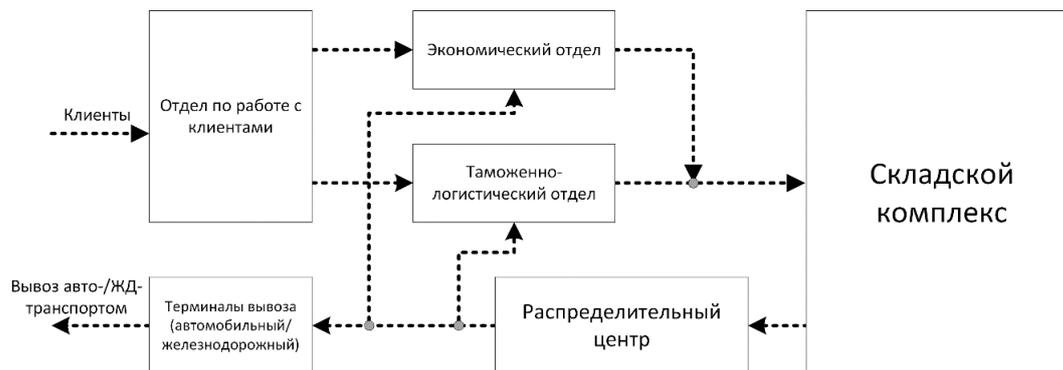
Контроль за состоянием автоматической системы и регулирование происходящих в ней технических и информационных процессов является предметной областью, в

которой востребованы эффективные решения, повышающие управляемость динамических систем. Исследование проведено для решения проблемы локализации контрольных точек в инфраструктуре данных информационной системы ТЛЦ для осуществления полного цикла управления процессами, оптимального разделения зон ответственности между отделами ТЛЦ. Предложенный подход заключается в применении теории автоматического управления (ТАУ) к регулированию информационных потоков внутри системы замкнутого типа. В качестве объекта демонстрации для исследования выбраны цепи автоматического регулирования потоков клиентской информации транспортно-логистического центра по алгоритму «клиент - отделы ТЛЦ - поставка». Поставлена исследовательская задача – представить в парадигме теории автоматического управления модель информационных потоков между отделами ТЛЦ и определить характер функций для операций сбора, обработки данных, нагрузочных вычислений, подачи управляющих команд. Это позволит квалифицировать в соответствии с ТАУ закон управления через звенья отрицательной обратной связи и охарактеризовать тип регулятора. Для этого модель информационных потоков, объединенных в сеть цепью устройств в отделах ТЛЦ, декомпозирована на звенья – тракты передачи и обработки данных в каждом отделе.

3. Методы и материалы исследования

Процесс решения поставленной задачи представляет собой поэтапное выполнение последовательности работ: составление схемы информационных потоков между взаимодействующими отделами; определение структурной схемы САУ исследуемой системы с передаточными функциями для всех элементов системы; обеспечение коррекции ошибок регулирования за счет введения в нужных местах цепей отрицательной обратной связи; расчёт передаточной функции для полученной САУ сложной конфигурации с несколькими звеньями отрицательной обратной связи, включая общую ООС.

Представим схему информационных потоков при обращении клиента к инфраструктуре транспортно-логистического центра.



Условные обозначения:

←---→ грузо-клиентский поток данных ● точка слияния/разделения потоков данных

Рисунок 1. Схема информационных потоков при выполнении алгоритма «клиент-отделы-поставка».

Как видно на рисунке 1, информация о заказе клиента поступает в отдел по работе с клиентами, после чего распределяется и обрабатывается экономическим и транспортно-логистическим отделами ТЛЦ. Далее обработанные данные поступают в ИС складского комплекса, а затем вместе с грузом, соответствующим заказу клиента, следуют через распределительный центр к транспортному терминалу, после чего производится поставка клиентского груза к месту назначения. Поток информации о следовании груза к терминалу отслеживается экономическим и транспортно-логистическим отделами, а конечный результат поставки проверяется клиентом.

По представленному выше описанию произведём функциональную замену инфраструктур отделов ТЛЦ на передаточные функции звеньев, соответствующие информационным системам (ИС) таких инфраструктурных единиц: $W_1(p)$ – ИС отдела по работе с клиентами, $W_2(p)$ – ИС экономического отдела, $W_3(p)$ – ИС транспортно-логистического отдела, $W_4(p)$ – ИС складского комплекса, $W_5(p)$ – ИС распределительного центра, $W_6(p)$ – ИС транспортного терминала. Дополнительно для коррекции ошибок регулирования (функционально – в виде контроля состояния груза и операций с ним со стороны клиента, а также для контроля выходного информационного потока «распределительный центр-терминалы» экономическим и транспортно-логистическим отделом) обеспечиваем цепи отрицательной обратной связи (ООС):

- проведённую от выхода распределительного центра на вход экономического и транспортно-логистического отделов системы, с введением дополнительного регулирующего звена $W_{OC1}(p)$;
- проведённую от выхода на вход системы, с введением дополнительного регулирующего звена $W_{OC2}(p)$.

Результат реализации замены представлен на рисунке 2.

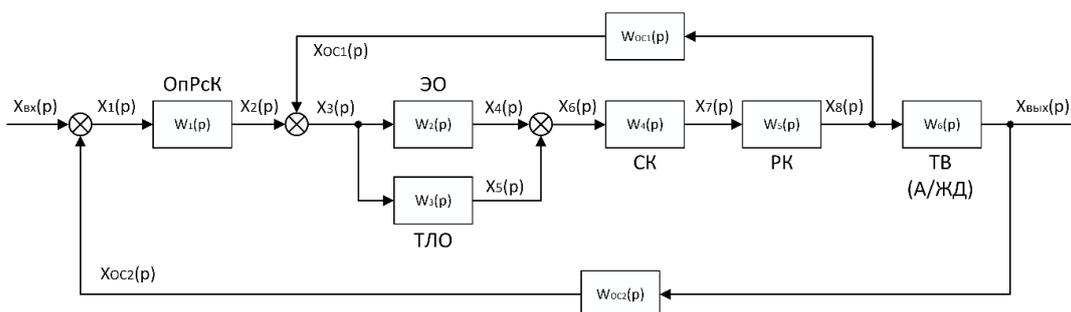


Рисунок 2. Схема системы автоматического регулирования информационных потоков клиентской информации транспортно-логистического центра по алгоритму «клиент-отделы-поставка».

4. Полученные результаты

Выведем передаточную функцию системы, считая, что в отношении каждого нелинейного звена проведена линеаризация его передаточной функции, т.е. передаточная функция $W_i(p)$ каждого звена приведена к линейному виду численными методами. Поскольку на схеме, изображённой на рисунке 2, имеется два вложенных регулируемых контура обратной связи $W_{OC1}(p)$ и $W_{OC2}(p)$, для получения ПФ системы необходимо изначально получить выражение для внутреннего контура с обратной связью, изображённого на рисунок 3.

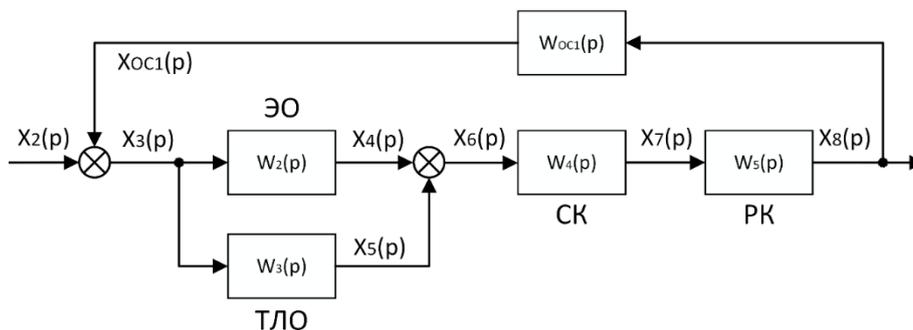


Рисунок 3. Схема внутреннего контура системы автоматического регулирования информационных потоков клиентской информации, содержащего ООС.

Передаточную функцию разомкнутой системы можно определить как отношение изображений управляемой величины и ошибки при нулевых начальных значениях и возмущающих воздействиях, равных нулю. Знание передаточной функции разомкнутой системы позволяет найти выражение для ошибки и управляемой величины в функции задающего воздействия [6]. Разомкнём ООС, т.е. считаем, что $X_{oc1}(p) = 0$. Поток информации $X_3(p)$ проходит через параллельно соединённые звенья системы $W_2(p)$ и $W_3(p)$ с суммированием, тогда:

$$X_6(p) = X_3(p)W_2(p) + X_3(p)W_3(p) = X_4(p) + X_5(p) \quad (1)$$

С этим участком последовательно соединены звенья $W_4(p)$ и $W_5(p)$, и по правилам соединения таких участков получим выходной сигнал:

$$X_{8(\delta/oc1)}(p) = X_6(p)W_4(p) \cdot W_5(p) = X_7(p)W_5(p) \quad (2)$$

Учитывая влияние на выходную величину звена ООС и считая, что $X_3(p) = X_2(p) - X_{oc1}(p)$, получим выражение для сигнала на выходе для участка полной цепи с ООС, изображённого на рисунке 3:

$$\begin{aligned} X_{8(oc1)}(p) &= \frac{X_{8(\delta/oc1)}(p)}{1 - X_{8(\delta/oc1)}(p) \cdot W_{oc1}(p)} = \\ &= \frac{X_2(p) \left[(W_2(p) + W_3(p)) \cdot W_4(p) \cdot W_5(p) \right]}{1 - W_{oc1}(p) \cdot X_2(p) \left[(W_2(p) + W_3(p)) \cdot W_4(p) \cdot W_5(p) \right]} \end{aligned} \quad (3)$$

Передаточная функция звена, эквивалентного участку цепи, равна:

$$\begin{aligned}
 W_{\text{экв}}(p) &= \frac{W_{8(\delta/OC1)}(p)}{1 - W_{OC1}(p) \cdot W_{8(\delta/OC1)}(p)} = \\
 &= \frac{(W_2(p) + W_3(p)) \cdot W_4(p) \cdot W_5(p)}{1 - W_{OC1}(p) \cdot [(W_2(p) + W_3(p)) \cdot W_4(p) \cdot W_5(p)]}
 \end{aligned} \tag{4}$$

Возвращаясь к схеме, изображённой на рисунке 2, видим, что ранее рассмотренный участок схемы, охваченный ООС через звено $W_{OC1}(p)$, соединён последовательно со звеньями $W_1(p)$ и $W_6(p)$. Считая, что общая ООС разомкнута (т.е. $X_{OC2}(p) = 0$), а входной поток проходит через звено $W_1(p)$, получим:

$$\begin{aligned}
 X_{\text{вых.}\delta/OC2}(p) &= X_2(p)W_1(p) \cdot W_{\text{экв}}(p) \cdot W_6(p) = \\
 &= X_3(p)W_{\text{экв}}(p) \cdot W_6(p) = X_8(p)W_6(p)
 \end{aligned} \tag{5}$$

В системе имеется звено общей отрицательной обратной связи, на которую в случае необходимости коррекции подаётся сигнал ошибки, получаемый как разность между текущим значением на выходе $X_{\text{вых}}(p)$ и допустимым граничным значением на нём $X_{\text{вых}0}(p)$. При связи корректирующего звена $W_{OC2}(p)$ со входом системы через сумматор реализуется коррекция выходной передаточной функции по полученному отклонению. Учитывая влияние на выходную величину звена ООС и считая, что $X_2(p) = X_{\text{ex}}(p) - X_{OC2}(p)$, получим полное выражение для сигнала на выходе для полной цепи с ООС, изображённой на рисунке 2:

$$\begin{aligned}
 X_{\text{вых.}OC2}(p) &= \frac{X_{\text{вых.}OC2}(p)}{1 - X_{\text{вых.}OC2}(p) \cdot W_{OC2}(p)} = \\
 &= \frac{X_{\text{ex}}(p)(W_1(p) \cdot W_{\text{экв}}(p) \cdot W_6(p))}{1 - W_{OC1}(p) \cdot X_{\text{ex}}(p)(W_1(p) \cdot W_{\text{экв}}(p) \cdot W_6(p))} = \\
 &= \frac{X_{\text{ex}}(p)W_{C,\delta/OC2}(p)}{1 - W_{OC1}(p) \cdot X_{\text{ex}}(p)W_{C,\delta/OC2}(p)}
 \end{aligned} \tag{6}$$

где $W_{C,\delta/OC2} = W_1(p) \cdot \frac{(W_2(p) + W_3(p)) \cdot W_4(p) \cdot W_5(p)}{1 - W_{OC1}(p) \cdot [(W_2(p) + W_3(p)) \cdot W_4(p) \cdot W_5(p)]} \cdot W_6(p)$.

Передаточная функция звена, эквивалентного участку цепи, равна:

$$\begin{aligned}
 W_c(p) &= \frac{W_{C.б/OC2}(p)}{1 - W_{OC2}(p) \cdot W_{C.б/OC2}(p)} = \\
 &= \frac{W_1(p) \cdot W_{экс}(p) \cdot W_6(p)}{1 - W_{OC2}(p) \cdot W_1(p) \cdot W_{экс}(p) \cdot W_6(p)} = \\
 &= \frac{W_1(p) \cdot \frac{(W_2(p) + W_3(p)) \cdot W_4(p) \cdot W_5(p)}{1 - W_{OC1}(p) \cdot [(W_2(p) + W_3(p)) \cdot W_4(p) \cdot W_5(p)]} \cdot W_6(p)}{1 - W_{OC1}(p) \cdot W_1(p) \cdot \frac{(W_2(p) + W_3(p)) \cdot W_4(p) \cdot W_5(p)}{1 - W_{OC1}(p) \cdot [(W_2(p) + W_3(p)) \cdot W_4(p) \cdot W_5(p)]} \cdot W_6(p)}
 \end{aligned} \tag{7}$$

Определив передаточную функцию звена, мы получаем экспериментальное значение статической характеристики разомкнутой системы и имеем возможность в дальнейшем осуществлять контролируемое наблюдение изменений по возмущению при единичном управляющем воздействии. Аналогичным образом определив передаточную функцию звена, эквивалентного каждому участку общей цепи, возможно выполнение условия для расчета максимальной ошибки регулирования [7]. Необходимо учитывать отличительные особенности переходной функции каждого звена, что будет отражаться на записи операторного уравнения.

В цепях регулирования и коррекции ошибки предлагается использовать пропорционально-дифференциальный закон регулирования и ПД-тип регулятора в обратной связи [8], поскольку требуется повышенное быстродействие системы для обеспечения достаточной точности и своевременности регулирования. В установившемся состоянии производная от ошибки равна нулю и управление прекращается, но в переходных процессах такой тип управления позволяет быстро учитывать тенденцию к росту или уменьшению ошибки.

В сравнении с этим решением пропорциональный тип регулятора подходит только для статических процессов, интегральный имеет невысокую точность регулирования и ухудшает устойчивость системы. Изомдромный тип регулирования рассчитан в большей степени на статические процессы и может использоваться в частях ИС с параметрами, остающимися неизменными в долговременной перспективе. Пропорционально-интегрально-дифференциальное регулирование хоть и будет обеспечивать быстрое и точное управление, но за счёт содержания всех трёх компонент решения на его основе будут самыми дорогими.

Представленные выражения демонстрируют порядок редактирования модели звена цепи автоматического регулирования информационных потоков клиентской информации транспортно-логистического центра. Полученные результаты направлены на повышение устойчивости системы управления в целом и корректировку пределов запасов устойчивости за счет ввода цепей отрицательной обратной связи.

5. Выводы

Работа описывает процесс и результаты рассмотрения информационных взаимодействий, происходящих по алгоритму «клиент-отделы ТЛЦ-поставка», внутри транспортно-логистического центра с помощью теоретической базы теории автоматического управления. Объект управления, транспортно-логистический центр, представлен в статье в качестве последовательности звеньев, обладающих собственными передаточными функциями, а управление, как и коррекция возникающей ошибки управления, реализуется введением локальных и общих отрицательных обратных связей. Такое представление производится на основании приведённой в работе карты информационных взаимодействий между отделами ТЛЦ в ходе выполнения клиентского заказа.

На основании полученной схемы САУ ТЛЦ путём декомпозиции вложенных участков цепи с обратными связями приведён расчёт выходной и передаточной функций системы сложной конфигурации, имеющей в своём составе смешанные соединения элементов и содержащей локальные контуры с ООС внутри контура с общей ООС. Сделан вывод о необходимом типе управления в САУ на основании динамичности информационного потока в информационной системе ТЛЦ.

Благодарности

Работа выполнена при финансовой поддержке ФГБОУ ВО «РЭУ им. Г.В. Плеханова»

Список литературы

1. Лазарева Т.Я. Основы теории автоматического управления: Учеб. пособие для студентов вузов, обучающихся по направлению подгот. дипломир. специалистов «Автоматизир. технологии и пр-ва» / Т.Я. Лазарева, Ю.Ф. Мартемьянов, Т.Я. Лазарева, Ю.Ф. Мартемьянов. М-во образования Рос. Федерации. Тамб. гос. техн. ун-т. – Тамбов: Изд-во ТГТУ, 2003. – ISBN 5-8265-0149-9. – EDN QMMUGD.

2. Прокофьева Т.А. Мультимодальные транспортно-логистические центры как стратегические точки роста экономики России. (Часть 2) / Т.А. Прокофьева // В центре экономики. – 2021. – № 3. – С. 29-35. – EDN LXEZWW.
3. Теория автоматического управления: Проектирование и исследование системы управления динамическим объектом: Учебно-методическое пособие. – Томск: Национальный исследовательский Томский политехнический университет, 2021. – 117 с. – EDN MMKQZC.
4. Горбач А.Н. Концептуальная модель системы управления транспортной сетью связи специального назначения в представлении теории автоматического управления / А.Н. Горбач, В.А. Дросс, О.В. Яровикова, А.Ю. Живодерников. – 2017. – Т. 1, № 4. – С. 146-152. – EDN YNRXZB.
5. Салихов З.Г. Системы оптимального управления сложными технологическими объектами / З.Г. Салихов, Г.Г. Арунянц, А.Л. Рутковский, З.Г. Салихов, Г.Г. Арунянц, А.Л. Рутковский. – Москва: Теплоэнергетик, 2004. – 495 с. – ISBN 5-98385-001-6. – EDN QMMZQX.
6. Кикинев В.В. Применение метода формирования передаточной функции разомкнутого контура при автоматизированном синтезе регуляторов систем автоматического регулирования / В.В. Кикинев // Вестник Белорусского государственного университета транспорта: наука и транспорт. – 2008. – № 1(16). – С. 121-125. – EDN JOQFXA.
7. Съянов С.Ю. Основы автоматики и элементы систем автоматического управления: Учебник для СПО / С.Ю. Съянов. – Саратов, Москва: Профобразование, Ай Пи Ар Медиа, 2022. – 240 с. – ISBN 978-5-4488-1480-8. – EDN XMEHSV.
8. Жиганов С.Н. Анализ динамических систем: Учебное пособие / С.Н. Жиганов. – Москва: Ай Пи Ар Медиа, 2023. – 214 с. – ISBN 978-5-4497-1819-8. – EDN SLOZUI.