

Решение задачи параметрического синтеза для САУ скоростью длинносоставного грузового поезда

Н. О. Жухин, В. И. Легкая

Российский университет транспорта, РУТ (МИИТ), Российская Федерация, 127994, Москва, ул. Образцова, 9, стр. 9

Для цитирования: Жухин Н. О., Легкая В. И. Решение задачи параметрического синтеза для САУ скоростью длинносоставного грузового поезда // Бюллетень результатов научных исследований. — 2023. — Вып. 1. — С. 170-182. DOI: 10.20295/2223-9987-2023-1-170-182

Аннотация

Цель: Обоснование необходимости рационального выбора значений параметров системы автоматического управления (САУ) скоростью локомотива длинносоставного грузового поезда по условию обеспечения необходимого качества управления САУ. Выбор метода решения задачи параметрического синтеза САУ и показателей качества управления. Отыскание рациональных с точки зрения принятой системы оценки качества управления параметров САУ для поездов различной массы и длины. **Методы:** Математического и имитационного моделирования, теории электрической тяги, теории автоматического управления, многокритериальной оптимизации. **Результаты:** При решении задачи параметрического синтеза для рассматриваемой САУ скоростью установлено, что ее параметры зависят от длины поезда и его массы. Найдены аналитические зависимости, устанавливающие функциональную связь между средней массой вагона поезда и параметрами САУ скоростью. **Практическая значимость:** Полученные зависимости могут быть реализованы в виде адаптера в составе системы автоматического управления, позволяя осуществлять оперативную настройку параметров САУ в зависимости от средней массы вагона поезда.

Ключевые слова: Динамика поезда, длинносоставный грузовой поезд, методы оптимизации, многокритериальная оптимизация, параметрический синтез, показатели качества, регулятор скорости, система автоматического управления скоростью.

В настоящее время на железнодорожном транспорте наблюдается рост грузовых перевозок. При этом наиболее грузонапряженные участки железных дорог приближаются к пределу как пропускной, так и провозной способности. Один из методов повышения провозной способности железной дороги заключается в использовании длинносоставных грузовых поездов. Вес такого поезда и число вагонов в нем значительно выше, чем в грузовых поездах нормальной длины. Поэтому при управлении таким поездом машинист должен учитывать протекающие в поезде динамические процессы, что повышает напряженность работы машиниста и требует от него повышенной квалификации. При нерациональном управлении длинносоставным грузовым поездом продольные силы, возникающие в его межвагонных связях, могут превысить максимально допустимые значения [1]. В результате возможен разрыв автосцепок поезда под действием продольных растягивающих сил или сход вагонов с рельсов под действием продольных сжимающих сил [2].

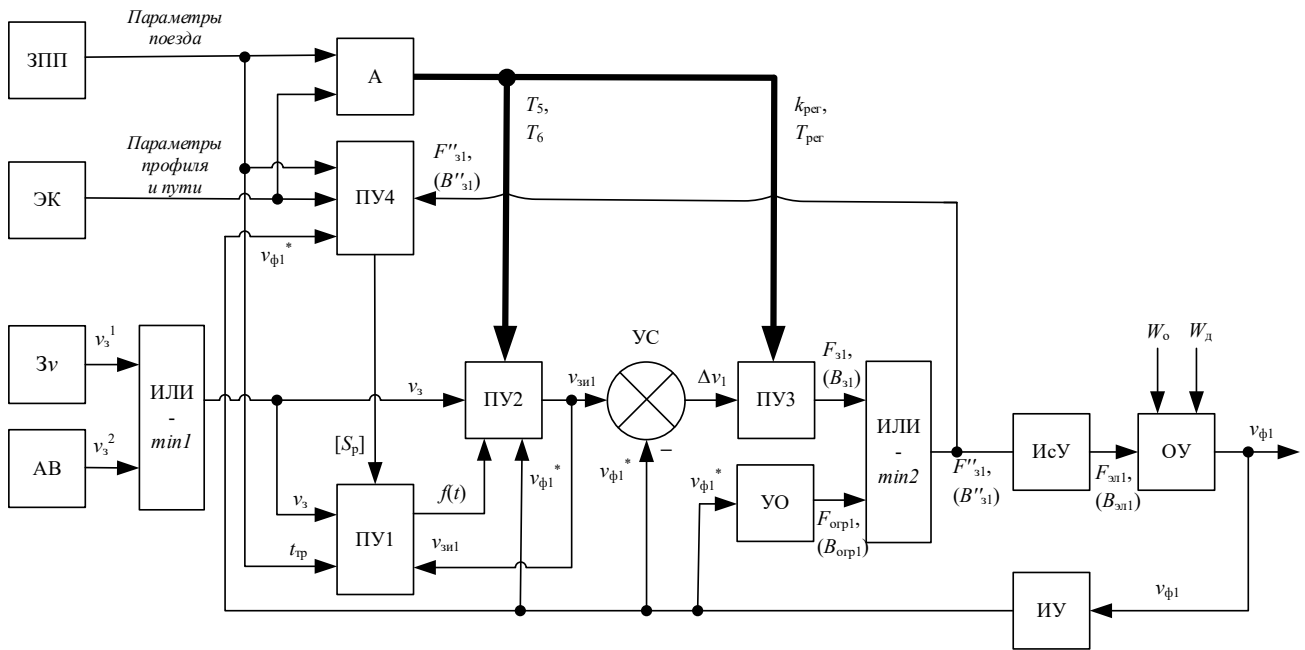


Рис. 1. Функциональная схема САУ скоростью с автоматическим выбором режима разгона (торможения) поезда

Для снижения вероятности возникновения подобных ситуаций под действием человеческого фактора, а следовательно, повышения безопасности движения поездов, на локомотивах грузовых поездов применяют системы автоведения поездов САВП. Внутренним контуром систем автоведения является контур регулирования скорости, представляющий собой систему автоматического управления скоростью [3]. В настоящее время для грузовых поездов разработаны и применяются САУ скоростью, способные учитывать протекающие в длинносоставном грузовом поезде динамические процессы; при этом снижается напряженность работы машиниста и повышается качество управления длинносоставным поездом [4].

Рассмотрим САУ скоростью (рис. 1), в которой в зависимости от состояния межвагонных связей поезда перед началом разгона (торможения) поезда осуществляется автоматический выбор способа изменения силы тяги или торможения с целью улучшения характера протекающих в поезде динамических процессов [5].

Величина заданной скорости движения v_3 вводится в систему задатчиком скорости Zv контроллера машиниста, а в режиме автоведения — и вышестоящей системой автоведения АВ. Устройство ИЛИ-*min1* выбирает минимальное из двух значений заданной скорости и передает его промежуточным устройствам ПУ1 и ПУ2. С помощью задатчика параметров поезда ЗПП в данную САУ поступает информация о числе вагонов в поезде, весе каждого вагона и других параметрах поезда. Информация об участке пути, по которому движется поезд (параметры пути и профиля), вводятся в САУ с электронной карты ЭК.

На основании параметров поезда, пути и профиля модуль адаптации А определяет постоянные времени T_5 и T_6 сглаживающего устройства ПУ2, а также пропорциональный и интегральный коэффициенты регулятора скорости ПУ3 — $k_{\text{рег}}$ и $T_{\text{рег}}$. Промежуточное устройство ПУ4 осуществляет расчет величин возникающих в поезде продольных сил, массив значений которых передается в устройство ПУ1.

На основании параметров поезда, пути и профиля модуль адаптации А определяет постоянные времени T_5 и T_6 сглаживающего устройства ПУ2, а также пропорциональный и интегральный коэффициенты регулятора скорости ПУ3 — $k_{\text{рег}}$ и $T_{\text{рег}}$. Промежуточное устройство ПУ4 осуществляет расчет величин возникающих в поезде продольных сил, массив значений которых передается в устройство ПУ1. Данное устройство производит оценку состояния поезда и выбирает способ изменения сил тяги или торможения. Скачкообразно изменяющееся значение заданной скорости движения v_3 , поступающее с выхода устройства ИЛИ-*min1*, сглаживается промежуточным устройством ПУ2. В основе устройства ПУ2 находится апериодическое звено второго порядка с постоянными времени T_5 и T_6 .

Рассогласование заданного значения скорости, поступающего с выхода устройства ПУ2, и фактического измеренного значения скорости определяется устройством сравнения УС. На основе этого рассогласования пропорционально-интегральный регулятор скорости (устройство ПУ3) вычисляет заданное значение силы тяги или торможения. Это значение поступает в устройство ИЛИ-*min2*, где сравнивается с максимально допустимым значением силы тяги (торможения), рассчитанным устройством ограничения УО. Наименьшее из двух значений силы тяги (торможения) поступает на вход исполнительного устройства ИсУ — автоматизированного тягового электропривода. Последний формирует фактическое значение силы тяги (торможения), воздействующее на грузовой поезд — объект управления ОУ. Фактическая скорость движения поезда измеряется датчиком скорости ИУ. В качестве модели объекта управления использована многомассовая модель поезда [6], в которой каждому экипажу поезда соответствует элемент с массой, равной массе данного экипажа. Взаимодействие элементов (экипажей) модели осуществляется через нелинейные и нелианеризируемые связи с зазором, представляющие собой межвагонные связи в виде поглощающих аппаратов автосцепок и самих автосцепок.

В промежуточном устройстве ПУ4 рассмотренной САУ осуществляется расчет в режиме реального времени величин продольных сил для всех межвагонных соединений. Как известно, величины продольных сил в межвагонных соединениях в установившемся режиме движения поезда зависят от величин всех сил, действующих на соседние экипажи. Зная в каждый момент времени величину силы тяги локомотива, величины сил сопротивления движению экипажей, а также масс и ускорений всех экипажей экипажа в данный момент времени, можно оценить величины продольных сил, возникающих в автосцепках поезда. Так, величина

продольной силы в межвагонном соединении за локомотивом в режиме тяги представляет собой разницу силы тяги локомотива и доли силы тяги, затраченной на преодоление силы сопротивления движению локомотива и на ускорение локомотива. Отсюда, величину продольной силы в межвагонном соединении за любым экипажем поезда равна величине продольной силы в межвагонном соединении перед этим экипажем за вычетом силы сопротивления движению, а также произведению веса данного экипажа на среднее значение ускорения экипажей поезда [7].

По знакам величин продольных сил устройством ПУ1 определяется процент растянутых и сжатых межвагонных соединений относительно их общего числа. Если процент растянутых межвагонных соединений превышает некоторое пороговое значение $a_{пр}$, система оценивает состояние поезда как растянутое. Аналогично выполняется определение сжатого состояния поезда на основе сопоставления числа сжатых межвагонных соединений и порогового значения $a_{нс}$. По результатам оценки фактического состояния поезда и выбранного режима движения САУ выбирает способ изменения силы тяги или торможения. Так, если задан режим разгона поезда, находящегося в сжатом состоянии, система выбирает способ увеличения силы тяги в два этапа. При этом на первом этапе осуществляется разгон с минимальным ускорением, обеспечивающим растяжение поезда, после чего на втором этапе происходит разгон поезда до заданной скорости с максимальным ускорением. Использование двухэтапного разгона сжатого поезда значительно снижает величины продольных динамических сил, возникающих при растяжении сжатого поезда.

В том случае, если перед очередным разгоном поезд уже находится в растянутом состоянии, система сразу переходит ко второму этапу разгона поезда — с максимальным заданным ускорением. Поскольку поезд растянут, в нем практически не возникает продольных колебаний, а следовательно, значительных по величине продольных динамических сил. Применение разгона поезда в два этапа в этом случае привело бы к повышению времени разгона поезда. В режиме торможения данная САУ работает аналогично, так, торможение уже сжатого поезда осуществляется с максимальным замедлением. Автоматический выбор режима разгона (торможения) поезда, применяемый данной САУ, позволяет без ухудшения качества управления сократить время движения поезда, а также обеспечить экономию топливно-энергетических ресурсов [5].

Существует целый ряд показателей, позволяющих оценить качество управления САУ скоростью грузового поезда. Это, во-первых, показатели качества, характерные для всех систем автоматического управления [4] — вид переходного процесса, его длительность (время регулирования), величина ошибки в установленном режиме, величина перерегулирования и т. д. Кроме того, для САУ скоростью грузового поезда целесообразно использовать показатели, позволяющие оценить качество динамических процессов, происходящих в грузовом поезде [8].

Это величина усталостных повреждений, накопленных автосцепками поезда, максимальная величина возникающей в поезде продольной динамической силы, минимальное значение коэффициента устойчивости вагона против схода с рельсов при действии продольных сжимающих сил.

Выбрав рациональные значения определенных параметров системы управления, можно значительно улучшить величины вышерассмотренных показателей качества. Для этого необходимо выполнить решение задачи параметрического синтеза, то есть при известной структуре системы управления выбрать такие значения ее параметров, при которых показатели качества управления САУ принимают рациональные значения с позиции принятой системы критериев оценки ее качества.

Как показал предварительный анализ системы, а также опыт ранее выполненных исследований, различные показатели качества предъявляют различные, зачастую противоречивые требования к параметрам системы управления. В этом случае поиск оптимальных параметров системы по одному критерию (однокритериальная оптимизация) позволяет определить наилучшее значение только одного показателя качества при возможном ухудшении значений других показателей. Поэтому методом однокритериальной оптимизации невозможно одновременно улучшить значения нескольких разнородных показателей качества. Для определения параметров САУ, которым будут соответствовать компромиссные значения разнородных показателей качества, следует использовать методы многокритериальной оптимизации [9], в которых для описания компромисса между различными частными критериями, предъявляющими противоречивые требования к системе, необходимо использовать так называемую целевую функцию.

На основании накопленного опыта решения подобных задач [3, 9, 10] в качестве целевой функции выбрана функция суммарных допустимых потерь:

$$\ddot{O} = \sqrt{\frac{1}{n} \sum_{i=1}^n \left\{ \frac{U_i - U_i^*}{U_i^{**} - U_i^*} \right\}^2},$$

где n — количество показателей качества управления;

U_i — текущее значение i -го показателя качества;

U_i^* — минимальное значение i -го показателя качества, полученное путем решения задачи однокритериальной оптимизации по данному показателю;

U_i^{**} — максимальное (допустимое) значение i -го показателя качества.

Из формулы для данной функции следует, что перед решением задачи многокритериальной оптимизации необходимо найти минимальные значения оптимизируемых параметров путем решения задачи однокритериальной оптимизации.

Решение задачи параметрического синтеза представляет из себя поиск минимального значения целевой функции. Задачу поиска минимума целевой функции выполним с использованием метода Нелдера — Мида (метод поиска с использованием деформируемого многогранника). Данный метод, по сравнению с методами случайного поиска, требует меньшего времени вычислений, а также не требует вычисления производных. Поэтому он использовался при решении ряда задач оптимизации параметров САУ [11] и показал адекватные результаты.

При решении задачи параметрического синтеза данным методом осуществляется поиск минимального значения функции $f(x)$ в пространстве, имеющем n координат (n -мерном пространстве). В этом пространстве строится многогранник с $n + 1$ вершиной, каждой из которых соответствует определенное сочетание из n оптимизируемых параметров САУ. Значения этих параметров являются координатами данной вершины, на их основе определяется значение целевой функции. Из множества значений функции происходит определение максимального и минимального. В процессе поиска происходит постепенная замена точки максимума функции точкой с меньшим значением. Перед началом оптимизации задают исходные координаты вершин многогранника — $n + 1$ сочетание из n оптимизируемых параметров. Начальные значения параметров системы можно определить путем пробных расчетов на модели разрабатываемой САУ. Полное описание метода Нелдера — Мида рассмотрено в [12].

Рассмотрим выбор параметров САУ и их многокритериальную оптимизацию методом Нелдера — Мида на примере вышерассмотренной САУ скоростью грузового поезда. При этом рассмотрим движение грузового поезда, состоящего из электровоза массой 180 т и 71 полувагона, в режиме трогания с места, разгона до скорости 40 км/ч с последующей стабилизацией скорости и повторным разгоном до скорости 80 км/ч. Движение поезда осуществляется по площадке. Рассмотрим 5 вариантов формирования поезда, различающихся массой одного вагона — 30 т, 45 т, 60 т, 75 т и 90 т. При этом общая масса поезда составила 2310, 3375, 4440, 5505 и 6570 т соответственно.

Перед решением данной задачи были выбраны 7 оптимизируемых параметров САУ: отношение x_1 ускорения (замедления), реализуемого на первом этапе разгона (торможения) к максимальному ускорению (замедлению), постоянные времени T_5 и T_6 сглаживающего устройства ПУ2; параметры $a_{пр}$ и $a_{пс}$ устройства ПУ1, автоматически выбирающего режим разгона (торможения) поезда; а также параметры ПИ-регулятора скорости $k_{рег}$ и $T_{рег}$. В ходе расчетов осуществляется моделирование движения поезда, оборудованного вышерассмотренной САУ с выбранными значениями этих параметров. На основе полученных значений 4 выбранных показателей качества САУ (суммы усталостных повреждений, накопленных автосцепками поезда; времени регулирования, средней установившейся ошибки и величины перерегулирования) по формуле суммарных допустимых

потерь осуществляется расчет значения целевой функции. Перед этим путем однокритериальной оптимизации были определены минимальные значения данных показателей качества.

На рис. 2 представлены графики, иллюстрирующие движение данного грузового поезда массой 4440 т в вышерассмотренном режиме после решения задачи многокритериальной оптимизации САУ скоростью. Это графики зависимости от времени заданной и фактической скорости движения поезда $v_3(t)$ и $v_f(t)$ (рис. 2, а), силы тяги локомотива $F_k(t)$ (рис. 2, б), величин продольных сил в 1-м и 35-м межвагонных соединениях поезда $S_1(t)$ и $S_{35}(t)$ (рис. 2, в). Значения параметров САУ и показателей качества управления, полученные в результате решения данной задачи для всех вариантов формирования поезда, приведены в табл. 1.

Сравним значения параметров и показателей качества данной САУ до и после решения задачи многокритериальной оптимизации на примере грузового поезда массой 4440 т. В качестве исходных приняты следующие значения параметров САУ: $T_5 = 0,7$ с; $T_6 = 0,4$ с; $x_1 = 0,4$; $k_{\text{рег}} = 380\,000$; $T_{\text{рег}} = 0,250$; $a_{\text{пр}} = 0,7$; $a_{\text{пс}} = 0,25$. При данных параметрах системы получены следующие значения показателей качества: максимальная величина продольной динамической силы $S = 440,5$ кН; сумма усталостных повреждений, накопленных в автосцепках, $a = 2,42 \cdot 10^{-6}$; время переходного процесса при повторном разгоне поезда $T_{\text{п}} = 412,1$ с; величина установившейся ошибки $\Delta v = 0,769$ км/ч; величина перерегулирования $\Delta v_{\text{пер}} = 0$ км/ч. После решения задачи многокритериальной оптимизации получены следующие значения параметров САУ: $T_5 = 1,856$ с; $T_6 = 0,774$ с; $x_1 = 0,386$; $k_{\text{рег}} = 371\,139$; $T_{\text{рег}} = 0,243$ с; $a_{\text{пр}} = 0,693$; $a_{\text{пс}} = 0,243$. При этом значения показателей качества составили: $T_{\text{п}} = 200,8$ с; $a = 2,21 \cdot 10^{-6}$; $S = 251,4$ кН; $\Delta v = 0,295$ км/ч; $\Delta v_{\text{пер}} = 0,234$ км/ч. Из полученных результатов видно, что изменение параметров САУ в процессе многокритериальной оптимизации привело к значительному сокращению времени переходного процесса при повторном разгоне поезда (в 2 раза), величины установившейся ошибки (в 2,5 раза), а к уменьшению также максимальной величины продольной динамической силы (в 1,5 раза) и суммы усталостных повреждений автосцепок (на 8 процентов). При этом максимальная величина перерегулирования составила 0,234 км/ч.

Рассмотренные варианты формирования поезда при одинаковом числе экипажей имеют разную массу одного вагона, а значит, и разную массу поезда. Согласно [9], оптимальные величины параметров САУ зависят от массы поезда. Анализируя данные табл. 1, можно также выявить зависимость параметров САУ и показателей качества ее работы от средней массы вагонов поезда. Так, в общем случае с ростом средней массы одного вагона (и массы поезда) постоянная времени T_5 , доля ускорения x_1 , постоянная регулятора скорости $T_{\text{рег}}$ и доли межвагонных соединений $a_{\text{пр}}$ и $a_{\text{пс}}$ уменьшаются, а постоянная времени T_6 и постоянная регулятора скорости $k_{\text{рег}}$ увеличиваются. Зависимости этих параметров от

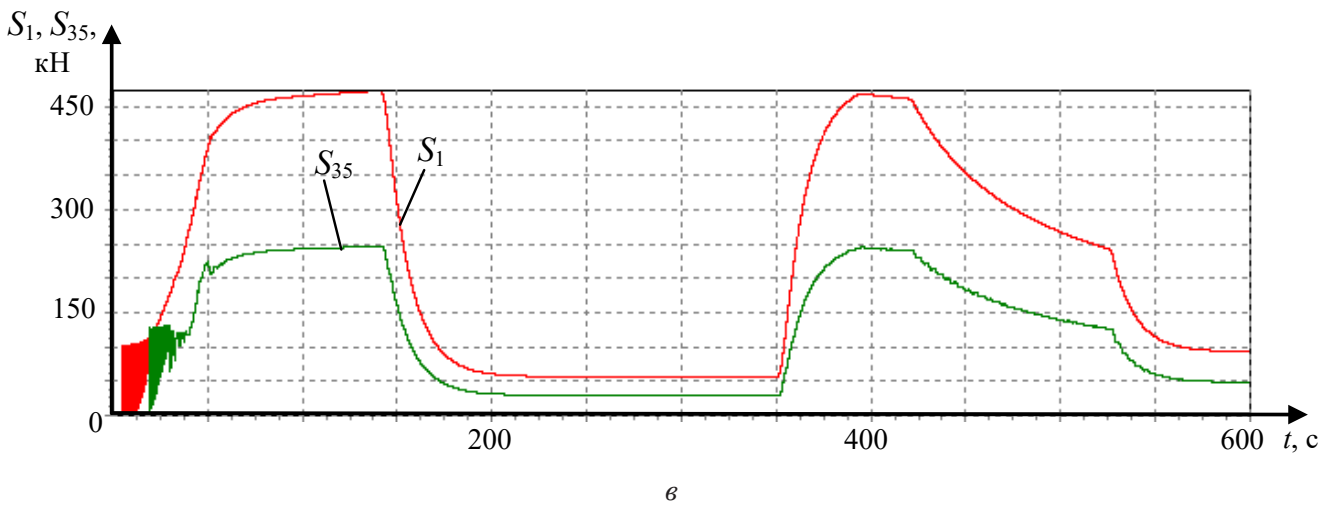
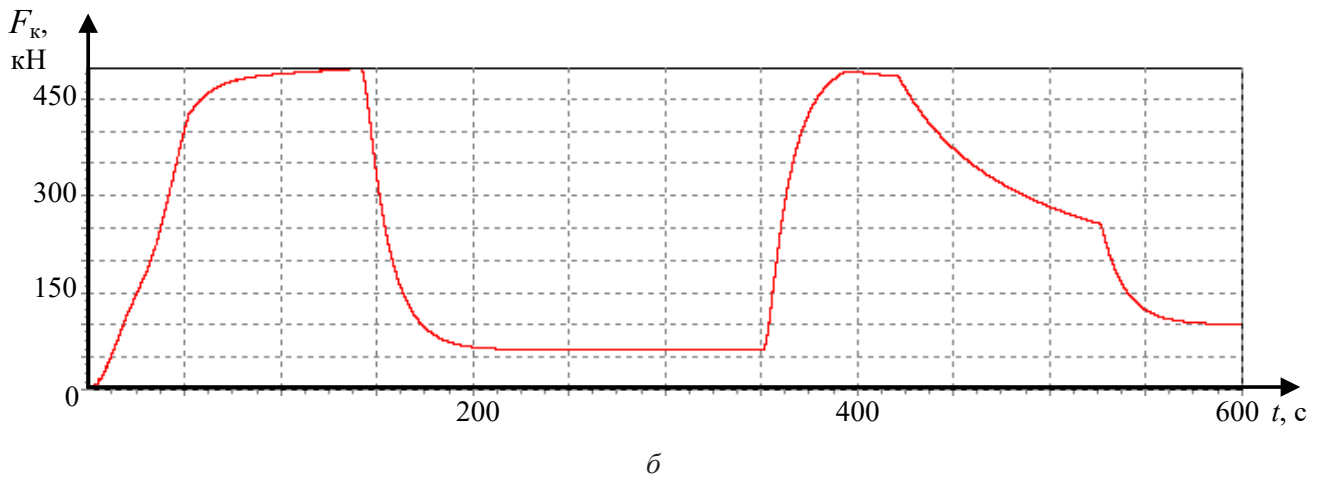
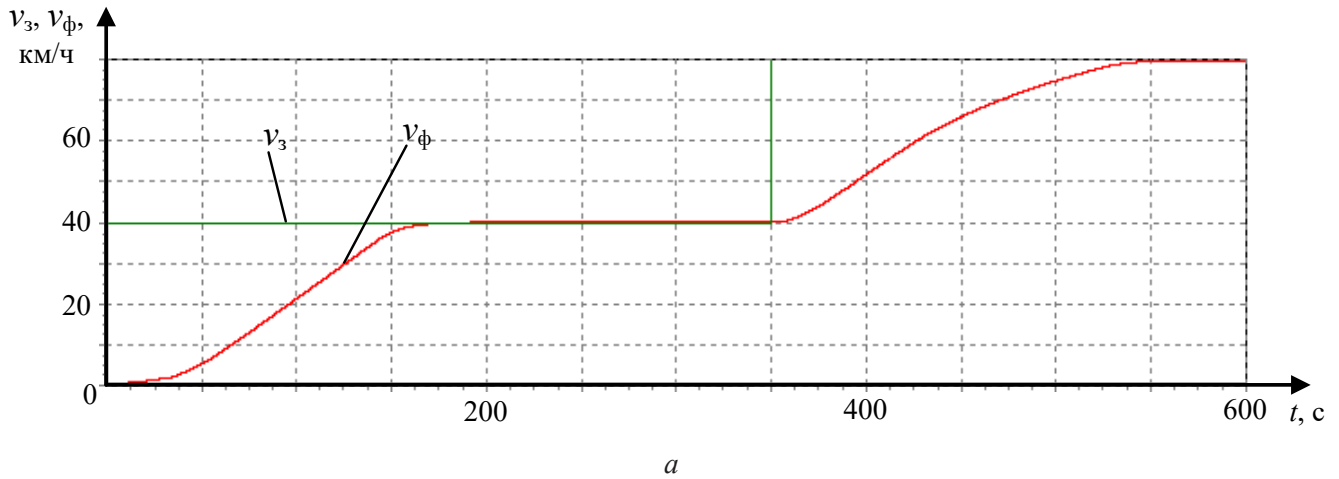


Рис. 2. Графики зависимостей от времени фактической и заданной скорости движения поезда (*a*), силы тяги локомотива (*б*), величин продольной силы в 1-м и 35-м межвагонных соединениях (*в*) после решения задачи многокритериальной оптимизации параметров САУ скоростью грузового поезда массой 4440 т

ТАБЛИЦА 1. Значения параметров САУ и показателей качества управления после решения задачи многокритериальной оптимизации

| Параметр (показатель) | Масса поезда, т | | | | |
|--------------------------------|------------------------------------|------------------------------------|------------------------------------|------------------------------------|------------------------------------|
| | 2310 ($m_{\text{ваг}} = 30$ т) | 3375 ($m_{\text{ваг}} = 45$ т) | 4440 ($m_{\text{ваг}} = 60$ т) | 5505 ($m_{\text{ваг}} = 75$ т) | 6570 ($m_{\text{ваг}} = 90$ т) |
| T_5 , с | 2,279 | 2,112 | 1,856 | 1,784 | 1,442 |
| T_6 , с | 0,976 | 1,058 | 0,774 | 1,339 | 1,284 |
| x_1 | 0,497 | 0,457 | 0,386 | 0,435 | 0,352 |
| $k_{\text{рег}}$ | 149 907 | 248 671 | 371 139 | 385 094 | 601 763 |
| $T_{\text{рег}}$, с | 0,299 | 0,279 | 0,243 | 0,268 | 0,226 |
| $a_{\text{пр}}$ | 0,749 | 0,729 | 0,693 | 0,718 | 0,676 |
| $a_{\text{пс}}$ | 0,291 | 0,277 | 0,244 | 0,269 | 0,225 |
| $T_{\text{п}}$, с | 134,9 | 164,2 | 200,8 | 249,9 | 289,4 |
| a | $0,212 \cdot 10^{-6}$ | $0,221 \cdot 10^{-6}$ | $0,221 \cdot 10^{-6}$ | $0,219 \cdot 10^{-6}$ | $0,220 \cdot 10^{-6}$ |
| S , кН | 245,1 | 247,9 | 251,4 | 240,1 | 484,8 |
| Δv , км/ч | 0,416 | 0,297 | 0,295 | 0,252 | 0,189 |
| $\Delta v_{\text{пер}}$, км/ч | 0,374 | 0,372 | 0,234 | 0,172 | 0,117 |

средней массы вагона показаны в виде отдельных точек на графиках на рис. 3. Для удобства использования полученных результатов в САУ скоростью их целесообразно представить в виде аналитических выражений, позволяющих определять значения параметров САУ для любой массы поезда. Выполненный анализ показал, что наиболее достоверно зависимости параметров САУ от средней массы вагона можно аппроксимировать линейными и степенными функциями. Выражения полученных аппроксимирующих функций, связывающих величины параметров САУ с массой вагона, приведены в табл. 2. Графики этих функций (так называемые настроечные кривые САУ) также приведены на рис. 3.

Использование в САУ скоростью локомотива зависимостей рациональных значений параметров системы от массы вагона позволяет определить значения параметров САУ, близкие к рациональным, для поезда с любой средней массой вагона. В качестве примера по найденным зависимостям (настроечным кривым) определим значения параметров САУ для II и IV вариантов формирования поезда (масса одного вагона 45 и 75 т соответственно). Полученные значения параметров САУ приведены в табл. 3. Используя эти значения, выполним моделирование движения поездов со средней массой вагона 45 и 75 т в вышерассмотренном режиме движения. Значения показателей качества, полученные в результате моделирования, также приведены в табл. 3. Из анализа этих значений следует, что способ определения параметров САУ в зависимости от средней массы вагона показывает удовлетворительные результаты и может быть использован в САУ скоростью грузового поезда.

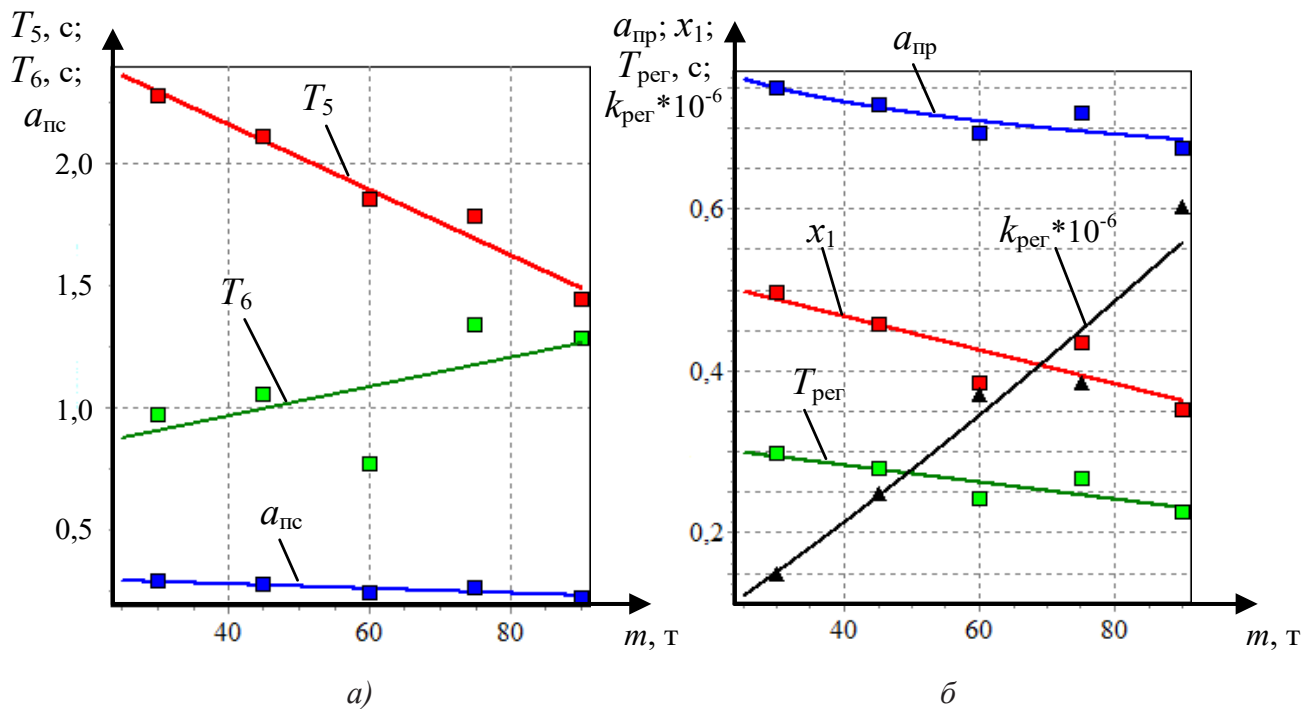


Рис. 3. Графики зависимостей от массы вагона поезда параметров САУ скоростью: постоянных времени T_5 и T_6 , параметра $a_{ПС}$ для оценки состояния поезда (а); доли ускорения x_1 , коэффициентов регулятора скорости $k_{пер}$ и $T_{пер}$, параметра $a_{пр}$ для оценки состояния поезда (б)

ТАБЛИЦА 2. Аппроксимирующие функции, показывающие зависимость параметров САУ скоростью от средней массы вагона

| Параметр САУ | Аппроксимирующая функция данного параметра |
|--------------|--|
| T_5, c | $y(m) = -0,0134m + 2,695$ |
| T_6, c | $y(m) = 0,00598m + 0,727$ |
| x_1 | $y(m) = -0,00208m + 0,550$ |
| $k_{пер}$ | $y(m) = 2686m^{1,186}$ |
| $T_{пер}, c$ | $y(m) = -0,00105m + 0,325$ |
| $a_{пр}$ | $y(m) = 0,986m^{-0,0808}$ |
| $a_{ПС}$ | $y(m) = -0,00093m + 0,317$ |

ТАБЛИЦА 3. Значения параметров САУ и показателей качества управления, полученные при определении параметров САУ скоростью с использованием настроечных кривых

| Параметр (показатель) | Масса поезда, т | |
|--------------------------------|---------------------------------|---------------------------------|
| | 3195 ($m_{\text{ваг}} = 45$ т) | 5325 ($m_{\text{ваг}} = 75$ т) |
| T_5 , с | 2,092 | 1,690 |
| T_6 , с | 0,966 | 1,176 |
| x_1 | 0,456 | 0,394 |
| $k_{\text{рег}}$ | 245 366 | 449 706 |
| $T_{\text{рег}}$, с | 0,278 | 0,246 |
| $a_{\text{пр}}$ | 0,725 | 0,696 |
| $a_{\text{пс}}$ | 0,275 | 0,247 |
| $T_{\text{п}}$, с | 168,4 | 242,8 |
| a | $0,531 \cdot 10^{-6}$ | $0,415 \cdot 10^{-6}$ |
| S , кН | 201,0 | 199,5 |
| Δv , км/ч | 0,315 | 0,217 |
| $\Delta v_{\text{пер}}$, км/ч | 0,217 | 0,091 |

Таким образом, рациональный подход к выбору параметров САУ скоростью локомотива грузового поезда и определение рациональных значений данных параметров позволяют существенно улучшить качество управления длинносоставным грузовым поездом.

Библиографический список

1. ГОСТ 33211—2014. Вагоны грузовые: требования к прочности и динамическим качествам. — М.: Стандартиформ, 2016. — 53 с.
2. Блохин Е. П. Расчеты и испытания тяжеловесных поездов / Е. П. Блохин, Л. А. Манашкин, Е. Л. Стамблер и др.; под ред. Е. П. Блохина. — М.: Транспорт, 1986. — 263 с.
3. Савоськин А. Н. Автоматизация электроподвижного состава: учебник для вузов ж.-д. трансп. / А. Н. Савоськин, Л. А. Баранов, А. В. Плакс и др.; под ред. А. Н. Савоськина. — М.: Транспорт, 1990. — 311 с.
4. Pudovikov O. E. Application of reference train model in automatic control system of freight-train speed / O. E. Pudovikov, S. V. Vespal'ko, M. D. Kiselev et al. // Russian Electrical Engineering. — 2017. — Iss. 9. — Pp. 563–567.
5. Жухин Н. О. Совершенствование алгоритмов управления движения длинносоставных грузовых поездов / Н. О. Жухин, О. Е. Пудовиков // Электротехника. — 2021. — № 9. — С. 41–46.
6. Блохин Е. П. Динамика поезда (нестационарные продольные колебания) / Е. П. Блохин, Л. А. Манашкин. — М.: Транспорт, 1982. — 222 с.
7. Жухин Н. О. Новые подходы к разработке систем автоматического управления скоростью длинносоставных грузовых поездов / Н. О. Жухин, О. Е. Пудовиков // Известия Транссиба. — 2020. — № 4. — С. 81–89.

8. Баранов Л. А. Критерии качества регулирования скорости поезда / Л. А. Баранов, А. Н. Савоськин, О. Е. Пудовиков // Мир транспорта. — 2009. — № 4. — С. 50–56.

9. Брахман Т. Р. Многокритериальность и выбор альтернативы в технике / Т. Р. Брахман. — М.: Радио и связь, 1984. — 288 с.

10. Дехтяренко В. А. Методы многокритериальной оптимизации сложных систем при проектировании / В. А. Дехтяренко, Д. А. Своятыцкий. — Киев: АН УССР, 1976. — 41 с.

11. Пудовиков О. Е. Параметрический синтез системы автоматического управления скоростью движения грузового поезда / О. Е. Пудовиков // Транспорт: наука, техника, управление: научный информационный сборник. — 2010. — № 4. — С. 22–27.

12. Химмельблау Д. Прикладное нелинейное программирование / Д. Химмельблау; пер. с. англ. — М.: Мир, 1975. — 534 с.

Дата поступления: 08.02.2023

Решение о публикации: 28.02.2023

Контактная информация:

ЖУХИН Никита Олегович — аспирант; rzd1997@mail.ru

ЛЕГКАЯ Валерия Игоревна — студент; tiger.rut@yandex.ru

Parametric Synthesis Task Solution for Automatic Control Systems (ACS) by Speed of Long Freight Train

N. O. Zhukhin, V. I. Legkaya

Russian University of Transport, RUT (MIIT), 9, Obratsova str., Moscow, 127994, Russian Federation

For citation: Zhukhin N. O., Legkaya V. I. Parametric Synthesis Task Solution for Automatic Control Systems (ACS) by Speed of Long Freight Train. *Bulletin of scientific research results*, 2023, iss. 1, pp. 170–182. (In Russian) DOI: 10.20295/2223-9987-2023-1-170-182

Summary

Purpose: To consider the need for rational choice of the values of automatic control system (ACS) parameters by speed of long freight train locomotive under the condition of ACS management necessary quality provision. Choosing method to solve the task of ACS parametric synthesis and control quality indicators. Finding rational, from view of accepted system of management quality assessment, ACS parameters for trains of various mass and length. **Methods:** Methods of mathematical and simulation modeling, electric traction theory, automatic control theory, multi-criteria optimization. **Results:** At parametric synthesis task solution for considered by ACS speed, it's been indicated that the task's parameters depend on train length and its mass. Analytical dependences, establishing functional connection between train car mass and ACS parameters by speed, have been found. **Practical significance:** The obtained dependences can be realized in the form of adapter as a part of automatic control system, allowing to embody operative setting of ACS parameters in dependence of train car average mass.

Keywords: Train dynamics, long freight train, optimization methods, multi-criteria optimization, parametric synthesis, quality indicators, speed controller, automatic speed control system.

References

1. GOST 33211—2014. *Vagoni gruzovie: trebovaniya k prochnosti i dinamicheskim kachestvam* [GOST 33211—2014. Freight cars: requirements for strength and dynamic qualities]. Moscow: Standartinform Publ., 2016, 53 p. (In Russian)
2. Blochin E. P., Manashkin L. A., Stambler E. L. *Rascheti i ispitaniya tyajelovesnih poezdov* [Calculations and tests of heavy trains]. Moscow: Transport Publ., 1986, 263 p. (In Russian)
3. Savos'kin A. N., Baranov L. A., Plaks A. V. et al. *Avtomatizatsiya elektropodvizhnogo sostava* [Automation of Electric Rolling Stock]. Moscow: Transport Publ., 1990, 311 p. (In Russian)
4. Pudovikov O. E., Bepal'ko S. V., Kiselev M. D. et al. Application of reference train model in automatic control system of freight-train speed. *Russian Electrical Engineering*. 2017, Iss. 9, pp. 563–567.
5. Zhukhin N. O., Pudovikov O. E. Sovershenstvovaniye algoritmov upravleniya dvizheniya dlinnosostavnykh gruzovykh poyezdov [Improvement of traffic control algorithms for long freight trains]. *Electrotechnica* [The journal of electrical engineering]. 2021, Iss. 9, pp. 41–46. (In Russian)
6. Blochin E. P., Manashkin L. A., *Dinamika poyezda* [Train dynamics]. Moscow: Transport Publ., 1982, 222 p. (In Russian)
7. Zhukhin N. O., Pudovikov O. E. Novyye podkhody k razrabotke sistem avtomaticheskogo upravleniya skorost'yu dlinnosostavnykh gruzovykh poyezdov [New approaches to the development of automatic speed control systems for long-distance trains]. *Izvestiya Transsiba* [Journal of Transsib Railway Studies]. 2020, Iss. 4(44), pp. 81–89. (In Russian)
8. Baranov L. A., Savos'kin A. N., Pudovikov O. E. Kriterii kachestva regulirovaniya skorosti poyezda [Criteria for the quality of train speed control]. *Mir transporta* [World of transport and transportation]. 2009, Iss. 4, pp. 50–56. (In Russian)
9. Brakhman T. R. *Mnogokriterial'nost' i vybor al'ternativy v tekhnike* [Multi-criteria and the choice of alternatives in technology]. Moscow: Radio i svyaz' Publ., 1984, 288 p. (In Russian)
10. Dekhtyarenko V. A., Svoiyatytskiy D. A. *Metody mnogokriterial'noy optimizatsii slozhnykh sistem pri proyektirovanii* [Methods of multicriteria optimization of complex systems in design]. Kiyev: AN USSR Publ., 1976, 41 p. (In Russian)
11. Pudovikov O. E. Parametricheskiy sintez sistemy avtomaticheskogo upravleniya skorost'yu dvizheniya gruzovogo poyezda [Parametric synthesis of the automatic control system for the speed of a freight train]. *Transport: nauka, tekhnika, upravlenie: nauchnyy informatsionnyy sbornik* [Transport: Science, equipment, management: Scientific information collection]. 2010, Iss. 4, pp. 22–27. (In Russian)
12. Khimmel'blau D. *Prikladnoe nelineynoe programmirovaniye; per. s. angl.* [Applied non-linear programming; translation from English]. Moscow: Mir Publ., 1975, 534 p.

Received: February 08, 2023

Accepted: February 28, 2023

Author's information:

Nikita O. ZHUKHIN — Postgraduate Student; rzd1997@mail.ru

Valeria I. LEGKAYA — Student; tiger.rut@yandex.ru