

В.А. Целищев¹¹*Иркутский государственный университет путей сообщения, г. Иркутск, Российская Федерация*

ПРОЦЕССНОЕ МОДЕЛИРОВАНИЕ РЕЛЬСОВОЙ ЦЕПИ

Аннотация. Отмечена важность и необходимость применения рельсовых цепей в организации перевозочного процесса, проведен краткий анализ методов исследования рельсовых цепей с применением математического моделирования. При моделировании рельсовой цепи с распределенными параметрами предложена схема замещения рельсовой линии в виде последовательного соединения эквивалентов, обладающих первичными параметрами. Как результат рассмотренная модель реализована и используется при проведении лабораторных занятий.

Ключевые слова: железные дороги, рельсовые цепи, моделирование, модель, схема замещения.

V.A. Tselishchev¹.¹*Irkutsk State Transport University, Irkutsk, Russian Federation*

PROCESS MODELING OF A RAIL CIRCUIT

Abstract. The importance and necessity of using track circuits in the organization of the transportation process is noted, a brief analysis of methods for studying track circuits using mathematical modeling is carried out. When modeling a rail circuit with distributed parameters, an equivalent circuit of a rail line in the form of a series connection of equivalents with primary parameters is proposed. As a result, the considered model is implemented and used in laboratory studies.

Key words: railways, track circuits, modeling, model, equivalent circuit

Введение.

Железные дороги играют большую роль в выполнении перевозок грузов, обеспечивающих функционирование промышленного комплекса страны. Решение этой задачи невозможно без оснащения железных дорог современными и надежными техническими средствами. При этом особая роль принадлежит средствам автоматики, телемеханики и связи. Основой всех систем железнодорожной автоматики являются рельсовые цепи, которые выполняют функции датчиков информации о месте нахождения подвижного состава, а также используемые в виде телемеханического канала для передачи информации между путевыми устройствами и между путевыми и поездными устройствами.

Рельсовые цепи применяют на железных дорогах всего мира. Ученые многих стран создают принципиально новые устройства, способные выполнять те же функции, что и рельсовые цепи. Разработаны системы с использованием путевых шлейфов, счетчиков осей, радиолокационных устройств и т.д. Однако признано, что подобные устройства по надежности и функциональным возможностям значительно уступают рельсовым цепям. С возрастанием скоростей и интенсивности движения поездов повышаются требования к рельсовым цепям, а так же к специалистам, связанным с разработкой, проектированием, эксплуатацией и строительством систем железнодорожной автоматики и телемеханики. Специалист должен не только хорошо знать направления развития методов контроля состояния участков пути, принципы работы различных типов рельсовых цепей, методы защиты их от источников помех, но и уметь выполнять работы по их текущему содержанию, своевременно выявлять и устранять повреждения.

В целях расчета РЦ, анализа работы в основных режимах при воздействиях неблагоприятных факторов применяют различные методы моделирования. Под моделированием понимают построение математической модели или действующей реальной модели, обладающей свойствами технической системы. Таким образом, с помощью моделей имитируют ра-

боту систем и принимают предварительные решения относительно оптимизации ее характеристик.

Общие принципы моделирования технических систем.

Моделирование в инженерной практике определяется тем, что в большинстве случаев невозможно изучить само явление или процессы, происходящие в создаваемом техническом объекте. Причинами возникновения этого могут быть большие размеры объекта изучения и исследования.

В результате создания и анализа работы моделей получают качественное представление об особенностях, протекающих в ней процессов, и устанавливают количественные закономерности. Применительно к техническим системам моделирование – это процесс замещения объекта исследования некоторой его моделью и проведение исследований на модели с целью получения необходимой информации об объекте или системе.

Обычно используют три способа моделирования технических систем:

- 1) мысленное моделирование – человек, изучая изделие, его проект интуитивно оценивает соответствие определенным требованиям;
- 2) математическое моделирование – связано с разработкой способов расчета и компьютерных программ для получения необходимых оценок;
- 3) физическое (процессное) моделирование – связано с изготовлением и испытанием упрощенных физических моделей реального изделия.

Мысленное моделирование технических систем основывается на знаниях и, главное, на собственном опыте проектирования и эксплуатации данного класса систем и представляет собой одно из средств моделирования технических систем. Точность мысленного моделирования зависит от личного опыта и природных способностей эксперта и для мало изученных технических систем может превосходить точность математической модели.

Основные преимущества мысленного моделирования: малое время и низкая стоимость оценки. Умение осуществлять быстрое и точное мысленное моделирование является одним из необходимых качеств изобретателей и творческих личностей, которые должны его развивать и совершенствовать.

Математическое моделирование дает возможность посредством математических символов, зависимостей составить описание функционирования технического объекта, определить выходные параметры и характеристики, получить оценку показателей эффективности и качества. Существенным недостатком математического моделирования следует считать необходимость принятия многочисленных допущений, без которых создание модели затруднительно или невозможно. Кроме этого при изучении свойств системы необходимо применять корреляционный, регрессионный и многофакторный анализ. Особенно это касается рельсовых цепей как электрических линий с распределенными параметрами.

При физическом моделировании поведение системы наблюдается по измеряемым параметрам, данным измерительных приборов, способу обработки полученных результатов. С целью снижения трудоемкости и стоимости модели изготавливают уменьшенные в несколько раз образцы технических систем, исключая детали существенно не влияющие на работу.

Как следует из краткого анализа методов моделирования, каждый может применяться на определенном этапе жизненного цикла рельсовой цепи. Первые два – на этапе проектирования, третий – на этапе ввода в эксплуатацию и обучения специалистов правилам обслуживания, содержания в работоспособном состоянии рельсовой цепи.

Процессный подход к моделированию рельсовой цепи.

Классическая рельсовая цепь имеет в своем составе аппаратуру питающего конца, релейного конца с путевым приемником и рельсовую линию (рис. 1).

При процессном моделировании используется набор аппаратуры питающего и релейного конца рельсовой цепи, которую собираются исследовать.

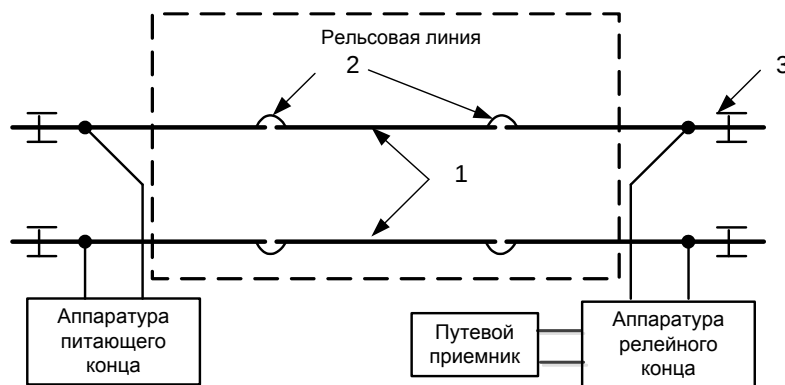


Рис. 1. Состав рельсовой цепи

1 – рельсовые нити, 2 – стыковые накладки и стыковые соединители, 3 – изолирующие стыки

Возникает проблема в моделировании рельсовой линии, имеющей большую протяженность. Решение проблемы видится в представлении рельсовой линии в виде схемы замещения, как цепи с распределенными параметрами (рис.2).

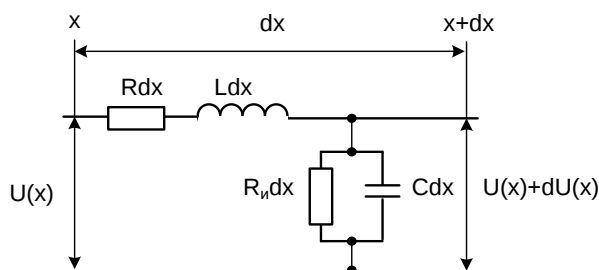


Рис. 2. Схема замещения участка рельсовой линии

Схема замещения длиной dx характеризуется первичными параметрами: активным сопротивлением Rdx Ом/км, индуктивностью Ldx Гн/км, емкостью Cdx Ф/км, сопротивлением $R_n dx$ Ом·км. При моделировании рельсовых цепей, где используется сигнальный ток частотой 25 Гц, 50 Гц, 75 Гц, ввиду малых значений индуктивности и емкости ими можно пренебречь. Соединив последовательно несколько указанных схем замещения, представляется возможным создать модель для различной длины рельсовой линии с распределенными параметрами. В Иркутском государственном университете путей сообщения в рамках обеспечения лабораторных занятий по учебной дисциплине «Специальные измерения и рельсовые цепи» создан и используется в учебном процессе лабораторный стенд, представляющий собой процессную модель перегонной тональной РЦ типа ТРЦЗ (рис. 3). Модель содержит типовый набор аппаратуры питающего и релейного конца. Рельсовая линия представлена искусственной линией, состоящей из пяти звеньев, каждое из которых собрано по схеме замещения. Все звенья соединены последовательно и образуют рельсовую линию длиной до 1000 м. Для получения рельсовой линии меньшей длины использован переключатель П1.

С помощью переключателей осуществляется изменение в некоторых пределах длины рельсовой линии, ординаты наложения шунта, величины сопротивления изоляции. Так, переключатель П1 изменяет ординату подключения аппаратуры релейного конца (изменяет длину рельсовой линии), переключатель П2 – позволяет изменять величину сопротивления изоляции, переключатель П3 – определяет ординату наложения шунта (колесной пары) на рельсовую линию.

В ходе моделирования нормального режима работы рельсовой цепи снимается зависимость напряжения на выходе генератора и на входе путевого приемника от длины рельсовой линии (рис. 4). В результате анализа графического представления зависимости представляется возможным определить предельную длину контролируемого блок-участка, при которой будет выполняться нормальный режим работы.

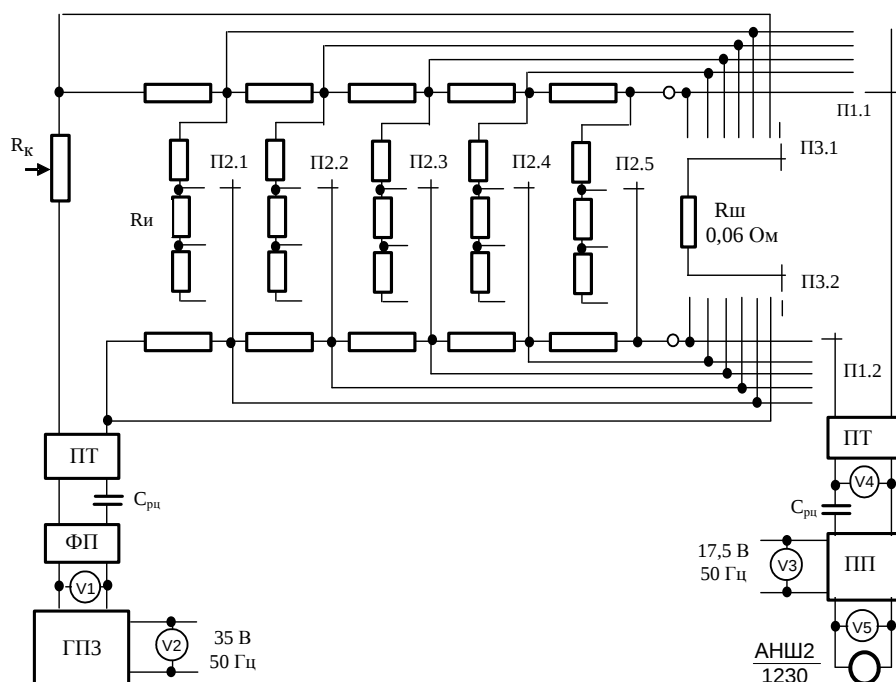


Рис. 3. Процессная модель рельсовой цепи

В соответствии с регулировочной таблицей напряжение на входе путевого приемника в нормальном режиме работы должно находиться в пределах 0,4...1,5 В. Из графика рис. 4 следует, что предельная длина блок-участка близка к 750 м.

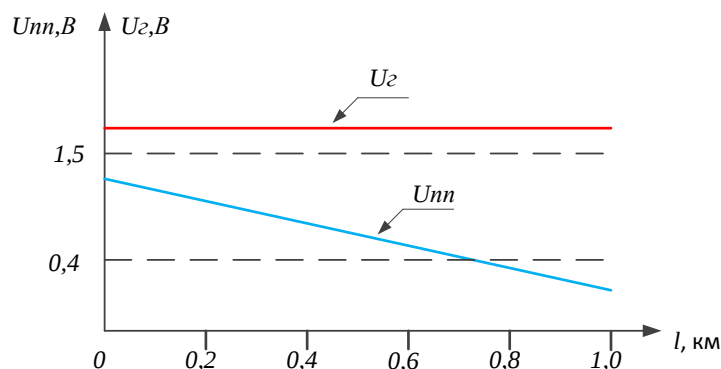


Рис. 4.

На работу рельсовой цепи большое влияние оказывает величина сопротивления (проводимости) изоляции рельсовых нитей. Величина сопротивления изоляции зависит от многих факторов – загрязненности поверхностного слоя балласта и шпал, типа применяемых шпал (деревянные или бетонные), климата, температуры, влажности и т.д. В зависимости от этого величина сопротивления изоляции может меняться в довольно широких пределах – от десятых долей до десятков ом*км. И в этом заключается трудность регулировки рельсовой цепи. Надо установить такую величину напряжения на входе путевого приемника, чтобы рельсовая цепь правильно функционировала в широком диапазоне изменения сопротивления

изоляции. Моделирование поведения рельсовой цепи при изменении величины сопротивления изоляции позволяет определить номинальное напряжение на входе приемника и диапазон его изменения при изменении сопротивления изоляции. Зависимость напряжения на входе приемника от сопротивления изоляции называют регулировочной характеристикой рельсовой цепи (рис. 5).

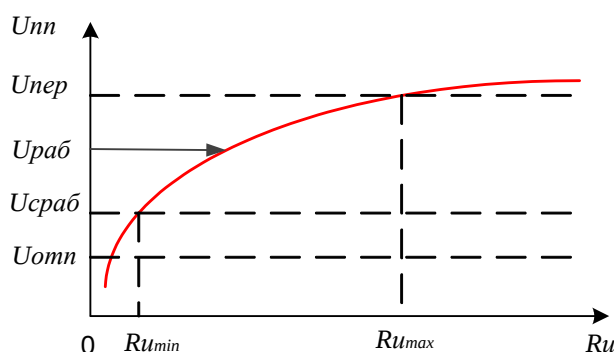


Рис. 5.

Напряжение на входе путевого приемника должно соответствовать установленным пределам при изменении состояния изоляции от мокрого до промерзшего, а рабочее напряжение источника питания – от минимального до максимально допустимого.

Процессная модель позволяет оценить шунтовую чувствительность рельсовой цепи – абсолютную, относительную и чувствительность к нормативному шунту.

Чувствительность к нормативному шунту определяется путем изменения ординаты наложения нормативного шунта на модель рельсовой линии. Сам шунт моделируется с помощью резистора $R_{ш} = 0,06$ Ом. При наложении шунта в любой точке (ординате) рельсовой линии рельсовая цепь должна переходить в шунтовый режим работы. Коэффициент шунтовой чувствительности к нормативному шунту определяется из соотношения:

$$k_{шн} = \frac{U_{пп}}{U_0},$$

где $U_{пп}$ – напряжение на входе путевого приемника, U_0 – напряжение отпущения путевого приемника.

Для измерения абсолютной шунтовой чувствительности к релейному концу рельсовой линии необходимо подключить измерительный магазин сопротивлений РЗЗ. Изменяя выходное сопротивление магазина от максимального до минимального значения, нужно отсчитать по шкалам величину сопротивления, при котором произойдет отпадение якоря реле путевого приемника. Полученная величина сопротивления $R_{ш}$ магазина сопротивлений будет величиной абсолютной чувствительности РЦ.

Зная величину сопротивления $R_{ш}$ и сопротивления нормативного шунта, можно рассчитать величину относительной шунтовой чувствительности рельсовой цепи:

$$k_{ш} = \frac{R_{ш}}{R_{шн}},$$

где $R_{шн} = 0,06$ Ом – сопротивление нормативного шунта.

С помощью приборов производится измерение параметров рельсовой цепи – напряжения питания генератора и путевого приемника, напряжения на выходе генератора и на входе путевого приемника. После чего производится обработка и анализ полученных результатов исследований. Обработка результатов измерений заключается в построении функциональ-

ных зависимостей напряжения на входе путевого приемника от длины рельсовой линии, от величины сопротивления изоляции, от ординаты наложения шунта на рельсовую линию. Тем самым можно наглядно по графикам проследить, как меняется процесс функционирования рельсовой цепи в основных режимах ее работы.

Заключение.

Модель позволяет исследовать работу рельсовой цепи в нормальном, шунтовом режиме работы, режиме короткого замыкания, оценить влияние длины рельсовой линии и значения сопротивления изоляции на ее работоспособность, оценить величину шунтовой чувствительности. Кроме этого студенты получают навыки в регулировке рельсовой цепи согласно регулировочным таблицам.

БИБЛИОГРАФИЧЕСКИЙ СПИСОК

1. Аркатов В.С. Рельсовые цепи магистральных железных дорог : справочник / В.С. Аркатов, А.И. Баженов, Н.Ф. Котляренко: под ред. В.С. Аркатова. – М.: Транспорт, 1992. – 383 с.
2. Аркатов В.С., Кравцов Ю.А. Рельсовые цепи. Анализ работы и техническое обслуживание. – М.: Транспорт, 1990. Электрические рельсовые цепи: учеб. пособие/А.Г. Кириленко, Н.А. Пельменева. – Хабаровск: Изд-во ДВГУПС, 2006. – 94 с.
3. Аркатов В.С. Рельсовые цепи: анализ работы и техническое обслуживание / В.С. Аркатов, Ю.А. Кравцов, Б.М. Степенский – М.: Транспорт, 1990. – 295 с.
4. Брылеев А.М. Устройство и работа рельсовых цепей / А.М. Брылеев, А.В. Шишляков, Ю.А. Кравцов – М.: Транспорт, 1966. – 264 с.
5. Бессонов Л.А. Теоретические основы электротехники. – М.: Высш. шк., 1973. – 740 с.
6. Пельменева Н.А. Рельсовые цепи для участков с электротягой переменного тока: методические указания по выполнению лабораторной работы / Н.А. Пельменева, А.Г. Кириленко – Хабаровск: ДВГУПС, 1997. – 32 с.
7. Кириленко А.Г. Рельсовые цепи тональной частоты ТРЦЗ : методическое пособие по выполнению лабораторной работы / А.Г. Кириленко. – Хабаровск. – Изд-во ДВГУПС, 2004. – 38 с.
8. Кириленко А.Г. Расчет электрических цепей железнодорожной автоматики с применением современных средств вычислительной техники: учебное пособие / А.Г. Кириленко. – Хабаровск: ХабИИЖТ, 1989. – 79 с.
9. Котляренко Н.Ф. Электрические рельсовые цепи / Н.Ф. Котляренко. – М.: Трансжелдориздат, 1961. – 327 с.
10. Сборник схем и регулировочных таблиц станционных рельсовых цепей тональной частоты с наложением АЛС 25 (75) Гц при электротяге переменного тока (ТРЦ-ЭТ50 – АЛС 25, 75 Гц). – СПб: Гипротрансигнальсвязь, 1996. – 63 с.
11. Сороко В.И. Аппаратура железнодорожной автоматики и телемеханики: справочник: в 2-х кн. / В.И. Сороко, В. А. Милуков. – М.: НПФ «ПЛАНЕТА», 2000. – Кн. 1. 960 с.
12. Сороко В.И. Аппаратура железнодорожной автоматики и телемеханики: справочник: в 2-х кн. / В.И. Сороко, Е. Н. Розенберг. – М.: НПФ «ПЛАНЕТА», 2000. – Кн. 2. 1008 с.
13. Нормы технического проектирования устройств автоматики и телемеханики на федеральном железнодорожном транспорте НТПСЦБ/МПС-99. – СПб: Гипротрансигнальсвязь, 1999. – 78 с.
14. Коляда В.А. Аппаратура тональных рельсовых цепей / В.А.Коляда, А.М. Пустовойтов // Автоматика, телемеханика и связь. – 1997.
15. Воронин В.А. Проектирование рельсовых цепей тональной частоты на станциях / В.А. Воронин, В.С.Дмитриев, В.С. Лучинин // Автоматика, связь, информатика. – 2004. С. 20 – 23.
16. Тарасов Е.М. Математическое моделирование рельсовых цепей с распределенными параметрами рельсовых линий: Учеб. пособие. – Самара: СамГАПС, 2003. – 118с.

17. Целищев В.А. Специальные измерения и рельсовые цепи: лаб. практикум / сост. В.А. Целищев. – Иркутск: ИрГУПС, 2017. – 60с.

REFERENCES

1. Arkatov V.S. Rail chains of main railways: a reference book / V.S. Arkatov, A.I. Bazhenov, N.F. Kotlyarenko: ed. V.S. Arkatov. - M.: Transport, 1992. – 383 p.
2. Arkatov V.S., Kravtsov Yu.A. Rail chains. Analysis of work and maintenance. - M.: Transport, 1990. Electric rail circuits: textbook. allowance / A.G. Kirilenko, N.A. Pel-meneva. - Khabarovsk: Publishing house of FVGUPS, 2006. –94 p.
3. Arkatov V.S. Rail chains: work analysis and maintenance / V.S. Arkatov, Yu.A. Kravtsov, B.M. Stepensky - M.: Transport, 1990. – 295 p.
4. Bryleev A.M. The device and operation of rail circuits / A.M. Bryleev, A.V. Shishlyakov, Yu.A. Kravtsov - M.: Transport, 1966. – 264 p.
5. Bessonov L.A. Theoretical foundations of electrical engineering. - M.: Higher. shk., 1973. – 740 p.
6. Pelmeneva N.A. Rail circuits for sections with alternating current electric traction: methodological instructions for laboratory work / N.A. Pelmeneva, A.G. Kirilenko - Khabarovsk: FVGUPS, 1997. – 32 p.
7. Kirilenko A.G. Rail circuits of the tone frequency TRTs3: a methodological guide for the implementation of laboratory work / A.G. Kirilenko. - Khabarovsk. - Publishing house of FVGUPS, 2004. – 38 p.
8. Kirilenko A.G. Calculation of electrical circuits of railway automatics with the use of modern computer technology: textbook / A.G. Kirilenko. - Khabarovsk: KhabIIZhT, 1989. – 79 p.
9. Kotlyarenko N.F. Electric rail circuits / N.F. Kotlyarenko. - M.: Transzheldorizdat, 1961. – 327 p.
10. Collection of diagrams and adjusting tables of station track circuits of voice frequency with superposition of ALS 25 (75) Hz with alternating current electric traction (TRTs-ET50 - ALS 25, 75 Hz). - SPb: Giprottransignalsvyaz, 1996 – 63 p.
11. Soroko V.I. Railway automation and telemechanics equipment: reference book: in 2-hkn. / IN AND. Soroko, V.A.Milyukov. - M.: NPF "PLANET", 2000. – 960 p.
12. Soroko V.I. Railway automatics and telemechanics equipment: reference book: in 2-hkn. / IN AND. Soroko, E. N. Rosenberg. - M.: NPF "PLANET", 2000. – 1008 p.
13. Norms of technical design of automation and telemechanics devices on federal railway transport NTPSTSB / MPS-99. - SPb: Giprottransignalsvyaz, 1999. – 78 p.
14. Kolyada V.A. Equipment for tonal track circuits / V.A. Kolyada, A.M. Pustovoitov // Automation, telemechanics and communication. - 1997. – 98 p.
15. Voronin V.A. Design of voice frequency track circuits at stations / V.A. Voronin, V.S. Dmitriev, V.S. Luchinin // Automation, communication, informatics. - 2004. – 178 p.
16. Tarasov E.M. Mathematical modeling of rail circuits with distributed parameters of rail lines: Textbook. allowance. - Samara: SamGAPS, 2003. – 118p.
17. Tselishchev V.A. Special measurements and track circuits: lab. workshop / comp. V.A. Tselishchev. - Irkutsk: IrGUPS, 2017. – 60p.

Информация об авторах

Целищев Владимир Александрович – доцент кафедры «Автоматика, телемеханика и связь» Иркутского государственного университета путей сообщения, г. Иркутск, e-mail: celishhev-vladimir@rambler.ru.

Author

Tselishchev Vladimir Aleksandrovich – Assistant Professor of Automatic, Telemechanic and Telecommunication Systems Department of Irkutsk State Transport University, Irkutsk, e-mail: celishhev-vladimir@rambler.ru.

Для цитирования

Целищев В.А. Процессное моделирование рельсовой цепи // «Информационные технологии и математическое моделирование в управлении сложными системами»: электрон. науч. журн. – 2021. – №2(10). – С. 25-32 – DOI: 10.26731/2658-3704.2021.2(10).25-32 – Режим доступа: <https://ismm.irgups.ru/toma/210-2021>, свободный.. – Загл. с экрана. – Яз. рус., англ. (дата обращения: 29.04.2021)

For citation

Tselishchev V.A. Process modeling of a rail circuit // Informacionnye tehnologii i matematicheskoe modelirovanie v upravlenii slozhnymi sistemami: ehlektronnyj nauchnyj zhurnal [Information technology and mathematical modeling in the management of complex systems: electronic scientific journal], 2021. No. 2. P.25-32. DOI: 10.26731/2658-3704.2021.2(10).25-32 [Accessed 29/04/21]