

УДК 378:011.5

Расчет параметров мобильного механизированного комплекса, выполняющего монтаж воздушной линии, находящейся под влиянием контактной сети переменного тока

М. П. Бадер, А. А. Куликов

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

Для цитирования: Бадер М. П., Куликов А. А. Расчет параметров мобильного механизированного комплекса, выполняющего монтаж воздушной линии, находящейся под влиянием контактной сети переменного тока // Бюллетень результатов научных исследований. — 2023. — Вып. 4. — С. 68-77. DOI: 10.20295/2223-9987-2023-4-68-77

Аннотация

Цель: Рассчитать параметры мобильного механизированного комплекса (ММК), выполняющего монтаж воздушной линии продольного электроснабжения, находящейся под влиянием контактной сети переменного тока. Несимметрия электрических параметров в воздушных линиях (ВЛ), вызванная электромагнитным влиянием контактной сети, приводит к снижению качества электроэнергии у потребителей. Это способствует снижению стабильности работы ВЛ. Наихудшим вариантом может стать возгорание жилого помещения, питание которого осуществляется от указанной ВЛ. Решает проблему несимметрии транспозиция нового типа, которая заключается в перекручивании проводов на 60° каждый пролет опор. При таком способе монтажа расстояние между проводами будет постоянно равномерное. Решается вопрос несимметрии электрических параметров, так как взаимное перемещение фазных проводов будет способствовать одинаковому воздействию электромагнитного поля на все три провода. Соответственно, будут выравниваться уровни наведенных напряжений обеих составляющих — электрической и магнитной. **Методы:** проводился анализ существующих способов монтажа ВЛ, профильных труб для крутильной машины, проводился расчет профиля для ММК, масса-габаритных характеристик, типов проводов и барабанов, под которые проектируется ММК. **Результаты:** В статье производился расчет параметров крутильной машины, которая состоит из подвижной и неподвижной частей. Были выбраны марки проводов для ВЛ, барабаны для монтажа и рассчитаны их параметры. Была построена зависимость нагрузок на каркас крутильной машины от длины профильной трубы в момент максимальной загрузки. Были выбраны размеры профильной трубы для каркаса крутильной машины и марка стали, а также проведена симуляция самой нагруженной опорной балки крепления барабана проводов для прогнозирования нагрузок и прогиба. **Практическая значимость:** показана необходимость использования ММК для монтажа ВЛ, так как только он способен выполнить монтаж с повышенной симметрией погонных параметров. ММК представляет собой крутильную машину с барабанами проводов, манипулятор для монтажа проводов, устройство закрепления и устройство натяжения проводов, систему управления и базу, на которую монтируется ММК. Обоснованы достоинства использования автоматизации в ММК.

Ключевые слова: Транспозиция, шестишаговая транспозиция, монтажный комплекс, электромагнитное влияние, несимметрия, воздушная линия, контактная сеть, крутильная машина.

Контактная сеть (КС) помимо питания подвижных составов включает в себя множество вторичных источников потребления электрической энергии: систему сигнализации и централизации, освещение, небольшие поселения, которые

расположены вдоль железной дороги, железнодорожные переезды и т. п. Все эти потребители должны получать качественную электрическую энергию, чтобы исключить повреждения или выход из строя, а также сохранять заложенную работоспособность. Поэтому важно сохранять высокие качественные показатели передаваемой энергии на всем промежутке времени эксплуатации того или иного участка железной дороги.

Питание указанных потребителей производится посредством воздушных линий (ВЛ) электропередач, расположенных вдоль железной дороги. Одной из проблем снижения качества передаваемой электроэнергии является нарушение симметрии погонных электрических параметров, возникающее по причине негативных электромагнитных влияний, причиной которых является контактная сеть. Единое электромагнитное поле, образуемое вокруг проводов контактной сети, индуцирует в смежной линии напряжения и токи, которые и вызывают несимметрию [1].

Для решения этой проблемы на сегодняшний день используется транспозиция проводов — взаимное перекручивание проводов ВЛ на опорах [2]. Но в этом методе присутствует существенный недостаток, не исключающий возникновения несимметрии. Транспозиция проводов ВЛ производится каждые 3 км пути, с полным шагом транспозиции 9 км [3]. Решить эту проблему способен другой тип перекрутки проводов ВЛ — шестишаговая транспозиция, когда местоположение каждого провода меняется на 60° в пространстве с частотой в каждую опору. Таким образом, полный цикл транспозиции ВЛ будет выполняться за 6 опор [4, 5].

Из-за небольшого поворота проводов ВЛ на каждой опоре натяжение будет сохраняться постоянным по всей длине. Провисание ВЛ будет стремиться к нулю, а равносторонний треугольник расстояний между фазными проводами будет сохраняться на всем протяжении линии. Но самое главное, что данное устройство транспозиции позволит сохранять одинаковое расстояние между каждым фазным проводом ВЛ и контактным проводом, благодаря чему будет решена проблема несимметрии электрических параметров от КС на ВЛ [6].

Другой проблемой является то, что на сегодняшний день монтаж ВЛ продольного электроснабжения осуществляется ручным (с привлечением техники) или полуавтоматическим способом. Для исключения ошибок человеческого фактора, повышения точности шестишаговой транспозиции, и в конечном итоге автоматизации всего процесса строительства ВЛ необходимо использовать устройство монтажа транспозиционной геометрии проводов, получившее название «мобильный механизированный комплекс» (ММК) [7]. ММК представляет собой крутильную машину с барабанами проводов, манипулятор для поднятия проводов к опоре, устройства натяжения и закрепления. Располагается ММК на передвижной платформе, в самом простом исполнении представляющей собой, по аналогии со

специальными машинами [8], полуприцеп, для перемещения которой необходим любой подходящий тягач.

Основой ММК является крутильная машина сигарного типа (рис. 1). Актуальной становится задача расчета параметров и характеристик ее частей, так как от этого напрямую зависит выбор электродвигателей, платформы для крепления ММК, барабанов с проводами, типов и моделей проводов и в итоге общая стоимость.

Как видно из рис. 1, крутильная машина состоит из подвижной и неподвижной частей и представляет собой пространственную раму. Пространственные рамы — это каркас, который выполняется из труб различного сечения и посредством сварки или болтов соединяется в единую конструкцию. Трубы для каркасов различаются по диаметру (малые, средние, большие), профилю поперечного сечения (круглые, профильные, переменного сечения), по способу изготовления (сварные и бесшовные), по толщине стенок (тонкостенные, толстостенные). Различный набор указанных характеристик формирует разную итоговую стоимость, которая в масштабах нескольких единиц произведенных ММК может отличаться в разы. Также на стоимость влияет наличие или отсутствие дополнительной обработки труб или каркаса, например цинкование трубы. Сварка такой трубы включает в себя дополнительные затраты на специалиста и материалы [9].

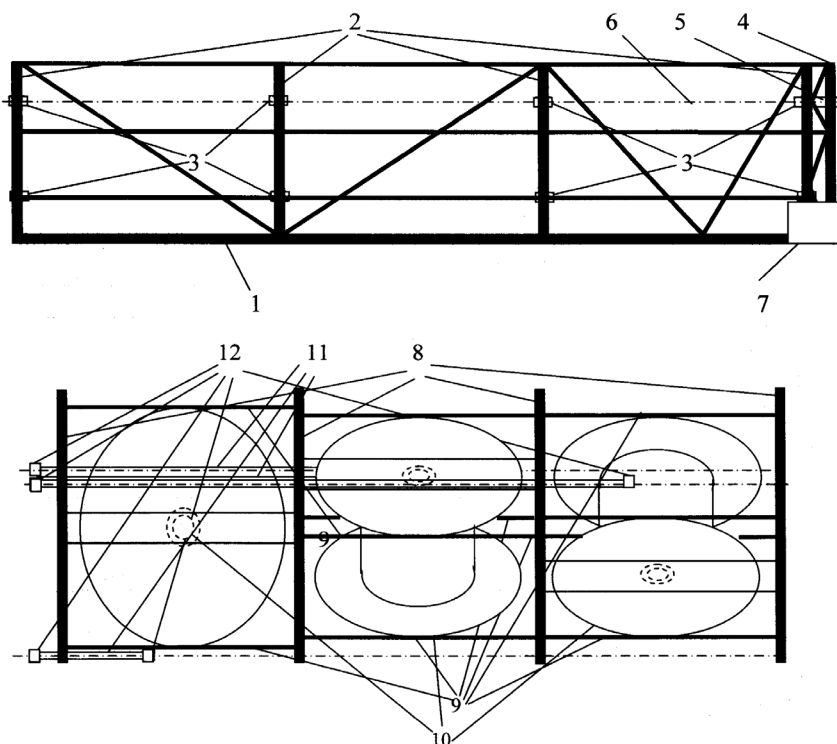


Рис. 1. Крутильная машина с неподвижной (сверху) и подвижной (снизу) частями:

- 1 — рама; 2 — опорные стойки; 3 — вращающиеся направляющие ролики;
- 4 — центральная опора; 5 — центра; 6 — ось всей конструкции; 7 — привод;
- 8 — опорные кольца; 9 — скрепляющие планки; 10 — центры вращения бухт;
- 11 — трубчатые направляющие; 12 — вращающиеся шкивы

Чтобы стоимость крутильной части ММК была оптимальной, необходимо выбрать трубу с достаточным набором характеристик. Достаточным будет считаться тот комплекс параметров, который будет обеспечивать безопасную и безотказную работу ММК на протяжении всего жизненного цикла. Безопасность и безотказность заключается в сохранении прочности конструкции, а следовательно, для начала необходимо определить рабочую нагрузку. Рабочая нагрузка крутильной машины ММК будет состоять из трех барабанов с проводами, которые вращаются в двух плоскостях.

Как показывает опыт эксплуатации, ВЛ ПЭ в основном выполняются проводами АС-25, АС-35 и АС-50 [10].

По ГОСТ 18690—2012 для указанных типов проводов подходят практически все типы барабанов. Для унификации посадочного места крутильной машины следует выбрать для сталеалюминевых проводов барабан типа 10, а для самонесущих проводов барабан типа 12, так как по ГОСТ 5151—79, табл. 1 длины шеек этих барабанов составляют $d = 500$ мм.

С учетом характеристик проводов АС-25, АС-35, АС-50 (ГОСТ 839—2019), СИП-3 1×35 , СИП-3 1×50 (ТУ 16-705.500—2006) был проведен расчет основных характеристик барабанов для использования в ММК.

По [11] полная длина кабеля в барабане будет высчитываться по формуле (1):

$$L_o = \frac{k\pi(D^2 - d^2)}{4W^2}, \quad (1)$$

где L_o — общая длина провода в барабане;

k — длина шейки барабана;

D — диаметр щеки барабана;

d — диаметр шейки барабана;

W — диаметр кабеля или провода.

Вес провода, намотанного на барабан, будет вычисляться по [11]:

$$G_{\Pi} = 1,02g_{\text{уд}} \frac{L_o}{1000}, \quad (2)$$

где G_{Π} — масса провода на барабане;

$g_{\text{уд}}$ — вес провода, необходимого для сооружения 1 км линии, кг;

1,02 — коэффициент, учитывающий потери.

Расчетные данные показали, что суммарный вес проводов АС-25, АС-35, АС-50, намотанных на барабан типа 10, находится в пределах 650 кг. При этом общая длина провода 5,7; 3,9 и 3 км соответственно. При выборе барабана типа 12 для провода АС-50 максимальная длина превышает 4 км, а суммарный вес — более

860 кг. Поэтому предпочтительнее с проводами типа АС использовать барабаны типа 10 для использования в крутильной машине ММК.

Провода СИП-3 имеют дополнительную изоляцию, поэтому их толщина существенно больше. На барабаны типа 10 СИП-3 1×35 максимально можно разместить 1,9 км, а СИП-3 1×50 — 1,6 км. Суммарный вес составит 322 и 365 кг. Для барабана типа 12 — 2,8 и 2,4 км соответственно, а суммарный вес составляет 466 и 518 кг.

Исходя из полученных данных следует вывод, что вес одного барабана с проводом для ВЛ 6-10 кВ необходимо учитывать равным 700 кг. При этом необходимо заложить запас прочности в виде 30 % от расчетного веса.

Для каркаса крутильной машины следует использовать профильную трубу прямоугольного сечения. Нагрузку необходимо прикладывать вдоль большей стороны. Для повышения прочностных характеристик на излом и скручивание необходимо, чтобы она была бесшовная холоднокатаная или горячекатаная.

Для окончательного выбора профильной трубы следует провести расчет длин и толщины стенок по ГОСТ 8645—68, ГОСТ 30245—2003 и [12]. Обозначение профильной трубы выглядит следующим образом:

$$A \times B \times C,$$

где A — высота трубы, B — ширина трубы, C — толщина стенок.

Материалом для труб является сталь 09Г2С. Всего на подвижную и неподвижные части крутильной машины понадобится около 100 метров трубы.

Необходимо учитывать, что барабан с проводами может находиться в трех основных положениях: в вертикальном, горизонтальном и промежуточном под углом в 45 градусов. Очевидно, что максимальная нагрузка будет возникать при горизонтальном положении барабана. Поэтому в ходе исследования были построены математические модели и зависимости основных характеристик для состояния, когда на боковую опору барабана действует максимальный расчетный вес $m = 900$ кг (рис. 2).

Расчет на прочность проводился для широкого ряда стандартных профильных труб квадратного и прямоугольного сечения. На рис. 2 вынесены зависимости основных стандартных размеров профилей: $sig1(L)$ — $40 \times 30 \times 4$; $sig2(L)$ — $60 \times 30 \times 5$; $sig3(L)$ — $60 \times 40 \times 5$; $sig4(L)$ — $60 \times 60 \times 6$; $sig5(L)$ — $80 \times 60 \times 5$. SIG_{pt} — предел текучести для стали 09Г2С, который составляет 294 МПа. Значение прочности рассчитывалось для длины балки крепления с длиной $l = 1200$ мм, с закрепление к опорному кольцу (рис. 1) с двух сторон и приложенной в центре максимальной нагрузкой. Как видно из рис. 2, профильная труба $40 \times 30 \times 4$ не подходит по причине разрушения при необходимой длине. Трубы с параметрами $60 \times 60 \times 6$ и $80 \times 60 \times 5$ обладают излишней прочностью, которая усложняет и удорожает производство. Подходящими под задачи производства крутильной

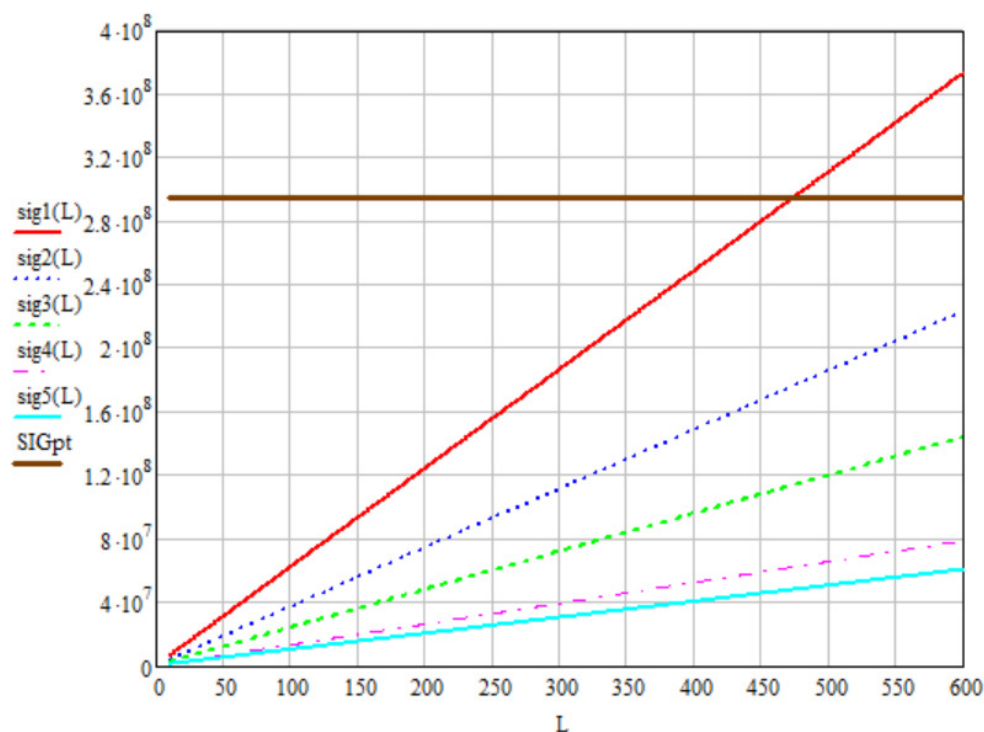


Рис. 2. Зависимости предельной нагрузки от длины ее приложения

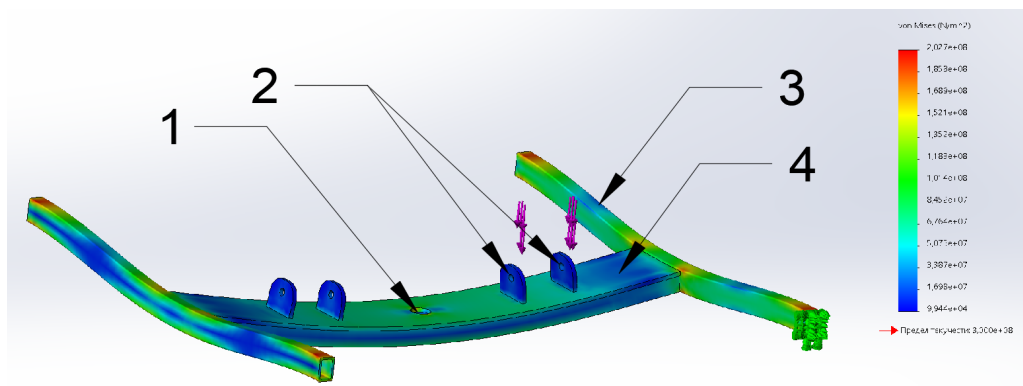


Рис. 3. Симуляция сборочной модели балки крепления и промежуточной профильной трубы из стали 09Г2С при горизонтальном положении барабана с проводами $m = 900$ кг:

- 1 — отверстие крепления вала барабана; 2 — место крепления роликов для опоры и вращения барабанов; 3 — профильная труба крепления опорной балки с опорным кольцом; 4 — опорная балка

машины сигарного типа ММК являются профильные трубы с характеристиками $60 \times 30 \times 5$ и $60 \times 40 \times 5$. Предпочтение отдается последней, так как ее стоимость на рынке ниже, а вес 100 метров трубы выше всего на 10 %.

Для балки крепления из профильной трубы $60 \times 40 \times 5$ из стали 09Г2С была построена модель в виртуальной среде проектирования, для которой проводилась симуляция максимальных нагрузок с целью выявления слабых мест (рис. 3). Прогиб балки для наглядности искажен в сторону деформации, которая не превышает

0,6 мм. Опорная балка 4 представляет собой лист металла толщиной 10 мм, усиленный ребрами жесткости с обратной стороны.

Как можно заметить из рис. 3, максимальные напряжения появляются в местах крепления опорной балки и профильной трубы, а также в местах крепления профильной трубы и опорного кольца, которое сделано из профиля той же марки с тем же параметрами, и не превышают 200 МПа. Так как расчет велся с запасом прочности, а предел текучести стали 09Г2С составляет 294 МПа, то можно подвести итог, что разрушения крутильной машины ММК в самом нагруженном состоянии происходить не будет.

Выводы

1. Решить проблему негативного электромагнитного влияния контактной сети на воздушную линию призвано устройство транспозиции с перекруткой 60° в каждую опору.

2. Шестишаговую транспозицию необходимо выполнять с помощью устройства монтажа транспозиции — ММК.

3. Пространственную раму крутильной машины необходимо выполнять из профильной трубы из стали 09Г2С.

4. Построен график зависимости нагрузок от длины опорной балки при максимальной нагрузке.

5. Структурный анализ показал максимальные нагрузки в местах крепления профильной трубы с другими элементами крутильной машины, которые не превышают допустимые пределы.

Библиографический список

1. Бадер М. П. Электромагнитная совместимость / М. П. Бадер. — М.: УМК МПС РФ, 2002. — 637 с.

2. Зильберман С. М. Транспозиция линий электропередачи и ее неожиданный эффект / С. М. Зильберман, Т. Г. Красильникова, В. З. Манусов и др. // Электричество. — 2006. — № 5. — С. 11–16.

3. СП 226.1326000.2014. Электроснабжение неотяговых потребителей. Правила проектирования, строительства и реконструкции. — М., 2014.

4. Бадер М. П. Меры защиты воздушных линий от воздействия контактной сети переменного тока / М. П. Бадер, Е. Ю. Семенова, А. А. Куликов // Энергетические системы. — 2022. — № 1. — С. 38–45. — DOI: 10.34031/ES.2022.1.004.

5. Патент № 2460654 РФ. Устройство транспозиционной геометрии проводов воздушной высоковольтной линии электроснабжения с повышенной симметрией погонных электрических параметров линии, находящейся в условиях интенсивного воздействия электромагнитного поля

контактной сети железных дорог, электрифицированных на переменном токе / Е. Ю. Семенова, Ю. В. Иодко, В. И. Карпенко и др. — 2012. — Бюл. № 25.

6. Бадер М. П. Автоматизация монтажа проводов высоковольтной линии тягового электроснабжения на переменном токе / М. П. Бадер, А. А. Куликов // *Электротехника*. — 2022. — № 9. — С. 2–7. — DOI: 10.53891/00135860_2022_9_2.

7. Патент № 2701601 РФ. Устройство монтажа транспозиционной геометрии проводов воздушной высоковольтной линии электроснабжения с повышенной симметрией погонных электрических параметров линии, находящейся в условиях интенсивного воздействия электромагнитного поля контактной сети железных дорог, электрифицированных на переменном токе / Е. Ю. Семенова, Ю. В. Иодко, Д. В. Семенова и др. — 2019. — Бюл. № 28.

8. Механизация работ в хозяйстве электрификации и электроснабжения железных дорог. Методическое пособие по устройству, эксплуатации автотрис, автодрезин, специальных машин, механизмов и средств малой механизации, применяемых в хозяйстве электрификации и электроснабжения железных дорог Российской Федерации / Департамент электрификации и электроснабжения ОАО «Российские железные дороги». — М.: Трансиздат, 2004. — 456 с.

9. Сиренко Е. Р. Сравнительный анализ технологий сварки оцинкованных труб водоснабжения / Е. Р. Сиренко // *Известия ТулГУ. Технические науки*. — 2020. — № 8.

10. Инструкция по техническому обслуживанию и ремонту устройств электроснабжения сигнализации, централизации, блокировки и связи на федеральном железнодорожном транспорте ЦЭ 881.

11. Короткевич М. А. Монтаж электрических сетей: учеб. пособие / М. А. Короткевич. — Минск: Высшая школа, 2012. — 512 с.

12. Кудишин Ю. И. Металлические конструкции. Общий курс / Ю. И. Кудишин, Е. И. Беленя, В. С. Игнатьева; под общ. ред. Ю. И. Кудишина. — М.: Академия, 2010. — 668 с.

Дата поступления: 20.10.2023

Решение о публикации: 23.11.2023

Контактная информация:

БАДЕР Михаил Петрович — д-р техн. наук, проф.; badjor@mail.ru

КУЛИКОВ Андрей Андреевич — аспирант; andrey.kulikov.1997@mail.ru

Calculation of the Parameters of a Mobile Mechanized Complex Performing the Installation of an Overhead Line under the Influence of an AC Contact Network

M. P. Bader, A. A. Kulikov

Russian University of Transport (MIIT), 9/9 Obraztsova Str., Moscow, 127994, Russian Federation

For citation: Bader M. P., Kulikov A. A. Calculation of the Parameters of a Mobile Mechanized Complex Performing the Installation of an Overhead Line under the Influence of an AC Contact Network. *Bulletin of scientific research results*, 2023, iss. 4, pp. 68-77. (In Russian) DOI: 10.20295/2223-9987-2023-4-68-77

Summary

Purpose: To calculate the parameters of a mobile mechanized complex (MMC) that performs the installation of an overhead line of longitudinal power supply under the influence of an AC contact network. The asymmetry of electrical parameters in overhead lines (OL) caused by the electromagnetic influence of the contact network leads to a decrease in the quality of electricity for consumers. This contributes to a decrease in the stability of the OL. The worst option may be the ignition of a dwelling, which is powered by the specified OL. A new type of transposition solves the problem of asymmetry, which consists in twisting the wires by 60° each span of the supports. With this method of installation, the distance between the wires will be constantly uniform. The problem of asymmetry of electrical parameters is solved, since the mutual movement of phase wires will contribute to the same effect of the electromagnetic field on all three wires. Accordingly, the levels of induced voltages of both components — electric and magnetic — will be leveled. **Methods:** The analysis of existing methods of installation of OL, profile pipes for the torsion machine, the calculation of the profile for MMC, mass-dimensional characteristics, types of wires and drums for which MMC is designed was carried out. **Results:** In the article, the parameters of the torsion machine, which consists of movable and fixed parts, were calculated. The brands of wires for OL, drums for installation were selected and their parameters were calculated. The dependence of the loads on the frame of the torsion machine on the length of the profile pipe at the time of maximum loading was constructed. The dimensions of the profile pipe for the frame of the torsion machine and the steel grade were selected, and the simulation of the most loaded support beam of the wire drum attachment was carried out to predict loads and deflection. **Practical significance:** The necessity of using MMC for OL installation is shown, since only it is able to perform installation with increased symmetry of linear parameters. MMC is a twisting machine with wire drums, a manipulator for mounting wires, a device for fixing and tensioning wires, a control system and a base on which the MMC is mounted. The advantages of using automation in MMC are substantiated.

Keywords: Transposition, six-step transposition, mechanized complex, electromagnetic influence, asymmetry, overhead line, contact network, torsion machine.

References

1. Bader M. P. *Elektromagnitnaya sovmestimost'* [Electromagnetic compatibility]. Moscow: UMK MPS RF Publ., 2002, 637 p. (In Russian)
2. Zil'berman S. M., Krasil'nikova T. G., Manusov V. Z. et al. Transpozitsiya liniy elektroperedachi i ee neozhidannyi effekt [Transposition of power lines and its unexpected effect]. *Elektrichestvo* [Electricity]. 2006, Iss. 5, pp. 11–16. (In Russian)
3. SP 226.1326000.2014. *Elektrosnabzhenie netyagovykh potrebiteley. Pravila proektirovaniya, stroitel'stva i rekonstruktsii* [SP 226.1326000.2014. Power supply to non-traction consumers. Rules for design, construction and reconstruction]. Moscow, 2014. (In Russian)
4. Bader M. P., Semenova E. Yu., Kulikov A. A. Mery zashchity vozdushnykh liniy ot vozdeystviya kontaktnoy seti peremennogo toka [Measures to protect overhead lines from the influence of the AC contact network]. *Energeticheskie sistemy* [Energy systems]. 2022, Iss. 1, pp. 38–45. DOI: 10.34031/ES.2022.1.004. (In Russian)
5. Semenova E. Yu., Iodko Yu. V., Karpenko V. I. et al. *Ustroystvo transpozitsionnoy geometrii provodov vozdushnoy vysokovol'tnoy linii elektrosnabzheniya s povyshennoy simmetriey pogonnykh elektricheskikh parametrov linii, nakhodyashcheyся v usloviyakh intensivnogo vozdeystviya elektromagnitnogo polya kontaktnoy seti zheleznykh dorog, elektrifitsirovannykh na peremennom toke* [Design of transposition geometry of wires of an overhead high-voltage power supply line with increased symmetry of linear electrical parameters of the line, located under conditions of intense

influence of the electromagnetic field of the contact network of railways electrified with alternating current]. Patent RF, no. 2460654, 2012. (In Russian)

6. Bader M. P., Kulikov A. A. Avtomatizatsiya montazha provodov vysokovol'tnoy linii tyagovogo elektrosnabzheniya na peremennom toke [Automation of installation of wires of a high-voltage line of traction power supply on alternating current]. *Elektrotehnika* [Electrical engineering]. 2022, Iss. 9, pp. 2–7. DOI: 10.53891/00135860_2022_9_2. (In Russian)

7. Semenova E. Yu., Iodko Yu. V., Semenova D. V. et al. *Ustroystvo montazha transpozitsionnoy geometrii provodov vozdushnoy vysokovol'tnoy linii elektrosnabzheniya s povyshennoy simmetriey pogonnykh elektricheskikh parametrov linii, nakhodyashcheyasya v usloviyakh intensivnogo vozdeystviya elektromagnitnogo polya kontaktnoy seti zheleznykh dorog, elektrifitsirovannykh na peremennom toke* [Device for mounting the transposition geometry of wires of an overhead high-voltage power supply line with increased symmetry of linear electrical parameters of the line, located under conditions of intense influence of the electromagnetic field of the contact network of railways electrified on alternating current]. Patent RF, no. 2701601, 2019. (In Russian)

8. *Mekhanizatsiya rabot v khozyaystve elektrifikatsii i elektrosnabzheniya zheleznykh dorog. Metodicheskoe posobie po ustroystvu, ekspluatatsii avtomotris, avtodrezin, spetsial'nykh mashin, mekhanizmov i sredstv maloy mekhanizatsii, primenyaemykh v khozyaystve elektrifikatsii i elektrosnabzheniya zheleznykh dorog Rossiyskoy Federatsii. Departament elektrifikatsii i elektrosnabzheniya OAO "Rossiyskie zheleznye dorogi"* [Mechanization of work in the electrification and power supply of railways. Methodological manual on the design and operation of railcars, railcars, special machines, mechanisms and means of small-scale mechanization used in the electrification and power supply of railways of the Russian Federation]. Moscow: Transizdat Publ., 2004, 456 p. (In Russian)

9. Sirenko E. R. Sravnitel'nyy analiz tekhnologiy svarki otsinkovannykh trub vodosnabzheniya [Comparative analysis of technologies for welding galvanized water supply pipes]. *Izvestiya TulGU. Tekhnicheskie nauki* [News of Tula State University. Technical science]. 2020, Iss. 8. (In Russian)

10. *Instruktsiya po tekhnicheskomu obsluzhivaniyu i remontu ustroystv elektrosnabzheniya signalizatsii, tsentralizatsii, blokirovki i svyazi na federal'nom zheleznodorozhnom transporte TsE 881* [Instructions for the maintenance and repair of power supply devices for signaling, centralization, blocking and communication on federal railway transport TsE 881]. (In Russian)

11. Korotkevich M. A. *Montazh elektricheskikh setey: ucheb. posobie* [Installation of electrical networks: textbook. allowance]. Minsk: Vysshaya shkola Publ., 2012, 512 p. (In Russian)

12. Kudishin Yu. I., Belenya E. I., Ignat'eva V. S.; under general ed. Yu. I. Kudishina. *Metallicheskie konstruksii. Obshchiy kurs* [Metal structures. General course]. Moscow: Akademiya Publ., 2010, 668 p. (In Russian)

Received: October 20, 2023

Accepted: November 23, 2023

Author's information:

Michail V. BADER — Dr. Sci. in Engineering, Professor; badjor@mail.ru

Andrey A. KULIKOV — Postgraduate Student; andrey.kulikov.1997@mail.ru