

ПРОГРАММНОЕ ОБЕСПЕЧЕНИЕ ДЛЯ РАСЧЕТА ИНДУКТИВНЫХ СОПРОТИВЛЕНИЙ ВТОРИЧНОГО ТОКОПОДВОДА ДУГОВЫХ СТАЛЕПЛАВИЛЬНЫХ ЭЛЕКТРОПЕЧЕЙ

Бикеев Р.А.¹, Алиферов А.И.¹, Горева Л.П.¹, Добров А.Н.¹

¹ФГБОУ ВПО «Новосибирский государственный технический университет», Новосибирск, Россия (630073, г.Новосибирск, пр-т К.Маркса, 20), e-mail: bikeev@ngs.ru

В статье представлено описание разработанного программного обеспечения, предназначенного для расчета индуктивных сопротивлений трехфазных систем вторичных токоподводов дуговых сталеплавильных электропечей различного конструктивного исполнения (компланарное или триангулированное расположение проводников различных фаз токоподвода). Оно содержит все необходимые признаки приложения, функционирующего под управлением операционной системы Microsoft Windows, что определяет удобство его эксплуатации инженерно-техническим персоналом проектных организаций или организаций эксплуатирующих такое оборудование. Приведены результаты расчета интегральных индуктивных сопротивлений фаз вторичных токоподводов для ряда сверхвысокомощных дуговых сталеплавильных электропечей. Верификация результатов исследования, выполненного с помощью данного программного продукта, выполнена путем их сравнения с имеющимися в литературных источниках единичными экспериментальными данными. Разработанное программное обеспечение рекомендуется использовать при проектировании новых и модернизации существующих дуговых сталеплавильных печей.

Ключевые слова: программное обеспечение, индуктивные сопротивления, вторичный токоподвод, короткая сеть, дуговые сталеплавильные электропечи

SOFTWARE FOR CALCULATION OF INDUCTIVE RESISTANCES OF SECONDARY CURRENT LEAD FOR ELECTRIC ARC FURNACES

Bikeev R.A.¹, Aliferov A.I.¹, Goreva L.P.¹, Dobrov A.N.¹

¹Novosibirsk state technical university, Novosibirsk, Russia (630073, Novosibirsk, K.Marx av. 20), e-mail: bikeev@ngs.ru

The paper presents created software meant for calculation of inductive resistances of three-phase systems of secondary current leads for different designs of electric arc furnaces (coplanar or triangulated location of current lead conductors of different phases). The software has all features of Microsoft Windows application, which define its usability for engineering staff of design organizations or organizations operating such installations. There are described also results of calculation of integral inductive resistances of secondary current leads for a number of super high power electric arc furnaces. As well as there is presented verification of the software research results by means of comparison with available in literature single experimental data. Created software is recommended for usage in designing of new electric arc furnaces and modernization of existing ones.

Keywords: software, inductive resistances, secondary current lead, electric arc furnace

Введение

Проектирование и модернизация мощных трехфазных электротехнологических установок в настоящее время выполняется с учетом оптимизационных расчетов параметров токоподводов электрической энергии от источника в рабочее пространство установки. Выполняемые до настоящего времени расчеты, основанные на аналитических методиках, не обеспечивают требуемой точности (погрешность расчета может достигать 40 %), так как токоподводы современных мощных электротехнологических установок (сверхвысокомощных дуговых сталеплавильных и руднотермических печей, установок электрошлакового переплава и др.) имеют сложную пространственную конфигурацию.

Наибольшую часть импеданса цепи обычно составляет индуктивное сопротивление. В связи с этим важной является задача создания эффективного и удобного инструмента, позволяющего рассчитывать индуктивное сопротивление для систем проводников, произвольно расположенных в пространстве. Наиболее актуальна эта задача для дуговых сталеплавильных электропечей (ДСП).

Конструкция вторичного токоподвода ДСП

Характерные участки вторичного токоподвода ДСП приведены на рисунке 1.

К источнику питания, который представляет собой электропечной трансформатор, примыкает жесткая неподвижная часть, называемая шинным мостом. Она выполняется в виде водоохлаждаемых трубошин круглого поперечного сечения. В современных ДСП применяется схема вторичного токоподвода «звезда на трансформаторе», преобразование вторичной обмотки печного трансформатора из «треугольника» в «звезду» выполняется внутри трансформатора.

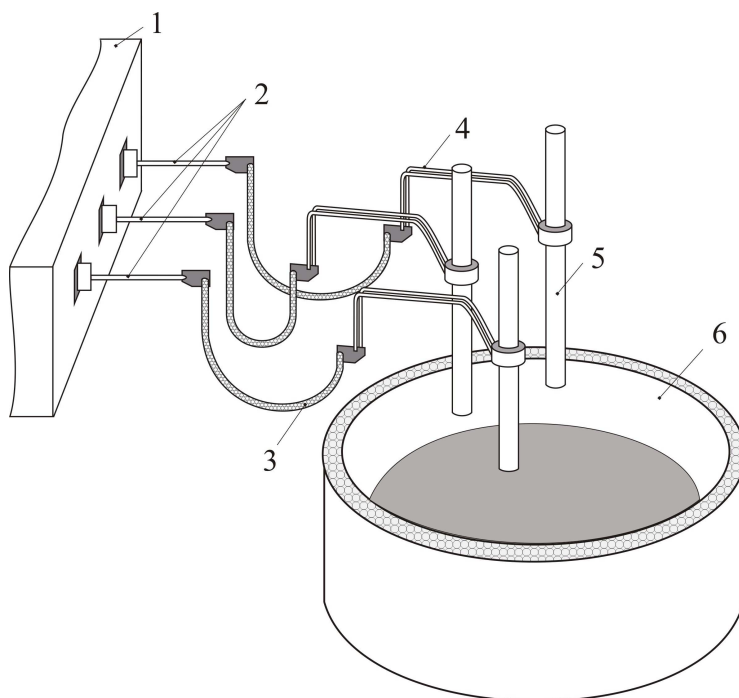


Рисунок 1. Участки вторичного токоподвода ДСП: 1 – электропечной трансформатор; 2 – шинный мост; 3 – кабельная гирлянда; 4 – трубошины / рукава; 5 – электроды; 6 – ванна.

Следующий участок – гибкий токоподвод или кабельная гирлянда. Он обеспечивает в ДСП выполнение таких технологических операций, как перемещение электродов, наклон печи для слива, подъем и отворот свода для загрузки печи сверху. Он выполняется в виде группы водоохлаждаемых кабелей.

Затем следует жесткий подвижный токоподвод к электроду. В процессе работы ДСП он совершает плоскопараллельное перемещение в вертикальной плоскости. Еще 20 лет назад этот участок выполнялся в виде трубошин, закрепленных на несущем рукаве. На современных печах ток канализируют к электроду непосредственно по рукаву. Такое техническое ре-

шение позволило, во-первых, существенно упростить конструкцию этого узла, а значит повысить надежность его работы. Во-вторых, заметно снизить активное и индуктивное сопротивление как данного участка за счет более развитого сечения, так и токоподвода в целом за счет возможности сближения фаз, уменьшения диаметра распада электродов.

На ДСП применяют графитированные электроды, которые изготавливаются секциями стандартной длины. Для получения электрода нужной длины несколько секций свинчиваются с помощью ниппельного соединения. В круглых печах используют три электрода, располагая их в плане по вершинам равностороннего треугольника. Очевидно, что в таком варианте сопротивления электродов разных фаз будут равны. Применение этого принципа на весь вторичный токоподвод позволяет симметризовать фазные сопротивления. Такой прием называется триангуляцией. На практике проводники средней фазы приподнимают относительно крайних фаз, стремясь в сечении расположить их по вершинам равностороннего треугольника.

Собственная индуктивность фаз вторичного токоподвода ДСП, а также их взаимная индуктивность может быть определена по методике, изложенной в [1, 3-6]. Данная методика определения собственной и взаимной индуктивности прямолинейных проводников произвольно расположенных в пространстве легла в основу разработанного на кафедре автоматизированных электротехнологических установок Новосибирского государственного технического университета программного обеспечения «КорСет». «КорСет» позволяет рассчитывать индуктивные сопротивления фаз вторичного токоподвода дуговых сталеплавильных электропечей.

Описание программного комплекса

Программный комплекс содержит все необходимые признаки приложения, функционирующего под управлением операционной системы Microsoft Windows – основное меню, панель инструментов, вкладки и другие элементы.

Каждая вкладка основного окна предназначена для ввода геометрических данных для различных участков вторичного токоподвода дуговой сталеплавильной электропечи.

Например, после нажатия ярлыка *Шинный мост* появляется вкладка «Шинный мост» (рисунок 2), в которой для каждой фазы шинного моста указывается количество прямолинейных участков, на которые разбивается рассматриваемая фаза. Для каждого прямолинейного участка задаются координаты его начала и конца, выбирается конфигурация и указываются размеры поперечного сечения. При вводе координат соблюдается сонаправленность проводников с током в них. Аналогичным образом организована работа по определению геометрии участка вторичного токоподвода «Трубошины/Рукава».

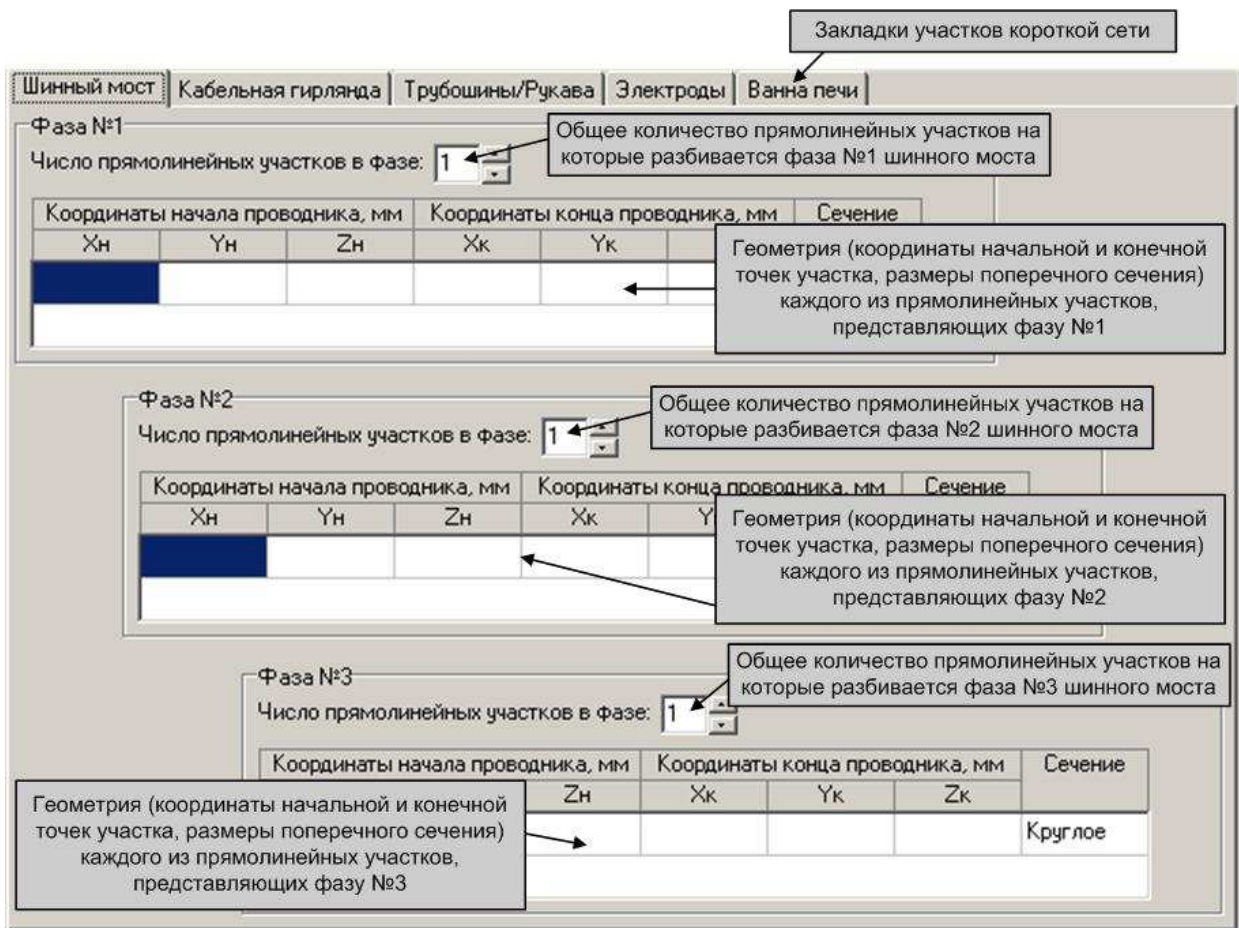


Рисунок 2. Вид вкладки «Шинный мост»

После нажатия следующего ярлыка – *Кабельная гирлянда* появляется вкладка «Кабельная гирлянда» (рисунок 3). В каждой фазе задаются координаты точек подвеса кабельной гирлянды на неподвижном (X_f) и подвижном (X_p) башмаках, длина кабеля, размеры сечения группы кабелей одной фазы.

Во вкладке «Электроды» (рисунок 4) задаются размеры электродов в миллиметрах, высота секции электрода, максимальный вылет стойки.

Для ванны печи во вкладке «Ванна печи» (рисунок 5) задается высота ванны (до уровня порога рабочего окна) жидкого металла.

Введенные исходные геометрические данные можно сохранить в файле данных специального формата для возможности его использования в следующем сеансе работы программы. Для выполнения расчета в основном меню следует выбрать команду «Рассчитать индуктивность». Если исходные данные введены корректно, то появляется текстовое окно с перечислением введенных исходных данных и результатами расчета собственных и взаимных

Закладки участков короткой сети

Шинный мост | Кабельная гирлянда | Трубошины/Рукава | Электроды | Ванна печи

ДСП

Трансформатор

$P(X_p, Y_p, Z_p)$

$T(X_t, Y_t, Z_t)$

L

A-A

f

g

Фаза №1	Координаты точки T, мм	<input type="text"/> X_t	<input type="text"/> Y_t	<input type="text"/> Z_t	Координаты точки подвеса гибкого кабеля фазы №1 на неподвижном башмаке
	Координаты точки P, мм	<input type="text"/> X_p	<input type="text"/> Y_p	<input type="text"/> Z_p	Координаты точки подвеса гибкого кабеля фазы №1 на подвижном башмаке
Фаза №2	Координаты точки T, мм	<input type="text"/> X_t	<input type="text"/> Y_t	<input type="text"/> Z_t	Координаты точки подвеса гибкого кабеля фазы №2 на неподвижном башмаке
	Координаты точки P, мм	<input type="text"/> X_p	<input type="text"/> Y_p	<input type="text"/> Z_p	Координаты точки подвеса гибкого кабеля фазы №2 на подвижном башмаке
Фаза №3	Координаты точки T, мм	<input type="text"/> X_t	<input type="text"/> Y_t	<input type="text"/> Z_t	Координаты точки подвеса гибкого кабеля фазы №3 на неподвижном башмаке
	Координаты точки P, мм	<input type="text"/> X_p	<input type="text"/> Y_p	<input type="text"/> Z_p	Координаты точки подвеса гибкого кабеля фазы №3 на подвижном башмаке
Размеры сечения кабелей, мм					Размеры поперечного сечения гибких кабелей (по токонесящей части кабелей)
					<input type="text"/> f , мм
					<input type="text"/> g , мм

Длина кабеля L, мм

Строительная длина кабеля фазы №1

Строительная длина кабеля фазы №2

Строительная длина кабеля фазы №3

Рисунок 3. Вид вкладки «Кабельная гирлянда»

Закладки участков короткой сети

Шинный мост | Кабельная гирлянда | Трубошины/Рукава | Электроды | Ванна печи

a

b

c

Максимальный вылет стойки

Размеры электродов

Высота электрода от его торца до середины контактной щеки a , мм

Диаметр электрода b , мм

Диаметр распада электродов c , мм

Высота секции электрода

Рисунок 4. Вид вкладки «Электроды».

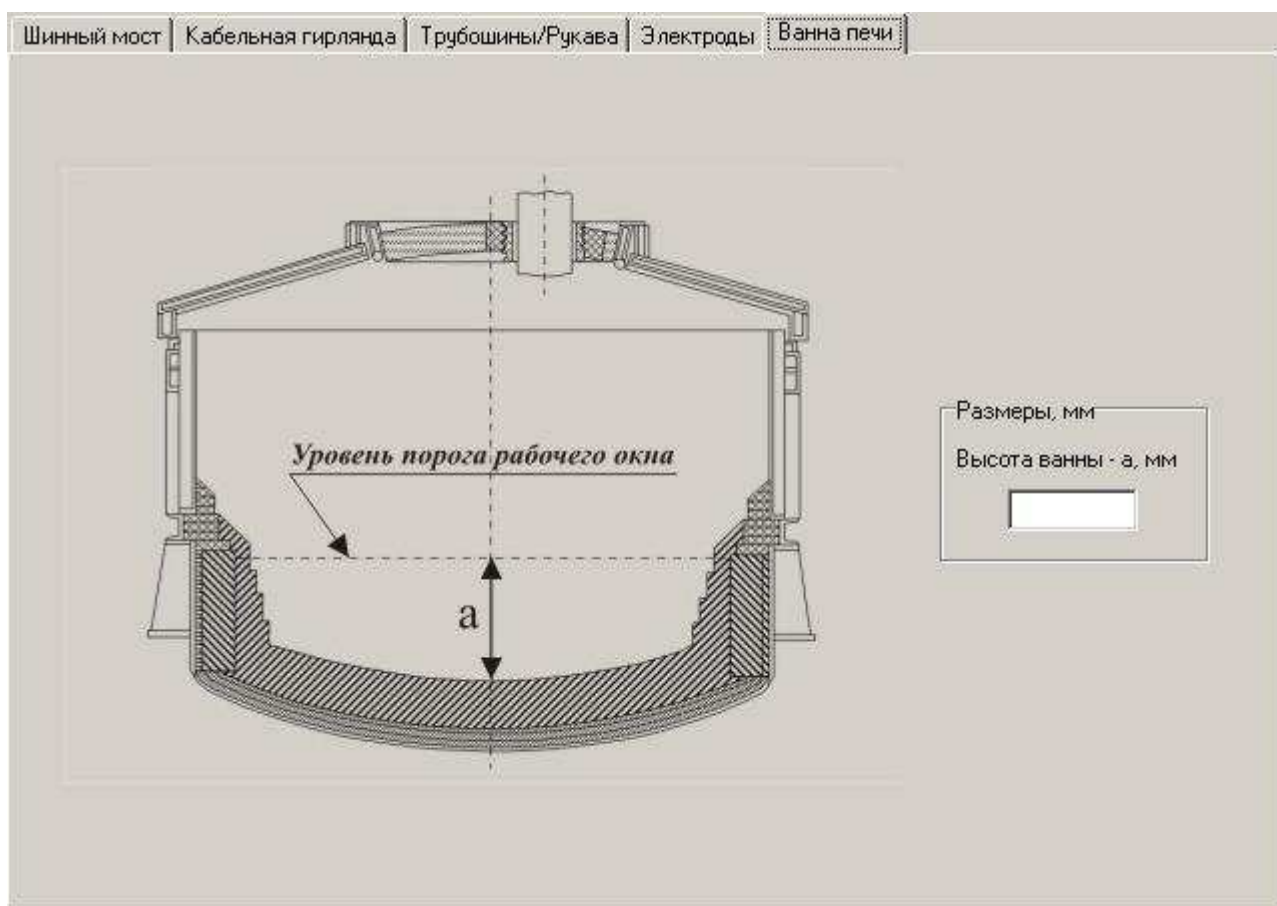


Рисунок 5. Вид вкладки «Ванна печи»

индуктивностей по функциональным участкам, фазных индуктивностей всей установки, фазных индуктивных сопротивлений, среднефазного индуктивного сопротивления, коэффициента асимметрии фазных индуктивных сопротивлений. Информацию из этого окна можно копировать обычным способом в какой-либо текстовый редактор, распечатать на принтере или сохранить в файл в формате **.rtf*.

Апробация программного обеспечения «КорСет»

Разработанное программное обеспечение было использовано для поверочных расчетов индуктивного сопротивления вторичного токоподвода дуговых сталеплавильных электропечей, спроектированных в разные годы на ОАО «Сибэлектротерм»: ДСП-100И6, введенной в эксплуатацию в 1980 году, ДСП-100И8 – в 1990 году, ДСП-100Н10 – в последние пять лет. Эти печи отличаются диаметром распада электродов. Этот конструктивный размер определяет кроме всего прочего геометрические параметры и форму короткой сети. Установки ДСП-100И6 и ДСП-100И8 оснащены трубошинами вдоль несущего рукава, ДСП-100Н10 – токоведущими рукавами.

Рассчитанное по программе среднефазное индуктивное сопротивление фаз вторичного токоподвода электропечи ДСП-100И6 составляет 3.47894 мОм, что отличается от экспери-

ментально снятого среднефазного индуктивного сопротивления для этой же установки на 8.5% (экспериментально полученное $X_{cp}=3.8 \text{ мОм}$) [2].

Выводы

Разработано программное обеспечение для расчета индуктивных сопротивлений трехфазных систем прямолинейных проводников, произвольно расположенных в пространстве, позволяющее получать результаты с погрешностью менее 10%.

Применение разработанного программного продукта позволяет оптимизировать системы трехфазного токоподвода мощных дуговых сталеплавильных электропечей на стадии проектирования нового оборудования и при модернизации уже эксплуатируемого.

Список литературы

1. Алиферов А.И., Бикеев Р.А., Власов Д.С., Горева Л.П., Домаров П.В. Программный комплекс для расчета индуктивных сопротивлений вторичных токоподводов электротехнологических установок // Электротехника.– М.: ЗАО «Знак», 2010.– №5.– С. 33-37.
2. Данцис Я.Б. Короткие сети и электрические параметры дуговых электропечей / Я.Б. Данцис, Л.С. Кацевич, Г.М. Жилов и др.– М.: Metallurgy, 1987.– 320 с.
3. Калантаров П.Л., Цейтлин Л.А. Расчет индуктивностей.– М.: Энергия, 1970.
4. Цейтлин Л.А. Индуктивность проводов и контуров. – Л.-М.: Госэнергоиздат, 1950.
5. Чередниченко В.С., Бикеев Р.А., Горева Л.П. и др. Математическое моделирование электромеханических процессов в дуговых сталеплавильных электропечах // Научный вестник НГТУ.– Новосибирск: Изд-во НГТУ, 2004.– №2(17).– С. 141-158.
6. Cherednichenko V.S., Aliferov A.I., Bikeev R.A. Electromechanical Oscillations Influence to Inductance of Arc Furnace Second Circuit // Proceedings of the International Scientific Colloquium "Modeling for Electromagnetic Processing" (Hannover, March 24-26, 2003).– Hanover: Hanover University, 2003.– P. 285-291.

Рецензенты:

Аньшаков А.С., д.т.н., профессор, главный научный сотрудник Федерального государственного бюджетного учреждения науки Института теплофизики им. С.С. Кутателадзе Сибирского отделения Российской академии наук Министерства образования и науки Российской Федерации, г. Новосибирск.

Урбах Э.К., д.т.н., ведущий научный сотрудник Федерального государственного бюджетного учреждения науки Института теплофизики им. С.С. Кутателадзе Сибирского отделения Российской академии наук Министерства образования и науки Российской Федерации, г. Новосибирск.