

ков, что будет гарантировать создание благоприятного социально-экономического и организационного климата. К основным блокам, составляющим региональный инновационный механизм относятся:

- система залогодательной поддержки инновационной деятельности в регионе на уровне местной власти;
- система законодательной поддержки инновационной деятельности в регионе на уровне федеральной власти;
- региональная образовательная система;

- система страхования бизнеса;
- система инвестиционного обеспечения инновационной деятельности;

Региональный инновационный механизм призван осуществлять перераспределение финансово-инвестиционных ресурсов в пользу инновационного сектора региональной экономики, содействовать формированию в регионе рынка инноваций и инновационных услуг, культивированию инновационно-ориентированной конкурентной среды.

Дополнительные материалы конференций

Технические науки

ЭНЕРГОСБЕРЕГАЮЩИЙ ДУТЬЕВОЙ РЕЖИМ КОНВЕРТЕРНОЙ ВАННЫ

Меркер Э.Э., Карпенко Г.А.

Старооскольский технологический институт
(филиал) МИСиС
Старый Оскол, Россия

Повышение технологической и энергетической эффективности конверторного процесса связано с необходимостью обеспечения максимального дожигания углерода (СО) над ванной. Тепловая работа конвертора при этом в условиях интенсивной продувки ванны кислородом определяется не только условиями взаимодействия зоны генерации тепла и технологического процесса, но и в значительной степени зависит, при использовании двухъярусных фурм с отдувом (рис. 1), от термохимических и аэродинамических свойств системы встречных газовых потоков, интенсивности дожигания СО в струях O_2 и протекания процессов тепло- и массообмена в системе металл – шлак – газ в рабочем пространстве агрегата.

Анализ данных научно-технической литературы по применению двухъярусных фурм с отдувом для дожигания СО в объеме вспененного шлака в конверторе свидетельствует о недостаточной эффективности использования тепла от факелов дожигания СО, т.к. существующие дутьевые и технологические режимы не позволяют полностью решить как энергетическую задачу (достижение максимального $\eta_{\text{кит}}$ от дожигания СО в объеме агрегата), так и теплотехническую (обеспечение максимальной теплоотдачи от факелов дожигания к шлаку и металлу в ванне).

Исследования аэродинамических свойств газовой струи проводили на лабораторной установке (рис. 2), позволяющая, с одной стороны, изучать закономерности взаимодействия наклонной струи (рис. 1) со встречным газовым потоком, а с другой стороны, исследовать особенности натекания турбулентного струйного газового потока на поверхность торможения.

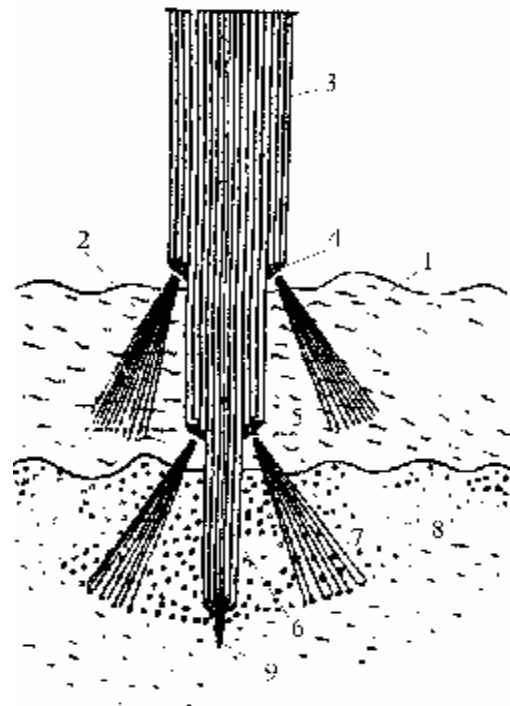


Рис. 1. Двухъярусная фурма для продувки конвертерной ванны с дожиганием СО в объеме ГШМЭ (1 – шлак, 2 – струя дожигания СО, 3 – верхний корпус фурмы, 4 – сопла Лавалья, 5 – нижний корпус фурмы, 6 – штанга водоохлаждаемая, 7 – струя кислородного дутья, 8 – металл, 9 – датчик э.д.с и температуры)

Экспериментальным путем установлено, что на основные характеристики газоструйной системы (рис. 3) оказывают влияние угол наклона (α) сопла к оси фурмы и конструктивное число фурмы (D/d_0), т.е. отношение диаметров корпуса (D) фурмы и сопла (d_0).

По мере удаления от сечения сопла относительная скорость потоков (\bar{U}_x) в газоструйной системе заметно снижается, что требует для обеспечения эффективной сплошности газо-

струйной системы уменьшение угла наклона (α) каждой из ее струй.

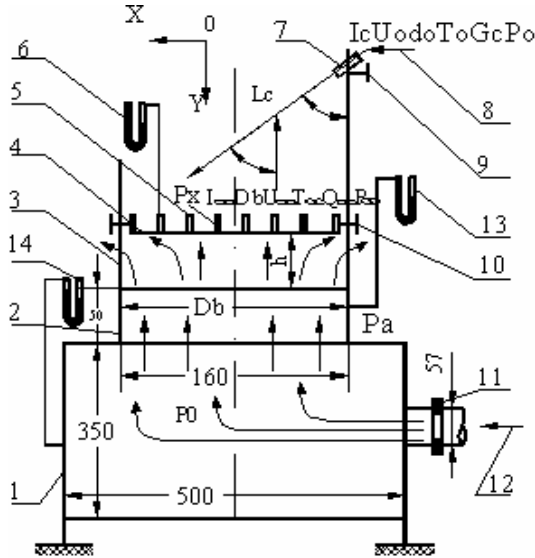


Рис.2. Экспериментальная установка для исследования аэродинамических свойств встречных газовых потоков: 1 - камера давления (ресивер); 2 - цилиндр (сопло); 3 - держатели; 4 - экран; 5 - дренажные отверстия; 6, 13, 14 - микроманометры; 7 - сопло; 8 и 12 - дутье (воздух); 9 и 10 - винт; 11 - мерная диафрагма; (d_0 и D - диаметры сопла и цилиндра; ρ_0 и ρ_r - плотности струи и потока; U_0 и U_∞ - скорости струи и потока; T_0 и T_∞ - температуры струи и потока; L_x - встречная струя; α - угол атаки; (P_0 и P_a) - избыточное давление по микроманометру; $d_0=0,005$ м).

$$r_2 \cdot C_p \cdot \frac{\partial T}{\partial t} = -r_2 \cdot C_p \cdot w_m \cdot \nabla \cdot T - \text{div} I_g + q_n, \quad (3)$$

где C_p – теплоемкость газа, Дж/(кг К); T – температура, К; τ – время, с; $q_n = V \cdot I_c$ – тепло, выделяемое при протекании химической реакции а единице объема за единицу времени; $V = \sum \mu_k \cdot v_k$ – химическое сродство; μ_k – химический потенциал; v_k – стехиометрический коэффициент реакции, умноженный на молекулярный вес компонента; I_c – скорость химической реакции, выраженная в единице массы в на единицу объема в единицу времени, кг/(м³·с); I_g – общий тепловой поток, Дж/кг; $- \rho_r \cdot C_p \cdot w \cdot \nabla \cdot T$ – конвективный перенос тепла; $- \text{div} I_g$ – перенос тепла теплопроводностью.

Измерения температур в струях дожигания СО показали, что температурная область в газоструйной системе не превышает предел 2200–2300 °С. следовательно, при осуществлении

Глубина проникновения наклонной струи (h_x) во встречный поток при любом наклоне (α) сопел фурмы определяется выражением:

$$h_x / d_0 = K_S \cdot \text{Sin} \alpha \cdot (u_m / u_\infty) \cdot \sqrt{r_2 / r_\infty}, \quad (1)$$

где u_m – максимальная скорость на оси струи, u_∞ и ρ_∞ – скорость и плотность потока отходящих газов; ρ_r – плотность струи, кг/м³; K_S – коэффициент зависящий от шага струй в газоструйной системе.

С уменьшением относительного расстояния между струями глубина проникновения (h_x/d_0) сначала снижается по сравнению с одиночной струей. Дальнейшее уменьшение (h_x/d_0) ведет к взаимному слиянию струй (рис. 3), переходу струйного сечения в плоское, что характеризуется увеличением глубины проникновения струй во встречный поток газов.

На рис. 4 приведены экспериментальные данные, характеризующие особенности взаимодействия струй между собой. Установлено, что по мере уменьшения расстояния от точки объединения струй до сопел дожигания скорость на оси струйной системы (\overline{U}_x) возрастает с соответствии с уравнением

$$\overline{U}_x = 2,345(D/d_0)^{-2,9}(\alpha/2)^{1,32}(L_x/d_0)^{0,299}, \quad (2)$$

где L_x – длина одиночной газовой струи в системе встречных газовых потоков, м.

При дожигании СО в струе O₂ уравнение переноса энергии с учетом химических реакций имеет следующий вид:

дожигания СО в объеме вспененного шлака в условиях интенсивного его перемешивания струями дожигания уровень теплообмена в ванне является существенным.

Изменение концентрации СО в объеме конвертора вне действия газоструйной системы определяем в соответствии с выражением:

$$-d\{\text{CO}\}_\infty / dt = \beta_{\text{CO}} \cdot \frac{S_\Sigma}{V_K} \cdot (\{\text{CO}\}_0 - \{\text{CO}\}_S), \quad (4)$$

где $\{\text{CO}\}_0$, $\{\text{CO}\}_S$ и $\{\text{CO}\}_\infty$ – содержание СО в отходящем потоке, на поверхности струй дожигания и на выходе из конвертора, %; β_{CO} – эффективный коэффициент массообмена в газоструйной системе, м/с; S_Σ/V_K – отношение поверхности контакта струй к объему конвертора.

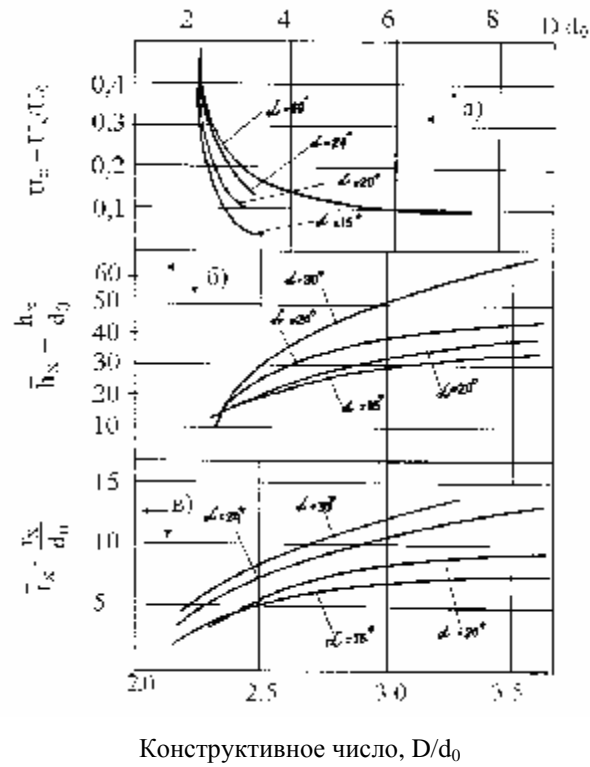


Рис. 3. Характер изменения скорости (а) в точке объединения (струй), изменение расстояния (б) до точки объединения струй от сопел и изменение (в) радиуса действия струй в точке (объединение струй) при переменных значениях конструктивного числа (D/d_0) корпуса двухъярусной фурмы (D - диаметр корпуса фурмы, d_0 - диаметр сопла, α - угол наклона струи).

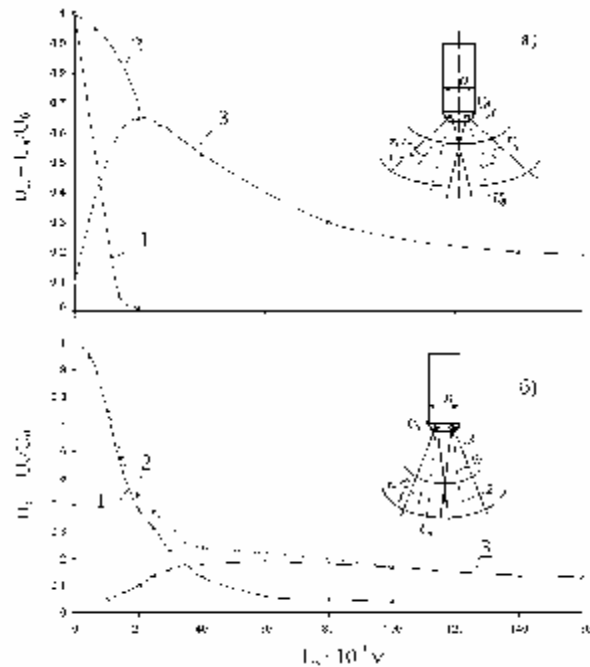


Рис.4. Характер распределения скорости в струях воздуха для трехсопловой головки при $\alpha = 30^\circ$ и значениях $D/d_0 = 1,5$ (а) и $D/d_0 = 2,5$ (б). (1 – скорость потока на расстоянии $r_x/2$ от оси струи, 2 – скорость потока на оси струи по ходу движения, 3 – скорость потока на оси конусообразной газоструйной системы, м/с).

Оценку эффективности процессов дожигания CO и теплообмена в конверторной ванне осуществляем по значениям коэффициентов дожигания CO и использования тепла от дожигания, скоростям нагрева и обезуглероживания металла, а также по данным хода шлакообразования и процессов плавки стали [1,2].

На рис. 5 приведены сравнительные данные по эффективности дожигания CO над зоной продувки 250 т конвертера. С увеличением расстояния сопел дожигания CO от поверхности металла в высокотемпературной реакционной зоне степень дожигания (η_{CO}) оксида углерода ($CO_2 \rightarrow max$) возрастает, а следовательно, приход

$$\eta_T = Q_{CO}^B / \sum Q_{CO}^{DOЖ} = (\sum Q_{CO}^{DOЖ} - (Q_{УХ}^2 + Q_{CO_2}^{ЭНД})) / \sum Q_{CO}^{DOЖ}, \quad (5)$$

где $Q_{УХ}^2$, $Q_{CO_2}^{ЭНД}$ - потери тепла с уходящими газами и на протекание эндотермических реакций, $H = H_c + H_\phi$, где H_c - расстояние от сопел дожигания до головки и высота фурмы над металлом;

тепла от дожигания увеличивается и повышается доля лома (рис. 5 б) на плавку.

Экспериментально установлено (рис. 6), что термический КПД дожигания CO (η_T) имеет экстремальные значения в зависимости [3,4] от соотношения расходов кислорода на дожигание и продувку металла ($I_{O_2}^{DOЖ} / I_{O_2}$), расстояния сопел дожигания от металла (H/H_ϕ) и степени расширения струй (r/r_0) по ходу их движения в ванне.

При этом значение η_T находили по формуле:

r_0 и r - начальный и текущий радиус струи дожигания, м, $\beta_0 = (1 - \{O_2\}_S) \cdot 100$, где $\{O_2\}_S$ - остаточное содержание O_2 в конце струи дожигания, %.

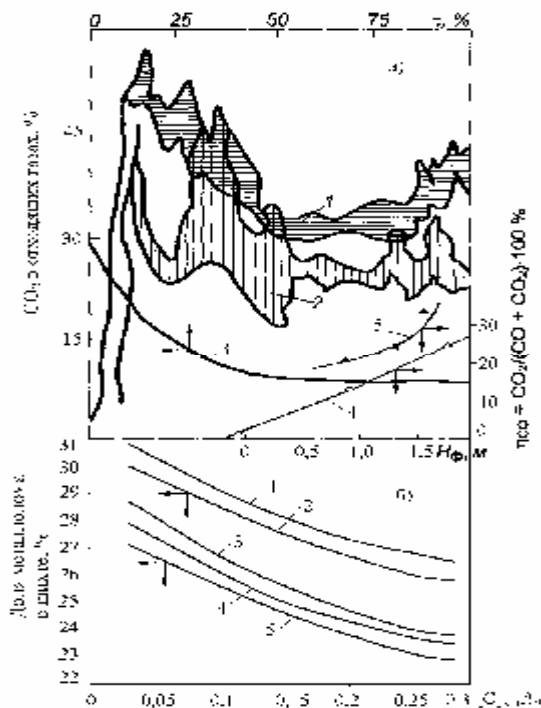


Рис.5. Характер изменения содержания CO_2 в отходящих газах 250 т конвертерах ДнепМК (а) при дожигании CO 12-струями O_2 при использовании двухконтурной фурмы (а), (кр. 1) и при использовании двухконтурной 4х сопловой фурмы на ДнепМК (кр. 2) и с расположением в днище конвертера шести фурм типа «труба в труба»; изменение CO_2 в отходящем газе (а) при использовании типовой 4-х сопловой фурмы (без дожигания CO) на 250 т конвертере (кр. 3); влияние (а) высоты фурмы над металлом (H_ϕ) на коэффициент дожигания CO (η_{CO}) при использовании двухъярусной фурмы (кр. 5) и двухконтурной (кр. 4). Зависимость расхода лома (б) в шихте от углерода конце продувки ($C_{к.п.}$, %) при различных режимах дожигания CO в конвертере (1 – комбинированная продувка с дожиганием CO; 2 – донное перемешивание с дожиганием CO; 3 – верхняя продувка; 4 – комбинированная без дожигания CO; 5 – донная продувка без дожигания CO).

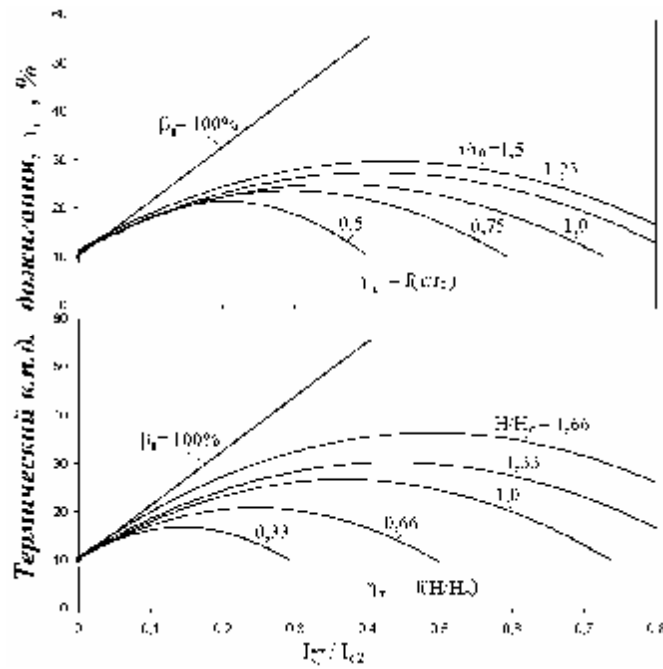


Рис.6. Зависимости η_t от $I_{O_2}^{дож} / I_{O_2}, H/N_{\phi}$ и g/t_0 при дожигании CO над зоной продувки в конвертере

При каждом $I_{O_2}^{дож} / I_{O_2}$ имеется $\eta_t = \max$.

Увеличение $I_{O_2}^{дож}$ для обеспечения $\eta_t \rightarrow \max$ требует увеличения H/N_{ϕ} или g/t_0 .

Кислородно-конверторный процесс с применением газоструйных систем из O_2 для дожигания CO над зоной продувки обладает большими резервами повышения технико-экономических показателей. Высокие результаты достигаются в конверторах, как с продувкой ванны кислородом сверху, так и с комбинированным дутьем, где в условиях продувки ванны кислородом через двухъярусные фурмы осуществляется дополнительное донное перемешивание металла аргоном (азотом) или кислородом в защитной атмосфере природного газа [5].

Применение двухъярусной фурмы с отдувом для дожигания CO в струях O_2 (рис. 1) над ванной для конверторов различной емкости и различных вариантов технологических процессов позволяет улучшать такие показатели, как снижение выбросов металла (шлака) и плавильной пыли, интенсифицировать шлакообразование, процессы нагрева и обезуглероживания металла, а также улучшает такие технологические показатели, как остаточное содержание фосфора, серы, марганца и кислорода, повышает расход лома на процесс и выход годной стали на тонну чугуна [4,5].

При дожигании CO в полости конвертора с использованием двухъярусных фурм доля лома увеличивается на 5%, т.е. при дожигании около 40%, выделяемого CO из зоны продувки, дополнительный расход лома возрастает на 50 кг/т стали.

В конверторах с донным дутьем дожигание отходящих газов, содержащих не только CO, но и H_2 , является еще более эффективным. Это способствует увеличению доли лома в шихте еще на 10 кг/т без заметного разгара футеровки и снижения выхода годного.

Анализ результатов исследования показывает, что параметры эффективности дожигания CO в существенной мере зависят от конструкции двухъярусной фурмы, уровня расположения сопел дожигания над ванной, интенсивности продувки металла кислородом и других факторов (Рис. 6).

С увеличением интенсивности продувки (I_{O_2}) и расхода O_2 на дожигание CO ($I_{O_2}^{дож}$) над ванной, теплоотвод из зоны продувки в остальные объемы возрастает:

$$Q_{от} = \begin{cases} \alpha_{\Sigma}(T_{p.з.} - T_M) \cdot S_{p.з.} \text{ при} \\ S_{p.з.} = 1,2\pi \cdot d_x \cdot \sqrt{L_c^2 + (d_x/2)^2} \cdot n \end{cases}, \quad (6)$$

где $T_{p.з.}$ и T_M – температуры в зоне продувки и металла, К; α_{Σ} – усредненный коэффициент теплоотдачи путем конвекции и излучения, Вт/(м²·ч); d_x, L_c, n – диаметр и длина струи, число струй.

Из анализа уравнения (6) следует, что применение газоструйной системы из O_2 позволяет при увеличении I_{O_2} и $S_{p.з.}$ повышать выход CO из ванны, что способствует при увеличении $I_{O_2}^{дож}$ повысить α_{Σ} и $Q_{от}$.

В этих условиях увеличивается содержание CO_2 в отходящих конверторных газах, причем при увеличении содержания CO_2 в газах на

1% возрастает приход тепла в ванну на 8,4 МДж/т стали.

Суммарный приход тепла от действия факелов дожигания газоструйной системы над зоной продувки равен: $Q_{\Sigma} = Q_{\text{дож}}^{\text{CO}} + Q_{\text{бр}}$.

При ударе факела дожигания СО о поверхность металла происходит теплопередача в соответствии с уравнением:

$$Q_{\text{дож}}^{\text{CO}} = \alpha_{\Sigma} \cdot S_{\text{с}} \cdot (T_{\text{с}} - T_{\text{м}}), \quad (7)$$

где $S_{\text{с}}$ и $T_{\text{с}}$ – площадь контакта струи с металлом и ее температура.

Количество тепла, полученное ванной за счет возвращения брызг металла, определяли по выражению:

$$Q_{\text{бр}} = M_{\text{бр}} \cdot \overline{C_{\text{бр}}} \cdot \Delta T, \quad (8)$$

где $M_{\text{бр}}$ и $\overline{C_{\text{бр}}}$ – масса и теплоемкость брызг; ΔT – изменение температуры брызг, К.

Таким образом, применение газоструйной системы из O_2 для дожигания СО над зоной продувки в конвертере позволяет в существенной мере улучшить энергетические, экологические и технологические показатели плавки стали.

СПИСОК ЛИТЕРАТУРЫ

1. Меркер Э.Э., Карпенко Г.А. Эффективность кислородно - конверторных процессов производства стали с дожиганием СО в отходящих газах. // Изв. ВУЗов "Черная металлургия", №4, 2000 г., с. 12 - 14.
2. Кожухов А.А., Меркер Э.Э. и др. Исследование вспенивания конверторной ванны. // Изв. ВУЗов "Черная металлургия", №9, 2000 г., с. 16 - 19.
3. Меркер Э.Э., Карпенко Г.А. Организация газодинамической защиты над зоной продувки в конвертере с учетом влияния шлака. // Изв. ВУЗов "Черная металлургия", №3, 2001 г., с. 18 - 22.
4. Меркер Э.Э., Карпенко Г.А. Дожигание монооксида углерода в конвертере с учетом влияния шлака. // Изв. ВУЗов "Черная металлургия", №5, 2001 г., с. 12 - 16.
5. Карпенко Г.А., Кожухов А.А., Меркер Э.Э. Повышение эффективности процесса дожигания СО в конвертере // Изв. ВУЗов "Черная металлургия", №5, 2005 г., с. 18 - 20.

Работа представлена на II научную международную конференцию «Приоритетные направления развития науки, технологий и техники», 20-27 ноября 2006 г., Шарм-эль-шейх (Египет). Поступила в редакцию 12.01.2007 г.

КОМПЬЮТЕРНОЕ МОДЕЛИРОВАНИЕ ТРАНСФОРМАТОРНО-ТИРИСТОРНЫХ УСТРОЙСТВ СИЛОВОЙ ЭЛЕКТРОНИКИ

Нажимов А.В.

Нижегородский государственный технический университет

Нижний Новгород, Россия

Компьютерное моделирование в настоящее время является основным инструментом исследования, которое позволяет просчитать различные режимы работы электротехнического устройства и предсказать его поведение в аварийных режимах работы. Оно сочетает в себе малые затраты на проведение научных исследований и высокую эффективность.

В настоящее время разработка надежных бесконтактных устройств для регулирования напряжения нагрузки, ограничения токов КЗ или улучшения качества напряжения в схемах питания мощных электроприемников и их последующее внедрение невозможны без изучения электромагнитных и коммутационных процессов в переходных режимах работы, когда происходит перевод устройства из одного режима работы в другой. Учет характера таких динамических процессов необходим для определения оптимального алгоритма работы устройства. Это, в свою очередь, обеспечит минимальную перегрузку элементов силовой цепи устройства, а также позволит осуществлять надежную коммутацию полупроводниковых вентилях (тиристоров).

Трансформаторно-тиристорные преобразователи – это, как правило, мощные устройства силовой электроники, работающие на высоких напряжениях. Проектирование и создание таких устройств требует огромных капитальных затрат. При этом выход устройства из строя во время испытаний недопустим. Таким образом преимущества имитационного компьютерного моделирования перед физическим становятся очевидными.

Для построения компьютерной модели устройства силовой электроники необходимо по предварительно составленным схемам замещения составить математическую модель на основании законов Кирхгофа. По полученной математической модели с использованием специализированных программных пакетов строится компьютерная модель. Данные программные пакеты должны позволять проводить анализ электромагнитных процессов в схемах повышенной сложности, неоднократно изменяющих свою топологию в течение времени моделирования. Существуют также специализированные программные пакеты для исследования электрических схем, в них упрощена процедура создания математической модели, т.е. существует набор готовых моделей блоков электротехнических устройств, из которых составляется нужная схема.