

СПИСОК ЛИТЕРАТУРЫ

1. Российская Федерация. Законы. О промышленной безопасности опасных производственных объектов: федер. закон: [принят Гос. Думой 20 июня 1997 г.: одобрен Советом Федерации 21 июля 1997 г. (с изменениями на 30 декабря 2008)].
2. Общие правила взрывобезопасности для взрывопожароопасных химических, нефтехимических и нефтеперерабатывающих производств: ПБ 09-540-03: утв. Ростехнадзором России 05.05.2003 – СПб.: ДЕАН, 2003. – 112 с.
3. Дозорцев В.М., Кнеллер Д.В. Типовой компьютерный тренажерный комплекс для обучения операторов ТП // Автоматизация в промышленности. – 2003. – № 2. – С. 9–4.
4. Дозорцев В. М., Кнеллер Д.В. Технологические компьютерные тренажеры: все, что вы всегда хотели знать // Промышленные контроллеры и АСУ. – 2004. – № 12. – С. 1–13.
5. Дозорцев В.М. Современные компьютерные тренажеры для обучения операторов ТП: состояние и направления ближайшего развития // Автоматизация в промышленности. – 2007. – № 7. – С. 30–36.
6. Куник Е.Г., Коваленко А.Н., Лишенко С.А. Архитектура компьютерного тренажера для обучения операторов АСУ ТП // Радиозлектроника. Информатика. Управление. – 2009. – № 1. – С. 128–131.
7. Галкин Н.П., Крутиков А.Б. Технология фтора. – М.: Атомиздат, 1968. – 188 с.
8. Делимарский Ю.Д. Теоретические основы электролиза ионных расплавов. – М.: Металлургия, 1985. – 234 с.

Поступила 18.09.2009 г.

УДК 004.023

РЕАЛИЗАЦИЯ СИСТЕМЫ ПОДДЕРЖКИ ПРИНЯТИЯ РЕШЕНИЙ В ДОМЕННОМ ПРОИЗВОДСТВЕ

А.В. Сучков, В.Г. Лисиенко

Уральский государственный технический университет – УПИ им. первого Президента России Б.Н. Ельцина, г. Екатеринбург

E-mail: A_suchkov@list.ru

Проанализированы подходы к построению системы поддержки принятия решений для доменного производства. Предложен алгоритм нахождения управляющих воздействий, для достижения требуемых выходных параметров с помощью балансовой модели печи. Предложены наборы входных и выходных параметров системы поддержки принятия решений, способ получения результатов (рекомендаций) и приведение их множества к удобному для пользователя виду.

Ключевые слова:

Система поддержки принятия решений, доменная печь, математическая модель, эвристический алгоритм, программа-советчик, метод полного перебора.

Key words:

Decision support system, blast furnace, mathematical model, heuristic algorithm, program-adviser, method of full search.

Система поддержки принятия решений (СППР) предназначена для получения такого набора значений управляющих воздействий доменного процесса, который позволяет получить желаемое состояние заданного множества выходных показателей. Для этого целесообразно использовать математические модели доменного процесса. Сложность заключается в том, что обычно входы модели соответствуют выходам СППР. Поэтому для определения управляющих воздействий возникает необходимость многократно использовать модель доменного производства с учетом ограничений на его параметры для получения экстремального значения целевой функции. В общем случае может быть несколько заметно отличающихся друг от друга решений и желательно, чтобы все они были найдены. В советчике (СППР) должен присутствовать базовый вариант, сочетающий входные и выходные параметры печи, принятые в качестве нормы в данный момент для данного производства. Соответственно, поиск решений необходим, когда по какой-то причине базовый вариант поддерживать невозможно или его нужно изменить.

Для реализации данного подхода предлагается соответствующая процедура, которая предусматривает выполнение ряда этапов.

1. Выбор модели доменного процесса, ее программная реализация (если отсутствует) и модификация (при необходимости).
2. Формирование целевого критерия модели управления.
3. Определение выходных переменных модели управления, их желаемых значений, допустимых погрешностей.
4. Определение набора управляющих воздействий для данной ситуации и пределов их варьирования.
5. Выбор шага изменения значений для каждого из управляющих воздействий.
6. Нахождение подходящих наборов значений управляющих воздействий.
7. Сокращение найденного на этапе 6 множества решений.
8. Формирование рекомендаций, в случае, если на этапе 6 не найдены решения.

9. Доведение полученной информации до лица, принимающего решения (ЛПР).

Рассмотрим подробнее реализацию каждого этапа процедуры.

Этап 1. В зависимости от степени детализации явлений при аналитическом описании процесса различают балансовые и кинетические модели доменного процесса [1]. В основе балансовых лежат материальные и тепловые балансы, устанавливающие взаимосвязи между режимными параметрами процесса, показателями работы печи и показателями ее теплового состояния. Такая модель может включать зональные тепловые балансы, тогда имеется возможность определить характер распределения тепла по высоте печи, рассчитать температуру колошниковога газа. Составление и решение системы дифференциальных уравнений, описывающих закономерности тепло- и массообмена с учетом кинетики протекающих в объеме печи химических реакций, лежит в основе так называемых кинетических моделей доменного процесса.

Кинетические модели являются более полными, но отличаются низким быстродействием из-за наличия сложных систем уравнений. Кроме того, их использование для стороннего человека является затруднительным. Авторы [2] приводят высказывание А.Б. Шура и Ю.А. Шура, что кинетикоматематическими моделями могут пользоваться лишь их разработчики и подтверждают справедливость этого высказывания на начало XXI в. Поэтому на сегодняшний день наиболее целесообразно в качестве основы СППР применять балансовые модели. Было принято решение использовать существующую балансовую модель, разработанную в Институте металлургии УрО РАН, включающую зональные тепловые балансы.

В основе данной математической модели лежат следующие предпосылки [3]. Теплообмен в доменной печи завершен, т. е. на значительной части высоты существует малый перепад температур между газом и шихтой. В определенной зоне печи на стадии восстановления магнетита (Fe_3O_4) реакция восстановления вюстита (FeO) стремится к термодинамическому равновесию. В модели реализуется так называемое зональное восстановление, когда восстановление различных оксидов железа совмещается по времени. Решение системы уравнений для нижней зоны, представленной условием термодинамического равновесия, а именно константой равновесия реакции восстановления FeO оксидом углерода, материальным и тепловым балансами, дополненной уравнением теплового баланса для верхней зоны, позволяет рассчитать основные показатели доменной плавки. Определенные таким образом показатели являются предельно достижимыми (минимальными) при данных параметрах шихты и дутья. Задание фактических степеней использования CO и H_2 позволяет определить фактические показатели доменной плавки.

Описываемая математическая модель была усовершенствована, в нее была добавлена возможность расчета индексов теплового состояния верха и низа печи [4], что позволило улучшить оценку качества теплового состояния.

Этап 2. В качестве целевого критерия процесса управления выбран удельный расход кокса. При решении поставленной задачи необходимо обеспечить минимальный удельный расход кокса и, по возможности, относительное разнообразие соответствующих наборов рекомендуемых значений управляющих воздействий, чтобы лицо, принимающее решения (ЛПР), мог выбрать наиболее предпочтительный из них, в том числе исходя из наличия неучитываемых и трудноформализуемых факторов, в том числе субъективных. При этом можно определить относительно малое отличие некоторого значения удельного расхода кокса от наилучшего, которое не является критичным. Поэтому предполагается, что значения удельного расхода кокса, удаленные от оптимального менее чем на эту величину, считаются решением задачи. Величина эта может быть принята для кокса равной 3...5 кг/т чугуна. Данное обстоятельство позволит существенно увеличить разнообразие наборов входных параметров, позволяющих достичь заданных результатов.

Необходимо отметить, что удельный расход кокса может не задаваться в качестве целевого критерия, а быть выходной величиной с заданными ограничениями.

Этап 3. Выходными параметрами модели управления с задаваемыми ограничениями являются температура фурменного очага, содержание кремния в чугуне, производительность, расход дутья. При решении практических задач не обязательно задавать ограничения для всех этих параметров, могут быть выбраны некоторые из них. Требуемые значения этих величин определяются из текущих производственных требований. Температура фурменного очага должна быть около 1900...2000 °С, содержание кремния в чугуне зависит от типа производимого чугуна, но обычно от 0,3 до 1 %, производительность зависит от размеров печи, приблизительно ее можно оценить так [5]:

$$P = V / K_{\text{нпо}}, \text{ т/сут},$$

где V – полезный объем печи, м^3 ; $K_{\text{нпо}}$ – коэффициент использования полезного объема, на современных печах он равен приблизительно 0,55 ($\text{м}^3 \cdot \text{сут}$)/т.

Расход дутья составляет 1,6...2,3 объема печи в минуту [5].

В реализованной системе ограничения на выходной параметр задается числом и допустимой погрешностью. Их конкретные значения выбираются исходя из технических возможностей, требуемого качества производимой продукции или обеспечения нормального хода процесса.

Этап 4. На данном этапе необходимо выбрать управляющие характеристики. Были выбраны сле-

дующие параметры: расход природного газа, количество подаваемой угольной пыли, параметры дутья (температура, влажность, доля кислорода), содержание железа в рудной части шихты, основность шлака. Если нет возможности менять какой-либо из управляющих параметров, или это нецелесообразно, может быть задана его точечная оценка. Тогда параметр можно считать просто входным, а не управляющим.

В процессе работы пользователь должен выбрать пределы изменения управляющих параметров. Их определяют исходя из объективных технических и экономических требований или опыта ЛПР (в этом случае, очевидно, технические ограничения должны соблюдаться). Можно выделить общие ограничения, присутствующие на сегодняшний день в доменном производстве [2, 4].

Минимальная температура дутья может составлять около 800...900 °С, максимальная около 1200...1300 °С. Влажность дутья может изменяться от 3 до 40 г/м³. Содержание кислорода в дутье может меняться от 21 до 30 % и выше (в сочетании с вдуванием углеводородов). Расход природного газа варьируется от 0 до ~130 м³/т чугуна. На отдельных предприятиях указанные верхние пределы могут быть ниже из-за ограничений оборудования.

Содержание железа в шихте может изменяться примерно от 50 до 65 %. Основность шлаков находится в диапазоне 0,8...1,3.

Учитывая объективные ограничения, ЛПР может задать более узкий диапазон, чем это позволяют технические и экономические условия, исходя из собственного опыта и текущих условий плавки. Это может исключить из рассмотрения достижимые, но нежелательные в данных условиях значения управляющих параметров.

Этап 5. После формирования набора управляющих воздействий и допустимых границ их изменения для реализации предлагаемого подхода необходимо определить величины шагов дискретизации для управляющих воздействий. Величины шагов выбираются исходя из практических соображений, т. е. настолько малыми, что дальнейшее уменьшение не имеет практического смысла, (например, 0,05...0,1 % для изменения содержания кислорода в дутье, 5...10 °С для температуры дутья и т. д.). При этом изменение управляющего воздействия на один шаг приводит к незначительному изменению значения выходной характеристики печи. С другой стороны, значения шагов могут быть ограничены техническими возможностями оборудования и это надо учитывать для конкретной печи.

Этап 6. На этом этапе происходит поиск управляющих воздействий в соответствии с заданными условиями. Для определения наборов управляющих воздействий используется метод сканирования (полного перебора). В этом случае осуществляется перебор всех сочетаний дискретных значений управляющих величин. Для каждого сочетания произ-

водится расчет выходных величин с помощью модели печи, в случае удовлетворения выходных параметров заданным ограничениям, сочетание входных воздействий считается возможным решением. При наличии критерия качества, из полученного набора возможных решений отбираются только имеющие удельный расход кокса, близкий к минимальному (в пределах заданной погрешности).

При этом количество расчетов (итераций) по модели составит:

$$N = \prod_{i=1...n} P_i,$$

где P_i — число шагов, на которые разбивается диапазон i входной величины; n — число управляющих величин.

Число шагов P_i для i входной величины рассчитывается так:

$$P_i = \text{Int}((X_{\text{кон}} - X_{\text{нач}})/S_i) + 1,$$

где Int — целая часть дробного числа (операция округления дробного числа в меньшую сторону); $X_{\text{нач}}$ и $X_{\text{кон}}$ — нижняя и верхняя граница диапазона; S_i — величина шага

Так как просчитываются все возможные варианты комбинаций входных параметров с заданной точностью, количество расчетов по модели получается большим. Оно зависит от количества входных параметров и величины шага изменения каждого параметра. Например, если входных величин 4, а шаг для каждой величины задан так, что от минимально возможного до максимального значения получается 40 шагов, то количество расчетов составит $40^4 = 2560000$. Все вычисления продолжаются до нескольких минут на компьютере с частотой процессора 1800 МГц.

Может случиться так, что перебор всех вариантов не дал результатов. Предусмотрена возможность вывода рекомендаций по изменению заданных входных и выходных параметров в случае отсутствия решений. Реализации этой возможности посвящен этап 8.

Этап 7. Здесь происходит сокращение найденного множества решений, которые были найдены в результате полного перебора всех возможных сочетаний значений входных параметров. Если же решения не найдены, данный этап пропускается.

Для упрощения описания действий, производимых со значениями параметров доменной печи, введем многомерное пространство, координатами которого являются управляющие воздействия, единственным отрезком для каждого измерения является шаг изменения соответствующего параметра. Точке в пространстве будет соответствовать набор управляющих воздействий.

Количество решений может быть значительным, доходя до нескольких сотен. Анализ такого числа рекомендаций для ЛПР неприемлем, поэтому необходимо сокращение их количества, с максимально возможным сохранением разнообразия

возможностей исходного количества вариантов. Нужно оставить часть вариантов, которые могут быть охарактеризованы как ключевые, остальные сократить. Для этого предлагается следующий эвристический алгоритм.

Шаг 1. Разбиение всего множества решений на подмножества по принципу неграничащих между собой областей.

Определение принадлежности точки той или иной области происходит по условию: если между двумя точками расстояние не превышает одного шага по всем измерениям, то они принадлежат одной области.

При разбиении всего множества берут произвольную точку и относят ее к области № 1, проверяют все остальные на выполнение условия принадлежности и точки, для которых оно выполняется, помечаются принадлежащими области № 1. Для каждой из этих новых точек проводится та же процедура – проверяется принадлежность к одной с ними области остальных точек и при выполнении условия найденные точки также причисляются к области № 1. Проверка продолжается далее и на каком-то шаге не будет найдено новых точек, принадлежащих данной области. Тогда из оставшихся выбирают произвольную точку, помечают ее принадлежащей области № 2 и аналогичным образом формируют область, анализируя только точки, не входящие пока ни в одну из областей. Также формируются остальные области. Очевидно, что точки, принадлежащие разным областям, всегда имеют расстояние более одного шага хотя бы по одному измерению.

Шаг 2. Разбиение каждого полученного на предыдущем шаге подмножества на группы определенного размера.

Полученные области делятся на группы исходя из интервала точности для каждого управляющего параметра. Эти интервалы задаются в программе с возможностью изменения или без такой возможности. Их величина может составлять около 10 шагов. Для разбиения области оценивается ее протяженность в шагах по каждому измерению. По измерению с наибольшей протяженностью область делится на равные части. Их количество находится как отношение протяженности области к интервалу точности, округленное в большую сторону до целого числа. Каждая из полученных частей аналогичным образом оценивается по другим измерениям и разбивается по измерению с наибольшей протяженностью. Таким образом группы делятся до тех пор, пока размер каждой из них не станет равным или меньшим интервала точности по каждому измерению.

Можно пояснить это на примере для двух управляющих параметров (рисунок). Имеется некоторое количество точек, принадлежащее одной области, т. е. каждая точка имеет соседнюю, расстояние с которой не более одного шага по обоим измере-

ниям. Примем интервал точности равным 3 шагам для обоих измерений. Протяженность области по оси первого управляющего воздействия (горизонтально) составляет 11 шагов, по вертикали – 8, таким образом, область должна разбиваться по первому измерению. Количество интервалов, на которые область должна быть разбита $11/3=3,6666$. Так как количество интервалов должно быть целым, необходимо дробное число округлить в большую сторону, получаем 4 интервала. Делим всю область на 4 вертикальных полосы равной ширины ($11/4=2,75$ шага). Далее необходимо определить количество интервалов и линии разбиения по вертикали для каждой полосы. Полученная на предыдущем разбиении высота области первой полосы 2 шага, что соответствует одному интервалу, второй и третьей – по 6 шагов, поэтому их нужно разбить на $6/3=2$ интервала. Четвертая полоса имеет 1 шаг в высоту и 1 вертикальный интервал. В описываемом случае точки, лежащие на линии, считаются принадлежащими нижней области для горизонтальной линии и левой для вертикальной, другими словами причисляются к области с меньшими значениями соответствующего параметра.

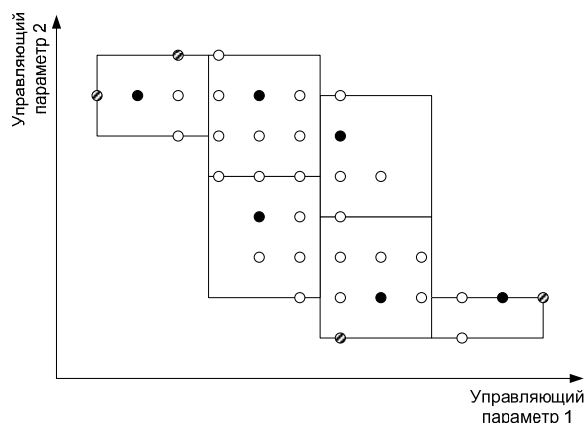


Рисунок. Разбиение областей для сокращения количества результатов

Величина интервала точности определяет степень сокращения результатов. Для большего количества итоговых результатов интервалы точности должны быть уменьшены. Также, интервалы точности могут быть разного размера для разных управляющих величин (с учетом единой метрики) для обеспечения большей плотности результатов по отдельным измерениям.

Шаг 3. Нахождение результирующей точки для каждой группы.

Для каждой группы находится средняя точка. Значения ее координат определяются как средние величины соответствующих координат всех точек группы. Средняя точка не берется в качестве результирующей, поскольку в общем случае она может не удовлетворять заданному выходному условию. К тому же координаты средней точки могут иметь вид конечной или бесконечной десятичной дроби, не столь удобной для восприятия. Во избе-

жание дополнительных проверок и преобразований в качестве результирующей выбирается точка, уже входящая в число решений, ближайшая к средней.

На рис. 1 точки, ближайшие к средней точке области выделены черным. В данном примере число точек невелико и всего два управляющих параметра, на практике исходное число точек может достигать до нескольких тысяч, измерений до 5, сокращенное количество результатов до 20–30.

Шаг 4. Формирование группы итоговых результатов.

Создается массив из точек, ближайших к средним, найденных в предыдущем пункте.

Для рассматриваемого примера формируется массив, в котором хранятся координаты для шести точек и соответствующие им значения выходных параметров.

Шаг 5. Добавление в итоговый массив крайних точек по каждому измерению.

Часто в процессе управления наиболее предпочтительными являются крайние значения управляющих параметров, обеспечивающие нужные результаты, например, минимальное содержание железа в шихте (что позволяет использовать более дешевую руду). Поэтому итоговый массив дополняется точками, имеющими минимальное и максимальное значение какого-либо параметра. Таких точек в два раза больше, чем управляющих воздействий. Если имеются разные точки с одинаковым крайним значением, из них находится средняя и добавляется в набор. Если минимальное или максимальное значение по данному измерению уже присутствует в одном из результатов итогового множества, соответствующие точки не добавляются; если разброс значений по данному измерению слишком мал (берется величина в несколько шагов), минимум и максимум также не ищутся.

В рассматриваемом примере крайних точек 4, это заштрихованные точки на рисунке.

Этап 8. В случае если решения не найдены, может быть задействована процедура, дающая рекомендации по изменению заданных пользователем ограничений для входных и выходных параметров. Особенно актуально это в случае задания ЛПР диапазонов для управляющих параметров более узкими, чем позволяют технические возможности и требования. В программе поочередно меняются входные параметры так, чтобы один из параметров выходил за нижний предел, указанный пользователем, затем за верхний, но оставался в пределах существующих технических ограничений, непреодолимых для производства в настоящее время, либо в пределах, выход за которые не имеет смысла. После проверки расширенного диапазона одного из параметров, он устанавливается таким, каким был до изменения и меняется следующая входная величина. При каждом изменении одного из диапазонов вычисляются выходные значения, проверяется их соответствие заданным. Если результат проверки по-

ложительный, уменьшение или увеличение параметра выдается (после окончания процедуры) в качестве рекомендации пользователю. Такая рекомендация может выглядеть следующим образом: «Снизить минимальный заданный уровень расхода природного газа». Величина шага при переборе увеличивается в 2 раза по сравнению с основным поиском решений для ускорения вычислений. Также проверяется возможность получения решения при изменении входных величин, заданных пользователем однозначно. В этом случае для величины задаются диапазоны для изменения ниже заданного уровня и выше, производятся вычисления, проверка выходных величин и формирование рекомендаций.

Далее выполняются аналогичные действия, но изменению подвергаются выходные параметры. Выходные параметры задаются пользователем в виде числа с погрешностью, что можно рассматривать как интервал от $A-b$ до $A+b$, где A – значение, b – погрешность. Поочередно для каждого выходного параметра устанавливаются границы интервала ниже исходной и выше ее, производятся вычисления и выводятся рекомендации.

Этап 9. На данном этапе происходит вывод результатов. Полученное множество решений выводится в виде сочетаний значений входных параметров и соответствующих им выходных. Эти наборы представляются в виде таблицы, где строкам соответствуют разные решения, а столбцам входные (в левой части) и выходные (в правой части) параметры. Вывод производится в программе MS Excel. При отсутствии решений выводятся рекомендации в соответствии с предыдущим этапом.

Если пользователь хочет изменить какие-либо начальные условия с целью получения других рекомендаций, он может это сделать после вывода результатов. После запуска процедура выработки рекомендаций выполнится еще раз, и будут получены новые значения управляющих воздействий.

Заключение

Разработана система поддержки принятия решений для доменного производства на основе балансовой математической модели печи. Система установлена в доменном цехе Чусовского металлургического завода. Рассмотренные принципы построения системы могут использоваться и для других производств и технологических процессов, для которых существует подходящая математическая модель.

С развитием микропроцессорной техники, в том числе многоядерных процессоров, ростом скорости вычислений, предложенный метод создания советчика (системы поддержки принятия решений) становится более актуальным, поскольку появляется возможность увеличить количество управляющих параметров, доступных для перебора, уменьшить шаг изменения входной величины (таким образом повысив точность), уменьшить время вычислений.

СПИСОК ЛИТЕРАТУРЫ

1. Информационные системы в металлургии / Н.А. Спирин, Ю.В. Ипатов, В.И. Лобанов, В.А. Краснобаев, В.В. Лавров, В.Ю. Рыболовлев, В.С. Швыдкий, С.А. Загайнов, О.П. Онорин. — Екатеринбург: Уральский государственный технический университет — УПИ, 2001. — 617 с.
2. Дмитриев А.Н., Шумаков Н.С., Леонтьев Л.И., Онорин О.П. Основы теории и технологии доменной плавки. — Екатеринбург: УрО РАН, 2005. — 548 с.
3. Дмитриев А.Н. Математическое моделирование двумерных процессов в доменной печи // Вычислительные методы и программирование. — 2004. — Т. 5. — С. 252–267.
4. Китаев Б.И., Ярошенко Ю.Г., Суханов Е.Л. и др. Теплотехника доменного процесса. — М.: Металлургия, 1978. — 248 с.
5. Воскобойников В.Г., Кудрин В.А., Якушев А.М. Общая металлургия. — М.: Металлургия, 1998. — 768 с.

Поступила 10.09.2009 г.

УДК 004.942:616.12-07

ИМИТАЦИОННОЕ МОДЕЛИРОВАНИЕ И ВИЗУАЛИЗАЦИЯ ЭЛЕКТРИЧЕСКОЙ АКТИВНОСТИ МИОКАРДА

Н.М. Федотов, С.В. Жарый, А.А., Шелупанов, А.И. Петш*, А.С. Коблош

Томский государственный университет систем управления и радиоэлектроники

*Сибирский государственный медицинский университет, г. Томск

E-mail: fmobile@rambler.ru

Разработаны программы топической диагностики для селективной абляции аритмогенных зон. Диагностика производится путем анализа результатов имитационного моделирования, которые представляют собой визуализированные процессы электрической активности миокарда на синтезированных моделях трехмерных поверхностей внутренних структур камер сердца. Моделирование осуществляется по данным ограниченного набора экспериментальных точек, вычисленных с помощью системы локализации электродов. Результаты представляются во временной: динамические и статические карты последовательности активации миокарда, расположенные на поверхности модели миокарда, с контролем уровня активности миокарда по амплитуде регистрируемых сигналов, и в частотной областях: картограмма распределения доминантных частот. Проведена проверка применимости программ в клинической практике.

Ключевые слова:

Аритмия, топическая диагностика, имитационное моделирование, селективная абляция.

Key words:

Arrhythmia, topical diagnostics, simulation modeling, selective ablation.

Точные механизмы, лежащие в основе сложных форм аритмий, остаются неясными, несмотря на активные исследования в данной области. Проводится компьютерное моделирование, направленное на изучение особенностей взаимодействия электрических волн фибрилляции со сложными трехмерными структурами предсердий [1, 2]. В некоторых исследованиях [3, 4] при применении картирования высокого разрешения распространения волны возбуждения анализировались продолжительные эпизоды фибрилляции предсердий по временным и частотным характеристикам, и было показано, что распространение возбуждения во время фибрилляции предсердий не является хаотичным, а имеет высокую степень пространственно-временной периодичности. А это значит, что непрерывность фибрилляции предсердий может зависеть от постоянной активности небольшого числа локальных областей с собственным автоматизмом и взаимодействием распространяющихся волн возбуждения в предсердии.

Высокая активность исследований приводит к постоянному совершенствованию тактических

подходов к лечению сложных форм аритмий сердца методом катетерной абляции. В последнее время наряду с традиционными методами поиска зон патологической активности и нарушений проводимости миокарда, основанными на фронтовом характере распространения возбуждения по поверхности миокарда и на измерении интервалов активации миокарда относительно опорных зон, активно исследуются иные методы, к примеру, основанные на исследовании спектральных характеристик электрических сигналов возбуждения миокарда [5, 6] или методы, связанные со стимуляцией парасимпатической нервной системой [7, 8].

Типичная технология лечения аритмий заключается в создании обширных линейных повреждений в предсердиях методом катетерной абляции вокруг коллекторов легочных вен с зонами линейной абляции, в области крыши левого предсердия и по задней стенке между коллекторами легочных вен для блокировки путей распространения фронта возбуждения. Обширные повреждения хотя и эффективно излечивают многие формы аритмий, но приводят повышению риска появления ослож-