



The program complex, which is the basis of decision taking system for optimization of foundry technologies, is presented in the article. The method of optimization is built on the principles of the fuzzy sets theory.

*Е. И. МАРУКОВИЧ, В. А. ПУМПУР, В. Г. ГУЗОВСКИЙ,
ИТМ НАН Беларуси*

УДК 517.977:621.74

РАЗРАБОТКА СИСТЕМЫ ПРИНЯТИЯ РЕШЕНИЙ ДЛЯ ОПТИМИЗАЦИИ ЛИТЕЙНЫХ ТЕХНОЛОГИЙ

К настоящему времени нашли широкое применение системы автоматизированного проектирования литейных технологий, позволяющие проектировать литейную оснастку и оборудование (CAD-системы) и моделировать заполнение литейной формы и затвердевание отливки (CAE-системы), такие, как ProCAST и PowerCAST (США), MAGMASOFT (ФРГ), ПОЛИГОН, LVMFlow (Россия) и др. [1]. Эти системы разработаны на основе использования численных методов и позволяют осуществить отработку литейной технологии на стадии проектирования, а также оптимизацию уже имеющейся технологии. Однако они мало эффективны для проектирования процессов непрерывного литья.

Кроме того, хорошо известно, что слишком сложные модели нередко приводят к менее точным результатам, чем простые и проверенные. Это объясняется и неопределенностью самих исходных данных, которые необходимы для исчерпывающего описания модели, и невозможностью получить их в достаточном объеме для многих процессов литья. Поэтому получение оптимального решения при использовании CAD- и CAE-систем обычно является нетривиальной задачей.

При автоматизированном проектировании оптимального литейного оборудования и режимов литья модель подвергают многокритериальному анализу по показателям качества процесса литья. Технолог получает в свое распоряжение достаточно большой объем информации, на основании которой необходимо принять окончательное решение по технологии изготовления отливки. Это зачастую является непростой задачей, решаемой на этапе анализа результатов, даже при использовании CAD-систем. Поэтому остается актуальной проблема разработки методов оптимизации, позволяющих автоматизировать процесс принятия наиболее адекватных решений на основе анализа результатов оптимизации процессов литья при

многовариантной постановке оптимизационных задач. В этом случае присутствующая при решении задачи оптимизации неопределенность переносится с этапа анализа результатов оптимизации на этап постановки задачи.

При решении задач по определению оптимального состава, структуры и свойств материалов отливок, оптимальных параметров литейных машин и оборудования и технологических режимов литья неизбежно сталкиваются с проблемой принятия решений в условиях расплывчатости информации об объекте исследования. Например, когда лицо, принимающее решения, может утверждать лишь о степени предпочтительности одного из технологических параметров, определяющих режим литья, перед остальными, или о разных степенях предпочтительности значений параметра на разных интервалах его изменения.

Кроме того, решение задач, связанных с качеством, себестоимостью и конкурентоспособностью изготавливаемой литейной продукции, неразрывно связано с поиском оптимальных решений с учетом множества параметров, оказывающих иногда противоположное влияние на исследуемый объект, и критериев, которые не могут быть удовлетворены одновременно в равной и максимальной степени. В этих задачах, как правило, известны лишь диапазоны изменения параметров, влияющих на показатели качества процессов теплообмена при затвердевании. В этом случае информация от лица, принимающего решение, носит субъективный нестатистический характер. Наиболее эффективным аппаратом для формализации такого рода информации является аппарат теории нечетких множеств [2], который нашел применение при решении задач оптимизации не только в литейной отрасли [3, 4], но и во многих других областях человеческой деятельности [5]. Пакет программ, который использовался для решения задач оптимизации, был реализован с ориентацией на дис-

ковую операционную систему (ДОС) и позволял сделать расчет для одного варианта постановки задачи оптимизации, т.е. не мог применяться для автоматизированного поиска решений на заданных интервалах изменения входных параметров.

Предлагается система принятия решений на основе программного комплекса с визуальным представлением и многовариантной оценкой решений оптимизационных задач, реализующего основные положения теории нечетких множеств и позволяющего отыскивать единственное глобальное решение в условиях неопределенности (на интервалах изменения) входных факторов. Система принятия решений дает возможность на основе эффективной и оперативной многовариантной оценки выработать наилучшее решение оптимизационных задач, при постановке которых можно учесть информацию нечеткого нестатистического характера.

В качестве исходных данных задачи оптимизации выступают полиномиальные зависимости выходных переменных (показателей качества процессов литья, частных критериев качества) Y_1, Y_2, \dots, Y_k от входных управляющих переменных (факторов, ограничений) x_1, x_2, \dots, x_n . При этом вводятся (рис. 1):

- количество факторов n , т.е. количество входных переменных;
- количество неранжируемых переменных, т.е. переменных, которые не должны подвергаться процедуре ранжирования;
- общее количество переменных $n+k$;
- наименования входных и выходных переменных;
- вид полиномиальных уравнений, описывающих зависимость выходных переменных от факторов.

В любом технологическом процессе, как правило, имеется несколько показателей качества, т.е. выходных параметров. Каждый из показателей качества в разной степени зависит от входных факторов. Значения показателей качества и управляющих переменных могут быть ограничены.

Кроме того, возможны ситуации, когда удовлетворение одного показателя качества неизбежно ведет к ухудшению других, т.е. критерии Y_1, Y_2, \dots, Y_k могут быть противоречивыми (антагонистическими). В таких случаях необходимо решать задачу многокритериальной оптимизации с учетом важности каждого из критериев (ранга) с целью отыскания глобального компромиссного решения.

Сущность методики решения задачи многокритериальной опти-

мизации на основе теории нечетких множеств состоит в выполнении следующих основных этапов.

1. Сравнение степени важности критериев качества и ограничений. Такого рода сравнение осуществляется на основе корреляционного и статистического анализов полиномиальных зависимостей и позволяет оценить степень влияния входных факторов на критерии качества. Кроме того, при оценке степени важности критериев и ограничений учитывается информация нечеткого качественного характера, к примеру, опыт и интуиция инженера-технолога.

2. Парное сравнение критериев качества и ограничений. На экран выводится шкала лингвистических оценок относительной важности критериев ограничений. Эта шкала построена на основе сопоставления каждому высказыванию (лингвистическому выражению) числового значения из натурального ряда. Например, высказыванию “строго эквивалентно” поставлено в соответствие число 1, а высказыванию “строго намного предпочтительнее” – число 17 (рис. 2). На основе шкалы лингвистических оценок заполняется матрица парных сравнений.

3. Ранжирование критериев качества и ограничений, т.е. расчет величины степени важности. Ранги определяются на основе матрицы парных сравнений с помощью метода наименьших квадратов путем минимизации функционала

$$\Phi = \sum_{i=1}^N \sum_{j=1}^N (A_{ij}\alpha_j - \alpha_i)^2 \longrightarrow \min \quad (1)$$

при ограничении $\sum_{j=1}^N \alpha_j = N$,

где N – количество ранжируемых критериев и ограничений; A_{ij} – элементы матрицы парных сравнений; α – ранги.

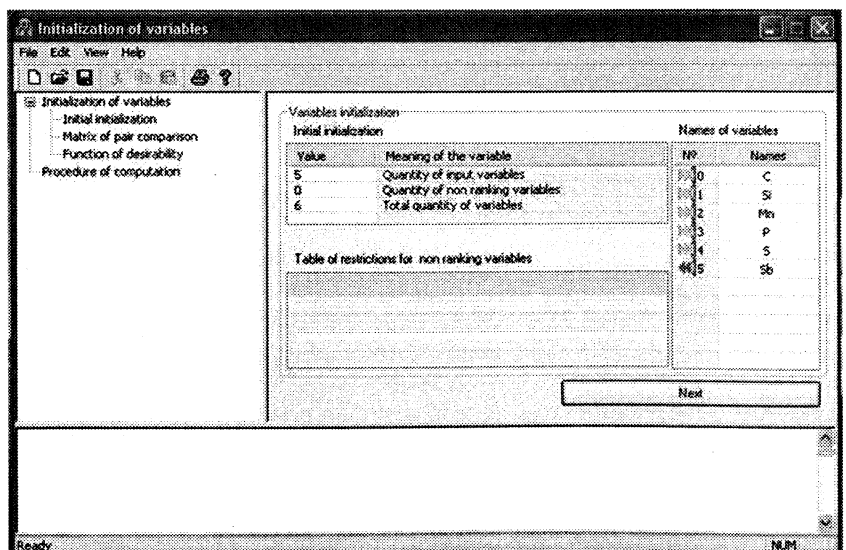


Рис. 1. Диалоговое окно программы для ввода исходных данных оптимизационной задачи

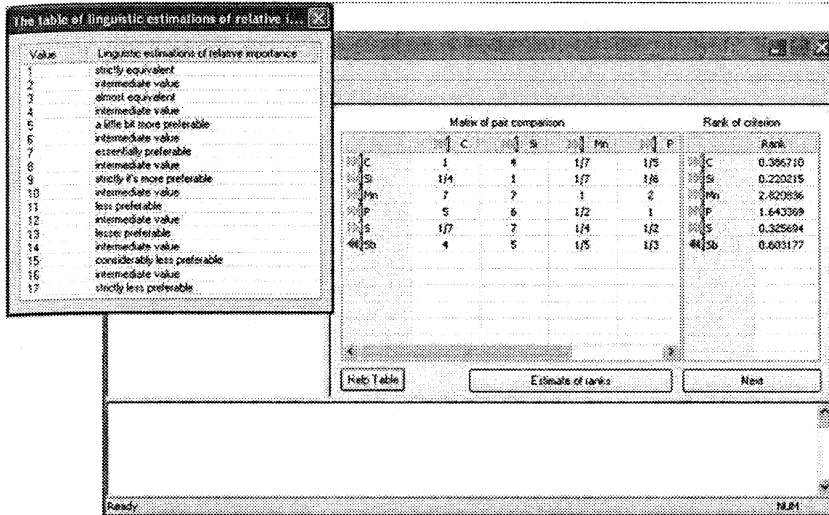


Рис. 2. Диалоговое окно для ранжирования показателей качества и ограничений

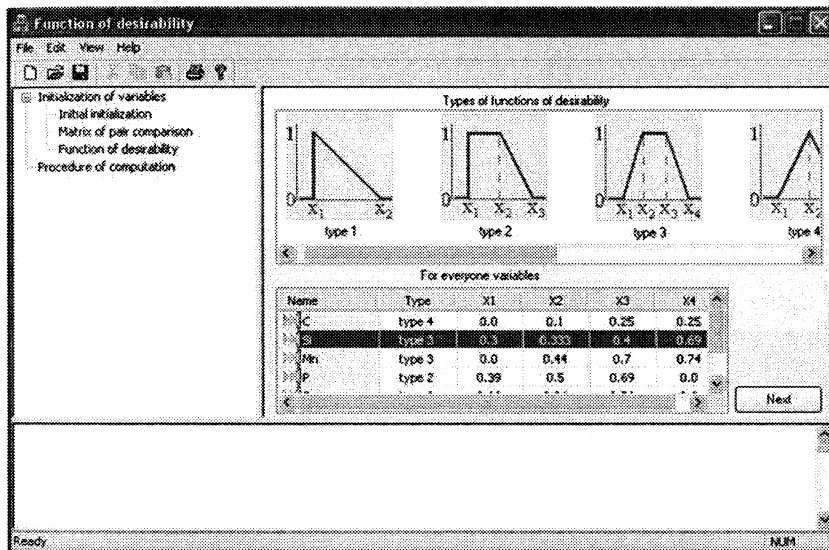


Рис. 3. Диалоговое окно для выбора функций желательности

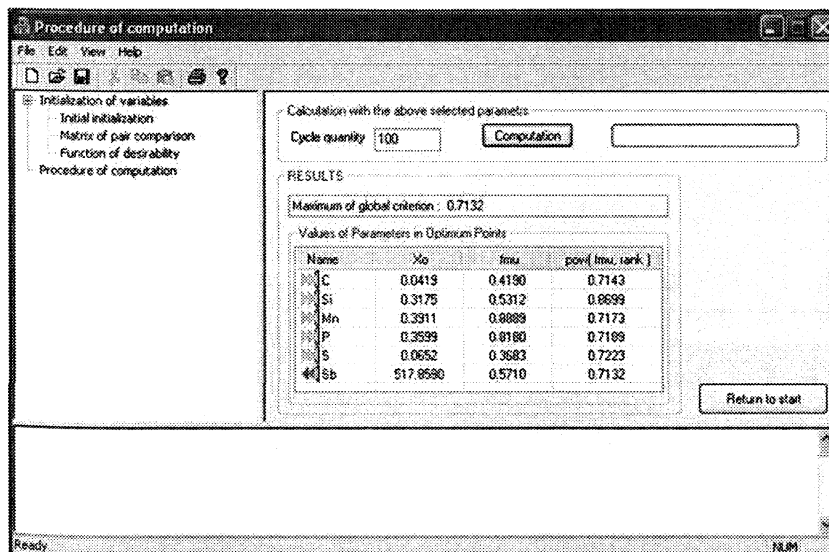


Рис. 4. Диалоговое окно с результатами решения задачи оптимизации

4. Формирование функций желательности (предпочтительности, принадлежности) критериев качества и ограничений. На данном этапе предусмотрен вывод на экран изображений функций желательности различного вида с тем, чтобы пользователь смог выбрать тип и ввести значения функций желательности для критериев качества и ограничений. Эти функции изменяют свои значения от 0 до 1 и указывают на степень желательности изменения значений того или иного критерия качества или ограничения на разных интервалах изменения факторов.

Все возможные варианты (типы) функций желательности выводятся на экран для выбора пользователем (рис. 3). Для каждого из критериев и ограничений выбирается тип функции желательности и указываются значения ее аргумента в опорных точках.

5. Свертка частных критериев качества и ограничений в единый глобальный критерий с целью получения единственного глобального решения и поиск решения при данной постановке оптимизационной задачи. При этом рассматриваются три способа свертки [3]:

$$D_1 = \frac{1}{N} \sum_{i=1}^N \alpha_i \mu_i, \quad D_2 = \prod_{i=1}^N \mu_i^{\alpha_i}, \quad (2)$$

$$D_3 = \min(\mu_1^{\alpha_1}, \dots, \mu_N^{\alpha_N}),$$

где D_1, D_2, D_3 – аддитивный, мультипликативный, максиминный способы свертки.

Из трех решений выбирается наилучшее, при котором в максимальной степени удовлетворяются критерии качества и ограничения с наивысшими рангами (рис. 4).

На четвертом этапе имеется возможность рассмотрения при решении задачи нескольких типов функции желательности для одного и того же критерия поочередно, т.е. возможность решения задачи сразу при нескольких ее постановках. Для каждого из проектов задачи оптимизации находится единственное глобальное решение, которое сравнивается, исходя из величины глобального критерия и

степени удовлетворения частным критериям качества, имеющим наиболее высокие ранги.

Таким образом, осуществляется решение задачи выбора наилучшей альтернативы или многокритериальной оптимизации в зависимости от типа решаемой проблемы. В этом состоит сущность системы принятия решений для оптимизации литейных технологий, разрабатываемой в ИТМ НАН Беларуси.

Программная реализация методики нечеткой многокритериальной оптимизации процессов выполнена на языке программирования C++ с использованием средств Microsoft Visual C++ 2005 на базе библиотеки классов Microsoft Foundation Class (MFC) для операционной системы Windows XP. Разработанный программный комплекс реали-

зован в виде процедур-членов класса производного от базового класса MFC – CObject.

Литература

1. Рысев М.А. Системы компьютерного моделирования литейных процессов // Литейное производство. 2000. № 4. С. 31–33.
2. Заде Л. Математика сегодня. М., 1974. С. 5–49.
3. Севастьянов П.В., Туманов Н.В. Многокритериальная идентификация и оптимизация технологических процессов. Мн.: Наука і техника, 1990.
4. Тимошпольский В.И., Севастьянов П.В., Пумпур В.А. и др. // Изв. вузов. Энергетика. 1988. №7. С. 80–85.
5. Дилигенский Н.В., Дымова Л.Г., Севастьянов П.В. Нечеткое моделирование и многокритериальная оптимизация производственных систем в условиях неопределенности: технология, экономика, экология. М.: Изд-во "Машиностроение-1", 2004.



О проведении VIII съезда литейщиков России и выставки "Литье-2007"

Российская ассоциация литейщиков, Правительство г. Ростов-на-Дону, Департамент промышленности Минпромэнерго России, ОАО "Ростовский литейный завод" проводят в г. Ростов-на-Дону с 23 по 27 апреля 2007 г. VIII съезд литейщиков России и Международную выставку "Литье-2007".

Съезд и выставка будут проходить в выставочном центре "Вертол Экспо" по адресу: 344068, г. Ростов-на-Дону, ул. Нагибина, 30.

Программой съезда предусмотрено проведение пленарных заседаний с докладами и сообщениями ведущих специалистов и ученых в области литейного производства России и зарубежных стран по всем переделам литейного производства, обсуждение концепций реконструкции литейных цехов и заводов на базе освоения прогрессивных технологических процессов, материалов и оборудования, организация деловых встреч, круглых столов, обмен опытом, посещение предприятий г. Ростов-на-Дону и области.

К VIII съезду планируется издание трудов. Материалы для публикации необходимо представлять в печатном и электронном видах, объемом не более 6 страниц текста и 3 рис. Текст должен быть набран в текстовом редакторе Microsoft Word, шрифт – Time New Roman. Таблицы и рисунки выполняются в виде фотографий и графических рисунков на отдельных листах.

Материалы для публикации, заявки на участие в работе съезда и выставки "Литье-2007" необходимо направлять до 1 февраля 2007 г. в Российскую ассоциацию литейщиков по адресу: 123557, Москва, Пресненский вал, 14, факс: (495) 253-5091, (495) 253-71-95 или E-mail: foundryral@mtu-net.ru.