

в направлении d от точки x^k .

1. Банди Б. Основы линейного программирования. М.: радио и связь, 1989.
2. Dantzing G.B. Linear Programming and Extensions. Princeton University Press. Princeton, NJ, 1998.
3. Bazaraa M.S., Sherali M.D., Shetty C.M. Nonlinear Programming: Theory and Algorithms. New York: John Wiley, 1993.
4. Himmelblan D. Applied Nonlinear Programming. NY: McGraw-Hill, 1992.

Поступила 16.02.2009г.

УДК 683.03

Б.В.Дурняк, Я.Равецки

АНАЛИЗ ТЕОРЕТИЧЕСКИХ СРЕДСТВ ФУНКЦИОНАЛЬНО ОРИЕНТИРОВАННЫХ МЕТОДОВ ПРИНЯТИЯ РЕШЕНИЙ

Необходимость анализа принимаемого решения по управлению предприятием, в большинстве случаев обуславливается следующими причинами:

- если решение по управлению принимается специалистом в соответствующей области, которого будем называть: лицом принимающим решение (*LPR*),
- если существуют или возникают альтернативные решения,
- если в результате использования управляющего решения, не достигнут планируемый результат,
- если возник запрос пользователя на проведение анализа сформированного решения.

В значительном количестве случаев, для формирования решений, которые принимаются *LPR*, используются различные системы, например, экспертные системы, системы формирования рекомендаций по принятию решений и др. Во всех случаях, полученное решение, если оно является критическим, которые чаще всего касаются решений по инвестированию, решений о изменении профиля производства, других критических для предприятия преобразований или затрат, требует дополнительной проверки или анализа некоторой альтернативной системой, которой является система анализа принятых решений. Это особенно важно, поскольку, критическое управление характерно тем, что кроме технических последствий от такого управления возникают юридические и социальные последствия. В связи с этим, решения по управлению должны иметь высокий уровень достоверности. Такая достоверность является важным параметром

принимаемого решения (PR), который будем обозначать символом P^D .

Вторым важным параметром PR является время принятия решения P^T . К параметрам характеризующим PR , будем относить также величину успешности управляемого решения P^U и величину определяющую количество этапов, в течении которых управляющее решение реализуется и обозначать этот параметр будем символом P^E .

Принятые параметры необходимо измерять. Для этого необходимо сформировать способы оценки их количественной величины. Очевидно, что P^D имеет свое максимальное значение в случае, когда PR реализует планируемый результат его использования. С целью нормализации этих значений примем, что $\max P^D = 1$. В случае, когда использование PR не привело ни к каким изменениям, которые были бы связаны с целью управления, то $P^D = 0$. Если реализация PR привела к ухудшению или к потерям, то $P^D < 0$. При этом, полная потеря предприятия или его эквивалента будет соответствовать случаю, когда $P^D = -1$. Эту часть возможных значений P^D для PR рассматривать не будем. Примем, что P^D для рассматриваемых PR буде изменяться в пределах $[0,1]$. Значения P^D в диапазоне $[0,1]$ будет изменяться дискретно, что определяется способом его вычисления. В рамках данного исследования, величина P^D будет зависеть от количества используемых средств поддержки и формирования решения, а также от количества отдельных факторов используемых для формирования решения. Принимается по умолчанию, что все факторы и средства способствуют прогрессивному изменению принимаемого решения. В этом случае, величину параметра P^D можно вычислить в соответствии с соотношением:

$$P^D = \sum_{i=1}^m \beta_i x_i, \quad (1)$$

где x_i - отдельные средства, которые используются при формировании PR , β_i - величина прогрессивного изменения PR , которая, в свою очередь, представляет собой функцию $\beta_i = f_i(y_{i1}, \dots, y_{ik})$, где y_{ij} - отдельные параметры используемых средств формирования PR . Будем считать, что используемые информационные средства, для формирования решений по управлению, обеспечивают заданную эффективность по обеспечению некоторого уровня достоверности принятого решения. Исходя из соотношения (1), может показаться, что для достижения $P^D = \max$, целесообразно использовать, возможно, большее количество средств формирования PR . На самом деле, параметр β_i , если он на очередном x_i стремится к нулю, дискредитирует целесообразность использования определенного x_i . В связи с этим, возникает задача определения необходимости расширения ассортимента средств используемых при

формировании решений. Эту задачу можно решать на основе использования системы анализа решений (*SAR*). Таким образом, одной из важных функций *SAR* является определение достигнутого, на некотором этапе формирования решения, значения параметра PR .

Параметр P^T имеет принципиальное значение для описания возможностей PR . Принятие решения по управлению предприятием всегда должно реализовываться в течении некоторого времени, интервал которого имеет верхнее ограничение. Это означает, что одним из требований к процессу принятия решений является требование по его формированию в период времени, который является не большим заданного максимально возможного интервала времени. Поэтому, можно принять, что для каждого PR_i задается отдельное ΔT_{\max} .

В некотором смысле можно считать, что для параметра P^D в системах формирования решения существует ограничение, определяемое параметром P^T . Интервал ΔT имеет не только верхнюю границу, которая определяется условиями объекта управления, но и нижнюю границу, которая определяется естественной скоростью функционирования объекта управления. Это означает, что управляющее воздействие, которое определяется PR_i , не должно использоваться раньше момента, который определен функциональной необходимостью в таком управлении объектом. Таким образом, можно записать, что для ΔT_i в каждом конкретном случае определен интервал $[t_{i0}, t_{im}]$, который определяет $\Delta T_i = \max = t_{im}$ и $\Delta T_{i\min} = t_{i0}$.

Параметр успешности принимаемого решения P^U в наибольшей мере касается *SAR* и, соответственно, ее характеризует. Рассмотрим коротко, чем отличается этот параметр от параметра P^D . Для реализации процесса по принятию решения необходимо сформировать исходные требования к управляющему решению. Поэтому, сформированное управляющее решение должно соответствовать исходным требованиям не только на качественном уровне, что может контролировать *LPR*, но и на количественном уровне, что, в большинстве случаев, выполняется *SAR*. Мера совпадения управляющего решения (*UR*) с исходными требованиями определяется параметром P^D . Следует отметить, что в этом случае к исходным данным или исходным требованиям относится описание цели управления. В действительности, исходные требования, включая и цель управления, особенно, если ΔT_i достаточно большое, не могут быть описанными или определенными с необходимой точностью, поскольку, большинство критических управлений касается, прежде всего, многофакторных ситуаций, которые, в отличие от технических объектов, достаточно сложно формировать. В связи с этим, возникает задача уточнения исходных данных

и в соответствии с таким уточнением возникает задача корректировки сформированного UR . Решение этой задачи можно осуществлять следующими способами:

- частично эту задачу можно решать в SAR за счет моделирования ситуации, которой необходимо управлять,

- на основании анализа результатов управления, если соответствующее UR может понадобиться в будущем, то оно корректируется в соответствии с данными, полученными в результате реального управления.

Таким образом, параметр P^U описывает уровень успешности, при реализации управляющего воздействия на объект или при реализации управляющего воздействия на модель объекта и его количественное значение определяется величиной разности фактического значения интегрального параметра результатов управления и величиной интегрального параметра, определенного в SAR . В данном случае принимается, что у управляемого объекта всегда можно определить интегральный параметр, например, увеличение объема прибыли, увеличение объема выпускаемой продукции, увеличение ассортимента выпускаемой продукции и т.д. Исходя из изложенного, можно утверждать, что параметры P^D и P^U представляют собой взаимодополняющие параметры. Если управляющее решение понадобится повторить, тогда имеет место $P^U \rightarrow P^{D*}$ и на этапе очередного управления соответствующий параметр P^U принимается как исходное значение параметра P^D .

Параметр количества итераций формирования управляющего решения, по своему существу, является тривиальным, но в связи с использованием SAR , этот параметр достаточно важный по следующим причинам:

- анализ некоторого промежуточного варианта UR системы SAR может привести к изменению количества итераций, которые необходимы для формирования UR в конечном виде, причем, такое изменение может привести к уменьшению количества необходимых итераций или к увеличению их количества,

- поскольку параметр P^T определяет временные ограничения на формирование UR , а время работы каждого средства, которое предполагается использовать нормировано, то может оказаться, что P^T не предоставляет системе принятия решений (SPR) возможности реализовать необходимое количество итераций, которое задается параметром P^E , в этом случае решить возникшую проблему можно только на основании использования системы SAR , которая может сформировать UR на текущей итерации его построения таким образом, что бы количество итераций можно было уменьшить,

- в SPR , как правило, за один этап использования одного средства, которое входит в состав SPR , можно сформировать некоторый вариант UR^* ,

которое характеризуется определенными количественными значениями параметров и повторное этого же средства для улучшения соответствующего варианта UR^* не возможно, поскольку, средства UR^* строятся по оптимизационным принципам, в связи с этим, параметр P^E может также определять количество средств, формирования UR , которое необходимо, для осуществления преобразований некоторых исходных данных в требуемом UR .

Последняя из приведенных причин важности P^E иллюстрирует достаточно тесную связь между процессами формирования PR на каждом из этапов с особенностями принятого решения. Можно предположить, что количество отдельных средств формирования PR в SAR является заданным и характеризует SAR в целом. Тем не менее, параметр P^E , по существу, определяет меру полноты использования некоторой версии SAR в решении задач управления. Если эта полнота не соответствует реальным требованиям по формированию UR , то SAR необходимо модифицировать. В простейшем случае, такая модификация состоит в исключении определенных средств из состава SPR . В более сложных случаях, такое несоответствие приводит к необходимости расширения функциональных возможностей SAR путем включения в систему дополнительных средств. В этом случае возникает проблема в определении необходимого средства и в его формировании. Эти задачи решаются с помощью системы SAR . Поэтому, можно утверждать, что параметр P^E является в определенном смысле управляющим для SAR . Приведенный выше анализ составляет некоторую качественную предпосылку для выбора принципов формирования модели системы SAR . Параметр P^E определяет структуру SAR как такую, в рамках которой можно реализовывать выбор различных типов средств преобразования некоторых входных данных на различных стадиях формирования UR . Параметр P^U определяет систему SAR как такую, которая не связывается жестко с отдельным классом исходных данных и отдельным классом целей, например, целей максимизации задачи по некоторым параметрам и т.д. Параметр P^T определяет необходимость модификации процесса преобразований, которые осуществляются, при формировании некоторого UR . Параметр P^D позволяет решать задачу проверки меры соответствия результатов текущего решения поставленной цели на каждом этапе формирования PR , если оно формируется итерационно или при условии, что $P^E \neq 0$. Наиболее подходящей моделью, для выбранных условий или ограничений на способ ее функционирования, является эволюционная модель, при условии ее модификации с целью, по возможности, максимального удовлетворения приведенным условиям и ограничениям [1,2].

Рассмотрим основные принципы формирования и функционирования

эволюционной модели и рассмотрим необходимые модификации общей схемы реализации алгоритмов эволюционного процесса, в целом.

Поскольку, на качественном уровне принципы формирования эволюционных моделей достаточно широко обсуждаются [3], то рассмотрим возможное формальное описание соответствующих моделей. Параметры характеризующие PR и UR являются достаточно общими. Это означает, что они, в целом, характеризуют процессы происходящие в SAR и SPR . Поэтому, целесообразно, в данном случае SAR , реализовывать не в соответствии с некоторой аналитической моделью описывающей объект управления или описывающей декларируемые способы управления, а в виде обобщенной функциональной структуры, которая позволяет использовать разнородные функциональные элементы, в качестве которых рассматриваются схемы генетических алгоритмов и их преобразования. Формально, такую структуру можно представить в виде следующего соотношения:

$$UR = F(P^D, P^T, P^U, P^E, x_1, \dots, x_n, t_i),$$

где x_1, \dots, x_n - исходные данные, необходимые для инициации процессов поиска решений, t_i - моменты инициации текущего решения. Множество входных данных или входных параметров в приведенном соотношении не полно.

Рассмотрим отдельные функции, составляющие базовые преобразования в генетических схемах, которые будем использовать для построения SAR . Для учета всех особенностей SAR , определим ее функциональную ориентацию в виде требований или перечня задач, которые должны решаться системой:

- исходя из сформулированного решения, которое предоставляется SAR , необходимо определить введенные выше параметры и сформировать интерпретационные расширения вычисленных значений параметров,
- на основе оценок сформированного решения, в случае инициализации процесса модификации вывести решение, управление, с помощью которого, соответствовало бы эволюционным изменениям в объекте управления,
- выявление критических последствий использования сформированного системой SPR решения для реализации управляющих действий.

Особенностью системы SAR , которая исследуется в данном случае, является то, что для решения перечисленных задач, SAR не требует дополнительной информации о объекте управления. В связи с этим, SAR должна обладать свойствами обеспечивающими прогрессивность результатов полученных для объекта управления и эти свойства должны быть внутренними по отношению к внешним факторам и, прежде всего, к объекту управления. Такие особенности обеспечиваются благодаря следующим факторам, реализуемым в SAR :

- использования генетических схем для алгоритмов преобразования

исходного решения,

- использования механизмов прогнозирования изменений выбранных параметров анализируемого решения,
- формирования специализированных форм представления данных в соответствующих базах, которые, по существу, являются специализированными базами данных о ранее анализированных решениях,
- использования, в качестве вспомогательных функций, наряду с детерминированными, недетерминированных функций из области теории вероятностей и области нечеткой математики, при обосновании целесообразности их использования.

Параметры P^D и P^U , по своему существу, наиболее приближенные к предметной области объекта управления и при традиционном подходе их анализ требовал бы дополнительной информации о объекте и, в первую очередь, информации о цели управления этим объектом. Как правило, такая информация, в случаях управления производством, является неполной. Решения, формируемые системой SPR , в большинстве случаев требуют анализа, который реализуется системой SAR . Поэтому, рассмотрим более детально возможную интерпретацию P^D и P^U в рамках системы SAR и, соответственно, в предметной области алгоритмов, являющихся базовыми для SAR . Для этого примем ряд положений или условий, которые будем считать исходными в рамках принципов построения SAR , исходя из приведенных выше особенностей.

Условие 1. Если процесс формирования PR использует алгоритм эволюционного характера и имеет место, например, $PR \rightarrow UR$, то использование UR для управления, приведет к эволюционным изменениям в объекте управления.

Использование SAR , формально, можно представить в виде следующего соотношения:

$$[UR = SAR(PR)] \vee [PR \rightarrow SAR(PR) \rightarrow UR] \quad (2)$$

Процесс анализа произвольного объекта и PR , в том числе, может состоять из следующих элементов:

- декомпозиции PR на составляющие компоненты,
- определения параметров, составляющих компоненты,
- в обратном преобразовании компонент PR в их исходную форму,
- в анализе алгоритмов прямых преобразований исходных данных, на основе которых формировалось PR ,
- в выявлении признаков эволюционных преобразований на всех этапах формирования UR .

Использование систем SAR , при управлении производством, необходимо только в тех случаях, когда имеют место следующие условия:

- описание цели носит качественный характер, а параметры, которые ее характеризуют, заданы в виде некоторых интервалов допустимых значений,

если параметры не оцениваются тем или иным числом, а более сложным образом,

- если могут быть описаны условия оптимизации результатов управления объектом,
- если цель может быть представлена в виде многопараметрического описания.

В рамках приведенных условий, параметр P^D определяет факт попадания характеристик описывающих цель управления в требуемые области значений, а параметр меры успешности P^U определяет соотношение текущей величины отдельной характеристики цели с ее оптимальным значением.

Для того, что бы установить связь параметров P^D , P^U , P^T и P^E с характеристиками алгоритмов преобразований, которые используются для анализа PR , и, в случае необходимости, модификации PR в соответствии с соотношением (1), определим характерные признаки эволюционных преобразований. Эти определения будут основываться на следующих условиях, которым должны соответствовать алгоритмы, обладающие эволюционными признаками. Прежде всего, отметим, что эволюционными признаками могут обладать только системы преобразований, которые состоят из различных отдельных алгоритмов.

Условие 2. Эволюционное преобразование, в целом, или его базовые фрагменты должны иметь итерационный характер: $PR_{i+1} = R(PR_i)$.

Условие 3. Среди алгоритмов, составляющих эволюционный процесс, должны использоваться алгоритмы, которые осуществляют преобразования нечетко заданных переменных.

К нечетко заданным переменным и соответствующим алгоритмам могут относиться алгоритмы, которые осуществляют преобразования, описываемые функциями теории вероятностей, преобразованиями, описываемые в теории нечетких арифметик и рядом других преобразований отдельных переменных или некоторых структур.

Условие 4. Эволюционные преобразования должны представлять собой некоторую иерархию отдельных преобразований или отдельных алгоритмов с различными уровнями общности таких преобразований.

Уровень общности некоторых преобразований определяется количеством параметров и, соответственно, переменных, которые используются в рамках отдельного преобразования составляющего эволюционирующую систему более частных преобразований, что может быть представлено в виде соотношения:

$$SAR(PR_i) = F_1 \{ P_1, P_2, \dots, [P_i = F_i(P_{i1}, \dots, [P_{ij} = F_j(P_{ij1}, \dots, P_{ijm})]], \dots, P_{ir}, \dots, P_{im} \}.$$

В рамках такой иерархической зависимости может существовать достаточно много разнообразных разветвлений, в которых соблюдается дисциплина взаимозависимостей переменных и параметров.

Итерационная процедура, которая обуславливается условием 2, позволяет определять параметр P^E . Однозначное соответствие между P^E и количеством итераций может быть установлено в том случае, если итерации подвергается весь процесс эволюционного преобразования. Естественным условием целесообразности реализации: $UR = SAR(PR)$, при $P^E > 1$, является наличие обратной связи между объектом управления и, в данном случае, системой SAR . Из этого вытекает, что интерпретация UR , как однократного действия по управлению, не корректна в случае достаточно сложных и многопараметрических объектов управления. Более того, случаи, когда имеет место:

$$PR \rightarrow SAR(PR) \rightarrow UR[P_i^D, (P_i^E > 1), P^T, x, t_i]$$

представляют собой исключения. Возникновение обратных связей в процессе реализации UR , как функции преобразований PR , формально можно представить в виде следующего соотношения:

$$UR = [SAR(PR) \rightarrow [UR_1 \rightarrow UR_2(P_1^D, P_1^U) \rightarrow \dots \rightarrow UR_k(P_{k-1}^D, P_{k-1}^U)]]$$

1. Goldberg D.E. Algorytmy genetyczne i ich zastosowania. Warszawa: WNT, 2003.
2. Arabas J. Wyklady z algorytmow ewolucyjnych. Warszawa: WNT, 2001.
3. Michalewicz Z. Algorytmy genetyczne+struktury danych=programy ewolucyjne. Warszawa: WNT, 2003.
4. Michalewicz Z., Fogel D.B. Jak to rozwiaczac czyli nowoczesna heurystyka. Warszawa: WNT, 2006.

Поступила 9.02.2009р.

УДК 532.1-3:621.315.58:517.968

А. В. Жильцов, канд. техн. наук, ИПМЭ им. Г.Е.Пухова НАН Украины

ТРЕХМЕРНАЯ ИНТЕГРО-ДИФФЕРЕНЦИАЛЬНАЯ МОДЕЛЬ ГИДРОДИНАМИЧЕСКОГО ПРОЦЕССА В МАШИНЕ НЕПРЕРЫВНОГО ЛИТЬЯ ЗАГОТОВОК

Постановка задачи. Рассмотрим движение жидкой стали в кристаллизаторе машины непрерывного литья заготовок (рис.1). Принимая коэффициент вязкости постоянным, уравнения описывающие движение несжимаемой жидкости в поле внешних сил имеют вид [1, 2]:

$$\frac{\partial \vec{V}}{\partial t} + (\vec{V}, \text{grad}) \vec{V} = -\frac{1}{\rho} \text{grad } p + \nu \Delta \vec{V} + \frac{1}{\rho} \vec{f}, \quad (1)$$

$$\text{div} \vec{V} = 0, \quad (2)$$