ПРИМЕНЕНИЕ СИСТЕМНОГО АНАЛИЗА К РЕШЕНИЮ ЗАДАЧ В ДОБЫВАЮЩЕЙ ПРОМЫШЛЕННОСТИ

док-р техн. наук, проф. Романов В.Н.

Санкт-Петербургский государственный горный университет
Факультет приборостроения, информационных и электронных систем
Кафедра системного анализа и управления инновациями

Аннотация

В статье рассмотрено применение системного анализа к решению проблем в добывающих отраслях. В качестве приложения дается алгоритм оценки динамических свойств систем при многофакторных воздействиях на основе нечетких моделей.

Ключевые слова

Системный анализ в добывающих отраслях, системы разработки полезных ископаемых, динамические свойства систем, многофакторные воздействия, нечеткие модели.

Abstract

This paper presents applications of system analysis for solving of problems in mining industry. The estimation of dynamic properties of systems under a condition of multi-factoring influence in terms of fuzzy models is given.

Keywords

System analysis in mining industry, dynamic properties of systems, multi-factoring influence, fuzzy models.

1. Системы и их свойства

Полезные ископаемые – это одна из приоритетных составляющих среды обитания человека на современном этапе развития человечества. Разработка полезных ископаемых является составной частью системы ресурсного обеспечения, или в более широком плане, системы жизнеобеспечения человеческого общества. Мы будем говорить о системе разработки полезных ископаемых (далее СРПИ) и относить ее к классу больших систем, так как для нее характерны большая размерность, (пространственная и временная), сложность и большой масштаб влияния на все стороны жизни общества (политику, экономику и социальную сферу). Будем различать СРПИ в малом (локальную СРПИ) и СРПИ в целом (глобальную СРПИ). СРПИ в малом относится к разработке отдельного вида полезных ископаемых или нескольких видов на локальном участке территории. Она представляет собой связное объединение людей, техники и локального участка природной среды. СРПИ в целом относится к разработке отдельного вида полезных ископаемых или всех видов в национальном или мировом масштабе. Она представляется как несвязное или слабо связное объединение локальных СРПИ. СРПИ является открытой системой, взаимодействующей с другими внешними системами: политической, экономической, социальной, технологической, системой образования, системой научных исследований, природной средой. Рассмотрим структурные и динамические свойства СРПИ. К важнейшим структурным свойствам относятся вертикальная целостность и горизонтальная обособленность, иерархическая упорядоченность и централизация. Вертикальная целостность характерна для СРПИ в малом, а горизонтальная обособленность – для СРПИ в целом, так как последняя является суммой слабо связанных частей (СРПИ в малом). Поэтому СРПИ в целом является распределенной системой с относительно независимыми (замкнутыми) локальными СРПИ. Для локальных СРПИ наблюдается тенденция к усилению иерархии и централизации в виде создания холдингов, что, на наш взгляд, вряд ли оправдано. Более эффективным является создание кооперативных объединений с общим парком техники и сбытом. К основным динамическим свойствам СРПИ относятся устойчивость, (стабильность), адаптивность, живучесть, инерционность, оптимизация. Подсистемы, входящие в СРПИ, так же как и внешние системы, с которыми СРПИ взаимодействует, имеют разное характеристическое время происходящих процессов (процессов восстановления), разное время жизни, разный жизненный цикл и разную динамику (ритм изменения). Особенно чувствительна в этом отношении природная среда, в которой последствия проявляются не сразу, но зато имеют большой масштаб и являются необратимыми.

Следует иметь в виду, что уменьшение энтропии и тенденция к самосохранению большой системы, такой как СРПИ, происходит в основном за счет природной среды. Поэтому стремление к поддержанию себя в «людской» компоненте СРПИ ведет к разрушению природной среды, что подрывает природную основу существования человека как вида. Что касается человека и его организаций, то следует отметить, что человек подвергается в СРПИ многофакторным воздействиям, причем настолько значительным, что они могут превысить за определенное длительное время предельный уровень адаптации. Происходит ступенчатое снижение степени адаптации человека через определенные «характеристические» промежутки времени, пока не наступают необратимые последствия. Перечисленные компоненты СРПИ имеют кратко- и долговременный периоды изменения динамических свойств. При значительном дисбалансе периодов самовосстановления подсистем последствия могут дать накопленный эффект и привести к разрушению системы. Отдельно следует остановиться на оптимизации СРПИ в национальном масштабе. В настоящее время степень проявления этого свойства довольно низкая, что обусловлено потребительским отношением к природной среде, отсутствием оценок минимально достаточного уровня добычи полезных ископаемых и низким коэффициентом их использования.

2. Системные задачи в области разработки полезных ископаемых

Системный анализ применяется в задачах управления, проектирования, принятия решений, оценивания.

Общеизвестно, что системный анализ является основой современного управления. Он позволяет определить организацию системы, обеспечивающую требуемое поведение. Это особенно важно для систем в области разработки полезных ископаемых, представляющих собой связную совокупность людей, техники и природы.

При создании роботов и интеллектуальных систем, основанных на знаниях, для добывающих отраслей системный анализ является необходимым инструментом разработки базы знаний, системы принятия решений и функциональной схемы в целом.

Системное проектирование позволяет разработать оптимальный проект, пригодный на длительную перспективу, посредством учета влияния внешних систем, прямых и косвенных издержек, минимизации отрицательных последствий и побочных эффектов от реализации проекта.

В задачах принятия решений и оценивания системный анализ позволяет выбрать оптимальную стратегию действий, учитывающую интересы всех затрагиваемых внешних систем, по совокупности критериев. Акцент смещается от чисто технических и экономических критериев к социальным, экологическим и эргономическим критериям.

Особо следует отметить дидактическую роль системного анализа для специалистов добывающих отраслей, где «цена» ошибки часто бывает высокой. Эта роль состоит в развитии правильного мышления, рассудительности, способности принимать взвешенные решения в различной информационной среде.

Для решения системных задач в добывающих отраслях, исследования и моделирования процессов в геосистемах перспективными являются, пока еще слабо используемые в этой области методы топологии, теория многообразий, теория групп, теория бифуркаций и ее ответвление – теория катастроф.

3. Приложение системного анализа к решению задачи оценивания

В качестве приложения мы рассмотрим задачу оценки изменения динамических свойств систем (адаптивности, устойчивости, живучести и т. д.) при одновременном воздействии многих факторов на основе нечетких моделей. Для оценки изменения свойств используем модель с учетом парных взаимодействий

$$y = \sum_i a_i f(x_i) + \sum_{\substack{i,j \\ i \neq j}} a_{ij} f(x_i, x_j), \qquad (1)$$

где y − изменение изучаемой величины (мы выбрали за нулевой уровень постоянное значение y_0), x_i − источники воздействия (факторы) с допустимыми пределами L_{x_i}, a_i − параметры, зависящие от пределов L_{x_i}, которые могут изменяться скачком при некоторых значениях факторов. Конкретную природу таких скачкообразных изменений мы не рассматриваем. Предполагается, что пределы L_{x_i} являются относительными, и мы находимся в допустимой области значений факторов вдали от абсолютных пределов, когда система выходит из строя, и в ней наступают необратимые изменения. Факторы и функции описываются нечеткими градациями в интервале $[OH, OB]$ и принимают значения: ОН (очень низкое), Н (низкое), С (среднее), В (высокое), ОВ (очень высокое). Считаются известными градации, промежуточные между основными: ОН-Н (между очень низким и низким значениями) и т.д., а также предельные градации, лежащие за пределами основного интервала: ООН (очень-очень низкое значение) и ООВ (очень-очень высокое значение). Функции $f(x_i)$ предполагаются периодическими в интервале $[OH, OB]$, в том смысле, что после достижения факторами пределов L_{x_i}, функции изменяются в том же интервале, который, вообще говоря, может отличаться от предыдущего в числовом выражении. Кроме того они допускают разложение по малому параметру ε

$$f(x_i) = x_i^0 + \varepsilon x_i^1 + \varepsilon^2 x_i^2 + \dots, \tag{2}$$

где $x_i^0 \in [OH, OB]$ и аналогично x_i^1 и т.д. Для парных взаимодействий имеем представление

$$f(x_i, x_j) = f(x_i) f(x_j) = x_i^0 x_j^0 + \varepsilon\varphi^1 + \varepsilon^2\varphi^2 + \dots. \tag{3}$$

Сделанные предположения не являются ограничением общности, так как вид функции не конкретизируется, и сделаны для удобства вычислений. Мы рассмотрим для простоты первое приближение, и будем пренебрегать членами с ε в первой степени и выше. В дальнейшем верхний индекс у факторов будет опускаться, так как это не приводит к недоразумениям. Рассмотрим простой частный случай однофакторной модели, чтобы иметь возможность сравнения.

Однофакторная модель

$$y = a_1 f(x_1). \tag{4}$$

Если значение фактора x_1 меньше порога, то есть $x_1 < L_{x_1}$, то примем в качестве начальных значений для фактора и параметра нечеткую градацию

H (низкое значение). Верхнее значение для фактора составляет OB, а параметр имеет постоянное значение $a_1 = H$. При достижении фактором порогового значения, параметр испытывает скачок на одну градацию и становится равным C (среднее значение), а фактор опять изменяется в интервале $[OH, OB]$. Мы опять примем за начальное значение градацию H, чтобы результаты были более наглядными. Вычисления с использованием правил нечеткой арифметики [1, 2] дают

$$x_1 < L_{x_1} : a_1 = H, x_1 = H \to a_1 x_1 = OH, y = OH,$$

$$x_1 < L_{x_1} : a_1 = H, x_1 = OB \to a_1 x_1 \cong H, y = H,$$

$$x_1 \geq L_{x_1} : a_1 = C, x_1 = H \to a_1 x_1 = OH - H, y = OH - H,$$

$$x_1 \geq L_{x_1} : a_1 = C, x_1 = B \to a_1 x_1 \cong C, y \cong C.$$

Двухфакторная модель

$$y = a_1 f(x_1) + a_2 f(x_2) \tag{5}$$

Мы для простоты используем один тип модели для обоих факторов. Вычисления дают

$$x_1 < L_{x_1}, x_2 < L_{x_2} : a_1 = a_2 = H, x_1 = x_2 = H \to a_1 x_1 = OH, a_2 x_2 = OH, y = OH - H,$$

$$x_1 < L_{x_1}, x_2 < L_{x_2} : a_1 = a_2 = H, x_1 = H, x_2 = OB \to a_1 x_1 = OH, a_2 x_2 = H, y = H - C,$$

$$x_1 < L_{x_1}, x_2 < L_{x_2} : a_1 = a_2 = H, x_1 = x_2 = OB \to a_1 x_1 = H, a_2 x_2 = H, y = C - B,$$

$$x_1 \geq L_{x_1}, x_2 < L_{x_2} : a_1 = C, a_2 = H, x_1 = x_2 = H \to a_1 x_1 \cong OH, a_2 x_2 = OH, y \cong H,$$

$$x_1 \geq L_{x_1}, x_2 < L_{x_2} : a_1 = C, a_2 = H, x_1 = H, x_2 = OB \to a_1 x_1 \cong OH, a_2 x_2 = H, y \cong H - C,$$

$$x_1 \geq L_{x_1}, x_2 < L_{x_2} : a_1 = C, a_2 = H, x_1 = OB, x_2 = H \to a_1 x_1 = C, a_2 x_2 = OH, y = C - B,$$

$$x_1 \geq L_{x_1}, x_2 < L_{x_2} : a_1 = C, a_2 = H, x_1 = x_2 = OB \to a_1 x_1 = C, a_2 x_2 = H, y = B - OB,$$

$$x_1 \geq L_{x_1}, x_2 \geq L_{x_2} : a_1 = C, a_2 = C, x_1 = x_2 = H \to a_1 x_1 \cong OH, a_2 x_2 \cong OH, y = H,$$

$$x_1 \geq L_{x_1}, x_2 \geq L_{x_2} : a_1 = C, a_2 = C, x_1 = OB, x_2 = H \to a_1 x_1 \cong C, a_2 x_2 \cong OH, y = C - B,$$

$$x_1 \geq L_{x_1}, x_2 \geq L_{x_2} : a_1 = C, a_2 = C, x_1 = OB, x_2 = OB \to a_1 x_1 \cong C, a_2 x_2 \cong C, y = OB.$$

Результаты для двухфакторной модели показывают, что для y имеется сдвиг на полградации в сторону увеличения по сравнению с однофакторной моделью при тех же условиях; для верхних значений интервала факторов

$x_1 = x_2 = OB$ сдвиг достигает градации. Интерпретация изменения определяется контекстом задачи и здесь не рассматривается, но, очевидно, что в большинстве случаев адаптивность значительно уменьшается.

Двухфакторная модель с взаимодействием

$$y = a_1 f(x_1) + a_2 f(x_2) + a_{12} f(x_1, x_2) \qquad (6)$$

Мы полагаем, что при достижении порога одним из факторов параметр взаимодействия a_{12} возрастает на одну градацию, а при достижении порога обоими факторами мы рассматривали два случая: a_{12} возрастает на одну или две градации. Расчеты дают

$$x_1 < L_{x_1}, x_2 < L_{x_2} : a_1 = a_2 = a_{12} = H, x_1 = x_2 = H \to a_1x_1 = OH, a_2x_2 = OH, a_{12}x_1x_2 = OOH,$$
$$y = OH - H,$$
$$x_1 < L_{x_1}, x_2 < L_{x_2} : a_1 = a_2 = a_{12} = H, x_1 = H, x_2 = OB \to a_1x_1 = OH, a_2x_2 = H, a_{12}x_1x_2 = OH,$$
$$y = C,$$
$$x_1 < L_{x_1}, x_2 < L_{x_2} : a_1 = a_2 = a_{12} = H, x_1 = x_2 = OB \to a_1x_1 = H, a_2x_2 = H, a_{12}x_1x_2 = OH - H,$$
$$y = B - OB,$$
$$x_1 \ge L_{x_1}, x_2 < L_{x_2} : a_1 = a_{12} = C, a_2 = H, x_1 = x_2 = H \to a_1x_1 = OH - OHH, a_2x_2 = OH, a_{12}x_1x_2 = OOH,$$
$$y \cong H,$$
$$x_1 \ge L_{x_1}, x_2 < L_{x_2} : a_1 = a_{12} = C, a_2 = H, x_1 = OB, x_2 = H \to a_1x_1 = C, a_2x_2 = OH, a_{12}x_1x_2 = OH,$$
$$y \cong B,$$
$$x_1 \ge L_{x_1}, x_2 < L_{x_2} : a_1 = a_{12} = C, a_2 = H, x_1 = x_2 = OB \to a_1x_1 = C, a_2x_2 = H, a_{12}x_1x_2 = H - C,$$
$$y = OOB,$$
$$x_1 \ge L_{x_1}, x_2 \ge L_{x_2} : a_1 = a_{12} = C, a_2 = C, x_1 = x_2 = H \to a_1x_1 = OH - OHH, a_2x_2 = OH - OHH,$$
$$a_{12}x_1x_2 = OOH, y = H - HC,$$
$$x_1 \ge L_{x_1}, x_2 \ge L_{x_2} : a_1 = a_2 = C, a_{12} = B, x_1 = x_2 = H \to a_1x_1 = OH - OHH, a_2x_2 = OH - OHH,$$
$$a_{12}x_1x_2 = OH, y = H - C,$$
$$x_1 \ge L_{x_1}, x_2 \ge L_{x_2} : a_1 = a_2 = a_{12} = C, x_1 = H, x_2 = OB \to a_1x_1 = OH - OHH, a_2x_2 \cong C,$$
$$a_{12}x_1x_2 = OH, y = B,$$
$$x_1 \ge L_{x_1}, x_2 \ge L_{x_2} : a_1 = a_2 = C, a_{12} = B, x_1 = H, x_2 = OB, \to a_1x_1 = OH - OHH, a_2x_2 \cong C,$$
$$a_{12}x_1x_2 = OH - H, y = B - OB,$$
$$x_1 \ge L_{x_1}, x_2 \ge L_{x_2} : a_1 = a_2 = a_{12} = C, x_1 = x_2 = OB \to a_1x_1 \cong C, a_2x_2 \cong C,$$
$$a_{12}x_1x_2 = H - C, y = OOB,$$
$$x_1 \ge L_{x_1}, x_2 \ge L_{x_2} : a_1 = a_2 = C, a_{12} = B, x_1 = x_2 = OB \to a_1x_1 \cong C, a_2x_2 \cong C,$$
$$a_{12}x_1x_2 \cong C - B, y = OOB.$$

Результаты показывают, что имеется сдвиг y на половину градации по сравнению с предыдущим случаем для верхнего значения интервала одного из факторов, а для верхних значений обоих факторов имеем сдвиг на градацию и больше, если a_{12} возрастает на одну градацию. Если принять, что a_{12} возрастает на две градации, когда оба фактора достигают пределов, то сдвиг y более значительный: на половину градации при малых уровнях факторов, на градацию при большом уровне одного из сигналов (верхнее значение) и более чем на градацию при большом уровне обоих сигналов. В последнем случае y быстро достигает верхнего значения интервала градаций.

Многофакторная модель с взаимодействием

При использовании модели (1) достаточно учесть парные взаимодействия, так как взаимодействия более высокого порядка заменой переменных могут быть сведены к предыдущему случаю. Функции (1) и разложения (2), (3), вообще говоря, могут быть расходящимися. Под этим понимается следующее: вклады от взаимодействия в (1) могут быть сравнимы по величине с вкладами от отдельных факторов. Однако значение величины y всегда ограничено, в силу принятого представления в виде нечетких градаций, и не выходит за пределы расширенного интервала (с включением предельных градаций OOH и OOB). Вклады последующих членов с ε, ε^2 и т.д. в (2), (3) могут быть сопоставимы с вкладом от свободного члена, что также не имеет отрицательных последствий при использовании представления в виде нечетких градаций. При переходе к числовым значениям величин все зависит от конкретного вида функции $f(x_i)$, точнее, от свойств ее гладкости. В этом случае ряды могут расходиться, тогда они имеют формальный смысл, но могут быть аналитически продолжены.

Из рассмотренных выше частных случаев можно сделать вывод, что в общем случае многофакторной модели результаты получаются аналогичными. Увеличение числа факторов на один дает увеличение y на половину градации или целую градацию в зависимости от значений факторов при достижении ими пороговых значений, быстро достигая верхней границы диапазона OB (или

OOB). Очевидно, что можно рассмотреть несколько порогов для каждого фактора. При этом за счет возрастания параметров a_i, a_{ij} значение y быстро достигает верхней границы диапазона градаций OB (или OOB).

Полученные результаты позволяют анализировать изменение свойств системы (человека, технической конструкции, природной среды, предприятия и т.д.) при воздействии многих факторов. Представление величин в виде нечетких градаций позволяет проводить оценки, не привязываясь к числовому контексту, хотя это всегда можно сделать при конкретных расчетах, если возникает необходимость. Рассмотрим иллюстративный пример. Пусть требуется оценить изменение степени адаптивности рабочего на предприятии по добыче полезных ископаемых. Адаптивность может зависеть от ряда факторов, например, интенсивность труда, время непрерывной работы, ее сложность, степень риска, недостаточная освещенность, шумы и вибрации, вредные воздействия и т.п. Изменение значений факторов и (или) их длительное воздействие приводят к изменению степени адаптивности, которое можно быстро оценить, задавая изменения факторов в виде нечетких градаций. Аналогично оценивается изменение свойств технической конструкции, природной среды, уровня допустимости эксплуатации предприятия по добыче полезных ископаемых и т.д. В такой постановке может быть представлен и решен большой класс задач. Полученные соотношения позволяют решить и обратную задачу, а именно, определить допустимые значения факторов, при которых изменение некоторого свойства системы находится в заданных пределах.

Литература

1. Романов В.Н. Нечеткая арифметика и ее применение. – Вестник северо-западного отделения МА. – вып. 25. – СПб. , 2011 . – С. 26 – 29.

2. Романов В.Н. Нечеткие системы. – СПб.: Изд-во «ЛЕМА», 2009.

Рецензент проф. Злотников К.А.