

**Белоглазов Денис Александрович**

Кафедра систем автоматического управления; ассистент.

**Kobersi Iskandar Souleiman**

Taganrog Institute of Technology – Federal State-Owned Educational Establishment of Higher Vocational Education “Southern Federal University”.

E-mail: salouma1@mail.ru.

44, Nekrasovskiy, Taganrog, 347928, Russia.

Phone: +78634371689.

Department of Automatic Control Systems; Postgraduate Student.

**Beloglazov Denis Alexandrovich**

Department of Automatic Control Systems; Assistant.

УДК: 007.621: 518.2

**Ю.А. Заргарян, О.В. Косенко**

### **РЕАЛИЗАЦИЯ ЗАДАЧИ ОПТИМУМА НОМИНАЛА В УСЛОВИЯХ НЕОПРЕДЕЛЕННОСТИ**

*Оптимизация процессов по нечетким моделям оптимума номинала позволяет принимать решение с учетом индивидуальных особенностей каждого технологического процесса, а также взаимосвязей между нечеткими значениями показателей качества управления, полезностями и стратегиями управления. Для расчета оптимума номинала в условиях неопределенности в данной статье была предложена нечеткая функция эффективности, содержащая вероятностное описание результата и оценку полезности каждого такого результата.*

*Оптимум номинала; нечеткая функция.*

**Y.A. Zargaryan, O.V. Kosenko**

### **THE GOALS OF OPTIMUM RATING UNDER UNCERTAINTY**

*The optimization of fuzzy models allows you to receive optimum nominal solution taking into account individual characteristics of each process, and well as the relationship between fuzzy values of quality control utilities and management strategies. To calculate the optimum value in terms uncertainties in this article was proposed by the fuzzy function efficiency, containing probabilistic outcome and the usefulness of each such result.*

*Optimum nominal; fuzzy function.*

В настоящее время построение математических моделей принятия решений и оптимизация управления технологическими процессами приобретают особое значение в связи с созданием автоматизированных систем управления (АСУТП), тем более, что пока не существует единых моделей принятия оптимальных решений, положенных в основу АСУТП [1].

В отличие от различных детерминированных и однозначных критериев, применяемых для оценки качества функционирования исследуемых объектов, в функции эффективности оптимума номинала для оценки результатов какой-либо стратегии управления используются закон распределения значений показателей и функция цены ("полезность") каждого значения показателей [1].

Задача оптимизации нечеткого управления в методе оптимума номинала формулируется как задача нечеткого управления моментами распределения нечетких значений показателей таким образом, чтобы достигался экстремум функции эффективности.

Допустим, что выпускаются различные сорта продукции (при этом выпускаемые сорта могут определяться плановым заданием, а также вводиться искусственным способом при углубленном исследовании процесса). Оценка результата функционирования технологического процесса определяется в нечетком допуске  $\tilde{Y}_{iH}, \tilde{Y}_{ik}$  некоторой ступенчатой нечеткой функцией цены  $\tilde{C}(\tilde{Y}_i)$ , характеризующей три или более сорта выпускаемой продукции.

Нечеткие управляющие факторы-параметры, которые можно контролировать и изменять в определенных пределах с целью управления ходом процесса, обозначим как  $\tilde{X} = \{\tilde{x}_1, \tilde{x}_2, \dots, \tilde{x}_1, \dots, \tilde{x}_k\}$ . Неуправляемые факторы-параметры, которые можно контролировать, но нельзя изменять, обозначим  $\tilde{Z} = \{\tilde{z}_1, \tilde{z}_2, \dots, \tilde{z}_1, \dots, \tilde{z}_n\}$ . Помехи, являющиеся неуправляемыми и неконтролируемыми нечеткими параметрами, обозначим как  $\tilde{W}$ . Выходные нечеткие параметры, являющиеся технико-экономическими результатами функционирования объекта, обозначим как  $\tilde{Y} = \{\tilde{y}_1, \tilde{y}_2, \dots, \tilde{y}_1, \dots, \tilde{y}_m\}$  и  $\tilde{C} = \{\tilde{c}_1, \tilde{c}_2, \dots, \tilde{c}_1, \dots, \tilde{c}_n\}$ . Обозначим множества нечетких значений каждой группы параметров соответственно как составные пространства  $\tilde{X}_{\text{сост.}}, \tilde{Y}_{\text{сост.}}, \tilde{Z}_{\text{сост.}}, \tilde{C}_{\text{сост.}}$ . Стратегию нечеткого управления объектом обозначим  $\tilde{S}_v = \tilde{X}_v, v = 1, n$ .

Результат действия нечеткой стратегии  $\tilde{S}_v$  при наличии  $\tilde{Z}$  и  $\tilde{W}$  назовем нечетким показателем качества  $\tilde{Y}/\tilde{S}_v$  функционирования объекта управления. Полезность или предпочтительность различных нечетких значений показателей  $\tilde{Y}$  назовем нечеткой ценой  $\tilde{C}_y$ .

Предположим, что нечеткая величина  $\tilde{y}_i$  имеет нечеткую плотность распределения вероятностей  $\tilde{f}(\tilde{y})$  и номиналом его является нечеткое значение  $\tilde{m}_y$ . В этом случае под номиналом подразумевается нечеткое значение задания или заданной программы ведения процесса. Модель оптимума номинала позволяет для любого известного нечеткого закона распределения плотности вероятностей и заданного распределения нечетких оценок результата процесса определить такое смещение или закон изменения смещения от середины поля допуска или, в общем случае, такую деформацию распределения по полю цен, которые обеспечивают наибольшее значение математического ожидания цены результата, т.е. наибольшую эффективность оптимизируемого процесса [2].

На рис.1 проиллюстрирована задача оптимума номинала из которой видно, что отклонения значений нечеткого параметра  $\tilde{y}_i$  от номинального неравнозначны с точки зрения результата функционирования процесса. От положения кривой плотности распределения вероятностей зависят вероятности выпускаемых сортов продукции. В рассматриваемом случае естественно стремление расположить  $\tilde{f}(\tilde{y})$  относительно  $\tilde{C}(\tilde{y})$ , так, чтобы вероятность попадания в интервал  $b_1$  с ценой  $c_1$  (сорт 1) была бы максимальной (кривая 1). Но тогда появится вероятность выпуска брака.

Эффективность функционирования нечеткого процесса оценивается выражением:

$$\tilde{Y}_{\text{опт}} = \max \left\{ \sum_{i=1}^3 \tilde{c}_i \int_{\tilde{y}_{\text{ин}}}^{\tilde{y}_{\text{ик}}} \tilde{f}(\tilde{y}) d\tilde{y}_i \right\}. \quad (1)$$

Для рассматриваемого случая это кривая 2 (см. рис. 1.) Таким образом, в задачах оптимума номинала [1,3] для оценки каждого результата управления используется нечеткая функция эффективности  $\tilde{Y}$ , которая построена по тому же принципу, что и целевая нечеткая функция в рамках работ Дж. фон Неймана и О. Моргенштерна [4]

$$\tilde{U} = \sum_{i=1}^{\tilde{S}} \tilde{C}_i \tilde{P}_i. \quad (2)$$

Нечеткой функцией эффективности оптимума номинала является такая нечеткая функция, которая устанавливает связь между нечеткой функцией полезностей и плотностью нечеткого распределения и позволяет находить оптимальные стратегии.

$$\tilde{Y} = \sum_{i=1}^{\tilde{S}} \tilde{c}_i \int_{\tilde{y}_{\text{ин}}}^{\tilde{y}_{\text{ик}}} \tilde{f}(\tilde{y}) \tilde{x}_v dy = \tilde{U}. \quad (3)$$

Отличие модели оптимума номинала от моделей ТПР, которые в настоящее время применяют для оптимизации производственных процессов, состоит в том, что для построения нечеткой функции эффективности оптимума номинала используется закон нечеткого распределения  $\tilde{f}(\tilde{y})$  значений показателя  $\tilde{y}$ , а не отдельные вероятности каких-либо результатов.

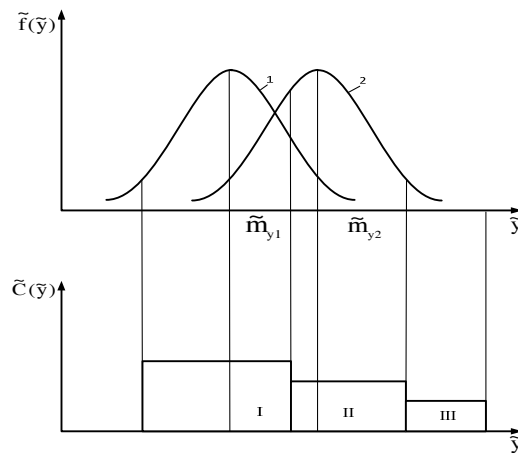


Рис. 1. Задача оптимума номинала в условиях неопределенности

Выражение (3) применимо в случае дискретных оценок или дискретных результатов стратегий. Для непрерывных нечетких оценок нечеткая функция эффективности в общем случае определяется нечеткой интерпретацией интеграла Стильеса:

$$\tilde{Y} = (\tilde{S}) \int_{\tilde{Y}} \tilde{c}(\tilde{y}, \tilde{x}_v) dF(\tilde{y}) \tilde{x}_v \quad (4)$$

или интерпретацией интеграла Римана:

$$\tilde{Y} = (\tilde{R}) \int_{\tilde{Y}} \tilde{c}(\tilde{y}, \tilde{x}_v) \tilde{f}(\tilde{y})_{\tilde{x}_v} dy. \quad (5)$$

Метод оптимума номинала отличается от принятых в настоящее время приемов статистических решений постановкой конкретных задач оптимизации. Задача задания некоторого вероятностного нечеткого распределения на множестве возможных нечетких состояний  $\tilde{Y}$ , оцениваемых нечетким множеством доходов  $\tilde{C}$ , формулируется как задача управления моментами этого нечеткого распределения. Нечеткие значение функции эффективности при заданных ценах  $\tilde{C}$  зависит от нечеткого закона распределения  $\tilde{f}(\tilde{Y})$ , т.е. от его формы и расположения на нечетком множестве цен. Так как нечеткую форму и расположение  $\tilde{f}(\tilde{Y})$  можно определить нечеткими моментами этого распределения  $\tilde{M}_h, h = 1, n$ , то функцию эффективности можно рассматривать как нечеткую функцию от моментов, т.е.  $\tilde{Y} = \tilde{Y}(\tilde{M}_h)$  [5]. Тогда задача оптимизации по заданию оптимального нечеткого распределения на нечетком множестве доходов является задачей поиска экстремума  $\tilde{Y}$  по моментам  $\tilde{M}_h$ .

Решение уравнений оптимизации может существовать в том случае, если  $\tilde{Y}$  имеет соответствующие частные производные. В других случаях для поиска экстремума нечеткой функции эффективности может быть применен любой из методов математического программирования.

В основу построения и применения обобщенной нечеткой функции эффективности оптимума номинала положено представление о необходимости совместного описания пространств стратегий управления, их результатов и оценок этих результатов. Формы (4), (5) нечеткой функции эффективности оптимума номинала, а также целевая функция Неймана и Моргенштерна не описывают явно характер зависимости между нечеткими переменными  $\tilde{Y}$  и  $\tilde{X}$ , а лишь фиксируют наличие стратегий, при которых получаются результаты  $\tilde{Y}$  [6]. Поэтому необходимо в данном случае дополнить модель (4), (5) следующим образом:

$$\left. \begin{aligned} 1. \tilde{Y}_Z &= \left\{ \int_{\tilde{t}} \left[ \int_{\tilde{Y}} \dots \int \tilde{c}(\tilde{Y}, \tilde{X}_v, \tilde{t}) \tilde{f}(\tilde{Y} \tilde{t})_{\tilde{x}_v} d\tilde{Y} \right] dt \right\}_Z, v = 1, n \\ 2. \tilde{M}_h &= \tilde{\psi}(\tilde{X}_v, \tilde{t})_{\tilde{Z}}, h = (1 \dots 4) \\ 3. \tilde{Y} &\in \tilde{Y}_{\text{доп}}, \tilde{Y}_{\text{доп}} \subset \tilde{Y}_{\text{сост.}}; \tilde{X}_v \in \tilde{X}_{v \text{ доп.}}, \tilde{X}_{v \text{ доп.}} \subset \tilde{X}_{\text{сост.}}; \\ &\tilde{C} \in \tilde{C}_{\text{доп}}, \tilde{C}_{\text{доп}} \subset \tilde{C}_{\text{сост.}}; \tilde{Z} \in \tilde{Z}_{\text{доп.}}, \tilde{Z}_{\text{доп.}} \subset \tilde{Z}_{\text{сост.}} \end{aligned} \right\} \quad (6)$$

Уравнения нечеткого управления  $\tilde{M}_h$  можно рассматривать как ограничения, заданные на изменения параметров нечеткой функции эффективности. Чаще всего эти уравнения задаются функционально. В зависимости от исследуемого объекта уравнения могут быть детерминированными или стохастическими, непрерывными или дискретными. Детерминированные зависимости могут быть установлены на

основании физико-химических представлений об исследуемом процессе. Стохастические зависимости могут быть определены, например, при помощи методов регрессионного анализа и планированием экспериментов.

Тогда в случае управления первым моментом нечеткого распределения  $\tilde{f}(\tilde{y})$  выражение 2 в (6) может иметь вид

$$\tilde{m}_y = \tilde{b}_0 + \sum_{i=1}^{\tilde{n}} \tilde{b}_i \tilde{x}_i + \sum_{i>j}^{\tilde{k}} \tilde{b}_{ij} \tilde{x}_i \tilde{x}_{ij} + \dots, \quad (7)$$

т.е. математическое ожидание случайных нечетких величин  $\tilde{Y}$  являющееся нечеткой функцией управляющих факторов  $\tilde{X}$ , может быть представлено некоторым полиномом. Кроме формы (6), возможна дискретная по цене. Форма обобщенной нечеткой функции эффективности будет иметь вид

$$\left. \begin{aligned} 1. \tilde{Y} &= \left\{ \int_{\tilde{t}} \left[ \sum_{i=1}^{\tilde{s}} \tilde{c}_i(\tilde{Y}, \tilde{X}_v, \tilde{t}) \int_{\tilde{Y}} \dots \int_{\tilde{f}} \tilde{f}(\tilde{Y}, \tilde{M}_h, \tilde{t})_{\tilde{x}_v} dY \right] dt \right\}_z; \\ 2. \tilde{M}_h &= \tilde{\psi}(\tilde{X}_v, \tilde{t})_{\tilde{z}}; \\ 3. \tilde{Y} \in \tilde{Y}_{\text{доп.}}, \tilde{Y}_{\text{доп.}} \subset \tilde{Y}_{\text{сост.}}; \tilde{X} \in \tilde{X}_v, \tilde{X}_v \subset \tilde{X}_{\text{доп.}}, \tilde{X}_{\text{доп.}} \subset \tilde{X}_{\text{сост.}}; \\ &\tilde{C} \in \tilde{C}_{\text{доп.}}, \tilde{C}_{\text{доп.}} \subset \tilde{C}_{\text{сост.}}; \tilde{Z} \in \tilde{Z}_{\text{доп.}}, \tilde{Z}_{\text{доп.}} \subset \tilde{Z}_{\text{сост.}} \end{aligned} \right\} \quad (8)$$

На рис. 2 приведена геометрическая интерпретация одномерной нечеткой задачи оптимума номинала при дискретной цене и одном нечетком управляющем факторе  $\tilde{X}$ .

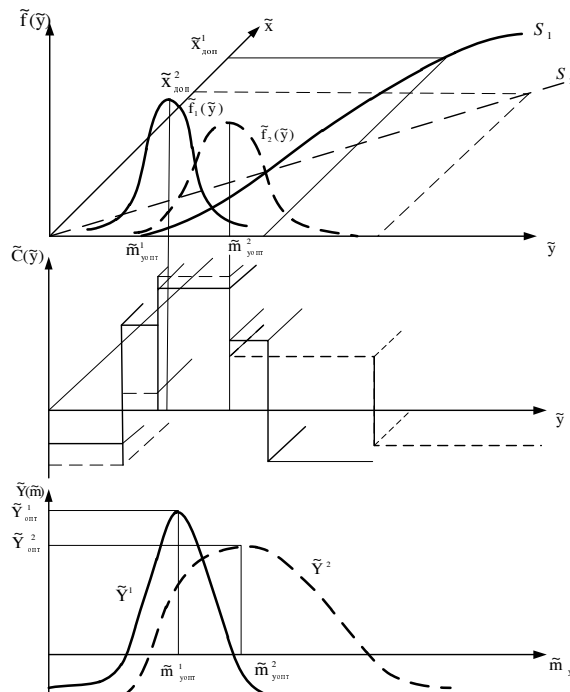


Рис. 2. Выбор оптимальной стратегии управления в условиях неопределенности

Для того, чтобы определить оптимальную стратегию управления, необходимо сделать выбор между двумя нечеткими стратегиями  $\tilde{S}_1$  и  $\tilde{S}_2$  управления технологическим процессом [7]. Выходная продукция характеризуется одним нечетким показателем качества  $\tilde{y}$ . Зависимости показателя  $\tilde{y}$  от управляющих факторов (один нечеткий фактор  $\tilde{X}$ ) изображены в виде нечетких уравнений регрессии  $\tilde{m}_y^{(1)} = \tilde{\Psi}_1(\tilde{x})$  и  $\tilde{m}_y^{(2)} = \tilde{\Psi}_2(\tilde{x})$  (см. рис. 2). Выбор необходимо сделать таким образом, чтобы при заданных нечетких функциях затрат по каждой стратегии и ценах различных сортов продукции доход от производства был максимально возможным. В таком случае обобщенная нечеткая функция эффективности для данного конкретного примера будет иметь вид

$$\left. \begin{aligned} \int_Z (\tilde{m}_y, \tilde{\delta}) &= \sum_{i=1}^3 \tilde{c}_{i\delta}(\tilde{y}, \tilde{x}) \int_{y_{in}}^{y_{ik}} \tilde{f}(\tilde{y}, \tilde{m}_y, \tilde{\delta}) d\tilde{y}; \\ \tilde{m}_y^{(1)} &= \tilde{\psi}_1(\tilde{x}); \\ \tilde{m}_y^{(2)} &= \tilde{\psi}_2(\tilde{x}); \\ \tilde{x} \in \tilde{X}_{дон.}^{(1)}, \tilde{x} \in \tilde{X}_{дон.}^{(2)}, \tilde{y} \subset \tilde{Y}_{дон.} \end{aligned} \right\} \quad (9)$$

#### БИБЛИОГРАФИЧЕСКИЙ СПИСОК

1. Горелова Г.В., Здор В.В., Свечарник Д.В. Метод оптимума номинала и его применения. – М.: Энергия, 1970. – 200 с
2. Горелова Г.В. Метод оптимума номинала и его применения // Межвузовский тематический научный сборник. – Таганрог, 1974. – С. 156.
3. Свечарник Д.В. Задача об оптимуме номинала // Труды Института машиноведения. – М.: Изд-во АН СССР, 1957. – Вып. 10. – С. 78-94.
4. Фон Нейман Дж., Моргенштерн О. Теория игр и экономическое поведение. – М.: Наука, 1970. – 707 с.
5. Заргарян Е.В., Айбазова А.А. Многокритериальный выбор с применением нечеткого попарного сравнения // Известия ЮФУ. Технические науки. – 2010. – № 1 (102). – С. 100-104.
6. Соловьев В.В., Финаев В.И. Постановка задачи синтеза управления сложной системой в условиях априорной неопределенности. – С. 59-65.
7. Заргарян Ю.А., Натаров А.В. Экстремальное управление с нечеткой оптимизацией // Труды ежегодной научной конференции студентов и аспирантов базовых кафедр ЮНЦ РАН. – Ростов-на-Дону: Изд-во ЮНЦ РАН, 2009. – С. 130-131.

Статью рекомендовал к опубликованию д.т.н., профессор Я.Е. Ромм.

#### **Заргарян Юрий Артурович**

Технологический институт федерального государственного автономного образовательного учреждения высшего профессионального образования «Южный федеральный университет» в г. Таганроге.

E-mail: jury.zargaryan@gmail.com.

347928, г. Таганрог, пер. Некрасовский, 44.

Тел.: 88634371773.

Кафедра систем автоматического управления; аспирант.

#### **Косенко Олеся Валентиновна**

E-mail: O\_kosenko@mail.ru.

Тел.: 88634393029.

Ведущий инженер.

**Zargarjan Jury Arturovich**

Taganrog Institute of Technology – Federal State-Owned Autonomy Educational Establishment of Higher Vocational Education “Southern Federal University”.

E-mail: jury.zargaryan@gmail.com.

44, Nekrasovskiy, Taganrog, 347928, Russia.

Phone: +78634371773.

The Department of Automatic Control Systems; Postgraduate Student.

**Kosenko Olesya Valentinovna**

E-mail: O\_kosenko@mail.ru.

Phone: +78634393029.

Leading Engineer.

УДК 62-6

**Д.И. Ряшенцева, С.В. Кирильчик**

**НЕЧЕТКАЯ МОДЕЛЬ УПРАВЛЕНИЯ ПАРАМЕТРАМИ  
ТЕПЛОГЕНЕРИРУЮЩЕЙ УСТАНОВКИ**

*Представлена модель управления параметрами теплогенерирующей установки, не требующая использования ПИД-регулятора. Показан алгоритм обработки информации в нечетком контроллере, в ходе применения которого ликвидируются или сокращаются ошибки из-за изменения нагрузки и различных режимов работы. Представлена возможная схема регулятора для контроля расхода топлива и расхода воздуха. Также показана разработка нечеткой модели с продукционными правилами нечеткого вывода. Разрабатываемая система позволит повысить экономичность процесса горения за счет применения более быстрого действующего метода контроля.*

*Нечеткая логика; продукционные правила, нечеткий контроллер, регулятор подачи топлива и воздуха.*

**D.I. Ryashenceva, S.V. Kirilchik**

**THE FUZZY CONTROL MODEL FOR ENERGY UNIT PARAMETERS**

*The control model for energy unit parameters which does not require the PID controller using is presented in the paper. The algorithm of information processing in a fuzzy controller is shown, which using eliminate and reduce errors due to changes in capacity and various operation methods. The possible scheme of the control fuel flow and air regulator is presented. Also the development of a fuzzy model with fuzzy production rules is shown. The developed system will improve the efficiency of the burning process through the use of a rapid method of control.*

*The fuzzy logic; the control rules; the fuzzy controller; flow of fuel and air regulating controller.*

Моделирование систем управления параметрами теплогенерирующей установки на примере котельной в настоящее время имеет значительный интерес, особенно с постоянным ростом цен топлива и большим влиянием на рынок производства. Тем более, что нечеткая логика удобна при ее огромной эффективности, благодаря чему уменьшается количество незапланированных отключений системы.

Преимущество нечеткой логики при ее применении в системе управления установкой – возможность создавать системы управления, использующие возможности человеческого мышления, знания и опыта. Появляется возможность применять опыт операторов в нечеткой системе управления.

Большинство котлов работает в неоптимальных режимах, в том числе и при наличии необорудованных устройств контроля режима горения. Применение клас-