

УДК 626.01

## ИСПОЛЬЗОВАНИЕ МЕТОДОВ МНОГОЦЕЛЕВОЙ ОПТИМИЗАЦИИ ПРИ ПРОЕКТИРОВАНИИ ВОДОХОЗЯЙСТВЕННЫХ СИСТЕМ

Галямина И.Г

Показаны методы достижения компромисса при многоцелевом управлении водохозяйственными системами для оптимизации параметров для решения социальных, экологических и экономических задач. Используются следующие методы: суммирование нормированных критериев, Ныковского, равной эффективности, уступок, Парето, ранжирования критериев и выбора наиболее важного, Фуллера.

**Ключевые слова:** Параметры водохозяйственной системы, удовлетворение требований потребителей, компромиссные критерии, декомпозиция глобальной цели, методы достижения компромисса при многоцелевом проектировании

### USE OF MULTI-PURPOSE OPTIMIZATION METHODS IN DESIGNING WATER SYSTEMS

Galyamina I.G.

Methods of achieving a compromise in multi-purpose management of water management systems for optimizing parameters for solving social, environmental and economic problems are shown. The following methods are used: summation of normalized criteria, Nykovsky, equal efficiency, concessions, Pareto, ranking of criteria and selection of the most important, Fuller.

**Keywords:** Water management system parameters, customer satisfaction, compromise criteria, global goal decomposition, methods for achieving compromise in multi-purpose design

Цель проектирования водохозяйственной системы – удовлетворение требований потребителей водных ресурсов [1, 2]. Если потребителями являются население и сельскохозяйственной организации, то каждый из этих потребителей имеет свои локальные цели, а именно (рис. 1):

требование населения – возможность отдыха на берегу водохранилища;

требование сельскохозяйственной организации – получение дохода за счет реализации продукции с орошаемых земель.



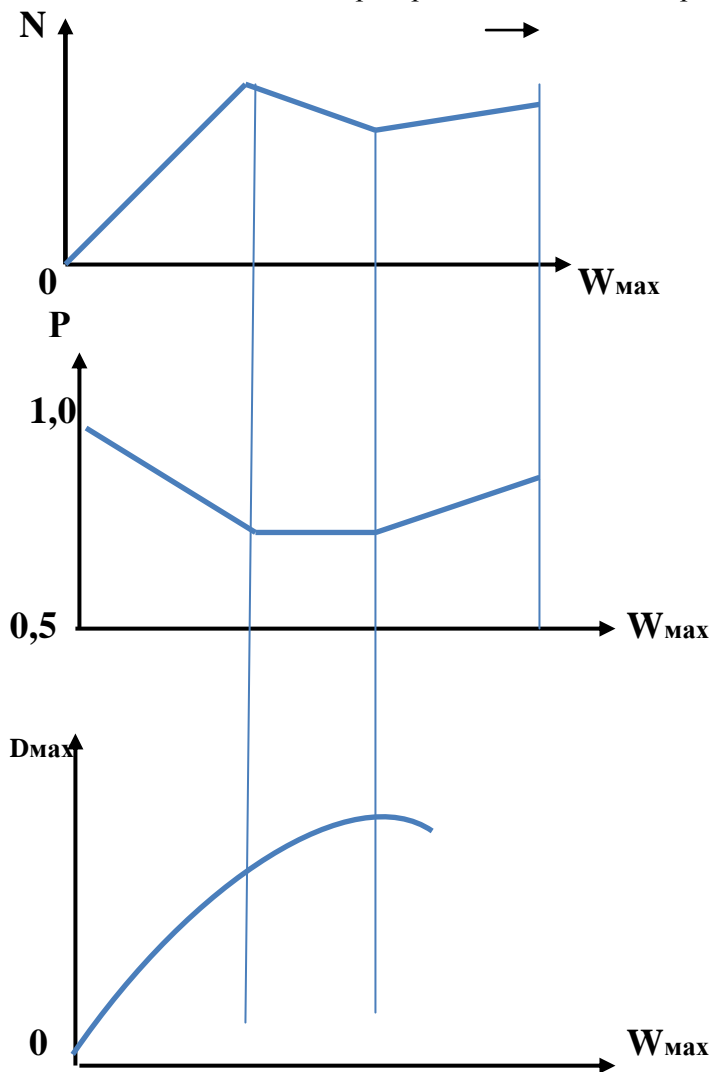
Рисунок 1 - Декомпозиция глобальной цели

Задача заключается в оптимизации структуры водохозяйственной системы, то есть определении объема водохранилища и площади орошаемых земель при одновременном удовлетворении следующих критериев:

- чистота воды ( $p$ ),
- количество отдыхающих ( $N$ ),

- получение дохода (D).

Виды зависимостей критериев от объема водохранилища показаны ниже (рис. 2).



**Рисунок 2 - Целевые функции**

Достижение максимума этих критериев позволит решить социальные (удовлетворение требований населения), экологические (удовлетворение требования чистоты воды) и экономические (удовлетворение требования сельскохозяйственных предприятий) задачи.

- $N \rightarrow \max$   
 $D \rightarrow \max$   
 $P \rightarrow \max$

Достичь одновременно максимума все критерии не могут, поскольку все критерии, принятые в работе для определения параметров, противоречат друг другу. Так, невозможно одновременное достижение максимума  $N$  и  $P$ , что видно из графиков функций этих критериев. Повышение чистоты воды  $P$  с увеличением количества отдыхающих возможно только при определенных затратах, что неизбежно приведет к снижению  $D$ . Поэтому необходимо использовать методы достижения компромисса [3, 4].

Критерии могут быть как равнозначные (равной важности) и неравнозначные.

#### Для равнозначных критериев

##### а) Метод суммирования нормированных критериев

В этом методе в качестве компромиссного критерия принимается следующий:

$$C = \sum K_g, \quad (1)$$

$$C \rightarrow \max$$

Здесь:  $S$  – компромиссный критерий;  $K_g$  - критерии  $N, P, D$ , при разных вариантах объема водохранилища, нормированные по своему максимальному значению:

$$\underline{N}_k = N_k / N_{\max} \quad \underline{D}_k = D_k / D_{\max} \quad (2)$$

За компромиссный вариант принимается вариант, в котором функция  $F$  имеет максимальное значение

#### б) Метод Ныковского

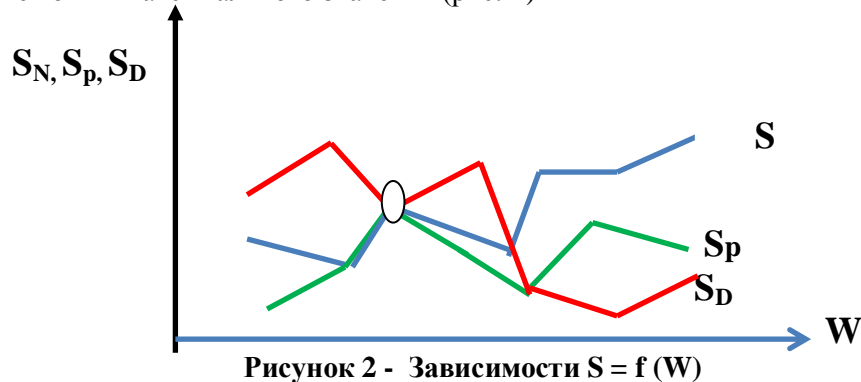
Выбирается такой вариант решения (объем водохранилища), в котором соблюдается условие:

$$S_m = (K^*_{1k} - K_{1k}) / K^*_{1k} = (K^*_{2k} - K_{2k}) / K^*_{2k} = (K^*_{3k} - K_{3k}) / K^*_{3k} \quad (3),$$

где  $K^*_1, K^*_2, \dots, K^*_m$  - экстремальное значение 1, 2 ... m-ного критерия;

$K_{1k}, K_{2k}, \dots, K_{nk}$  - значение 1, 2 ..., m-ного критерия в k-том варианте решения.

Здесь за компромиссный принят вариант решения, в котором имеется одинаковое отклонение отдельных критериев от их максимального значения (рис. 2)



#### в) Метод равной эффективности

Выбирается такой вариант решения, в котором соблюдается условие:

$$e_m = (K^*_{1k} - K_{1k}) / (K^*_{1k} - K^{**}_{1k}) = (K^*_{2k} - K_{2k}) / (K^*_{2k} - K^{**}_{2k}) = (K^*_{3k} - K_{3k}) / (K^*_{3k} - K^{**}_{3k}) \quad (4),$$

где  $K^*_1, K^*_2, \dots, K^*_m$  - максимальное значение 1, 2 ... m-ного критерия;

$K^{**}_{1k}, K^{**}_{2k}, \dots, K^{**}_{nk}$  - минимальное значение 1, 2 ..., m-ного критерия в k-том варианте решения;

$K_{1k}, K_{2k}, \dots, K_{nk}$  - значение 1, 2 ..., m-ного критерия в k-том варианте решения.

За компромиссный принят вариант решения, в котором имеется одинаковое превышение отдельных критериев от их минимального значения.

Принимается вариант решения, в котором соответствующие линии  $e$  наиболее близки друг к другу.

#### Для неравнозначных критериев

##### а) Метод уступок

При использовании этого метода проводится расстановка критериев по степени их важности.

Для первого по важности критерия определяется его экстремальное значение  $K^*_1$  и назначается уступка  $\nabla K^*_1$ .

Определяется граничное значение первого по важности критерия:

$$K^{**}_1 > K^*_1 - \nabla K^*_1 \quad (5)$$

Отбрасываются все варианты решений, в которых значение первого критерия меньше значения  $K^{**}_1$ .

Среди оставшихся вариантов решения ищется экстремальное значение второго по важности критерия  $K^*_2$  и назначается уступка  $\nabla K^*_2$ .

Определяется граничное значение второго по важности критерия:

$$K^{**}_2 > K^*_2 - \nabla K^*_2 \quad (6)$$

Отбрасываются все варианты решений, в которых значение второго критерия меньше значения  $K^{**}_2$ .

Среди оставшихся вариантов решения ищется наибольшее значение третьего по важности критерия  $K^*_3$ .

Метод позволяет учесть все критерии и сознательно идти на уступку.

##### б) Метод Парето

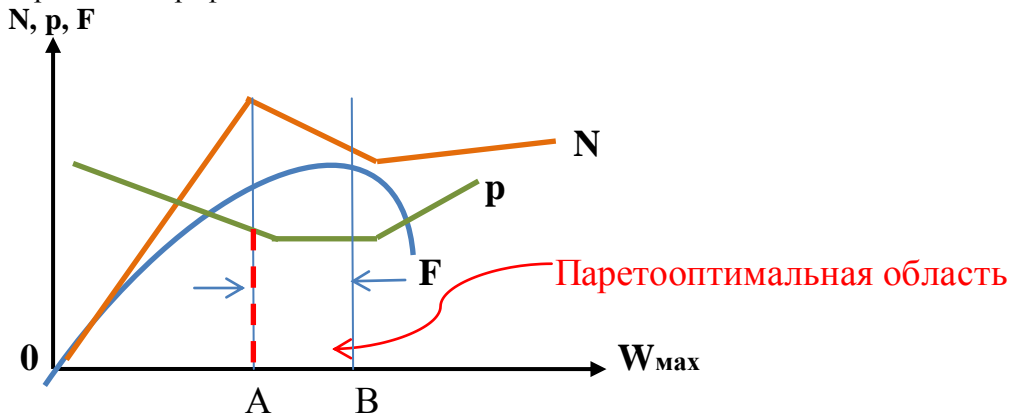
В этом методе определяется графически некое количество вариантов решений, в котором ни один из критериев не имеет экстремального значения и увеличение значения одного из критериев ведет к уменьшению другого (других).

Предположим, имеются 2 равнозначных критерия, представленных в виде кривых, имеющих максимальное значение при некоторых вариантах решения. Паретооптимальная зона лежит в промежутке между т.А и т.В, (рис. 3) поскольку любое приближение справа и слева к этой зоне дает увеличение значений критериев, поэтому это приближение выгодно. В паретооптимальной зоне движение вперед или назад по оси увеличивая значение одного из критериев, уменьшает другое. Окончательный вариант решения, лежащий в паретооптимальной зоне, принимается с учетом дополнительных соображений (например, используя третий по важности критерий).

**Порядок принятия решения.**

Выбираются два равнозначных критерия, предположим **N** и **F**.

Строятся их графики



**Рисунок 3 - Определение решения по методу Парето**

Определяется паретооптимальная зона между значениями W для максимумов N и F.

Это точки А и В (рис. 3).

В паретооптимальной зоне принимается вариант решения (значение W), в котором критерий p имеет максимальное значение. Это точка А.

**в) Применение метода выбора наиболее важного критерия**

**Порядок принятия решения**

1. Выбрать наиболее важный критерий.
2. Для остальных назначить ограничения

$$K_{1к} \geq K_{1гр} \quad (7)$$

$$K_{2к} \geq K_{2грк}$$

3. Отбросить варианты, не отвечающие условию (7)
4. Среди оставшихся выбрать вариант, в котором наиболее важный критерий имеет максимальное значение.

**Определение окончательного варианта**

Для окончательного принятия решения о показателях двух процессов используется метод (треугольник) Фуллера.

Таблица 1

**Построение треугольника Фуллера**

<i>Предпочитаемые варианты при попарном сравнении вариантов решений</i>	<i>Варианты решений</i>	<i>Интегральное количество предпочтений</i>
1, 3, 1, 4, 5, 6	1	2
3,4, 5,6	2	0
4, 3,6	3	3
4,5,6	4	4
6	5	3
	6	5

При построении треугольника Фуллера каждый из 6 определенных выше вариантов решения последовательно сравнивается с остальными и предпочитаемый вариант записывается в первый столбец таблицы 1, где приведен пример использования метода Фуллера. Так, первый вариант после-

довательно сравнивается со вторым, с третьим, четвертым и т.д. Второй вариант сравнивается с третьим, четвертым и т.д. Третий вариант сравнивается с четвертым, пятым. Предпочитаемый вариант при попарном сравнении выбирается экспертно. Во втором столбце записываются последовательно номера с 1 по 5. В третьем столбце записываются суммы предпочтений по всем вариантам. Таким образом, определяются интегральные значения предпочтений и выбирается вариант, который имеет наибольшее количество предпочтений. В данном случае выбирается 6 вариант решения, имеющий наибольшее интегральное количество предпочтений.

#### **Заключение**

В результате применения методов многокритериальной оптимизации определен объем водохранилища путем достижения компромисса для обеспечения качества процессов водопотребления.

#### **Литература**

1. Галямина И.Г. Управление процессами. Учебник / -С.Пб: Питер, 2013
2. Галямина И.Г., Раткович Л.Д., Маркин В.Н. Управление водохозяйственными системами: Учебное пособие / И.Г. Галямина, Л.Д. Раткович, В.Н. Маркин и др. - М.: РГАУ-МСХА, 2015.
3. Галямина И.Г. Системный анализ, моделирование и управление рисками: Учебное пособие / И.Г.Галямина. - М.: РГАУ-МСХА, 2016.
4. Галямина И.Г. Управление экологическими проектами: Учебное пособие / И.Г. Галямина. - М.: РГАУ-МСХА, 2016.

#### **Данные об авторе:**

**Галямина Ирина Геннадьевна**, профессор кафедры «Защита в чрезвычайных ситуациях», к.т.н., профессор.

*E-mail: igalyamina@yandex.ru*

*Российский государственный аграрный университет - МСХА имени К.А.Тимирязева.*

*Ул.Тимирязевская, 49, 127550, Москва, Россия*

#### **Data about the authors:**

**Galyamina I.G.**, professor of the Department "Protection in emergency situations"

*Russian state agrarian University-MSHA named after K. A. Timiryazev.*

*Timiriazevskaia st., 49, Moscow, Russia*

**Рецензент: Девисиллов В.А.**, первый заместитель заведующего кафедрой «Экология и промышленная безопасность» МГТУ им. Н.Э. Баумана.