

**ИССЛЕДОВАНИЕ СВОЙСТВ КОМБИНАТОРНО-СЕЛЕКЦИОННОГО  
(МНОГОЭТАПНОГО) АЛГОРИТМА МГУА**

Приведены результаты экспериментального исследования на реальном числовом примере комбинаторно - селекционного алгоритма МГУА.

Комбинаторные алгоритмы, реализующие полный перебор всех возможных структур моделей, ограничены в своем применении требуемым временем счета даже при использовании современных ЭВМ. Количество перебираемых моделей по этим алгоритмам является показательной функцией числа независимых переменных. Использование таких алгоритмов при решении задач моделирования целесообразно, когда число независимых переменных не превышает 20.

Для решения задач моделирования большой размерности, в которых количество независимых переменных значительно больше 20, требуются алгоритмы сокращенного перебора моделей. Таким алгоритмом является комбинаторно-селекционный алгоритм MULTI [1], реализующий новый метод сокращенного перебора. Этот алгоритм, как и многорядные алгоритмы Метода Группового Учета Аргументов [ 2 ], является селекционным, однако имеет конечное число этапов (не большее количества независимых переменных) и позволяет искать модель в том же заданном функциональном базисе, который используется и в переборных алгоритмах. Применяемая схема сокращенного перебора отличается от известных шаговых схем прежде всего применением принципа неокончателных решений, существенно повышающего вероятность получения результата полного перебора.

Алгоритм MULTI реализует процедуру поэтапного формирования структур и оценки моделей с последовательным увеличением количества аргументов. Начиная на первом этапе с моделей, содержащих только один аргумент, на каждом последующем этапе добавляются по одному различные аргументы к нескольким лучшим моделям предыдущего этапа и отбираются модели, улучшающие величину критерия предыдущего этапа. Эта процедура продолжается до тех пор, пока уменьшается величина критерия отбора моделей. Наибольшее возможное число этапов алгоритма  $SA$  определяется количеством аргументов  $m$ :  $SA_{\max} = m+1$ .

Алгоритм MULTI является селекционным с конечным числом этапов перебора. Момент останова процедуры определяется автоматически по условию равенства нулю уменьшения величины критерия отбора. При этом модель оптимальной сложности определяется минимальным значением критерия на предыдущем этапе. Все формируемые по этому алгоритму модели принадлежат тому же функциональному базису, что и модели комбинаторного алгоритма с полным перебором.

Функциональная схема перебора моделей по алгоритму MULTI показана на рис. 1.

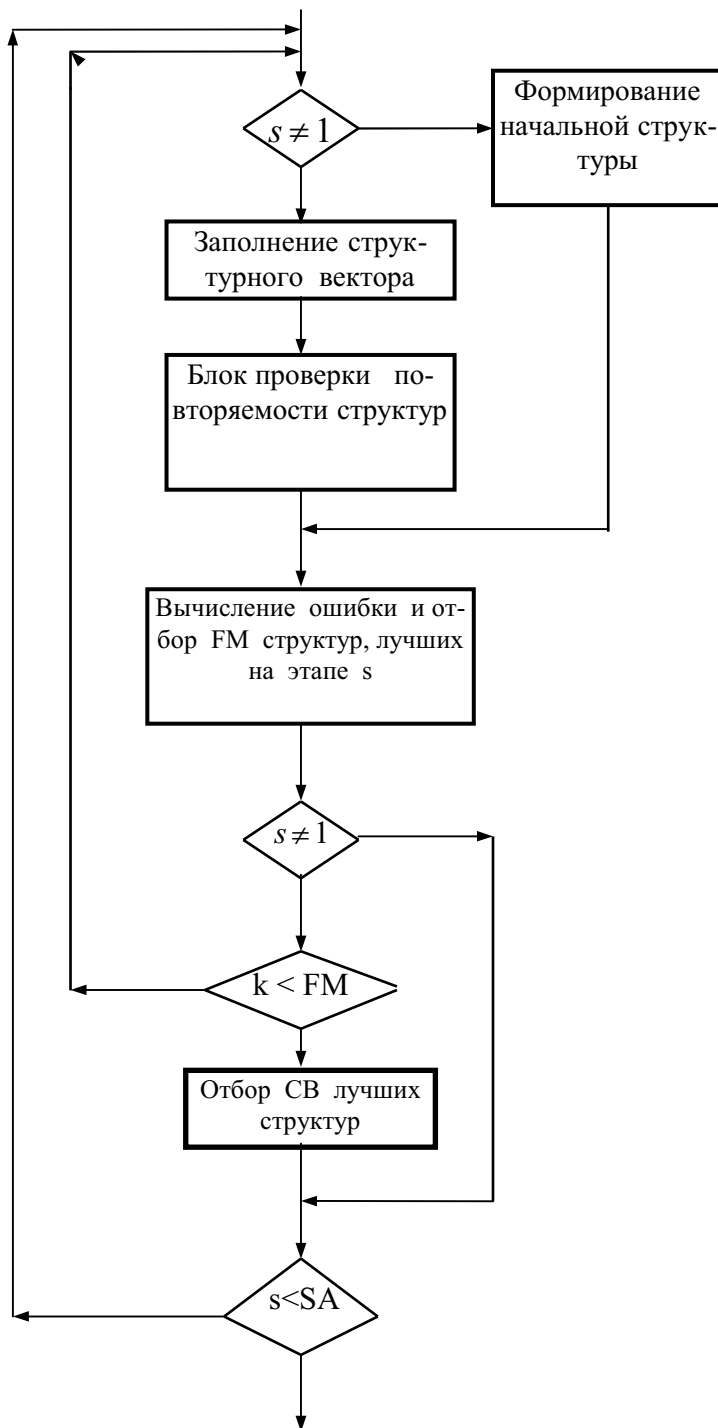


Рисунок 1. Функциональная схема перебора моделей по алгоритму MULTI.

**Результаты исследований.** Исследование свойств алгоритма MULTI проводилось экспериментально на реальном числовом примере по данным, относящимся к характеристикам экосистемы Каховского водохранилища. При этом определялось влияние основных управляющих параметров алгоритма  $SA$  и  $FM$  на количество формируемых моделей и время счета.

Расчеты выполнялись на персональном компьютере PC AT с процессором 80386 при разном числе входных переменных  $m=5 \div 26$ . При  $m=5 \div 16$  параллельно для того же состава переменных по комбинаторному алгоритму COMBI [3], обеспечивающему полный перебор всех возможных моделей, определялась оптимальная модель в виде линейного по коэффициентам полинома со свободным членом.

В качестве исходных данных при моделировании экосистемы Каховского водохранилища были использованы среднесезонные значения 14 переменных за 8 лет наблюдений (1971 - 1979 гг.), то есть по 32 значения каждой переменной (одна переменная выходная, 13 - входные). Вместе с входными переменными вводились сформированные дополнительные аргументы, представляющие запаздывающие значения относительно выходной переменной и пяти входных переменных, а также нелинейные  $x_i^2$  функции 7 входных переменных.

Исходные данные, как и полученные модели, в работе не приведены, поскольку задача моделирования не является предметом данной статьи, модели не рассматриваются и не обсуждаются.

Расчеты по алгоритму COMBI выполнялись только до значения  $m=16$ , исходя из приемлемого максимального времени счета ( $t \approx 1$  час). Значения общих для обоих алгоритмов рабочих параметров задавались одинаковыми. При моделировании по обоим алгоритмам для каждого значения  $m$  отбирались 3 лучшие модели.

Исследование алгоритма MULTI проводилось в два этапа. На первом этапе расчеты по этому алгоритму выполнялись при наибольших возможных значениях управляющих параметров  $SA$  и  $FM$ :  $SA=FM=m+1$ . На втором этапе были определены (экспериментально) оптимальные значения этих параметров для каждого задаваемого значения  $m$ .

Под оптимальным значением параметра  $SA$  понимается номер этапа алгоритма MULTI, на котором достигаются минимальные значения оценок моделей. Аналогично оптимальное значение параметра  $FM$  - это наименьшее его значение, при котором отбираются наилучшие модели.

Результаты сравнительного моделирования по двум алгоритмам приведены в таблицах 1 и 2. В табл. 1 показано, какое количество моделей для заданного количества входных переменных  $m$  проверяется при работе каждого из этих алгоритмов ( $N_c$  и  $N_m$ ) для получения одинакового результата (полного совпадения трех лучших моделей). В табл.2 приведено время счета по каждому алгоритму для различных значений  $m$  - соответственно  $T_c$  и  $T_m$ . Результаты первого этапа исследования, когда  $SA=FM=m+1$ , приведены в третьих строчках таблиц 1 и 2 ( $N_{m1}$  и  $T_{m1}$ ), результаты второго этапа - в четвертых строчках ( $N_{m2}$  и  $T_{m2}$ ).

Оптимальное значение параметра  $SA$  (количество этапов работы алгоритма) определялось путем поэтапного сравнения результатов счета с оптимальными значениями оценок моделей для данного значения  $m$  (результатами расчетов по алгоритму COMBI при  $m < 16$  или результатами, полученными при наибольших возможных значениях  $SA=m+1$  при  $m > 16$ ). Оп-

тимальное значение управляющего параметра  $FM$  определялось экспериментально путем подбора.

Зависимости количества проверяемых моделей  $N$  от количества входных переменных  $m$  представлены графически на рис.2.

Приведенная зависимость  $N=f(m)$  для алгоритма MULTI при  $SA=m+1$  очень точно аппроксимируется полиномом

$$N=396,84 - 65,81m + 1,57 m^2 + 0,43 m^3,$$

то есть количество проверяемых моделей является *степенной* (кубической) функцией числа аргументов вместо *показательной* зависимости  $2^m$  при полном переборе.

Как видно из приведенных результатов, при наибольших возможных значениях управляющих параметров  $SA=FM=m+1$  количество проверяемых моделей по алгоритму MULTI при  $m=10$  меньше в 5,7 раза, а при  $m=15$  - меньше в 54 раза. Так же сокращается и время счета. При оптимальных значениях управляющих параметров количество проверяемых моделей по алгоритму MULTI для  $m=10$  в 22 раза, а для  $m=15$  в 179 раз меньше, чем при расчетах по COMBI. Время счета меньше в 26 и 274 раза соответственно. При этом модели, полученные по алгоритму MULTI, полностью совпадают с моделями, полученными по алгоритму COMBI.

Таблица 1. Количество сравниваемых моделей

$m$	5	6	7	8	9	10	11	12	13	14
$N_c$	64	128	256	512	1024	2048	4096	8192	16384	32768
$N_{m1}$	52	86	125	184	264	357	474	626	762	964
$N_{m2}$	19	36	53	69	82	95	108	186	195	261

Продолжение таблицы 1

$m$	15	16	17	18	19	20	21
$N_c$	65536	131072	262144	524288	1048576	2097152	4194304
$N_{m1}$	1212	1483	1790	2198	2711	3151	3661
$N_{m2}$	366	446	498	875	1120	2473	3254

Продолжение таблицы 1

$m$	22	23	24	25	26
$N_c$	8388608	16777216	33554432	67108864	134217728
$N_{m1}$	4407	5083	5785	6555	7329
$N_{m2}$	3470	4096	4272	5682	6864

Таблица 2. Время счета

$m$	5	6	7	8	9	10	11	12	13	14	15
$T_c$	1''	3''	7''	15''	35''	1'20''	2'55''	6'32''	13'50''	32'	73'
$T_{m1}$	1''	3''	5''	7''	10''	15''	23''	32''	42''	55''	1'16''
$T_{m2}$	1''	1''	1''	2''	2''	3''	4''	7''	8''	11''	16''

Продолжение таблицы 2

$m$	16	17	18	19	20	21	22	23	24	25	26
$T_c$	—	—	—	—	—	—	—	—	—	—	—
$T_{m1}$	1'44''	2'21''	3'11''	4'25''	5'24''	7'10''	9'45''	13'17''	19'39''	37'40''	49'30''
$T_{m2}$	23''	27''	50''	1'14''	3'05''	5'01''	6'09''	8'25''	11'52''	16'36''	21'36''

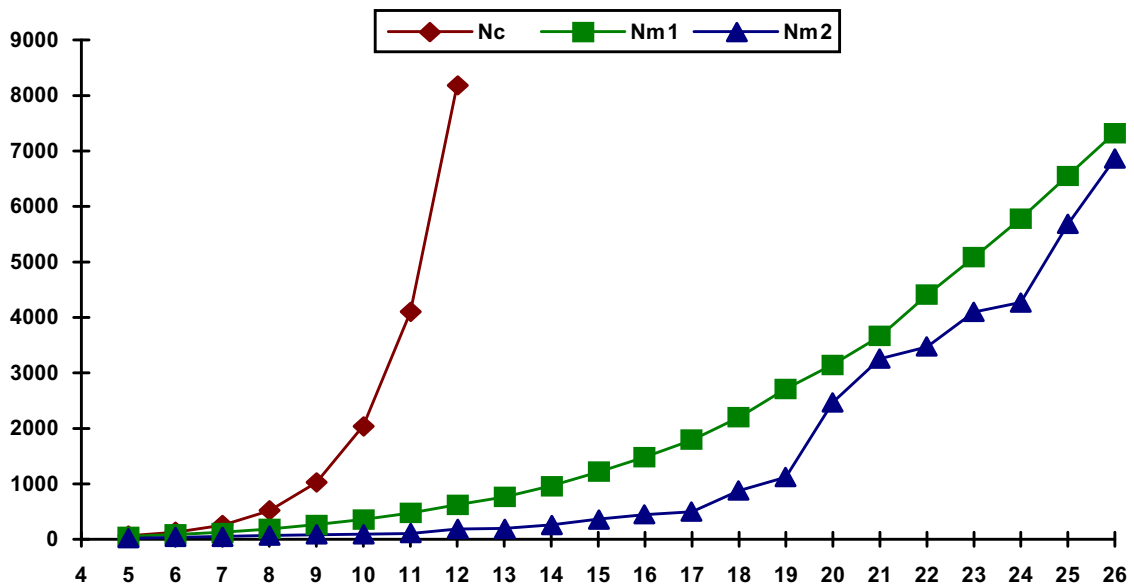


Рисунок 2. Сравнение быстродействия алгоритмов полного перебора моделей и комбинаторно-селекционного (многоэтапного) алгоритма направленного перебора

## С п и с о к л и т е р а т у р ы

1. Степашко В.С. Конечная селекционная процедура получения результата полного перебора // Автоматика. - 1981. - N3. - с.
2. Ивахненко А.Г. Индуктивный метод самоорганизации моделей сложных систем. - Киев: Наукова думка, 1982. - 245 с.
3. Справочник по типовым программам моделирования / Под ред. А.Г.Ивахненко. - Киев: Техніка, 1980. - 183 с.