

МОДИФИЦИРОВАННЫЙ ГЕНЕТИЧЕСКИЙ АЛГОРИТМ ДЛЯ ОПТИМИЗАЦИИ РАБОТЫ АВТОМАТИЗИРОВАННОГО ТЕХНОЛОГИЧЕСКОГО КОМПЛЕКСА МЕХАНООБРАБОТКИ

Лаздынь С.В., Секирин А. И.

Донецкий национальный технический университет, г. Донецк,
кафедра автоматизированных систем управления

E-mail: alx@kita.dgtu.donetsk.ua

Abstract

Lazdyn S.V., Sekirin A.I. The modified genetic algorithm for optimization of automated technological complexes of mechanical processing. For optimization of schedules for automated technological complexes of mechanical processing the modified genetic algorithm is developed which has two-level structure of chromosomes that allows to define at the first level optimum sequence of start into processing parties of details, and at the second level to define the optimum sizes of these parties. Experiments with genetic algorithm is made and its optimal parameters is defined.

Общая постановка проблемы повышения эффективности автоматизированных технологических комплексов. Организация работы автоматизированных машиностроительных комплексов требует синхронизации работы сложного технологического оборудования во времени и пространстве. Это становится возможным при использовании производственных расписаний, в соответствии с которыми автоматизированные технологические комплексы (АТК) должны обеспечивать изготовление заданной номенклатуры деталей в установленные директивные сроки и обладать способностью оперативного реагирования на изменения производственных заказов, допускаемых гибкостью станочного оборудования [1]. Создание алгоритмов, позволяющих создавать новые и корректировать старые расписания работы оборудования АТК в условиях изменяющейся производственной ситуации, является актуальной научно-технической задачей.

Анализ методов применяемых для оптимизации расписаний работы АТК.

Проведенный анализ состояния исследований и практических разработок в области автоматизированных технологических комплексов позволил сделать ряд обобщений. АТК включают в себя автоматизированное технологическое оборудование для механообработки деталей, а также - вспомогательное оборудование: автоматизированный транспорт и автоматизированную складскую систему. От качества расписания работы оборудования во многом зависит эффективность функционирования АТК. Поиску методов построения оптимальных расписаний посвящено достаточно большое число научных работ. Однако, в общем виде данная задача не решена. Оптимальные решения получены лишь для простейших случаев, имеющих чисто теоретическое значение. При решении данной задачи модели математического программирования не дали сколько-нибудь обнадеживающих результатов в силу большой размерности задачи. Из методов направленного поиска наибольшую известность получил метод "ветвей и границ". Методы полного перебора на практике не применимы, так как время поиска оптимума превышает допустимое.

Поэтому, несмотря на проведенные ранее исследования и выполненные разработки, проблема обеспечения высокой эффективности управления АТК в условиях действия возмущений не получила окончательного решения, что и вызывает необходимость проведения данного исследования.

Задача оптимизации работы АТК, выбор и обоснование критериев эффективности расписаний работы оборудования АТК.

Задачей управления автоматизированными технологическими комплексами механообработки является обеспечение выпуска продукции согласно производственной программе (P_i) по количеству и в установленные сроки при эффективном использовании ресурсов (R_l) в условиях действия возмущений (V_k). Обеспечение высокой эффективности использования ресурсов (R_l) и функционирования АТК в целом достигается за счет оптимизации расписаний работы оборудования.

Пусть рассматриваемый АТК состоит из L единиц технологического оборудования Q_l ($l = 1, 2, \dots, L$). Процесс изготовления деталей D_i ($i=1, \dots, n$) разбивают на технологические операции O_{ij} ($i=1, \dots, n; j=1, \dots, m$). Детали одного типа объединяются в транспортные партии и в разрезе расписаний рассматриваются как технологическая единица. Каждая операция может быть выражена в виде: $O_{ij} = \langle H_{ij}, T_{ij} \rangle$,

где H_{ij} – номер группы технологического оборудования; T_{ij} – продолжительность выполнения операции.

Технологический маршрут представляет собой последовательность выполняемых операций, которые проходит i -я деталь в процессе обработки: $M_i = \langle O_{i1}, O_{i2}, \dots, O_{im} \rangle$. Операция O_{ij} должна выполняться без перерыва с самого начала. Если обозначить через t_{ij} – время начала выполнения операции O_{ij} , а через \bar{t}_{ij} – момент окончания обработки, то должно выполняться равенство: $\bar{t}_{ij} = t_{ij} + T_{ij}$. Время начала обработки операции зависит от времени выполнения предыдущих и всегда выполняется неравенство: $t_{ij} \leq t_{ij+1}$. Тогда совокупность $\{t_{ij}\}$ ($i=1, \dots, n; j=1, \dots, m$), удовлетворяющих всем технологическим и временным ограничениям, является расписанием (G) работы автоматизированного технологического комплекса.

Задача оптимизации расписания заключается в том, чтобы для автоматизированного технологического комплекса с заданными технологическими маршрутами обработки деталей, определить такую последовательность запуска деталей в производство и размеры партий запуска, при которых критерий оценки качества расписания $F(G)$ стремился к экстремуму: $F(\bar{G}) = \text{extr } F(G)$ при выполнении следующих ограничений:

- по объемам изготовления: $N_{\phi i} = P_i$,
 где $N_{\phi i}$ – фактическое изготовленное количество деталей i -го типа ($i=1, \dots, K$); P_i – заданное в производственной программе количество деталей i -го типа; K – номенклатура изготавливаемых АТК деталей.

- по срокам изготовления: $T_{изг i} \leq T_{дир i}, i=1, 2, \dots, k$,
 где $T_{изг i}$ – фактический срок изготовления i -ой детали; $T_{дир i}$ – директивный срок изготовления i -ой детали;

- по фонду времени работы технологического оборудования: $\sum_{i=1}^n P_i \sum_{j=1}^m T_{ij} \leq R_l$,

где T_{ij} – длительность выполнения технологической операции; R_l – ресурс l -ой группы оборудования.

Основные критерии, по которым может быть произведена оценка эффективности полученного расписания:

1. Длительность цикла изготовления деталей ($T_{ц} \rightarrow \min$).
2. Средний коэффициент загрузки технологического оборудования АТК ($K_з \rightarrow \max$)

При этом совокупность времени $\{t_{ij}\}_{\text{опт}}$, соответствующая экстремуму критерия $F(G)$ является оптимальным расписанием (\bar{G}) работы АТК.

Разработка и программная реализация модифицированного генетического

алгоритма. Для решения сформулированной выше задачи оптимизации расписаний работы технологического оборудования предложено использовать генетические алгоритмы, так как все ранее применявшиеся методы не позволяют получить экстремальное значение для заданного критерия эффективности. Разработано двухуровневое представление хромосом, что позволит варьировать последовательностью запуска партий деталей на верхнем уровне и размерами этих партий на нижнем уровне:

$$Chr_i^1 = [m_1, m_2, \dots, m_n] - \text{хромосома верхнего уровня}$$

$$Chr_i^2 = [k_1, k_2, \dots, k_n] - \text{хромосома нижнего уровня}$$

где m_i и k_i – натуральные числа, кодирующие номера и размерности партий запуска соответственно; n – число видов партий запуска деталей в производство.

Верхний уровень хромосом кодирует различные варианты последовательностей запуска деталей по их типам на технологический участок. Здесь элемент хромосомы представлен целым числом. Каждой хромосоме верхнего уровня сопоставляется хромосома нижнего уровня, в которой содержится информация о величине партии запуска для каждого типа детали. Длина n хромосом верхнего и нижнего уровня определяется номенклатурой обрабатываемых деталей, которые будут принимать участие в процессе оптимизации. Каждой отдельной разновидности детали присваивается свой уникальный код, представленный натуральным числом. Последовательность этих кодов (чисел) в хромосоме определяет очередность запуска деталей в производство.

Ограничения на формирование хромосомы:

- коды деталей не должны повторяться;
- длина хромосомы верхнего уровня постоянна и равна количеству наименований обрабатываемых деталей;
- длина хромосомы нижнего уровня равна длине хромосомы верхнего уровня;
- для хромосом нижнего уровня значения элементов не должны выходить за пределы, определенные производственной программой для соответствующей детали.

Для оптимизации расписаний стандартный оператор кроссинговера (ОК) не может быть применен, поскольку он определен для двоичного представления хромосом. Для хромосом верхнего уровня применение стандартного ОК с высокой степенью вероятности может привести к нарушению ограничений, а именно возможно получение решения, в котором будут присутствовать повторяющиеся элементы (партии деталей). Этот недостаток можно ликвидировать, воспользовавшись методом «жадного кроссинговера», применяемого при решении задачи коммивояжера. Этот метод заключается в том, что непосредственно в формировании потомков принимают участие только левые части хромосом (фрагмент хромосомы от начала до точки кроссинговера). Далее каждый потомок достраивается отдельно, при этом каждый следующий элемент строки выбирается из следующих оставшихся частей родителей, а если это нарушает условия формирования хромосомы, то из всех оставшихся, которые потенциально могут принять участие в формировании потомка, т.е. ещё не были использованы. Этот метод позволяет избежать некорректного представления хромосом.

С целью устранения описанных выше недостатков были проанализированы несколько подходов в реализации ОК, и для решаемой задачи была разработана модификация двухточечного кроссинговера. Как и для простого ОК, на первом шаге из всей популяции выбираются две хромосомы-родителя. Далее определяются две точки кроссинговера, которые выбираются по следующим правилам:

- Позиция первой точки ОК $k_1 \in [1, N-1-L_{\text{блока}}]$ ($L_{\text{блока}}$ – это минимальное расстояние между точками кроссинговера, N – длина хромосомы);
- Позиция второй точки ОК $k_2 \in [k_1 + L_{\text{блока}}, N-1]$ (рис. 1).

	k_1			k_2				
Родитель 1	m_2	m_6	m_8	m_4	m_1	m_7	m_3	m_5
Родитель 2	m_6	m_4	m_1	m_5	m_3	m_2	m_8	m_7

Рисунок 1 - Определение точек кроссинговера для выбранных хромосом верхнего уровня

После выбора точек кроссинговера известны части хромосом-потомков только между этими точками (рис. 2а).

	k_1			k_2				
Родитель 1	x	x	x	m_4	m_1	m_7	m_3	x
Родитель 2	x	x	x	m_5	m_3	m_2	m_8	x

а)

	k_1			k_2				
Родитель 1	m_6	x	x	m_4	m_1	m_7	m_3	x
Родитель 2	m_7	x	x	m_5	m_3	m_2	m_8	x

б)

	k_1			k_2				
Родитель 1	m_6	m_5	m_8	m_4	m_1	m_7	m_3	m_2
Родитель 2	m_7	m_6	m_1	m_5	m_3	m_2	m_8	m_4

в)

Рисунок 2 - Поэлементное формирование хромосом-потомков верхнего уровня с корректировкой

Поскольку эти элементы принадлежат хромосомам, удовлетворяющим критериям формирования особей, то данные участки также удовлетворяют этим критериям. В процессе формирования дочерних хромосом возможно возникновение конфликта повторяемости элементов стринга. В связи с этим необходим четкий механизм замены некорректных участков хромосомы. Для этого строится цепочка преобразований на основе известных участков хромосомы, которые дают взаимоднозначное отображение (рис. 3). Если при формировании потомка будет предпринята попытка использовать уже задействованный в нем элемент, то он будет заменен на указанный в цепочке преобразований (рис. 3). Обмен первой парой элементов ($m_6 \leftrightarrow m_2$) хромосом показан на рис. 2б. После этого проверяется корректность хромосом-потомков при таком наборе элементов. Как видно, первый потомок не вызывает конфликта. Для второго же потомка элемент m_2 встречается дважды (позиция 1 и б). Поэтому производим над позицией 1 преобразование, согласно соответствию (рис. 3) $m_7 \leftrightarrow m_2$. В этом случае оба потомка корректны и возможно дальнейшее заполнение элементов

хромосом-потомков. Действуя аналогичным образом, заполняют оставшиеся позиции хромосом-потомков. Результат работы модифицированного оператора кроссинговера показан на рис. 2в.

1. $(m_4 \leftrightarrow m_5);$
2. $(m_1 \leftrightarrow m_3);$
3. $(m_7 \leftrightarrow m_2);$
4. $(m_3 \leftrightarrow m_8).$

Рисунок 3 - Цепочка преобразований для оператора кроссинговера хромосом верхнего уровня

Качество функционирования генетического алгоритма так же зависит от эффективного применения оператора мутации (ОМ). Поскольку при стандартной мутации предполагается замена мутирующего сегмента другим значением, а ограничения на формирование хромосом верхнего уровня не позволяют этого сделать, то за основу был принят модифицированный ОМ при котором происходит обмен значениями между двумя случайно выбранными элементами хромосомы. В выбранной родительской хромосоме случайным образом выбирают два элемента, а затем производят их обмен. В нашем примере это элементы хромосомы $m_6 \leftrightarrow m_5$. Пример применения оператора мутации для произвольной хромосомы приведен на рис. 4.

Родитель	m_2	m_6	m_8	m_4	m_1	m_7	m_3	m_5
Потомок	m_2	m_5	m_8	m_4	m_1	m_7	m_3	m_6

Рисунок 4 - Применение оператора мутации для хромосом верхнего уровня

Поскольку хромосомы нижнего уровня логически связаны с хромосомами верхнего уровня, то к ним применяют все преобразования (перестановки элементов), которые производятся в хромосомах верхнего уровня. Для хромосом нижнего уровня с учетом вышеприведенных ограничений возможно применение стандартного двухточечного оператора кроссинговера и мутации.

Для оценки каждой хромосомы (в качестве fitness – функции) предлагается применять объектно-ориентированную модель работы АТК, выходными параметрами которой является выходная таблица данных являющаяся основой нового расписания, для которого можно вычислить значение критерия эффективности выбранного в ГА [2]. Обобщенная схема поиска оптимального расписания с использованием объектно-ориентированной модели и генетических алгоритмов показана на рис. 5.

Предлагается выбрать небольшую (30-50 хромосом) мощность популяции, поскольку увеличение размерности популяций приведет к значительным временным затратам. Исходя из мощности популяции, выбраны вероятности ОК и ОМ. Для ГА, в котором используется небольшой размер популяции желательна большая изменчивость генетического материала и, следовательно, большие значения $P_{ок}=0,9$ и $P_{ом}=0,01$.

При формировании исходной популяции применяются текущие параметры производственной программы, которые находятся в объектно-ориентированной модели АТК, такие как: номенклатура, размеры, очередность партий запуска деталей.

Выбор хромосом-родителей в промежуточную популяцию производится методом пропорционального отбора на основе колеса рулетки. Каждая хромосома имеет поле, пропорциональное его значению целевой (fitness) функции. При этом хромосомы с “лучшим” значением целевой функции (ЦФ) имеют большую вероятность их попадания в следующую генерацию. После формирования промежуточной популяции, содержащей всех

родителей и потомков, выполняется редукция – сокращение популяции до исходного размера. Предлагается использовать стратегию элитного отбора. Она заключается в том, что «элитная группа» лучших хромосом (как родителей, так и потомков) всегда переходит в новую популяцию, а остальные особи отбираются с помощью колеса рулетки.

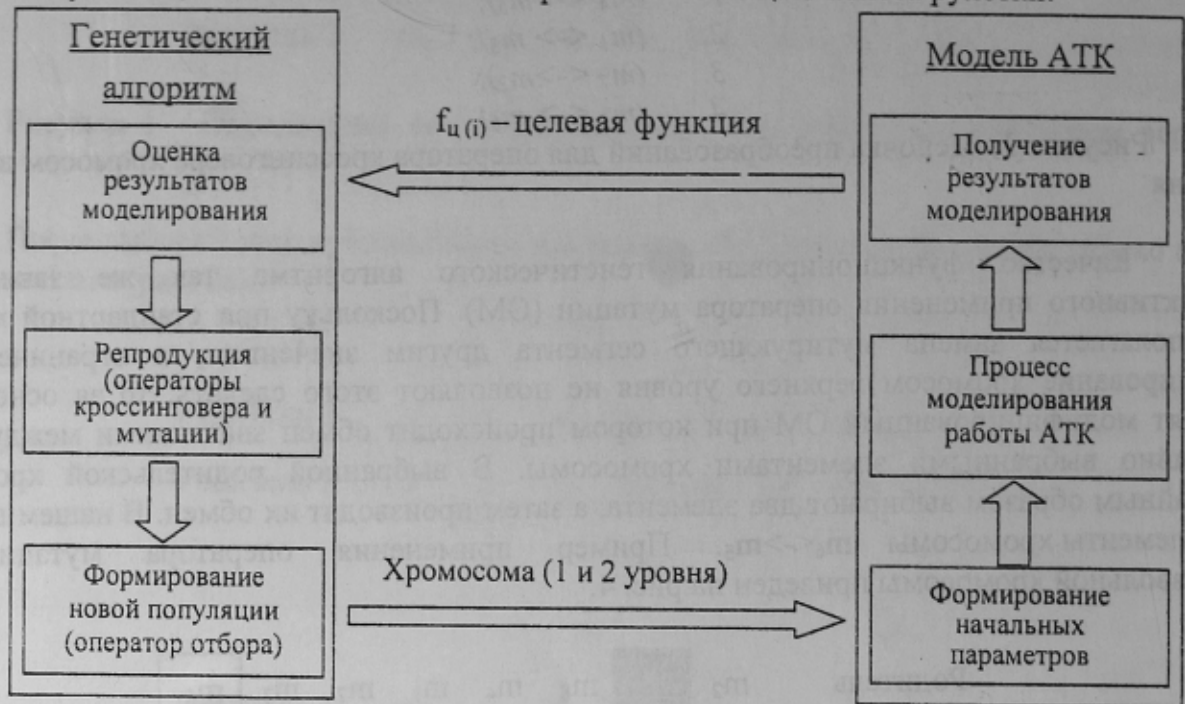


Рисунок 5 - Обобщенная схема поиска оптимального расписания.

Останов работы ГА производится в том случае, если сформировано заданное количество поколений. Рациональное количество поколений может быть выявлено экспериментальным путем.

Используя специализированные операторы кроссинговера и мутации, разработан двухуровневый генетический алгоритм по поиску оптимальных расписаний работы АТК [3], представленный на рис. 6.

Описание работы генетического алгоритма:

1) Ввод начальных параметров.

На этом шаге происходит установка начальных параметров алгоритма. Такими параметрами являются, например, мощность популяций первого и второго уровня (N_1 и N_2 соответственно), вероятностные показатели операторов кроссинговера и мутации ($P_{ок1}$, $P_{ом1}$, $P_{ок2}$, $P_{ом2}$), выбирается целевая функция ($f_{ц}$ – один из критериев эффективности работы АТК).

2) Генерация исходной популяции хромосом первого и второго уровня.

Начальная популяция представлена хромосомами (Chr^1_i), сформированными с жестким соблюдением всех указанных выше ограничений. Каждому типу деталей присваивается уникальный код, представленный натуральным числом. Последовательность этих кодов в хромосоме определяет очередность запуска деталей в производство.

Каждой из хромосом первого уровня ставится в соответствие популяция хромосом второго уровня (Chr^2_j). Размер популяций верхнего и нижнего уровня определяются экспериментально и не обязательно должны совпадать. Все хромосомы нижнего уровня также строятся с учетом ограничений и отражают величину транспортных партий в партии запуска по типам деталей.

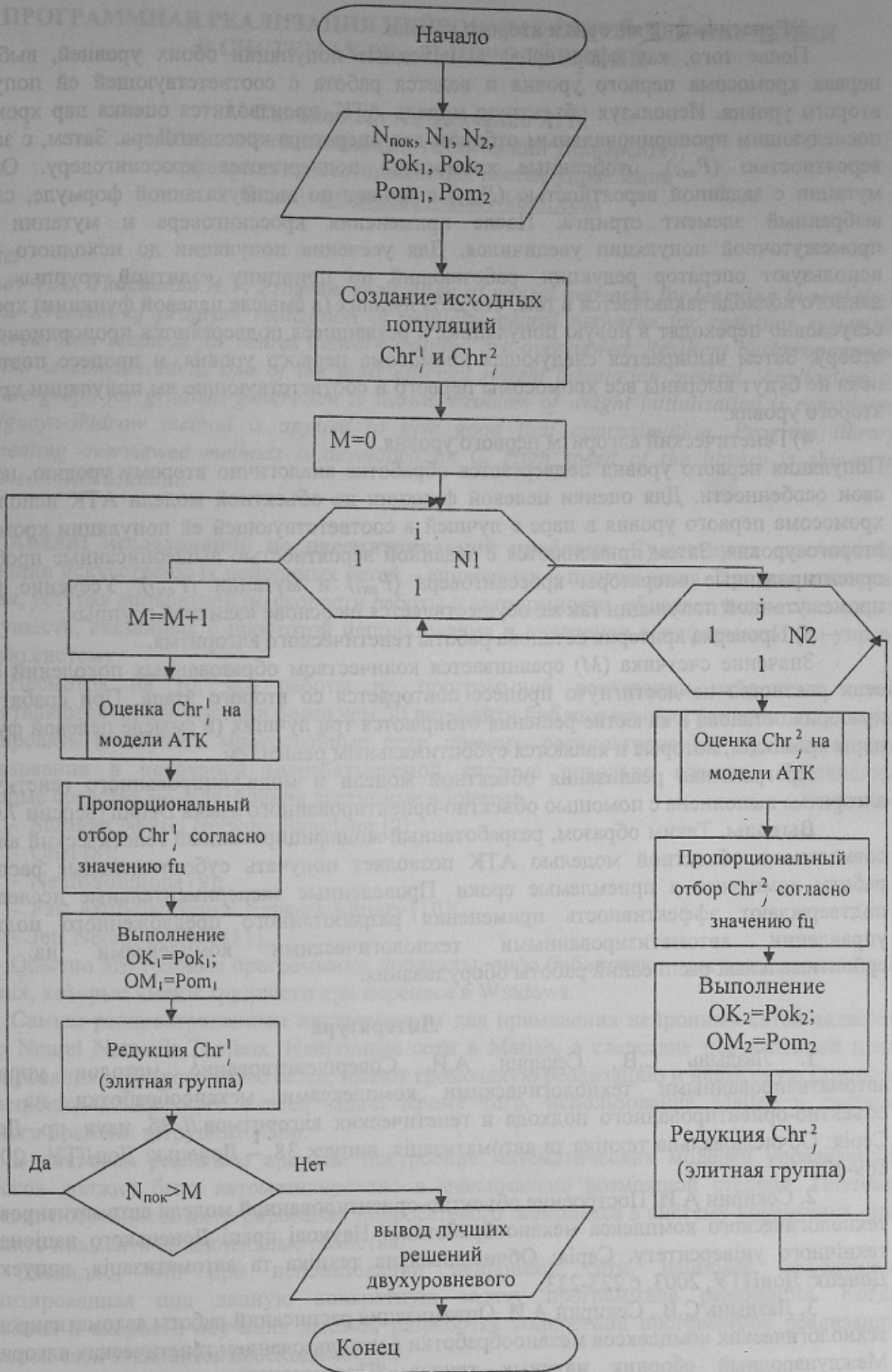


Рисунок 6 - Укрупненный алгоритм работы двухуровневого ГА

3) Генетический алгоритм второго уровня.

После того, как сформированы исходные популяции обоих уровней, выбирается первая хромосома первого уровня и ведется работа с соответствующей ей популяцией второго уровня. Используя объектную модель АТК, производится оценка пар хромосом с последующим пропорциональным отбором для оператора кроссинговера. Затем, с заданной вероятностью ($P_{ок2}$), отобранные хромосомы подвергаются кроссинговеру. Оператор мутации с заданной вероятностью ($P_{ом2}$) изменяет по вышеуказанной формуле, случайно выбранный элемент строки. После применения кроссинговера и мутации размер промежуточной популяции увеличился. Для усечения популяции до исходного размера используют оператор редукции, работающий по принципу «элитной группы». Смысл данного подхода заключается в том, что 20% лучших (в смысле целевой функции) хромосом, безусловно переходят в новую популяцию, а оставшиеся подвергаются пропорциональному отбору. Затем выбирается следующая хромосома первого уровня, и процесс повторяется пока не будут выбраны все хромосомы первого и соответствующие им популяции хромосом второго уровня.

4) Генетический алгоритм первого уровня.

Популяция первого уровня подвергается обработке аналогично второму уровню, но имеет свои особенности. Для оценки целевой функции на объектной модели АТК используется хромосома первого уровня в паре с лучшей в соответствующей ей популяции хромосомой второго уровня. Затем применяются с заданной вероятностью вышеописанные проблемно-ориентированные операторы кроссинговера ($P_{ок1}$) и мутации ($P_{ом1}$). Усечение размера промежуточной популяции так же осуществляется на основе «элитной группы».

5) Проверка критерия останова работы генетического алгоритма.

Значение счетчика (M) сравнивается количеством образованных поколений ($N_{пок}$) и если равенство не достигнуто процесс повторяется со второго этапа. При срабатывании критерия останова в качестве решения отбираются три лучших (в смысле целевой функции) пары хромосом, которые и являются субоптимальным решением.

Программная реализация объектной модели и модифицированного генетического алгоритма выполнена с помощью объектно-ориентированного языка Delphi (версии 7.0).

Выводы. Таким образом, разработанный модифицированный генетический алгоритм совместно с объектной моделью АТК позволяет получать субоптимальные расписания работы комплекса в приемлемые сроки. Проведенные экспериментальные исследования подтверждают эффективность применения разработанного предложенного подхода в управлении автоматизированными технологическими комплексами на основе субоптимальных расписаний работы оборудования.

Литература

1. Лаздынь С.В., Секирин А.И. Совершенствование методов управления автоматизированными технологическими комплексами механообработки на основе объектно-ориентированного подхода и генетических алгоритмов. // Зб. наук. пр. ДонДТУ. Серія: Обчислювальна техніка та автоматизація, випуск 38. – Донецьк: ДонДТУ.- 2002. - с. 169-175.
2. Секирин А.И. Построение объектно-ориентированной модели автоматизированного технологического комплекса механообработки. // Наукові праці Донецького національного технічного університету. Серія: Обчислювальна техніка та автоматизація, випуск 64. – Донецьк: ДонНТУ, 2003, с.223-233.
3. Лаздынь С.В., Секирин А.И. Оптимизация расписаний работы автоматизированных технологических комплексов механообработки с использованием генетических алгоритмов // Международный сборник научных трудов “Прогрессивные технологии и системы машиностроения”, выпуск 25. –Донецк: ДонНТУ.-2003. – с. 198-203.