

УДК 65.012.25

**ПОСТРОЕНИЕ ГИБРИДНОГО АЛГОРИТМА ПЛАНИРОВАНИЯ  
ПРОИЗВОДСТВЕННЫХ ПРОЦЕССОВ НА ОСНОВЕ ГЕНЕТИЧЕСКОГО  
АЛГОРИТМА И АДАПТИРОВАННОГО АЛГОРИТМА ТАБУ**

**Воскресенский А.С. (НИУ ИТМО), Баталенков С.С. (НИУ ИТМО)**

**Научные руководители – младший научный сотрудник, аспирант Филатова А.А.  
(НИУ ИТМО), младший научный сотрудник, аспирант Ковальчук М.А.  
(НИУ ИТМО)**

**Введение.** Проблема составления графика работ в крупных производственных проектах обусловлена большим количеством взаимозависимых процессов, лежащих в основе плана, и их сложностью. В наше время задача планирования в большей степени ложится на плечи экспертов – людей, которые, полагаясь на свои знания и накопленный опыт, могут скоординировать процессы, определив внутренние зависимости между ними и распределив их по параллельным ветвям разработки, где это возможно. Однако эксперт не всегда может найти экономически оптимальное решение в следствие человеческого фактора. С другой стороны, существует оптимизационная задача, направленная на решение проблемы планирования взаимосвязанных работ с ограниченными ресурсами (Resource-Constrained Project Scheduling Problem, RCPSP). То есть, подразумевается наличие некоторого ресурса (например, работников) в ограниченном количестве, который должен быть распределен между работами[1]. Тем не менее, методы, разработанные для решения этой оптимизационной задачи, зачастую не могут быть применены на практике, так как фактически решается задача с множеством расширений: уточнений и ограничений, учет которых не заложен в оригинальных математических моделях.

**Основная часть.** Для создания решения RCPSP, применимого в производственной практике, необходимо расширить классическую постановку задачи. Во-первых, вводится несколько дополнительных типов связей между работами. Помимо оригинального типа связей между работами «финиш-старт» (то есть, следующая работа не может начаться, пока не закончилась предыдущая), добавляются различные комбинации последовательностей:

- «старт-старт»;
- «старт-финиш»;
- «финиш-финиш»;
- и другие более специфические.

Во-вторых, расширяются ограничения по ресурсам: вводится множество типов ресурсов и лимит максимального количества одновременно используемых единиц каждого из них. Также каждая работа имеет минимальные ресурсные требования, без удовлетворения которых она не может начаться. При том, на работу может быть выделено больше минимального количества ресурсов, что ускорит ее выполнение (по принципу убывающей полезности). Также, некоторые ресурсы могут быть (неравнозначно) взаимозаменяемы.

В-третьих, существует несколько подрядчиков со своими пулами ресурсов. На одну работу могут быть выделены ресурсы только одного подрядчика, и логически непрерывные цепочки взаимосвязанных работ не могут быть распределены между несколькими подрядчиками.

Таким образом, постановка сводится к оптимизации двух экономически важных показателей: общего времени выполнения проекта и максимального количества одновременно задействованных ресурсов каждого типа. В данной работе предлагается метод решения RCPSP на основе последовательного применения нескольких алгоритмов, каждый из которых вносит свой вклад в окончательное решение. При помощи алгоритма HEFT (Heterogeneous Early Finish Time) создается начальное приближение. Алгоритм является эвристическим и используется лишь для получения допустимого решения, как основы для дальнейших улучшений. Далее генетический алгоритм генерирует более оптимальный вариант

возможного решения, предположительно находящийся в районе глобального оптимума. Генетический эволюционный алгоритм способен на это, так как является методом глобального поиска.

Для финального этапа оптимизации в данной работе предлагается модификация алгоритма «поиск с запретами» (поиск-табу, tabu-search)[2–4], разработанного специально для данной задачи. Это алгоритм локального поиска, который способен улучшить и довести до оптимума близкое к оптимальному решение. По сравнению с классическим вариантом, предлагается итеративный статистический выбор последующего приближения (до достижения условия сходимости), то есть, возможные решения сортируются по значению целевой функции, и конкретное решение выбирается при помощи случайной величины из экспоненциального распределения. Также, схожим методом выбирается время занесения в табу-список выбранных вариантов при помощи нормального распределения. Помимо этого, предлагается несколько методов поиска ближайших решений для составления списка ближайших соседей – кандидатов для следующего «хода».

Вышеперечисленные улучшения позволяют улучшить решение, полученное на этапе генетического алгоритма, и найти глобальный оптимум.

**Выводы.** Проведено исследование классической постановки задачи RCPSP и фактических индустриальных требований к ней, составлена расширенная постановка. Изучены современные методы решения задачи, выбраны подходящие алгоритмы. Разработан пайплайн построения и оптимизации планов работ, подходящий для использования при планировании производственных процессов. Создана собственная модификация алгоритма «поиск с запретами». Разработка показала способность генерировать оптимальные решения или близкие к ним.

#### **Список использованных источников:**

1. Araúzo J.A., Pajares J., Lopez-Paredes A. Simulating the dynamic scheduling of project portfolios // *Simul Model Pract Theory*. Elsevier, 2010. Vol. 18, № 10. P. 1428–1441.
2. Ho S.C., Leung J.M.Y. Solving a manpower scheduling problem for airline catering using metaheuristics // *Eur J Oper Res*. 2010. Vol. 202, № 3. P. 903–921.
3. Hartmann S., Briskorn D. A survey of variants and extensions of the resource-constrained project scheduling problem // *Eur J Oper Res*. 2010. Vol. 207, № 1. P. 1–14.
4. Servranckx T., Vanhoucke M. A tabu search procedure for the resource-constrained project scheduling problem with alternative subgraphs // *Eur J Oper Res*. 2019. Vol. 273, № 3. P. 841–860.

Воскресенский А.С. (автор)

Подпись

Баталенков С.С. (автор)

Подпись

Ковальчук М.А. (научный руководитель)

Подпись

Филатова А.А. (научный руководитель)

Подпись