

УДК 004.942

ВАРИАНТ ПОСТРОЕНИЯ ПРОГРАММНОГО СРЕДСТВА ДЛЯ ОЦЕНКИ ВЕРОЯТНОСТНО-ВРЕМЕННЫХ ХАРАКТЕРИСТИК СЕТЕВЫХ ГРАФИКОВ

Г.П. Пуха (Санкт-Петербург)

Введение

Решение задач по управлению проектами, как правило, связано с использованием аппарата так называемого сетевого планирования (СП), реализация которого для случайных процессов в классическом варианте предполагает аппроксимацию продолжительности отдельных операций исключительно нормальным законом распределения [1]. Применение же технологий имитационного моделирования при решении задач сетевого планирования, например, в интересах учета возможных рисков достижения целевых показателей при управлении проектами [2], или развертывания полевого узла связи (ПУС) [3], позволяет не только успешно преодолеть данное ограничение аппарата СП, но и:

- получить соответствующие зависимости вероятностно-временных характеристики (ВВХ) сетевых графиков от продолжительности их отдельных операций;
- определить, какие из операций (процедур) оказывают наибольшее влияние на конечный результат и поэтому требуют особого внимания с точки зрения риска их невыполнения при управлении проектом;
- подбирать наиболее рациональные их сочетания.

В качестве примера решения задачи, связанной с оценкой своевременности реализации предполагаемого комплекса работ (проекта) с использованием технологии имитационного моделирования (ИМ) можно привести несложную сетевую модель процесса развертывания полевого узла связи (ПУС) [3], заданную в частности в виде ориентированного (рисунок 1) и табличного (таблица 1) графов [4].

Вариант блок-схемы алгоритма имитационной модели, соответствующий данному сетевому графику, для ее реализации, например, в специализированной среде GPSS Studio, представлен на рисунке 2.

Как уже отмечалось выше, при решении подобных задач в качестве ограничивающих факторов, как правило, выступают: время, отведенное на выполнение проекта, и имеемые людские ресурсы, а в качестве исследуемых параметров (показателей эффективности) – такие вероятностно-временные характеристики (ВВХ) как среднее время выполнения проекта, его дисперсия и своевременность решения задачи как вероятность реализации проекта в установленные сроки [2].

Поэтому для проведения серии экспериментов в интересах оптимизации сетевых графиков (СГ) есть смысл, в первую очередь, обратить внимание на наиболее трудоемкие операции (работы), в частности, В и С, задав для них диапазон наиболее вероятных значений с определенным шагом, имея при этом ввиду перераспределение объема работ между исполнителями проекта и закладывая соответствующие риски в максимальные их значения.

Значительное число экспериментов, которое потребуется при этом провести, несомненно, является заметным препятствием практического применения метода ИМ. Однако развитие современных технологий его реализации помогают автоматизировать данную процедуру[5].

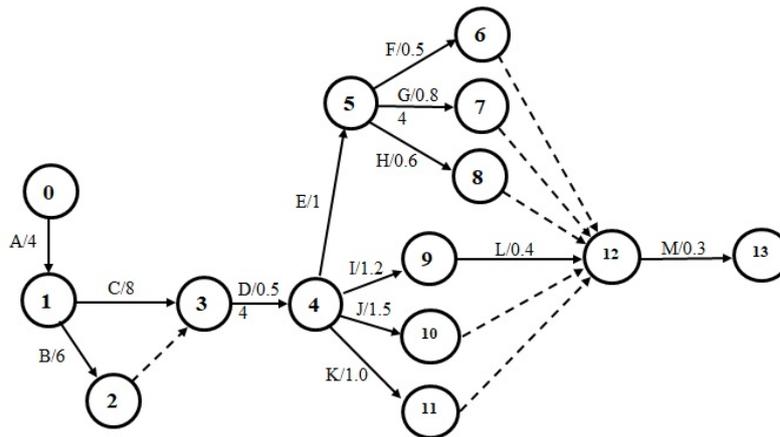


Рис. 1 – Взаимосвязь процессов развертывания ПУС

Таблица 1 – Описание сетевой модели процесса развертывание полевого узла связи

№ работы	События (узлы)	Содержание работы	T _{мин.} , мин.	T наиболее вероятное, мин.	T _{макс.} , мин.	Последующая работа
A.	0–1	Формирование походных колонн	180	240	300	В, С
В.	1–2	Перемещение колонны 1 в район развертывания ПУС	300	360	420	D
С.	1–3	Перемещение колонны 2 в район развертывания ПУС	360	480	600	D
D.	3–4	Формирование элементов ПУС	20	40	60	Е, I, J, К
Е.	4–5	Выдвижение элементов ПДРЦ на боевую позицию	40	60	120	F, G, H
F.	5–6	Развертывание аппаратных ПДРЦ	20	30	50	М
G.	5–7	Развертывание АФУ ПДРЦ	30	45	60	М
Н.	5–8	Развертывание РРЛ привязки ПДРЦ-ПРЦ	25	35	45	М
I.	4–9	Развертывание аппаратных ПУ-ПУС и ЦКО	40	70	90	М
J.	4–10	Развертывание аппаратных ПРЦ	60	90	130	М
К.	4–11	Развертывание АФУ ПРЦ	45	60	90	М
L.	9–12	Привязка ПУС к ОСС	30	45	60	L
М.	12–13	Открытие радиовахт	20	30	45	–

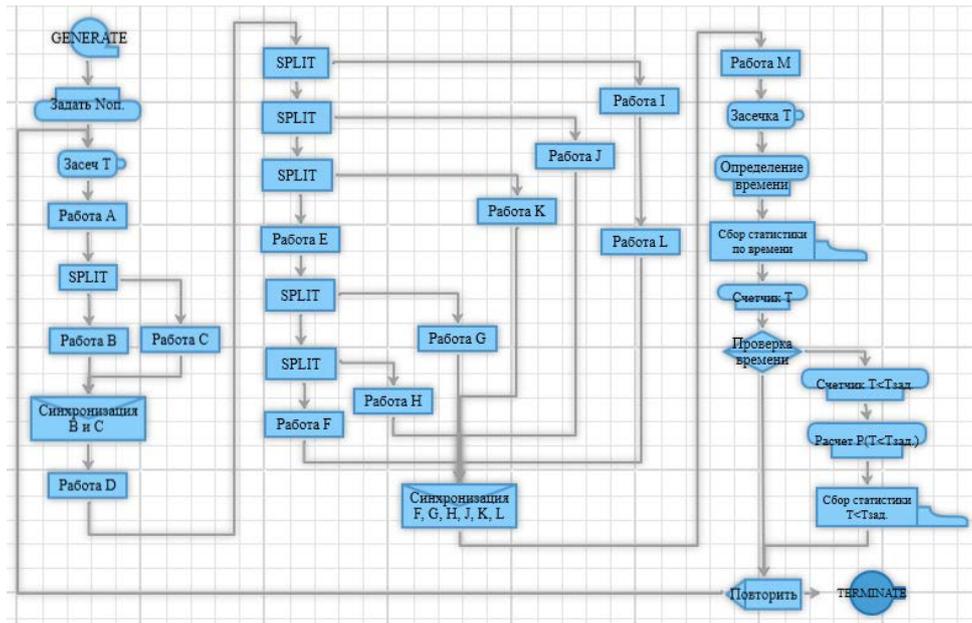


Рис. 2 – Блок-схема алгоритма ИМ процесса развертывания ПУС (вариант)

Так, например, используя возможности среды GPSS Studio по проведению серии экспериментов и ее средств анализа, можно получить следующие результаты зависимости временных характеристик процесса развертывания ПУС, графическая интерпретация которых представлена на рисунке 3.

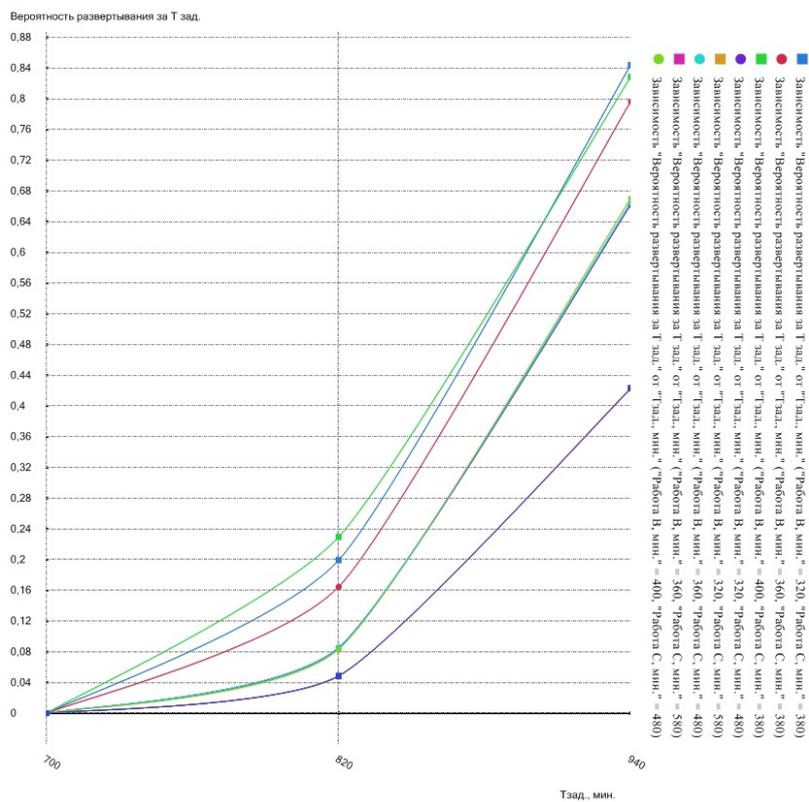


Рис. 3 – Зависимость своевременного развертывания ПУС от заданного срока при различных соотношениях продолжительности работ В и С

Уменьшение вероятности своевременного решения задачи по развертыванию ПУС при ужесточении требований (заданных сроков) очевидно. Однако данные результаты позволяют определить, все-таки, и соответствующие пределы таких требований для конкретных ситуаций и организационно-технических возможностей этой системы.

В данном случае реально на это мероприятие следует отводить не менее 15 часов, когда в результате оптимизационных мероприятий можно будет ставить задачу о получении гарантированного (например, с вероятностью 0.9) результата своевременного развертывания ПУС.

В частности, таковыми мероприятиями могут стать изменения маршрутов или скоростей движения колонн, обеспечивающими продолжительность работы В в пределах 320-400 минут, а работы С – не более 380 мин. Наилучший же результат достигается при соотношении продолжительностей этих работ 320/380.

Очевидно, что перераспределяя между исполнителями параллельных работ (как это и положено при сетевом планировании) их объемы, выравнивая при этом соотношения их временных интервалов, и выполняя аналогичные серии экспериментов можно:

- существенно сократить критический путь выполнения поставленной задачи;
- найти условия, при которых она будет выполнена своевременно;
- определить какие из операций (процедур) оказывают наибольшее влияние на конечный результат и поэтому требуют особого внимания с точки зрения риска их невыполнения при управлении «проектом».

В то же время известно [1, 4, 6], что оптимизация сетевых графиков производится, исключительно, эвристически, и является результатом многократного и последовательного пересмотра соответствующих планов – сначала по параметру «время», а затем уже и по другим контролируемым параметрам. При этом выделяют три основных принципа оптимизации:

1. последовательное выполнение работ заменяется параллельным;
2. перераспределение ресурсов между работами критического и некритического путей;
3. организационные и технологические изменения выполнения работ.

Параллельное выполнение работ достигается тем, что работы большой продолжительности разбиваются таким образом, чтобы каждая из последующих работ могла быть начата до полного окончания предшествующей работы. Естественно, что расчленение работ производится тогда, когда это позволяет технология и организация их выполнения.

При перераспределении ресурсов после учета резервов времени некритических работ с них снимаются рабочая сила, оборудование, финансовые средства и другие ресурсы и передаются для выполнения критических работ. Такое перераспределение позволяет сократить продолжительность критического пути, а, следовательно, и срок выполнения всего комплекса работ.

Совершенствование организации, применение новой технологии производства позволяют сократить продолжительность работ, в том числе и критических. В некоторых случаях удается часть работ вообще удалить из графика.

Очевидно, что применение принципов оптимизации напрямую связано с изменением временных параметров и топологии сетевых графиков. Критический путь может «перейти» на другую последовательность работ, в сети могут образоваться несколько критических путей. Процесс же оптимизации весьма трудоемок и несовместим с волевым изменением сроков или организации работ. Следовательно, при использовании метода имитации, как и в аналитической технологии решения задач СП,

данное обстоятельство также приведет к необходимости модификации ИМ управления проектом. То есть, традиционная трудоемкость пересмотра СГ усугубляется в данном случае еще и дополнительными временными затратами на соответствующее перестроение ИМ, что ставит под сомнение практическую реализацию этого подхода непосредственно в ходе управления проектом, обрекая, скорее всего, применение такого варианта синтеза лишь на этапе предварительного планирования.

Решение задачи

Выходом из создавшейся ситуации, на наш взгляд, может послужить автоматизация процесса формирования ИМ на принципах функционирования генераторов программного кода по заданным правилам и схеме (таблице) СГ.

Решению этой задачи могут способствовать такие факторы как:

- не слишком большой и повторяющийся набор типовых элементов нотации GPSS для представлений операций СП;
- возможность ввода в ИМ и вывода из нее данных с помощью файлов текстового формата в современных системах ИМ [6].

Так, анализ процесса формирования ИМ в нотации GPSS показывает, что основными операторами (блоками), которые потребуются для отображения последовательности работ и соответствующих событий СГ, являются:

- GENERATE – для создания динамического объекта, имитирующего начало планируемых мероприятий (работ);
- ADVANCE – для имитации продолжительности выполнения этих мероприятий;
- SPLIT – для создания параллельных работ, как копий основного процесса;
- TRANSVER – для упорядочивания процессов их разветвления и совмещения;
- ASSEMBLE – для объединения распараллеленных мероприятий в соответствующих событиях сетевого плана, обеспечивающих продолжение его мероприятий или их завершение.

Более подробное исследование структуры данной модели и аналогичных фрагментов в других моделях СГ (см. таблицу 2) дает возможность выявить следующие правила (и построить соответствующий алгоритм) формирования программного кода по заданным характеристикам СГ.

Если очередная строка таблицы СГ содержит неизменный номер события, то работы распараллеливаются (делается копия), отправляется на задержку своего времени выполнения и отправляется в точку объединения со своим прототипом. При этом число таких копий (работ) необходимо подсчитать.

Если же очередная строка таблицы СГ содержит другой номер события, то отображается выполнение очередного мероприятия и устанавливается точка (оператор) объединения для прототипов, появившихся в ходе распараллеливания.

Если в таблице описания СГ к колонкам со сведениями о начальном и конечном событиях мероприятий добавить колонку с номером совместного события завершения параллельных работ, то при наличии этого набора исходных данных может быть составлен такой алгоритм программной процедуры формирования текста его имитационной модели, который представлен на рисунке 4.

Таблица 2

Очередное действие	Номер начального события	Номер конечного события	Содержание работы	T _{мин.} , час	T _{наивер.} , час	T _{макс.} , час	Номер события встречи
1.	0	1	Формирование походных колонн	180	240	300	
2.	1	2	Перемещение колонны 1 в район развертывания ПУС	300	360	420	3
3.	1	3	Перемещение колонны 2 в район развертывания ПУС	360	480	600	3
4.	3	4	Формирование элементов ПУС	20	40	60	
5.	4	5	Выдвижение элементов ПДРЦ на боевую позицию	40	60	120	
6.	5	6	Развертывание аппаратных ПДРЦ	20	30	50	12
7.	5	7	Развертывание АФУ ПДРЦ	30	45	60	12
8.	5	8	Развертывание РРЛ привязки ПДРЦ-ПРЦ	25	35	45	12
9.	4	9	Развертывание аппаратных ПУ-ПУС и ЦКО	40	70	90	
10.	4	10	Развертывание аппаратных ПРЦ	60	90	130	12
11.	4	11	Развертывание АФУ ПРЦ	45	60	90	12
12.	9	12	Привязка ПУС к ОСС	30	45	60	12
13.	12	13	Открытие радиовахт	20	30	45	

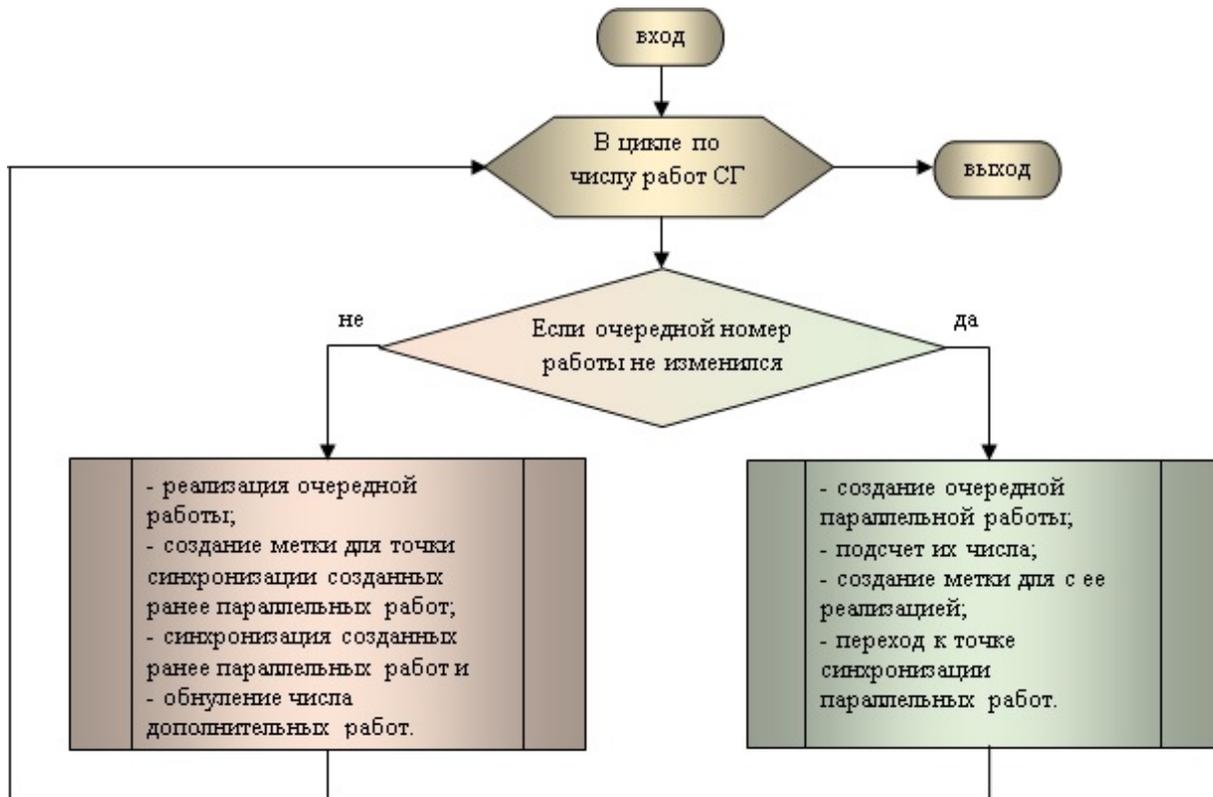


Рис. 4 – Блок-схема алгоритма формирования текста имитационной модели сетевого графика

Пример реализации подобной процедуры в нотации языка Паскаль системы объектного программирования Делфи [7] может выглядеть следующим образом:

```

for i:=1 to M_Rab do
begin
if Work_SG[i].NS=Work_SG[i+1].NS then
begin
Writeln(Model_SG,'SPLIT 1,Rab'+IntToStr(Work_SG[i].Kod_Rab)+' ; создание
i-ой параллельной работы ');
Writeln(Model_SG,'SAVEVALUE NPR+,1 ; Число копий +1');
Writeln(Model_SG,'TRANSFER ,Rab'+IntToStr(Work_SG[i].SS)+ ' ; Метка
совм_события');
Writeln(Model_SG,'Rab'+IntToStr(Work_SG[i].Kod_Rab)+' ADVANCE
(TRIANGULAR(1,'+FloatToStr(Work_SG[i].Tmin)+' ,'+FloatToStr(Work_SG[i].Tmax)+' ,'+F
loatToStr(Work_SG[i].Tniver)+')); выполнение параллельной работы ');
Writeln(Model_SG,'TRANSFER ,Sob'+IntToStr(Work_SG[i].SS)+' ; переход к
точке синхронизации работ ');
end
else
begin
Writeln(Model_SG,'Rab'+IntToStr(Work_SG[i].Kod_Rab)+' ADVANCE
(TRIANGULAR(1,'+FloatToStr(Work_SG[i].Tmin)+' ,'+FloatToStr(Work_SG[i].Tmax)+' ,'+F
loatToStr(Work_SG[i].Tniver)+'));
Writeln(Model_SG,'Sob'+IntToStr(Work_SG[i].Kod_Rab)+' ASSEMBLE X$NPR
; синхронизации N_t работ ');
end
end
end
    
```

```

Writeln(Model_SG,'SAVEVALUE NPR,1 ; Число копий =1');
end;
end;
    
```

Очевидно, что подобный фрагмент кода целесообразно оформлять в виде отдельной подпрограммы, и в зависимости от предполагаемого варианта реализации архитектуры проекта приложения, обеспечивающего решение задачи рационального управления проектом, подключать ее как встроенную процедуру в нотации языка Plus [6] (рисунок 5).



Рис. 5 – Структура ПС для оценки ВВХ реализации проектов при сетевом планировании

Данную процедуру также можно оформить как библиотечную и в нотации C# – в случае разработки проекта в среде GPSS Studio [5], или использовать ее в составе модуля, формирующего ИМ в текстовом формате с последующим запуском ее в среде ИМ – в случае разработки проекта в любой другой среде программирования.

В предлагаемом варианте профиль программного средства, выполненного в автономной архитектуре, включает API среды программирования Delphi, файлы текстовых форматов и формата СУБД Access. Пользовательский интерфейс предполагает обеспечение выполнения следующих операций, связанных с оценкой ВВХ сетевого планирования:

- составление по правилам сетевого планирования (или корректировку) вариантов СГ набора мероприятий заданного проекта в формате СУБД Access;
- автоматическое формирование с помощью встроенной процедуры переменных фрагментов ИМ в нотации GPSS World в формате текстовых файлов;
- запуск приложения GPSS World с базовой моделью СГ и подключаемыми ее фрагментами;
- обработку результатов моделирования с целью определения ВВХ реализации сетевого проекта;
- отображение этих результатов в тестовом и графическом виде.

Заключение

Таким образом, с большой долей уверенности можно утверждать, что:

- идея применения технологий генерации программного кода имитационных моделей по заданным характеристика сетевых графиков в интересах учета динамики изменения исходных данных вполне реальна;
- ее успешная реализация, например, с помощью таких известных систем ИМ как GPSS World и GPSS Studio, может существенно уменьшить трудоемкость пересмотра сетевых планов при управлении проектами.

Литература

1. **Скугорев В.Д., Кудин Л.В.** Сетевое планирование на флоте. – М: Воениздат, 1973. – 248 с.
2. **Ибадулаев М.В., Котомин М.А., Пуха Г.П.** Имитационное моделирование процесса управления выполнением проекта с учетом возможных рисков достижения целевых показателей. В сборнике: Актуальные проблемы защиты и безопасности. Труды XXVI Всероссийской научно-практической конференции. Санкт-Петербург, 2023. С. 204-214.
3. **Пуха Г.П.** Метод имитационного моделирования и его применение в интересах исследования систем связи ВМФ: монография / Г.П. Пуха. – СПб: ВУНЦ ВМФ «ВМА», 2024. – 345 с.
4. Интеллектуальная поддержка принятия решения в интересах управления связью ВМФ. Учебник / Г.П. Пуха, П.В. Попов, В.П. Чемиренко, А.М. Жидков / под общей редакцией Пуха Г.П. – СПб: ВМА, 2019. – 329 с.
5. Имитационные исследования в среде моделирования GPSS STUDIO: учеб. пособие / В.В. Девятков, Т.В. Девятков, М.В. Федотов; под общ. ред. В.В. Девяткова. – М.: Вузовский учебник: ИНФРА-М, 2018. – 283 с.
6. **Пуха Г.П.** Моделирование систем: учебное пособие / Г.П. Пуха. – СПб: СПбГЭУ, 2020. – 279 с.
7. **Пуха Г.П.** Современное высокоуровневое и объектно-ориентированное программирование: учебное пособие / Г.П. Пуха. – СПб: СПбГУСЭ, 2013. – 259 с.