

УДК 65.011.56

И.В. Лазарев

Математические модели планирования технологических регламентов реконструкции и ремонта инженерных сетей

Рассмотрена математическая модель планирования технологических регламентов реконструкции и ремонта инженерных сетей. На примере задачи по реконструкции и ремонту участков сети холодного водоснабжения предприятия приведен пример расчета сетевого графика регламентных мероприятий с использованием правила предпочтения «кратчайшая операция».

Ключевые слова: технологический регламент, календарный план, сетевой график.

Основные понятия и определения регламента. Успешное достижение организацией целевых результатов зависит от способности руководства спланировать деятельность подчиненных и обеспечить её оперативное исполнение по заданным правилам и с гарантированным качеством. Как правило, эти вопросы рассматриваются при регламентации основных и вспомогательных бизнес-процессов деятельности организации.

В литературе есть несколько определений термина «регламент». Толковый словарь Ожегова дает два определения [1]: правила, регулирующие порядок какой-нибудь деятельности; время, отведенное на собрании для речи, выступления. Толковый словарь Даля дает следующее определение термина «регламент» [2]: устав, порядок или правила какой-либо службы, разъясненные на письме. В государственном стандарте ГОСТ Р 522294–2004, регламент определен как «совокупность правил, устанавливающих порядок проведения работ или осуществления деятельности» [3].

Любая регламентная деятельность осуществляется определенным субъектом. В качестве субъектов деятельности, участвующих в реализации всех этапов жизненного цикла регламента, могут выступать организация в целом, отдельное подразделение, конкретный сотрудник. Обязательное введение при описании регламентов параметров времени и исполнителей позволяет обеспечить синхронизацию их деятельности как в пределах одного подразделения, так и при их взаимодействии. Исходя из вышеизложенного, можно выделить следующие основные свойства регламента деятельности:

- ориентация деятельности на достижение определенных целевых результатов;
- задание правил и порядка осуществления и последующего регулирования деятельности;
- определение сроков (времени) осуществления этой деятельности;
- распределение функций между исполнителями и задание правил взаимодействия между ними в процессе реализации деятельности;
- документальное оформление правил и порядка осуществления деятельности.

Тогда под регламентом будем понимать набор правил, определяющих содержание и порядок реализации конкретных функций подразделений и отдельных должностных лиц по достижении заданных целевых результатов деятельности, их документальное оформление при разработке и последующем исполнении. Для дальнейшего изложения материала введем понятие регламентного мероприятия как действия по реализации конкретной функции определенным исполнителем в определенный период времени.

С учетом вышеизложенного бизнес-процесс управления регламентной деятельностью организации можно представить в виде следующих этапов:

- построение нормативной модели регламента в виде совокупности взаимосвязанных процессов (регламентных мероприятий);
- разработка календарного плана реализации регламента;
- организация контроля, анализ и регулирование исполнения регламента.

Для построения нормативной модели регламента в виде совокупности взаимосвязанных регламентных мероприятий предлагается использовать методы системной декомпозиции [4].

Процедура декомпозиции предполагает итерационное разбиение целого на части (системы на подсистемы, цели на подцели, задачи на подзадачи и т.д.). Для того чтобы обеспечить системность

декомпозиции, однозначность разбиения целого на части и обосновать элементы результирующего множества составных частей, при декомпозиции будем использовать формальную модель декомпозиции типа «жизненного цикла», которая обеспечивает выделение строго упорядоченной совокупности элементов, описывающих эволюционное изменение состояния системы.

Важной характеристикой процедуры декомпозиции является «глубина» разбиения целого на части. Понятие глубины декомпозиции в данном случае связано с понятием принципа элементарности. Использование этого принципа предполагает продолжение декомпозиции до получения результата, не требующего дальнейшего разложения, т.е. «программного» мероприятия, простого и понятного исполнителю. Такие регламентные мероприятия будем называть элементарными.

Зачастую для управления регламентными мероприятиями создаются временные органы (различные комиссии, оргкомитеты, рабочие группы), выполняющие набор вполне конкретных управленческих функций, содержание и организационно-технологическая схема реализации которых периодически повторяются. Отсутствие постоянных органов управления такого рода регламентными мероприятиями и следующая из этого несогласованность действий руководства являются основной причиной трудностей, возникающих на этапе подготовки решений по проведению регламентных мероприятий. Эти трудности имеют субъективный и объективный характер. Причиной трудностей субъективного характера являются периодические смены состава органов управления такими мероприятиями, что, как правило, приводит к необходимости самообучения со всеми вытекающими отсюда издержками [5].

К числу трудностей объективного характера следует отнести масштабность мероприятий, принципиальную сложность охвата всего комплекса работ на этапе планирования, а также сложность внесения корректировок на этапе оперативного управления. Кроме того, сложность проблемы усугубляется еще и периодическими изменениями условий проведения регламентных мероприятий (сроки, ресурсы, дополнительные работы и т.д.).

Вместе с тем таким мероприятиям присущи общие характерные признаки:

- периодичность (повторяемость) мероприятий;
- технологическая и ресурсная взаимосвязь составляющих мероприятия работ;
- относительная стабильность состава и структуры работ;
- межотраслевой характер и отсутствие постоянных органов управления;
- многовариантность стратегий реализации регламентных мероприятий.

Все представленное выше позволяет сделать вывод об объективной потребности и необходимости использования методов оптимизации при управлении регламентными мероприятиями деятельности организации. В данной статье рассматривается одна из перечисленных выше задач управления регламентной деятельностью организации – формирование календарного плана реализации технологических регламентов на примере деятельности по реконструкции и ремонту инженерных сетей.

Постановка задачи. В общем случае будем считать, что совокупность регламентных мероприятий связана некоторой технологией, т.е. для каждого мероприятия известно множество предшествующих мероприятий, после выполнения которых может быть начато выполнение данного. Формально такая технология может быть представлена в виде направленного графа $G=(X,U)$, где X – упорядоченное множество регламентных мероприятий (вершины графа); U – множество взаимосвязей между мероприятиями (дуги графа).

Взаимосвязи мероприятий могут иметь *технологическую* и *ресурсную* компоненты. Технологическая компонента определяет функциональную взаимосвязь мероприятий и определяется условием: *<последующее мероприятие начинается после полного завершения всех предшествующих мероприятий>*. При этом мероприятия в рамках одного регламента могут быть заданы как в виде линейной последовательности работ, так и в виде сетевого графика. Ресурсная компонента определяет факт наличия взаимосвязи между различными мероприятиями *при условии использования ими однотипных ресурсов*.

Задача формирования календарного плана регламентной деятельности может быть поставлена и решена в двух вариантах: как задача согласования работ и как задача оптимального распределения ресурсов при заданном времени выполнения работ. В данной работе внимание уделено постановке и решению задачи формирования календарного плана как задачи согласования работ.

Математическая модель календарного планирования исполнения регламентных мероприятий как задача распределения ресурсов при заданном времени выполнения работ. Пусть в заданном периоде времени в рамках реализации регламентной деятельности по реконструкции и ремонту инженерных сетей предприятие планирует провести работы на $I = \{1, 2, \dots, i, \dots, n\}$ объектах. Регламент работы по каждому из объектов инженерных сетей состоит из совокупности регламентных мероприятий – $P_i = \{1, 2, \dots, j, \dots, m\}$ и может быть представлен в виде строго заданной линейной последовательности. Прерывание исполнения регламентных мероприятий не допускается. Для проведения работ по реконструкции и ремонту инженерных сетей необходимо использовать $R = \{1, 2, \dots, r, \dots, k\}$ ресурсов. Каждый из ресурсов в определенный момент может использоваться только для исполнения одного мероприятия. Задана нормативная потребность в r -м ресурсе для выполнения j -го мероприятия на i -м объекте – p_{ij} .

Требуется определить множество времен начала и окончания регламентных мероприятий – $Q = \{t^H(x_i), t^K(x_i) | x_i \in P\}$ и потребности в ресурсном обеспечении при минимизации времени исполнения регламента $T = \max_{x_i \in X} t^K(x_i) \rightarrow \min$.

По аналогии с [5] представим графически процесс исполнения технологического регламента деятельности в виде точек на плоскости. Каждое из регламентных мероприятий как точка на плоскости, может быть описано следующим кортежем: $\langle i, j, t(i, j), r \rangle$. Каждая две точки могут иметь временную либо ресурсную зависимость.

Если $i_1 = i_2$, $j_1 \neq j_2$ и $r_1 \neq r_2$, то точки (i_1, j_1, r_1) и (i_2, j_2, r_2) связаны временной зависимостью в том смысле, что время начала выполнения одной, зависит от времени окончания другой. Графически эти две точки следует соединить связью типа «дуга», направленной от одной точки к другой.

Если $i_1 \neq i_2$, $j_1 \neq j_2$ и $r_1 = r_2$, то точки (i_1, j_1, r_1) и (i_2, j_2, r_2) связаны ресурсной зависимостью, и данные мероприятия не могут выполняться одновременно, однако очередность их выполнения заранее не задана. Такие две точки следует соединить связью типа «ребро».

В результате получаем смешанный граф $G = (X, \bar{U}, U)$, где X – множество операций (вершин); \bar{U} – множество дуг; U – множество ребер. Процедура определения календарного плана состоит в формировании ориентированного графа $G' = (X', U')$ путем замены ребер графа G на направленные дуги и расчета методом критического пути времени начала и окончания всех регламентных мероприятий графа G' .

Рассмотрим технологию построения смешанного графа на примере описания регламентов по реконструкции и ремонту участков сети холодного водоснабжения предприятия, когда мероприятия заданы в виде линейной последовательности работ.

Требуется произвести плановый ремонт сети холодного водоснабжения на четырех объектах $I = \{i_1, i_2, i_3, i_4\}$: i_1 – подземный участок трубопровода; i_2 – насосная станция; i_3 – наружный участок трубопровода; i_4 – распределительный узел.

Для выполнения ремонтных работ привлекаются четыре специализированные бригады – $R = \{r_1, r_2, r_3, r_4\}$: r_1 – бригада по обслуживанию экскаватора; r_2 – инженерная бригада; r_3 – бригада сварщиков; r_4 – бригада по благоустройству.

Распределение регламентных мероприятий по объектам ремонта и реконструкции, требуемые ресурсы и нормативная потребность в них (в человеко-часах) представлены в таблице.

С учетом описанных выше правил построения смешанного графа технологические регламенты по реконструкции и ремонту участков сети холодного водоснабжения можно представить в виде структуры (рис. 1).

Основная идея алгоритма *согласования работ* (регламентных мероприятий) сводится к получению ориентированного графа по определенным правилам из исходного смешанного графа путем замены ребер на дуги.

Алгоритм расчета календарного плана можно представить в виде следующей процедуры:

1. Выберем множество вершин графа G , в которые не входит ни одна дуга. Назовем это множеством множеством «ожидаемых» мероприятий.

2. Выберем по определенному правилу из множества «ожидаемых» мероприятий одно из них.
3. Заменяем все ребра, соединяющие данное мероприятие с другими мероприятиями графа G , на дуги. Удалим данное мероприятие из множества ожидаемых мероприятий.
4. Если множество ожидаемых мероприятий пусто, переходим к шагу 5, иначе к шагу 2.
5. Методом определения критического пути рассчитываем времена начала и окончания мероприятий на полученном графе G' .

Распределение нормативной потребности в ресурсах в рамках регламентов по реконструкции и ремонту участков сети холодного водоснабжения предприятия

Регламентное мероприятие		Объекты регламентной деятельности и их нормативная потребность в ресурсах (чел./ч)			
		i_1	i_2	i_3	i_4
p_{11}	Подготовка участка	$(r_4; 15)$			
p_{12}	Вскрытие грунта	$(r_1; 20)$			
p_{13}	Проведение ремонтно-восстановительных работ	$(r_3; 45)$			
p_{14}	Проведение испытаний	$(r_2; 30)$			
p_{15}	Восстановление грунта	$(r_1; 15)$			
p_{21}	Проведение ремонтно-восстановительных работ		$(r; 30)$		
p_{22}	Проведение испытаний		$(r_2; 30)$		
p_{31}	Подготовка участка			$(r_4; 27)$	
p_{32}	Наладка оборудования			$(r_2; 4)$	
p_{33}	Проведение ремонтно-восстановительных работ			$(r_3; 30)$	
p_{34}	Проведение испытаний			$(r_2; 30)$	
p_{41}	Проведение ремонтно-восстановительных работ				$(r_3; 36)$
p_{42}	Проведение испытаний				$(r_2; 20)$

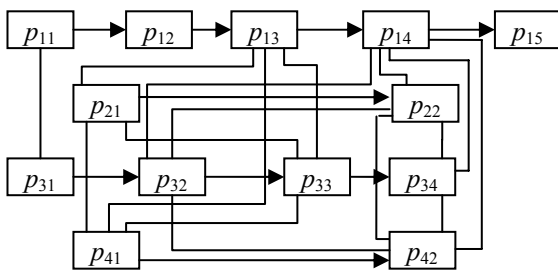


Рис. 1. Смешанный граф технологического регламента по реконструкции и ремонту участков сети холодного водоснабжения предприятия

Очевидно, что замена связи типа «ребро», на связь типа «дуга» может быть проведена на основе различных **правил**, каждое из которых может привести к различному результирующему графу G' . В теории расписаний такие правила получили название **функции предпочтения, или приоритетов**. В качестве правил предпочтения могут быть использованы следующие классические в теории расписаний функции предпочтения:

- Правило «первым пришел – первым обслуживается» – FIFO.
- Правило «последним пришел – первым обслуживается» – LIFO.
- Правило «кратчайшей операции» – SIO.
- Правило «первым уйдет – первым обслуживается» – FOFO.
- Правило «наибольшего оставшегося времени обслуживания» – LRT.

Помимо обозначенных выше правил, при разработке календарных планов технологических регламентов для объектов инженерной инфраструктуры может быть применено правило **«первым требуется – первым обслуживается»**. Данное правило предполагает приоритет исполнения мероприятий на тех объектах, директивный срок запуска в эксплуатацию которых минимальный.

На рис. 2 представлен вариант бесконтурного графа, порожденного исходным смешанным графом в результате замены всех его ребер дугами, на основе использования правила предпочтения SIO. Каждой дуге приписана длительность выполнения, каждой вершине – календарное время начала выполнения соответствующего мероприятия. Расчет произведен с учетом производительности труда каждой из бригад. Данный граф дополнен вершиной R – временем окончания всех регламент-

ных мероприятий. В соответствии с данным календарным планом работы в рамках технологического регламента по реконструкции и ремонту участков сети холодного водоснабжения предприятия можно завершить в течение 88 ч.

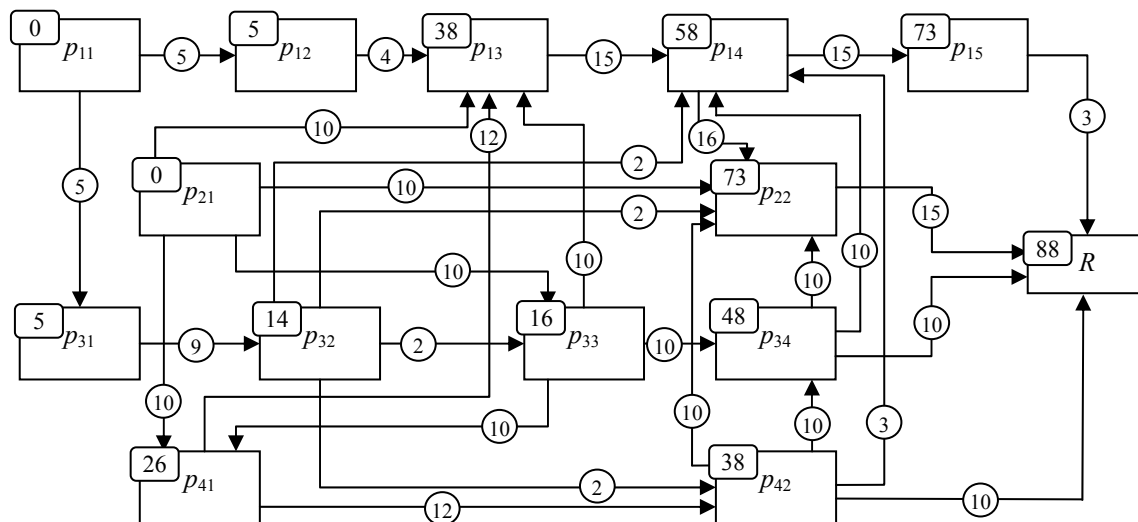


Рис. 2. Вариант ориентированного графа календарного плана технологического регламента

В классической литературе по теории расписаний [6–8] отмечается, что вряд ли удастся вывести какое-либо универсальное правило предпочтения для всех *возникающих* ситуаций, поэтому для получения наилучшего (оптимального) календарного плана рекомендуется:

- исследовать для конкретного объекта моделирования некоторое множество функций предпочтения, не противоречащих здравому смыслу;
- выявлять и ограничивать классы задач, для которых конкретные правила приводят к хорошим результатам;
- комбинировать использование различных правил с помощью случайного либо направленного поиска.

Заключение. Таким образом, задача разработки календарного плана технологического регламента методом сетевого планирования сводится к перебору вариантов ориентированных графов, полученных в результате применения различных правил предпочтения на этапе выбора мероприятия из множества ожидаемых, и выбору такого графа, который позволяет получить наименьшее время выполнения всех регламентных мероприятий. Данная задача может быть решена посредством разработки программного генератора допустимых расписаний.

Выполнение данной работы проводилось при финансовой поддержке Министерства образования и науки Российской Федерации в рамках мероприятия 2.4 федеральной целевой программы «Исследования и разработки по приоритетным направлениям развития научно-технологического комплекса России на 2007–2013 годы», проект «Разработка Web-ориентированных геоинформационных технологий формирования и мониторинга электронного генерального плана инженерной инфраструктуры», государственный контракт № 07.524.11.4013 от 03 ноября 2011 г.

Литература

1. Ожегов С.И. Толковый словарь русского языка: 80 000 слов и фразеологических выражений / С.И. Ожегов, Н.Ю. Шведова. – М.: Азбуковник, 1999. – 944 с.
2. Даль В.И. Толковый словарь русского языка / В.И. Даль. – М.: Эксмо, 2010. – 928 с.
3. ГОСТ Р 52294–2004 Информационная технология. Управление организацией. Электронный регламент административной и служебной деятельности. Основные положения. – М.: ИПК Изд-во стандартов, 2005. – 28 с.
4. Перегудов Ф.И. Основы системного анализа: учеб. пособие для студентов вузов / Ф.И. Перегудов, В.Ф. Тарасенко. – Томск: Изд-во НТЛ, 1997. – 397 с.
5. Ехлаков Ю.П. Теоретические основы автоматизированного управления: учебник / Ю.П. Ехлаков. – Томск: Том. гос. ун-т систем управления и радиоэлектроники, 2001. – 337 с.

6. Португал В.М. Модели планирования на предприятии / В.М. Португал, А. И. Семенов. – М.: Наука, 1978. – 272 с.
 7. Танаев В.С. Введение в теорию расписаний / В.С. Танаев, В.В. Шкурба. – М.: Наука, 1975. – 256 с.
 8. Конвей Р.В. Теория расписаний / Р.В. Конвей, В.Л. Максвелл, Л.В. Миллер. – М.: Наука, 1975. – 360 с.
-

Лазарев Иван Васильевич

Аспирант каф. АОИ ТУСУРа

Тел.: +7-913-812-46-79

Эл. почта: yalazarev@gmail.com

Lazarev I.V.

Mathematical models of the process of planning in public utility infrastructure

A mathematical model of the process of planning of reconstruction and repair of utility infrastructure is described. An example of calculation of the activity network is given for the problem of reconstruction and repair of cold water supply network.

Keywords: production schedules, schedule, network schedule.
