



ежегодно меняется не более 1.5% водопроводных сетей. Степень износа основных фондов, задействованных в распределении, сборе и очистке воды, на конец 2009 года составила 53.8% [2].

В Российской Федерации не проходят очистку 7% сточных вод. Из сточных вод, проходящих очистку, до нормативных требований доводится 46%. Одна треть канализационных сетей нуждается в замене, при этом в 2009 году было заменено только 0.4% общей протяженности сетей. Значительное влияние на состояние окружающей среды оказывают аварии в системе сетей канализации. По одной аварии в год происходит почти на каждом 5-м километре канализационной сети [1].

Неудовлетворительное состояние систем водоснабжения, водоотведения и очистки сточных вод вызвано недостаточным финансированием отрасли. Для эффективного развития этого сектора в России необходимо привлечение частного бизнеса к управлению системами коммунальной инфраструктуры и стимулирование частных инвестиций в их реконструкцию и модернизацию.

В России вся выручка сектора водоснабжения, водоотведения и очистки сточных вод в 2009 году составляла 300 млрд. рублей, при этом капитальные затраты составили лишь 11 процентов операционных расходов организаций, осуществляющих свою деятельность в секторе водоснабжения, водоотведения и очистки сточных вод.

Строительство реконструкция и модернизация систем водоснабжения, водоотведения и очистки сточных вод, предполагают проведение ряда работ, и в связи с ограниченностью ресурсов (предельный (прогнозный) объем финансирования Программы в 2011–2017 г.г. за счет бюджетных ассигнований федерального бюджета составит 9 млрд. руб.) и необходимостью минимизации затрат, важно не только контролировать выполнение работ, но и иметь возможность их оптимизировать. И в данном случае можно воспользоваться сетевыми планами [1].

Главным достоинством использования сетевых планов для управления сложными системами взаимосвязанных работ должна являться возможность управления в динамике. Условия выполнения работ, входящих в сетевой план, как правило, могут меняться: люди, ресурсы, взаимозависимость работ могут не позволить начать или продолжать выполнение работ в запланированные сроки, задержать их, или, наоборот, появляется возможность начать работы раньше или ускорить их выполнение. Управление должно принимать решения, учитывая эти изменения. Такими решениями могут быть изменение финансирования, перераспределение трудовых ресурсов, исполь-

зование методов стимулирования в процессе реализации программы «Чистая вода». Именно сетевой график позволяет наглядно проследить взаимосвязь параметров работ и происходящих событий, изменение различных видов резервов работ и найти оптимальные решения ситуаций.

Традиционные методы расчета сетевых планов не позволяют управлять ими в динамике оперативно и принимать необходимые оптимальные решения в силу сложностей с разработкой программ расчета и корректировки сетевых графиков. Такие программы являются индивидуальными для каждого сетевого плана и соответственно программа их расчета тоже является индивидуальной.

Использование оптимизационного метода расчета сетевых графиков позволяет избавиться от этих сложностей, делает алгоритм расчета стандартным и, следовательно, предполагает возможность использования стандартных программ оптимизации (линейного или квадратичного программирования) для нахождения решений. Достоинством оптимизационного метода расчета является также возможность расчета сетевого графика в различные периоды реального времени. Кроме того, оптимизационный метод позволяет использовать различные методы корректировки сетевых планов в динамике, включая оптимизацию ресурсов, выбор оптимального варианта аутсорсинга и т.п.

В оптимизационный алгоритм расчета ранних сроков свершения событий сетевого графика в динамике включается ограничение (или несколько ограничений), связанное с текущим временем  $t$ :

$$F = pc_n \rightarrow \min$$

где  $pc_1 = t$  – ограничение, связанное с фиксированием текущего времени от начала выполнения работ сетевого плана;

$$pc_j \geq pc_i + t_{ij}$$

где  $i$  и  $j$  – индексы событий, которые непосредственно связаны с событием  $j$  работой или зависимостью,  $i = 1, 2, \dots, n-1$ ,  $j = 1, 2, \dots, n$ ;  $pc_n$  – ранний срок свершения заключительного события;  $t$  – текущее время от начала выполнения работ сетевого плана;  $pc_i$  и  $pc_j$  – ранние сроки свершения  $i$ -го и  $j$ -го события;  $t_{ij}$  – планируемое время выполнения работы  $ij$ .

Все ранние сроки свершения событий, кроме первого, являются переменными модели.

Модель расчета для ранних сроков свершения событий в начальный момент времени выполнения комплекса работ будет иметь вид:

$$F = pc_n \rightarrow \min$$

$$pc_1 = 0$$

$$pc_j \geq pc_i + t_{ij};$$

$$i = 1, 2, \dots, n-1;$$

$$j = 1, 2, \dots, n.$$

Ниже представлена оптимизационная модель расчета условного сетевого графика в

момент времени 0 (рисунок):

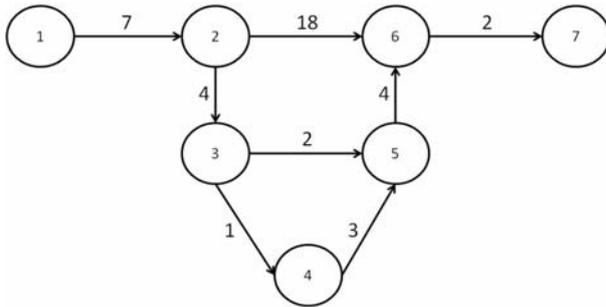


Рис. Модель расчета условного сетевого графика в момент времени 0.

$$F = pc_7 \rightarrow \min$$

$$pc_1 = 0; pc_1 + 7 \leq pc_2; pc_2 + 4 \leq pc_3;$$

$$pc_3 + 1 \leq pc_4; pc_3 + 2 \leq pc_5; pc_4 + 3 \leq pc_5;$$

$$pc_2 + 18 \leq pc_6; pc_5 + 4 \leq pc_6;$$

$$pc_6 + 2 \leq pc_7.$$

Решение данного сетевого графика с использованием Excel дает следующие результаты:

$$pc_2 = 7; pc_3 = 11; pc_4 = 12; pc_5 = 15;$$

$$pc_6 = 25; pc_7 = 27.$$

Эти результаты определяют параметры начала, окончания и резервов работ в единственном случае, если все запланированное выполняется в точном соответствии с планом, что практически случается редко. Поэтому в модель сетевого графика в случае возникновения каких-либо отклонений от плана, приходится вносить коррективы, и эти коррективы могут существенно изменить представление о связи взаимозависимости работ, событий, о параметрах и резервах работ.

Рассмотрим возможные ситуации, которые могут иметь место в реальности, и схемы корректировки модели расчета сетевого плана.

1. Прошло 4 дня, самая первая работа 1-2 задержалась на 1 день. Модель имеет вид:

$$F = pc_7 \rightarrow \min$$

$$pc_1 = 4; pc_1 + 4 \leq pc_2; pc_2 + 4 \leq pc_3;$$

$$pc_3 + 1 \leq pc_4; pc_3 + 2 \leq pc_5; pc_4 + 3 \leq pc_5;$$

$$pc_2 + 18 \leq pc_6; pc_5 + 4 \leq pc_6; pc_6 + 2 \leq pc_7.$$

Решение данного сетевого графика дает следующие результаты:

$$pc_2 = 8; pc_3 = 12; pc_4 = 13; pc_5 = 16;$$

$$pc_6 = 26; pc_7 = 28.$$

Изменились критический путь, параметры всех событий и работ, так как задержалась работа критического пути, которая по-прежнему является критической работой сетевого плана, но частные резервы некритических работ 3-5 и 5-6 не изменились.

2. Прошло 8 дней, работа 1-2 выполнялась по плану и закончилась. Модель имеет вид:

$$F = pc_7 \rightarrow \min$$

$$pc_2 = 8; pc_2 + 4 \leq pc_3; pc_3 + 1 \leq pc_4;$$

$$pc_3 + 2 \leq pc_5; pc_4 + 3 \leq pc_5; pc_2 + 18 \leq pc_6;$$

$$pc_5 + 4 \leq pc_6; pc_6 + 2 \leq pc_7.$$

Так как работа 1-2 завершилась, то она исключается из модели и текущее время связано с событием 2 и работами, которые могут выходить из этого события.

Решение данного сетевого графика повторило предыдущее решение:

$$pc_2 = 8; pc_3 = 12; pc_4 = 13; pc_5 = 16;$$

$$pc_6 = 26; pc_7 = 28.$$

3. Прошло 9 дней, работы 2-6 и 2-3 выполнялась по плану. Модель имеет вид:

$$F = pc_7 \rightarrow \min$$

$$pc_2 = 9; pc_2 + 3 \leq pc_3; pc_3 + 1 \leq pc_4;$$

$$pc_3 + 2 \leq pc_5; pc_4 + 3 \leq pc_5; pc_2 + 17 \leq pc_6;$$

$$pc_5 + 4 \leq pc_6; pc_6 + 2 \leq pc_7.$$

Изменилось только время выполнения-завершения работ 2-3 и 2-6, связанных с событием. Решение данного сетевого графика практически повторило предыдущее решение:

$$pc_2 = 9; pc_3 = 12; pc_4 = 13; pc_5 = 16;$$

$$pc_6 = 26; pc_7 = 28.$$

$pc_2$  показывает в данном случае текущее время.

4. Прошло 10 дней, работы 2-6 и 2-3 не выполнялись. Модель имеет вид:

$$F = pc_7 \rightarrow \min$$

$$pc_2 = 10; pc_2 + 3 \leq pc_3; pc_3 + 1 \leq pc_4;$$

$$pc_3 + 2 \leq pc_5; pc_4 + 3 \leq pc_5; pc_2 + 17 \leq pc_6;$$

$$pc_5 + 4 \leq pc_6; pc_6 + 2 \leq pc_7.$$

Изменилось только текущее время. Решение данного сетевого графика практически повторило предыдущее решение:

$$pc_2 = 10; pc_3 = 13; pc_4 = 14; pc_5 = 17;$$

$$pc_6 = 27; pc_7 = 29.$$

Изменились критический путь и параметры работ, но частные резервы двух работ 3-5 и 5-6 не изменились, так как на величину критического пути они пока не влияют

5. Прошло 13 дней, работы 2-6 выполнялась по плану, работа 2-3 завершилась. Модель имеет вид:

$$F = pc_7 \rightarrow \min$$

$$pc_2 = 13; pc_3 = 13; pc_3 + 1 \leq pc_4;$$

$$pc_3 + 2 \leq pc_5; pc_4 + 3 \leq pc_5; pc_2 + 17 \leq pc_6;$$

$$pc_5 + 4 \leq pc_6; pc_6 + 2 \leq pc_7.$$

Текущее время теперь определяет ранние сроки выполнения или завершения работ, выходящих из обоих событий. Исключено из модели ограничение, связанное с работой 2-3. Решение данного сетевого графика практически повторило предыдущее решение:

$$pc_2 = 13; pc_3 = 13; pc_4 = 14; pc_5 = 17;$$

$$pc_6 = 27; pc_7 = 29.$$

6. Прошло 18 дней, при выполнении работы 2-6 сэкономлено 3 дня, завершились работы 3-4, 3-5, 4-5, работа 5-6 не началась. Модель имеет вид:

$$F = pc_7 \rightarrow \min$$

$$pc_2 = 18; pc_5 = 18; pc_2 + 6 \leq pc_6;$$

$$pc_5 + 4 \leq pc_6; pc_6 + 2 \leq pc_7.$$

Текущее время теперь определяет ранние сроки выполнения или завершения работ, выходящих из событий 2 и 6. Исключены из модели ограничения, связанные с работами 3-4, 3-5, 4-5. Решение данного сетевого графика:

$$pc_2 = 18; pc_5 = 18; pc_6 = 24; pc_7 = 26.$$

На три дня сократился критический путь, изменились параметры работ и событий.

7. Прошло 18 дней, при выполнении работы 2-6 сэкономлено 3 дня, завершились работы 3-4, 3-5, 4-5, работа 5-6 не началась.

Модель имеет вид:

$$F = pc_7 \rightarrow \min$$

$$pc_2 = 18; pc_5 = 18; pc_2 + 6 \leq pc_6;$$

$$pc_5 + 4 \leq pc_6; pc_6 + 2 \leq pc_7.$$

Текущее время теперь определяет ранние сроки выполнения или завершения работ, выходящих из событий 2 и 6. Исключены из модели ограничения, связанные с работами 3-4, 3-5, 4-5. Решение данного сетевого графика:

$$pc_2 = 18; pc_5 = 18; pc_6 = 24; pc_7 = 26.$$

На три дня сократился критический путь, соответственно изменились параметры работ и событий.

Аналогично можно построить оптимизационные динамические модели сетевого плана для расчета поздних сроков свершения событий.

В начальный момент времени такая модель

будет иметь вид:

$$F = pc_1 \rightarrow \max$$

$$pc_n = T$$

$$pc_i \geq pc_j - t_{ij};$$

$$j=2, \dots, n; i=1, \dots, n-1$$

где  $pc_n$  – поздний срок свершения заключительного события;  $T$  – плановое время завершения выполнения работ сетевого плана;  $pc_j$  – поздний срок свершения  $j$ -го события;  $pc_i$  – поздний срок свершения каждого  $i$ -го события;  $t_{ij}$  – планируемое время выполнения работы  $ij$ .

Расчет поздних параметров сетевой модели в сочетании с ранними параметрами с использованием оптимизационной модели и стандартных программ оптимизации позволяет быстро узнать критические сроки параметров плана, в том числе их максимальные резервы, их изменение в связи с динамическими коррекциями, и построить эффективную программу управления исследуемым процессом. А это очень важно в свете необходимости привлечения внебюджетных средств. В 2011 – 2017 годах предельный (прогнозный) объем финансирования Федеральной целевой программы «Чистая вода» за счет всех источников финансирования составит 331.8 млрд. рублей, из них 313.8 млрд. рублей, средства привлеченные из внебюджетных источников [1].

## ЛИТЕРАТУРА:

1. [www.fcp.economy.gov.ru](http://www.fcp.economy.gov.ru)
2. [www.gks.ru](http://www.gks.ru)