



МОСКОВСКИЙ ГОСУДАРСТВЕННЫЙ ТЕХНИЧЕСКИЙ УНИВЕРСИТЕТ
имени Н. Э. БАУМАНА

ФАКУЛЬТЕТ ИБМ «Инженерный бизнес и менеджмент»
КАФЕДРА ИБМ-2 «Экономика и организация производства»

Домашнее задание по курсу
«Организация и планирование производства»
Вариант 2-12

Студент: Андреев М.А.

Группа: РЛ6-111

Преподаватель: Власова Л.Г.

Москва, 2025

Содержание

Содержание домашнего задания.....	3
Исходные данные для выполнения домашнего задания	4
Комплекс работ по технологической подготовке производства и изготовлению опытного образца изделия	5
Построение сетевого графика выполнения комплекса работ. Формулирование содержания событий, представление перечня событий и работ	8
Расчет параметров сетевой модели графическим методом. Определение критического пути и его продолжительности	12
Оптимизация сетевой модели по времени.....	17
Оптимизация сетевой модели по численности исполнителей.....	24
Составление сметы затрат на выполнение комплекса работ.....	31
Приложение А.....	33

Содержание домашнего задания

1. Построить сетевой график выполнения комплекса работ.
2. Сформулировать содержание событий, представить перечень событий и работ по форме табл. 1.
3. Рассчитать параметры сетевой модели графическим методом; определить критический путь и его продолжительность.
4. Рассчитать коэффициенты напряженности работ.
5. Построить сетевую модель выполнения комплекса работ в шкале времени.
6. Построить графики загрузки исполнителей по каждой профессии (отдельно) в шкале времени (на одном листе с сетевым графиком).
7. Оптимизировать сетевую модель по времени, сократив продолжительность критического пути T_{kp} , т.е. длительность цикла выполнения комплекса работ, на одну - две единицы времени.
8. Отразить результаты оптимизации на сетевом графике в шкале времени.
9. Построить графики загрузки исполнителей по каждой профессии (отдельно) в шкале времени после оптимизации (на одном листе с сетевым графиком).
10. Оптимизировать сетевую модель по численности исполнителей и их загрузке; отразить результаты оптимизации на сетевом графике в шкале времени.
11. Составить смету затрат на выполнение комплекса работ.

Исходные данные для выполнения домашнего задания

1. Комплекс работ, подлежащих выполнению.
2. Численность исполнителей по профессиям или квалификации.
3. Продолжительность выполнения работ по вариантам.
4. Себестоимость часа работы одного исполнителя:
 - инженерно-технических работников – 400 руб./час;
 - рабочих – 350 руб./час.

Комплекс работ по технологической подготовке производства и изготовлению опытного образца изделия

№ пп	Содержание работ	Продол- жительно- сть работ t_{ij} (недели)	Численность исполнителей		
			техно- логи	техноло- ги по оснастк- е	рабо- чие
1.	Разработка маршрута изготовления изделия	8	3	-	-
2.	Разработка технологии механической обработки деталей	10	4	-	-
3.	Разработка технологии кузнечно-штамповочного производства	8	3	-	-
4.	Разработка технологии литейного производства	6	3	-	-
5.	Разработка технологии сборки	6	3	-	-
6.	Проектирование технологической оснастки для механической обработки	6	-	4	-
7.	Проектирование техпроцесса по изготовлению оснастки для механической обработки	4	-	3	-
8.	Проектирование кузнечной оснастки	5	-	4	-
9.	Проектирование техпроцесса по изготовлению кузнечной оснастки	3	-	2	-
10.	Проектирование литейной оснастки	6	-	4	-
11.	Проектирование техпроцесса по изготовлению литейной оснастки	8	-	3	-
12.	Проектирование сборочной оснастки	6	-	3	-
13.	Проектирование техпроцесса по изготовлению сборочной оснастки	14	-	2	-
14.	Изготовление технологической оснастки для механической обработки	8	-	-	10
15.	Изготовление кузнечной оснастки	10	-	-	6
16.	Изготовление литейной оснастки	8	-	-	8
17.	Изготовление технологической оснастки для сборки изделия	5	-	-	6
18.	Изготовление поковок и штамповок	8	-	-	4
19.	Отливка деталей	10	-	-	4
20.	Механобработка деталей из проката	8	-	-	6
21.	Механообработка поковок и штамповок	12	-	-	8
22.	Механическая обработка отливок	6	-	-	10

23	Сборка узлов и изделия	8	-	-	6
24	Испытание изделия	10	-	-	6

1. Для начала выполнения работ 2,3,4,5 необходимы результаты работы 1.
2. Работы 2.3.4.5 выполняются параллельно.
3. Для начала выполнения работ 21,22 необходимы результаты работы 14.
4. Для начала выполнения работ 23 необходимы результаты работ 17,20,21,22.

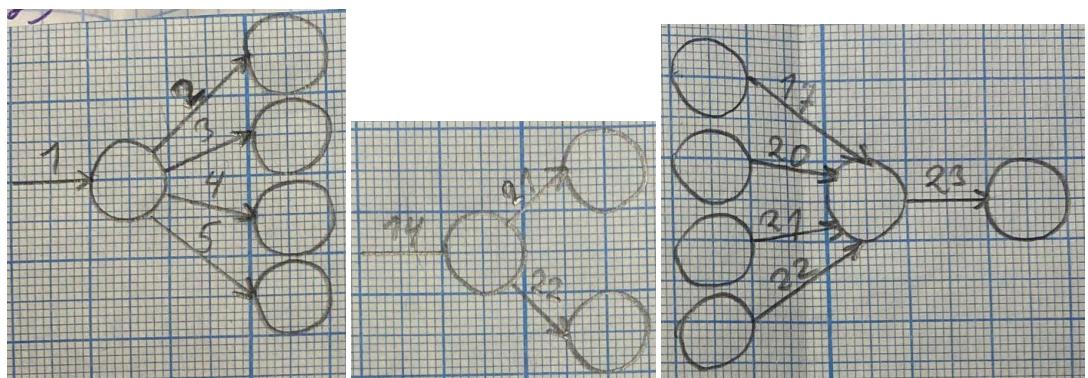


Рисунок 1 – Графическая интерпретация имеющихся условий

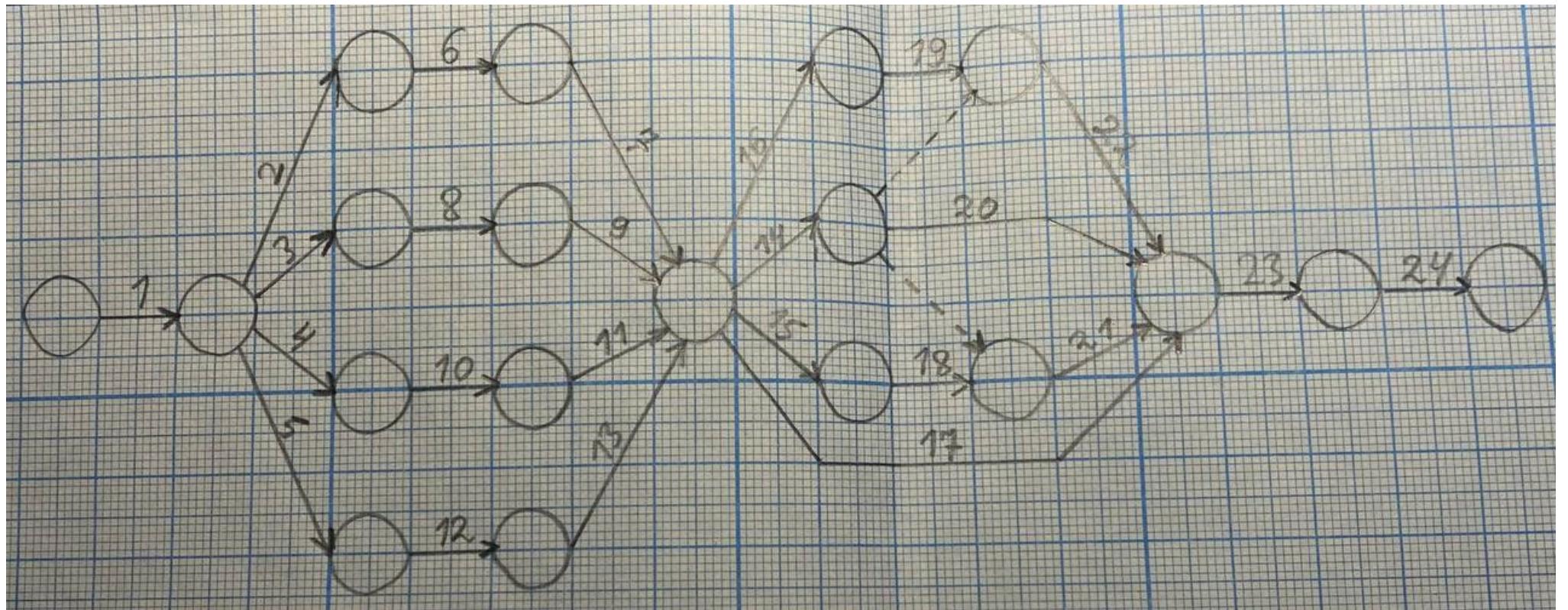


Рисунок 2 – График совокупности и порядка выполнения работ (по номерам работ)

Построение сетевого графика выполнения комплекса работ. Формулирование содержания событий, представление перечня событий и работ

Комплекс работ по технологической подготовке производства и изготовлению опытного образца изделия

События		Работы		
Код	Содержание	№	Содержание	Код
0	Получено ТЗ	1	Разработка маршрута изготовления изделия	0-1
1	Маршрут для изготовления изделия разработан	2	Разработка технологии механической обработки деталей	1-2
2	Технология механической обработки деталей разработана	3	Разработка технологии кузнечно-штамповочного производства	1-3
3	Технология кузнечно-штамповочного производства разработана	4	Разработка технологии литейного производства	1-4
4	Технология литейного производства разработана	5	Разработка технологии сборки	1-5
5	Технология сборки разработана	6	Проектирование технологической оснастки для механической обработки	2-6

6	Проектирование технологической оснастки для механической обработки выполнено	7	Проектирование техпроцесса по изготовлению оснастки для механической обработки	6-10
7	Проектирование кузнечной оснастки выполнено	8	Проектирование кузнечной оснастки	3-7
8	Проектирование литейной оснастки выполнено	9	Проектирование техпроцесса по изготовлению кузнечной оснастки	7-10
9	Проектирование сборочной оснастки выполнено	10	Проектирование литейной оснастки	4-8
10	Проектирование техпроцессов по изготовлению: оснастки для механической обработки, кузнечной оснастки, литейной оснастки и сборочной оснастки выполнено	11	Проектирование техпроцесса по изготовлению литейной оснастки	8-10
11	Технологическая оснастка для механической обработки изготовлена	12	Проектирование сборочной оснастки	5-9
12	Кузнечная оснастка изготовлена	13	Проектирование техпроцесса по изготовлению сборочной оснастки	9-10
13	Литейная оснастка изготовлена	14	Изготовление технологической оснастки для механической обработки	10-11
14	Поковки и штамповки изготовлены, получена технологическая оснастка для механической обработки	15	Изготовление кузнечной оснастки	10-12

15	Получены отливки деталей и технологическая оснастка для механической обработки	16	Изготовление литейной оснастки	10-13
16	Выполнена механообработка: деталей из проката, поковок и штамповок, отливок	17	Изготовление технологической оснастки для сборки изделия	10-16
17	Собраны узлы изделия	18	Изготовление поковок и штамповок	12-14
18	Проведены испытания изделия	19	Отливка деталей	13-15
		20	Механообработка деталей из проката	11-16
		21	Механообработка поковок и штамповок	14-16
		22	Механическая обработка отливок	15-16
		23	Сборка узлов и изделия	16-17
		24	Испытание изделия	17-18

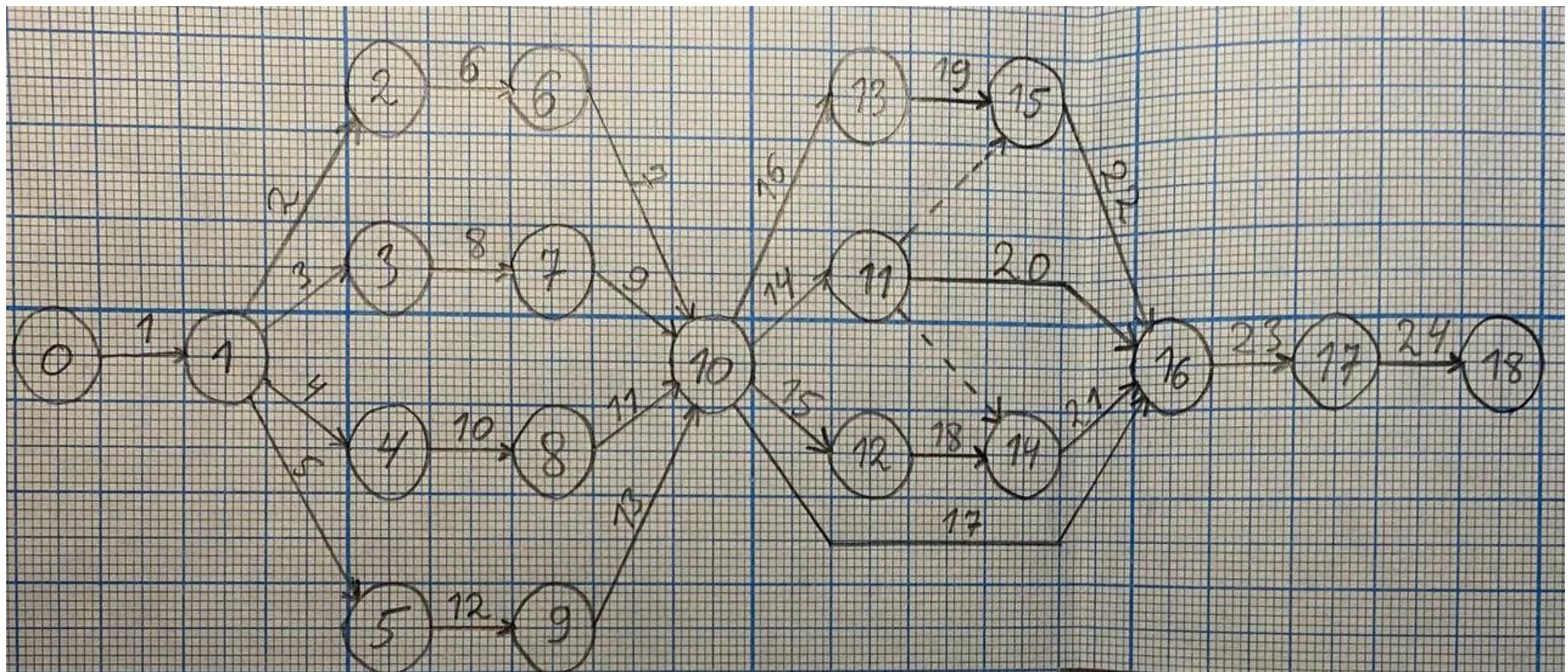


Рисунок 3 – Первичный сетевой график

Расчет параметров сетевой модели графическим методом. Определение критического пути и его продолжительности

Для расчета сетевого графика использовались следующие формулы:

- Расчет ранних сроков свершения событий: $T_{pj} = \max(T_{pi} + t_{ij})$;
- Расчет поздних сроков свершения событий: $T_{\pi i} = \min(T_{\pi j} - t_{ij})$;
- Резерв времени события: $R_i = T_{\pi i} - T_{pi}$;
- Полный резерв работы: $R_{\pi i} = T_{\pi j} - T_{pi} - t_{ij}$;
- Свободный резерв работы: $R_{cij} = T_{pj} - T_{pi} - t_{ij}$.

Пример расчета для события 10:

- Ранний срок свершения события 10:

$$T_{p10} = \max(T_{p6} + t_{6 \rightarrow 10}; T_{p7} + t_{7 \rightarrow 10}; T_{p8} + t_{8 \rightarrow 10}; T_{p9} + t_{9 \rightarrow 10}) = \\ = \max(24 + 4; 21 + 3; 20 + 8; 20 + 14) = 34$$

- Поздний срок свершения события 10:

$$T_{\pi 10} = \min(T_{\pi 11} - t_{10 \rightarrow 11}; T_{\pi 12} - t_{10 \rightarrow 12}; T_{\pi 13} - t_{10 \rightarrow 13}) = \\ = \min(52 - 8; 44 - 10; 48 - 8) = 34$$

- Резерв свершения события 10:

$$R_{10} = 34 - 34 = 0$$

Пример расчета для работы 10 (4→8):

- Полный резерв работы 10 (4→8):

$$R_{\pi 4 \rightarrow 8} = 26 - 14 - 6 = 6$$

- Свободный резерв работы 10 (4→8):

$$R_{c4 \rightarrow 8} = 20 - 14 - 6 = 0$$

Расчеты для остальных событий и работ приведены в приложении А.

Пути сетевой модели

1. $0 \rightarrow 1 \rightarrow 2 \rightarrow 6 \rightarrow 10 \rightarrow 11 \rightarrow 16 \rightarrow 17 \rightarrow 18$	$8 + 10 + 6 + 4 + 8 + 8 + 8 + 10 = 62$
2. $0 \rightarrow 1 \rightarrow 3 \rightarrow 7 \rightarrow 10 \rightarrow 12 \rightarrow 14 \rightarrow 16 \rightarrow 17 \rightarrow 18$	$8 + 8 + 5 + 3 + 10 + 8 + 12 + 8 + 10 = 72$
3. $0 \rightarrow 1 \rightarrow 4 \rightarrow 8 \rightarrow 10 \rightarrow 13 \rightarrow 15 \rightarrow 16 \rightarrow 17 \rightarrow 18$	$8 + 6 + 6 + 8 + 8 + 10 + 6 + 8 + 10 = 70$
4. $0 \rightarrow 1 \rightarrow 5 \rightarrow 9 \rightarrow 10 \rightarrow 16 \rightarrow 17 \rightarrow 18$	$8 + 6 + 6 + 14 + 5 + 8 + 10 = 57$
5. $0 \rightarrow 1 \rightarrow 2 \rightarrow 6 \rightarrow 10 \rightarrow 12 \rightarrow 14 \rightarrow 16 \rightarrow 17 \rightarrow 18$	$8 + 10 + 6 + 4 + 10 + 8 + 12 + 8 + 10 = 76$
6. $0 \rightarrow 1 \rightarrow 2 \rightarrow 6 \rightarrow 10 \rightarrow 13 \rightarrow 15 \rightarrow 16 \rightarrow 17 \rightarrow 18$	$8 + 10 + 6 + 4 + 8 + 10 + 6 + 8 + 10 = 70$
7. $0 \rightarrow 1 \rightarrow 2 \rightarrow 6 \rightarrow 10 \rightarrow 16 \rightarrow 17 \rightarrow 18$	$8 + 10 + 6 + 4 + 5 + 8 + 10 = 51$
8. $0 \rightarrow 1 \rightarrow 3 \rightarrow 7 \rightarrow 10 \rightarrow 11 \rightarrow 16 \rightarrow 17 \rightarrow 18$	$8 + 8 + 5 + 3 + 8 + 8 + 8 + 10 = 58$
9. $0 \rightarrow 1 \rightarrow 3 \rightarrow 7 \rightarrow 10 \rightarrow 13 \rightarrow 15 \rightarrow 16 \rightarrow 17 \rightarrow 18$	$8 + 8 + 5 + 3 + 8 + 10 + 6 + 8 + 10 = 66$
10. $0 \rightarrow 1 \rightarrow 3 \rightarrow 7 \rightarrow 10 \rightarrow 16 \rightarrow 17 \rightarrow 18$	$8 + 8 + 5 + 3 + 5 + 8 + 10 = 47$
11. $0 \rightarrow 1 \rightarrow 4 \rightarrow 8 \rightarrow 10 \rightarrow 11 \rightarrow 16 \rightarrow 17 \rightarrow 18$	$8 + 6 + 6 + 8 + 8 + 8 + 8 + 10 = 62$
12. $0 \rightarrow 1 \rightarrow 4 \rightarrow 8 \rightarrow 10 \rightarrow 12 \rightarrow 14 \rightarrow 16 \rightarrow 17 \rightarrow 18$	$8 + 6 + 6 + 8 + 10 + 8 + 12 + 8 + 10 = 76$
13. $0 \rightarrow 1 \rightarrow 4 \rightarrow 8 \rightarrow 10 \rightarrow 16 \rightarrow 17 \rightarrow 18$	$8 + 6 + 6 + 8 + 5 + 8 + 10 = 51$
14. $0 \rightarrow 1 \rightarrow 5 \rightarrow 9 \rightarrow 10 \rightarrow 11 \rightarrow 16 \rightarrow 17 \rightarrow 18$	$8 + 6 + 6 + 14 + 8 + 8 + 8 + 10 = 68$
15. $0 \rightarrow 1 \rightarrow 5 \rightarrow 9 \rightarrow 10 \rightarrow 12 \rightarrow 14 \rightarrow 16 \rightarrow 17 \rightarrow 18$	$8 + 6 + 6 + 14 + 10 + 8 + 12 + 8 + 10 = 82$
16. $0 \rightarrow 1 \rightarrow 5 \rightarrow 9 \rightarrow 10 \rightarrow 13 \rightarrow 15 \rightarrow 16 \rightarrow 17 \rightarrow 18$	$8 + 6 + 6 + 14 + 8 + 10 + 6 + 8 + 10 = 76$

Критический путь: $0 \rightarrow 1 \rightarrow 5 \rightarrow 9 \rightarrow 10 \rightarrow 12 \rightarrow 14 \rightarrow 16 \rightarrow 17 \rightarrow 18$.

Продолжительность критического пути: $L_{kp} = 82$ (нед.)

Далее построим сетевую модель выполнения комплекса работ, в шкале времени и приведем графики загрузки исполнителей.

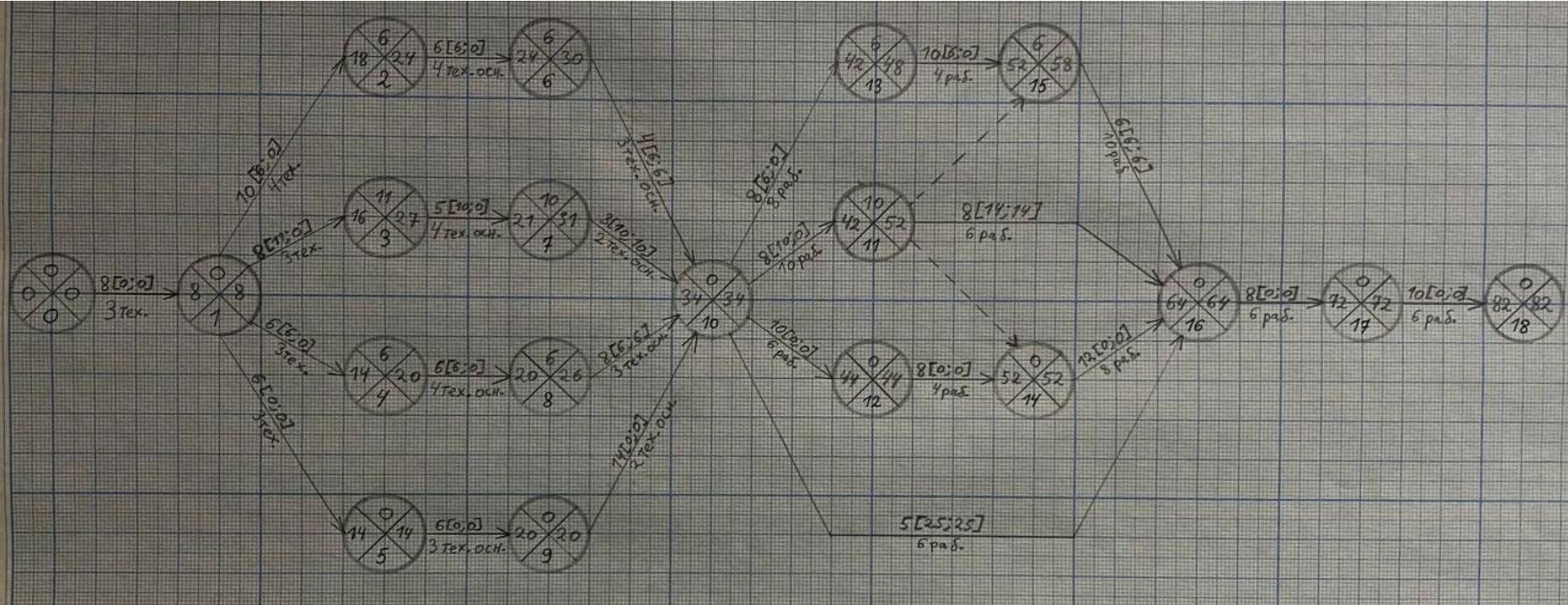


Рисунок 4 – Сетевой график со значениями параметров

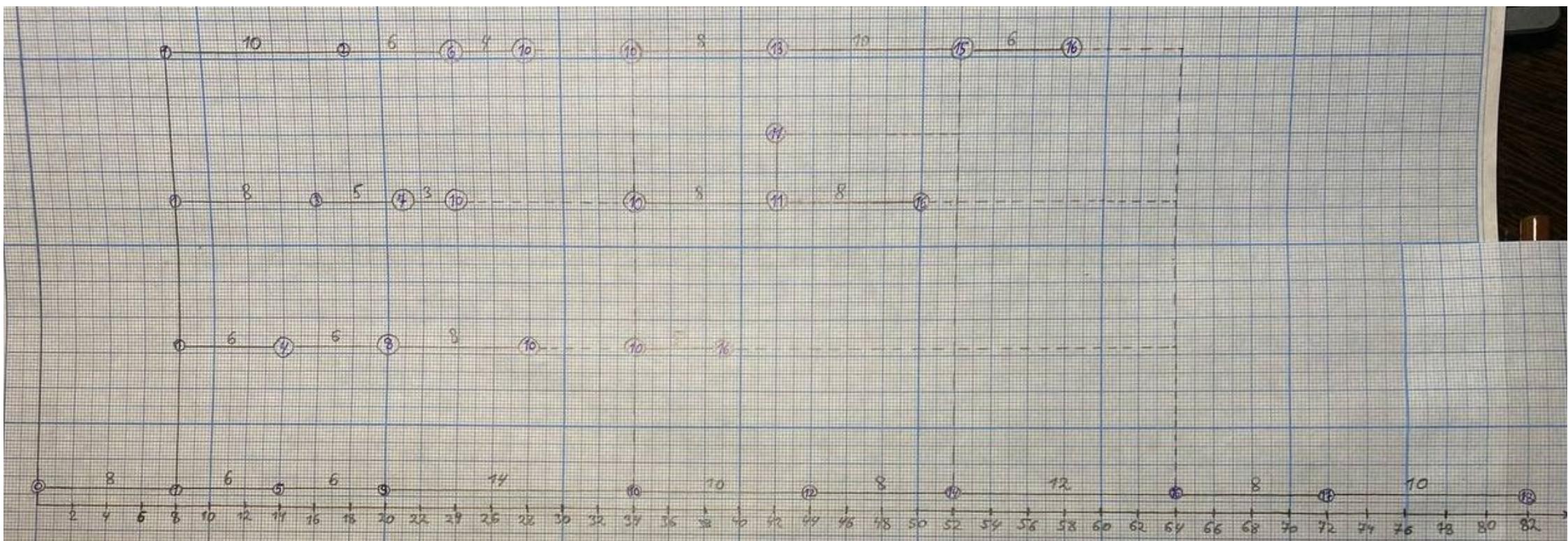


Рисунок 5 – Сетевая модель (график) на временной оси

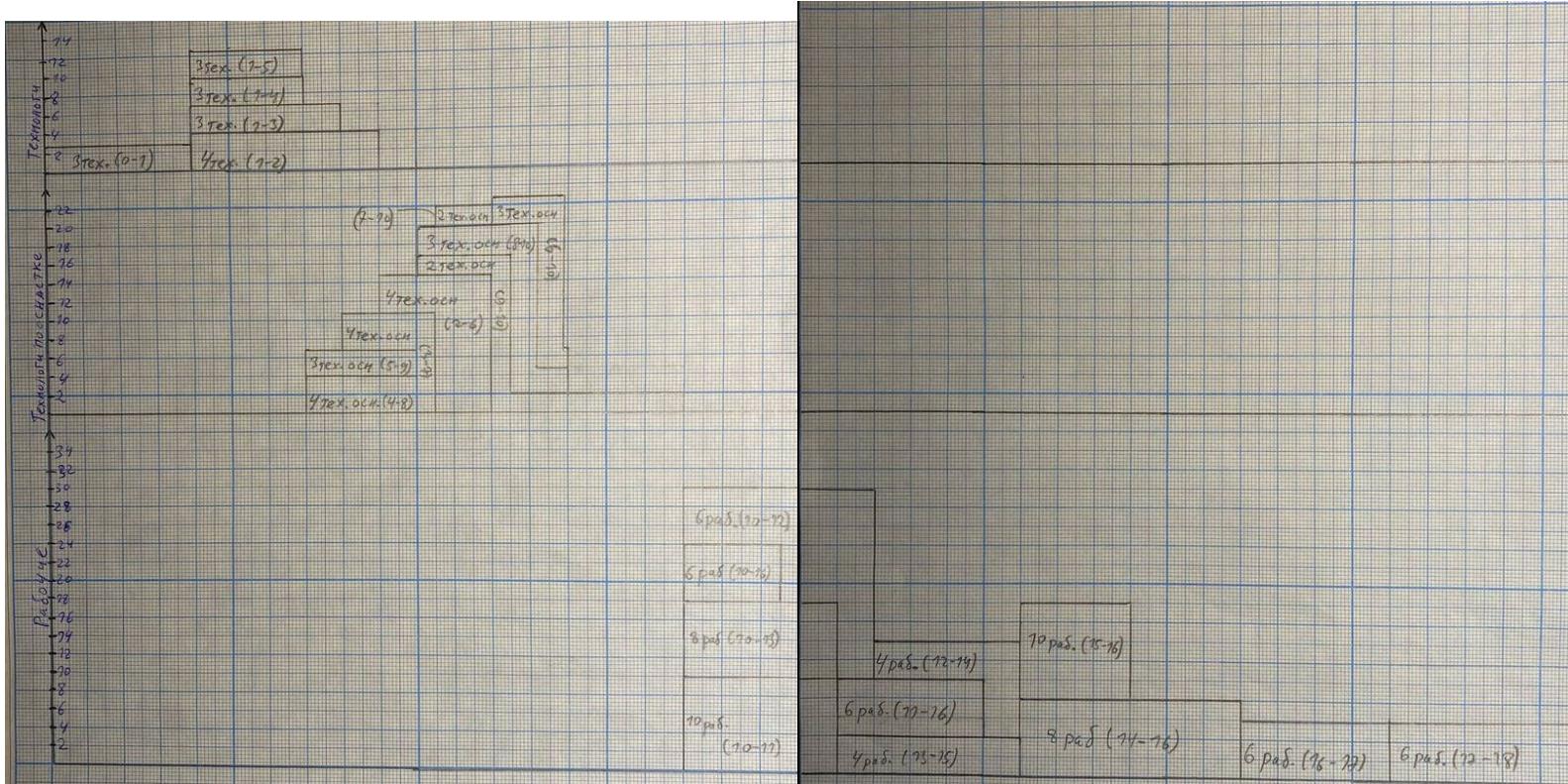


Рисунок 6 – Графики загрузки исполнителей по их категориям

Оптимизация сетевой модели по времени

Работы критического пути: $0 \rightarrow 1 \rightarrow 5 \rightarrow 9 \rightarrow 10 \rightarrow 12 \rightarrow 14 \rightarrow 16 \rightarrow 17 \rightarrow 18$.

Продолжительность критического пути: $L_{\text{кр}} = 82$ (нед.).

Формулы для расчета:

- Объем работы ij : $Q_{ij} = t_{ij} \cdot P_{uij}$
- Продолжительность работы ij при изменении численности исполнителей на n человек: $t'_{ij} = Q_{ij}/(P_{uij} \pm n)$
- Полный резерв работы: $R_{pi} = T_{pj} - T_{pi} - t_{ij}$;

Работа $10 \rightarrow 11$ (на рисунке 3 работы №14), продолжительностью 8 недель и исполняемая десятью рабочими, не лежит на критическом пути и имеет полный резерв работ $R_{10 \rightarrow 11} = 10$ (нед.). Помимо этого, данная работа, по сравнению с другими, имеет больше всего исполнителей и самый большой полный резерв.

Работа $14 \rightarrow 16$ (на рисунке 3 работы №21), продолжительностью 12 недель и исполняемая восемью рабочими, лежит на критическом пути. По сравнению с другими работами требующего данного тип исполнителей (рабочий) это самая продолжительная работа.

Объем работы $10 \rightarrow 11$:

$$Q_{10 \rightarrow 11} = t_{10 \rightarrow 11} \cdot P_{ui10 \rightarrow 11};$$

$$Q_{10 \rightarrow 11} = 8 \cdot 10 = 80 \text{ ч} \cdot \text{нед.}$$

Объем работы $14 \rightarrow 16$:

$$Q_{14 \rightarrow 16} = t_{14 \rightarrow 16} \cdot P_{ui14 \rightarrow 16};$$

$$Q_{14 \rightarrow 16} = 12 \cdot 8 = 96 \text{ ч} \cdot \text{нед.}$$

Обратившись к расчетам путей сетевой модели, которые были сделаны ранее, можно прийти к выводу: чтобы избежать появления нового критического пути во время проведения оптимизации сетевой модели по времени, необходимо сделать так, чтобы длина текущего критического пути была меньше 82 недель и больше 76 недель (76 недель – это длина второго, по продолжительности, пути после критического, которой соответствует несколько путей в сетевой модели).

$$0 \rightarrow 1 \rightarrow 5 \rightarrow 9 \rightarrow 10 \rightarrow 12 \rightarrow 14 \rightarrow 16 \rightarrow 17 \rightarrow 18 \Rightarrow 8 + 6 + 6 + 14 + 10 + 8 + 12 + 8 + 10 = 82$$

$$0 \rightarrow 1 \rightarrow 2 \rightarrow 6 \rightarrow 10 \rightarrow 12 \rightarrow 14 \rightarrow 16 \rightarrow 17 \rightarrow 18 \Rightarrow 8 + 10 + 6 + 4 + 10 + 8 + 12 + 8 + 10 = 76$$

$$0 \rightarrow 1 \rightarrow 4 \rightarrow 8 \rightarrow 10 \rightarrow 12 \rightarrow 14 \rightarrow 16 \rightarrow 17 \rightarrow 18 \Rightarrow 8 + 6 + 6 + 8 + 10 + 8 + 12 + 8 + 10 = 76$$

$$0 \rightarrow 1 \rightarrow 5 \rightarrow 9 \rightarrow 10 \rightarrow 13 \rightarrow 15 \rightarrow 16 \rightarrow 17 \rightarrow 18 \Rightarrow 8 + 6 + 6 + 14 + 8 + 10 + 6 + 8 + 10 = 76$$

Другими словами: оптимизация не должна привести к уменьшению продолжительности текущего критического пути до той степени, что те пути, которые в данный момент не являются критическими, станут критическими.

Помимо этого, нужно учесть длины путей, которые включают в себя работу 10→11, так как увеличение срока выполнения работы 10→11, будет увеличивать продолжительность этих путей.

Вот эти пути:

$$0 \rightarrow 1 \rightarrow 2 \rightarrow 6 \rightarrow 10 \rightarrow 11 \rightarrow 16 \rightarrow 17 \rightarrow 18 \Rightarrow 8 + 10 + 6 + 4 + 8 + 8 + 8 + 10 = 62$$

$$0 \rightarrow 1 \rightarrow 3 \rightarrow 7 \rightarrow 10 \rightarrow 11 \rightarrow 16 \rightarrow 17 \rightarrow 18 \Rightarrow 8 + 8 + 5 + 3 + 8 + 8 + 8 + 10 = 58$$

$$0 \rightarrow 1 \rightarrow 4 \rightarrow 8 \rightarrow 10 \rightarrow 11 \rightarrow 16 \rightarrow 17 \rightarrow 18 \Rightarrow 8 + 6 + 6 + 8 + 8 + 8 + 8 + 10 = 62$$

$$0 \rightarrow 1 \rightarrow 5 \rightarrow 9 \rightarrow 10 \rightarrow 11 \rightarrow 16 \rightarrow 17 \rightarrow 18 \Rightarrow 8 + 6 + 6 + 14 + 8 + 8 + 8 + 10 = 68$$

Как видно, максимальная длина пути, включающего в себя работу 10→11, составляет 68 недель. По этой причине, в первую очередь, необходимо следить за увеличением продолжительности этого пути.

Исходя из этих условий необходимо выяснить сколько исполнителей можно перевести с работы 10→11 на выполнение работы 14→16.

При уменьшении численности исполнителей на три человека продолжительность работы 10→11 увеличится и составит:

$$t'_{10 \rightarrow 11} = 80 / (10 - 3) = 11.4 \cong 11$$

$$R'_{\text{п}10 \rightarrow 11} = 52 - 34 - 11 = 7$$

Продолжительность пути с $t'_{10 \rightarrow 11}$:

$$0 \rightarrow 1 \rightarrow 5 \rightarrow 9 \rightarrow 10 \rightarrow 11 \rightarrow 16 \rightarrow 17 \rightarrow 18 \Rightarrow 8 + 6 + 6 + 14 + 11 + 8 + 8 + 10 = 71$$

При увеличении численности исполнителей на три человека продолжительность работы 14→16 уменьшится и составит:

$$t'_{14 \rightarrow 16} = 96 / (8 + 3) = 8.7 \cong 9$$

Продолжительность пути с $t'_{14 \rightarrow 16}$:

$$0 \rightarrow 1 \rightarrow 5 \rightarrow 9 \rightarrow 10 \rightarrow 12 \rightarrow 14 \rightarrow 16 \rightarrow 17 \rightarrow 18 \Rightarrow 8 + 6 + 6 + 14 + 10 + 8 + 9 + 8 + 10 = 79$$

При уменьшении численности исполнителей на четыре человека продолжительность работы 10→11 увеличится и составит:

$$t'_{10 \rightarrow 11} = 80 / (10 - 4) = 13.3 \cong 13$$

$$R'_{\text{п}10 \rightarrow 11} = 52 - 34 - 13 = 5$$

Продолжительность пути с $t'_{10 \rightarrow 11}$:

$$0 \rightarrow 1 \rightarrow 5 \rightarrow 9 \rightarrow 10 \rightarrow 11 \rightarrow 16 \rightarrow 17 \rightarrow 18 \Rightarrow 8 + 6 + 6 + 14 + 13 + 8 + 8 + 10 = 73$$

При увеличении численности исполнителей на четыре человека продолжительность работы 14→16 уменьшится и составит:

$$t'_{14 \rightarrow 16} = 96 / (8 + 4) = 8$$

Продолжительность пути с $t'_{14 \rightarrow 16}$:

$$0 \rightarrow 1 \rightarrow 5 \rightarrow 9 \rightarrow 10 \rightarrow 12 \rightarrow 14 \rightarrow 16 \rightarrow 17 \rightarrow 18 \Rightarrow 8 + 6 + 6 + 14 + 10 + 8 + 8 + 10 = 78$$

При уменьшении численности исполнителей на пять человек продолжительность работы 10→11 увеличится и составит:

$$t'_{10 \rightarrow 11} = 80 / (10 - 5) = 16$$

$$R'_{\text{п}10 \rightarrow 11} = 52 - 34 - 16 = 2$$

Продолжительность пути с $t'_{10 \rightarrow 11}$:

$$0 \rightarrow 1 \rightarrow 5 \rightarrow 9 \rightarrow 10 \rightarrow 11 \rightarrow 16 \rightarrow 17 \rightarrow 18 \Rightarrow 8 + 6 + 6 + 14 + 16 + 8 + 8 + 10 = 76$$

При увеличении численности исполнителей на пять человек продолжительность работы 14→16 уменьшится и составит:

$$t'_{14 \rightarrow 16} = 96 / (8 + 5) = 7.3 \cong 7$$

Продолжительность пути с $t'_{14 \rightarrow 16}$:

$$0 \rightarrow 1 \rightarrow 5 \rightarrow 9 \rightarrow 10 \rightarrow 12 \rightarrow 14 \rightarrow 16 \rightarrow 17 \rightarrow 18 \Rightarrow 8 + 6 + 6 + 14 + 10 + 8 + 7 + 8 + 10 = 77$$

Таким образом, удалось сократить критический путь на 5 недель:

$$\Delta t_{14 \rightarrow 16} = 12 - 7 = 5$$

Величина критического пути после оптимизации:

$$L_{\text{кр}}^{\text{опт}} = 8 + 6 + 6 + 14 + 10 + 8 + 7 + 8 + 10 = 77 \text{ нед.}$$

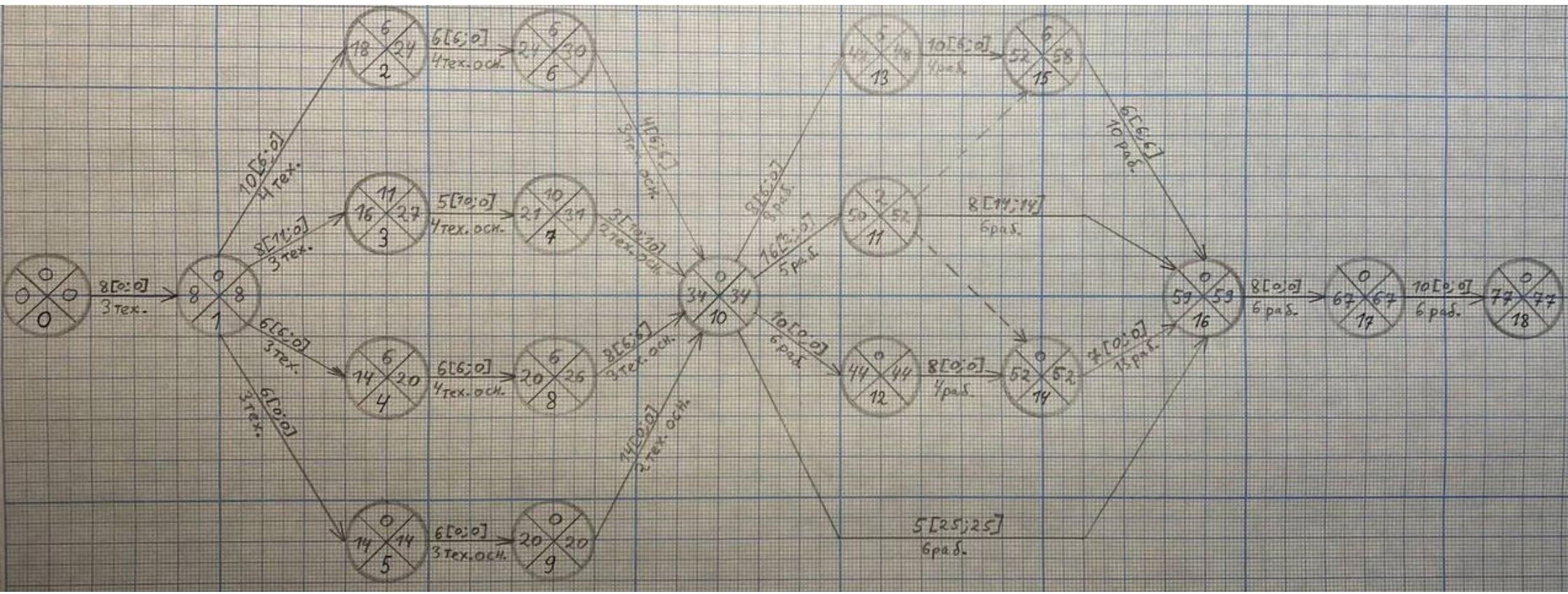


Рисунок 7 – Сетевой график со значениями параметров

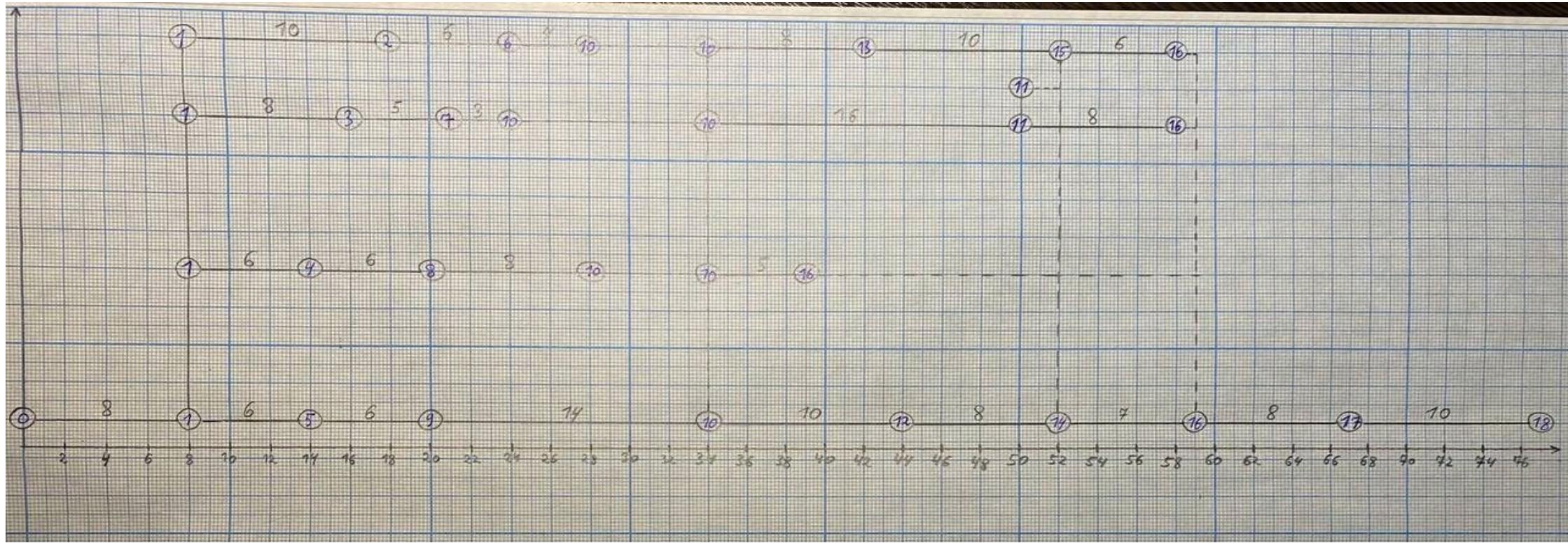


Рисунок 8 – Сетевая модель (график) на временной оси

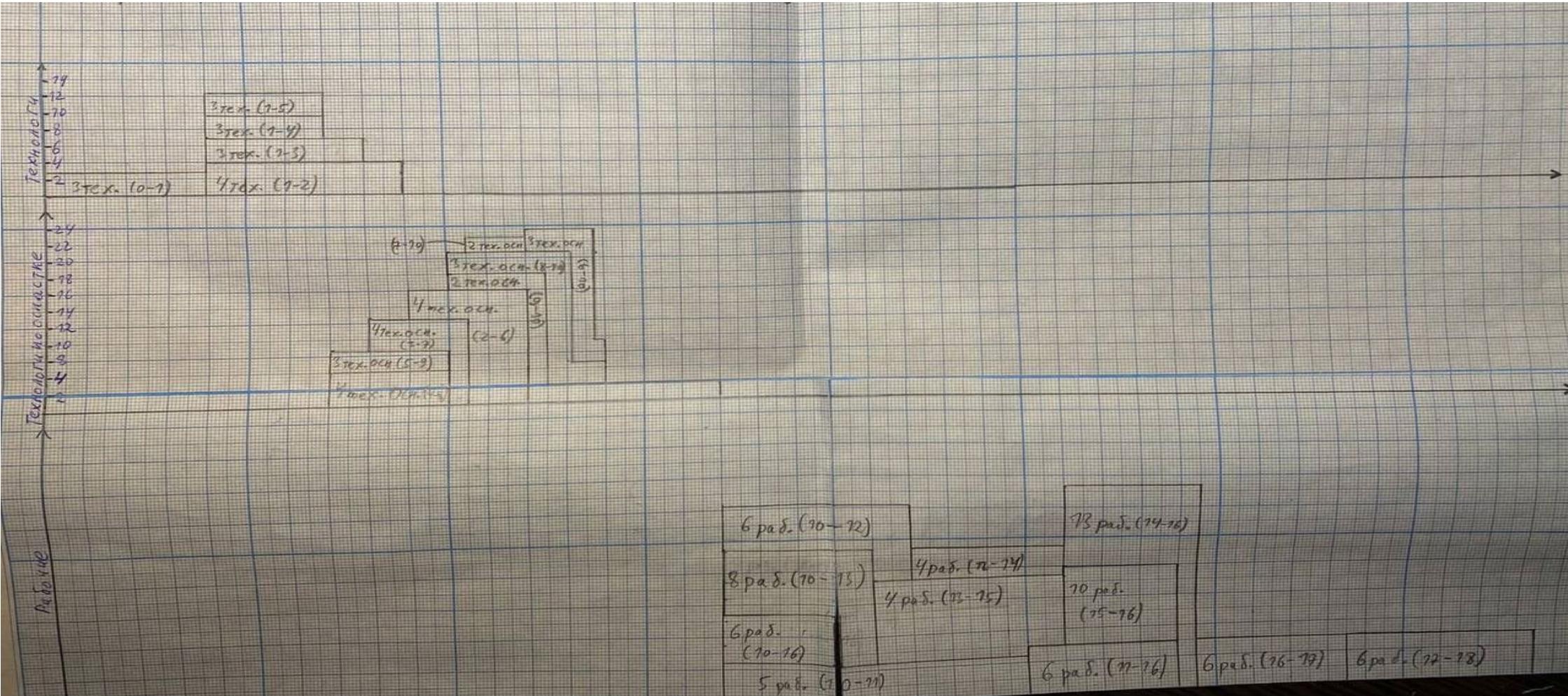


Рисунок 9 – Графики загрузки исполнителей по их категориям

Оптимизация сетевой модели по численности исполнителей

Работы критического пути: $0 \rightarrow 1 \rightarrow 5 \rightarrow 9 \rightarrow 10 \rightarrow 12 \rightarrow 14 \rightarrow 16 \rightarrow 17 \rightarrow 18$.

Продолжительность критического пути: $L_{kp} = 82$ (нед.).

Формулы для расчета:

- Объем работы ij : $Q_{ij} = t_{ij} \cdot P_{uij}$
- Продолжительность работы ij при изменении численности исполнителей на n человек: $t'_{ij} = Q_{ij}/(P_{uij} \pm n)$
- Свободный резерв работы: $R_{cij} = T_{pj} - T_{pi} - t_{ij}$.

Работа $10 \rightarrow 16$ (на рисунке 3 работа №17), продолжительностью 5 недель и исполняемая шестью рабочими, не лежит на критическом пути и имеет свободный резерв работ $R_{c10 \rightarrow 16} = 25$ (нед.). Данная работа, по сравнению с другими, имеет самые большие полный и свободный резервы.

Объем работы $10 \rightarrow 16$:

$$Q_{10 \rightarrow 16} = t_{10 \rightarrow 16} \cdot P_{ui10 \rightarrow 16};$$

$$Q_{10 \rightarrow 16} = 5 \cdot 6 = 30 \text{ ч} \cdot \text{нед.}$$

Вновь обратившись к расчетам путей сетевой модели, которые были сделаны ранее, можно прийти к выводу: чтобы избежать появления нового критического пути во время проведения оптимизации сетевой модели по численности исполнителей, необходимо сделать так, чтобы продолжительность пути, который включает в себя работу $10 \rightarrow 16$, не была

больше или равна продолжительности критического пути, которая равна 77 неделям.

Таких путей несколько:

$$0 \rightarrow 1 \rightarrow 5 \rightarrow 9 \rightarrow 10 \rightarrow 16 \rightarrow 17 \rightarrow 18 \Rightarrow 8 + 6 + 6 + 14 + 5 + 8 + 10 = 57$$

$$0 \rightarrow 1 \rightarrow 2 \rightarrow 6 \rightarrow 10 \rightarrow 16 \rightarrow 17 \rightarrow 18 \Rightarrow 8 + 10 + 6 + 4 + 5 + 8 + 10 = 51$$

$$0 \rightarrow 1 \rightarrow 3 \rightarrow 7 \rightarrow 10 \rightarrow 16 \rightarrow 17 \rightarrow 18 \Rightarrow 8 + 8 + 5 + 3 + 5 + 8 + 10 = 47$$

$$0 \rightarrow 1 \rightarrow 4 \rightarrow 8 \rightarrow 10 \rightarrow 16 \rightarrow 17 \rightarrow 18 \Rightarrow 8 + 6 + 6 + 8 + 5 + 8 + 10 = 51$$

Как видно, максимальная длина пути, включающего в себя работу 10→16, составляет 57 недель. По этой причине, в первую очередь, необходимо следить за увеличением продолжительности этого пути.

Помимо этого, во время расчета величины того на сколько можно уменьшить число исполнителей, задействованных для выполнения работы 10→16, нужно проверять, не превышает ли новая продолжительность работы свободный резерв, имевшийся до оптимизации.

Также при выполнении оптимизации по численности исполнителей немаловажным является тот факт, что при вычислении количества исполнителей, которых можно снять с работы 10→16, нужно чтобы новое полученное время выполнения работы не повлияло на величину раннего срока свершения события 16. То есть, необходимо избежать появления значения раннего срока свершения события 16, которое превысит уже имеющееся, а именно 59 недель.

Исходя из этих условий необходимо выяснить, какое число исполнителей можно перевести с работы 10→16 на другие проекты.

При уменьшении численности исполнителей на два человека продолжительность работы 10→16 увеличится и составит:

$$t'_{10 \rightarrow 16} = \frac{30}{6 - 2} = 7.5 \cong 8$$

$$R'_{c10 \rightarrow 16} = 59 - 34 - 8 = 17$$

Продолжительность пути с $t'_{10 \rightarrow 16}$:

$$0 \rightarrow 1 \rightarrow 5 \rightarrow 9 \rightarrow 10 \rightarrow 16 \rightarrow 17 \rightarrow 18 \Rightarrow 8 + 6 + 6 + 14 + 8 + 8 + 10 = 60$$

При уменьшении численности исполнителей на три человека продолжительность работы 10→16 увеличится и составит:

$$t'_{10 \rightarrow 16} = \frac{30}{6 - 3} = 10$$

$$R'_{c10 \rightarrow 16} = 59 - 34 - 10 = 15$$

Продолжительность пути с $t'_{10 \rightarrow 16}$:

$$0 \rightarrow 1 \rightarrow 5 \rightarrow 9 \rightarrow 10 \rightarrow 16 \rightarrow 17 \rightarrow 18 \Rightarrow 8 + 6 + 6 + 14 + 10 + 8 + 10 = 62$$

При уменьшении численности исполнителей на четыре человека продолжительность работы 10→16 увеличится и составит:

$$t'_{10 \rightarrow 16} = \frac{30}{6 - 4} = 15$$

$$R'_{c10 \rightarrow 16} = 59 - 34 - 15 = 10$$

Продолжительность пути с $t'_{10 \rightarrow 16}$:

$$0 \rightarrow 1 \rightarrow 5 \rightarrow 9 \rightarrow 10 \rightarrow 16 \rightarrow 17 \rightarrow 18 \Rightarrow 8 + 6 + 6 + 14 + 15 + 8 + 10 = 67$$

При уменьшении численности исполнителей на пять человек продолжительность работы 10→16 увеличится и составит:

$$t'_{10 \rightarrow 16} = \frac{30}{6 - 5} = 30$$

$$R'_{c10 \rightarrow 16} = 59 - 34 - 30 = -5$$

Продолжительность пути с $t'_{10 \rightarrow 16}$:

$$0 \rightarrow 1 \rightarrow 5 \rightarrow 9 \rightarrow 10 \rightarrow 16 \rightarrow 17 \rightarrow 18 => 8 + 6 + 6 + 14 + 15 + 30 + 10 = 89$$

Из приведенных вычислений видно, что, уменьшив количество исполнителей, задействованных на работе 10→16 больше чем на 4 человека, условия перестают выполняться:

- Новая продолжительность работы превышает свободный резерв, имевшийся до оптимизации.
- Продолжительность пути с новым временем на выполнение работы 10→16 превышает 77 недель, что порождает новый критический путь.
- Новое полученное время выполнения работы повлияло на величину раннего срока свершения события 16. Полученный срок превышает 59 недель.

Таким образом, максимально допустимое число исполнителей, которых можно перевести с работы 10→16 на другие проекты, равняется 4.

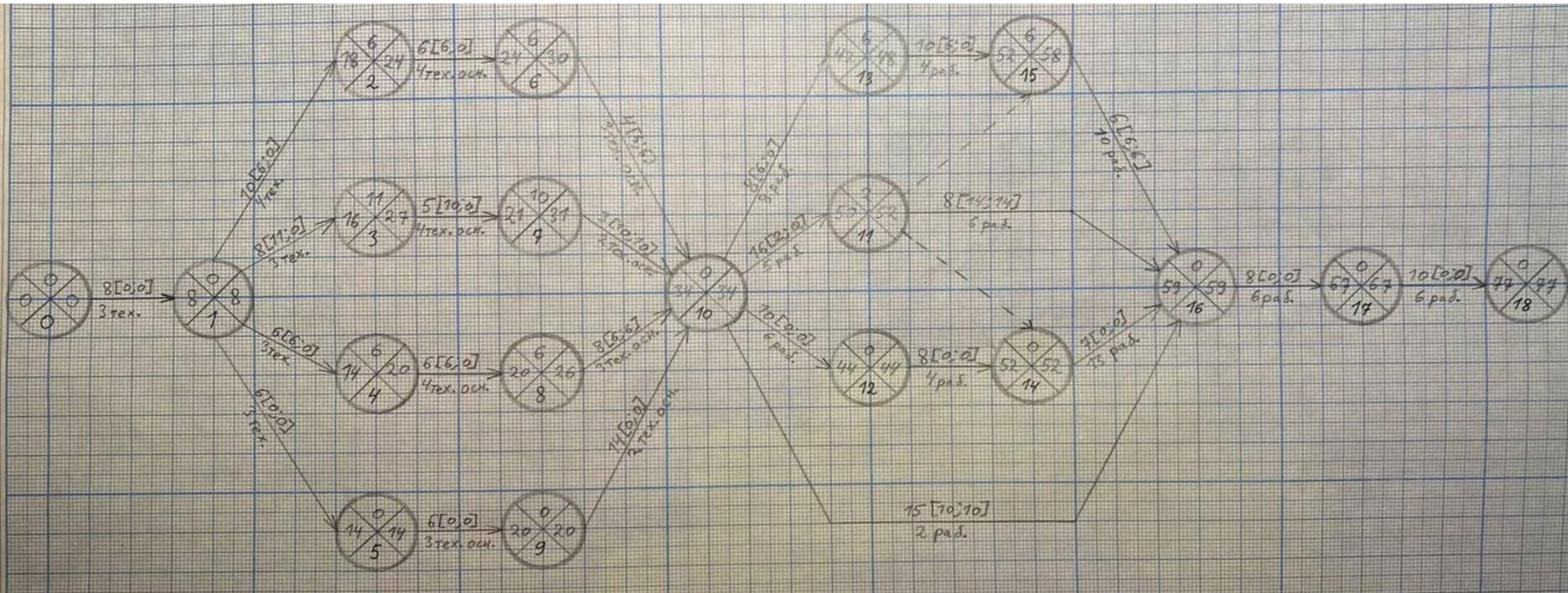


Рисунок 10 – Сетевой график со значениями параметров

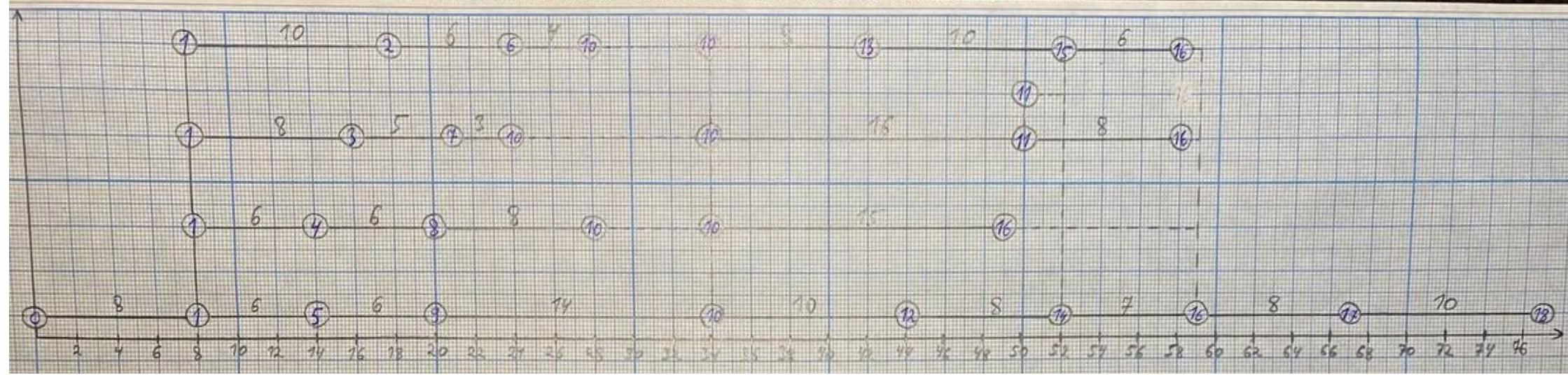


Рисунок 11 – Сетевая модель (график) на временной оси

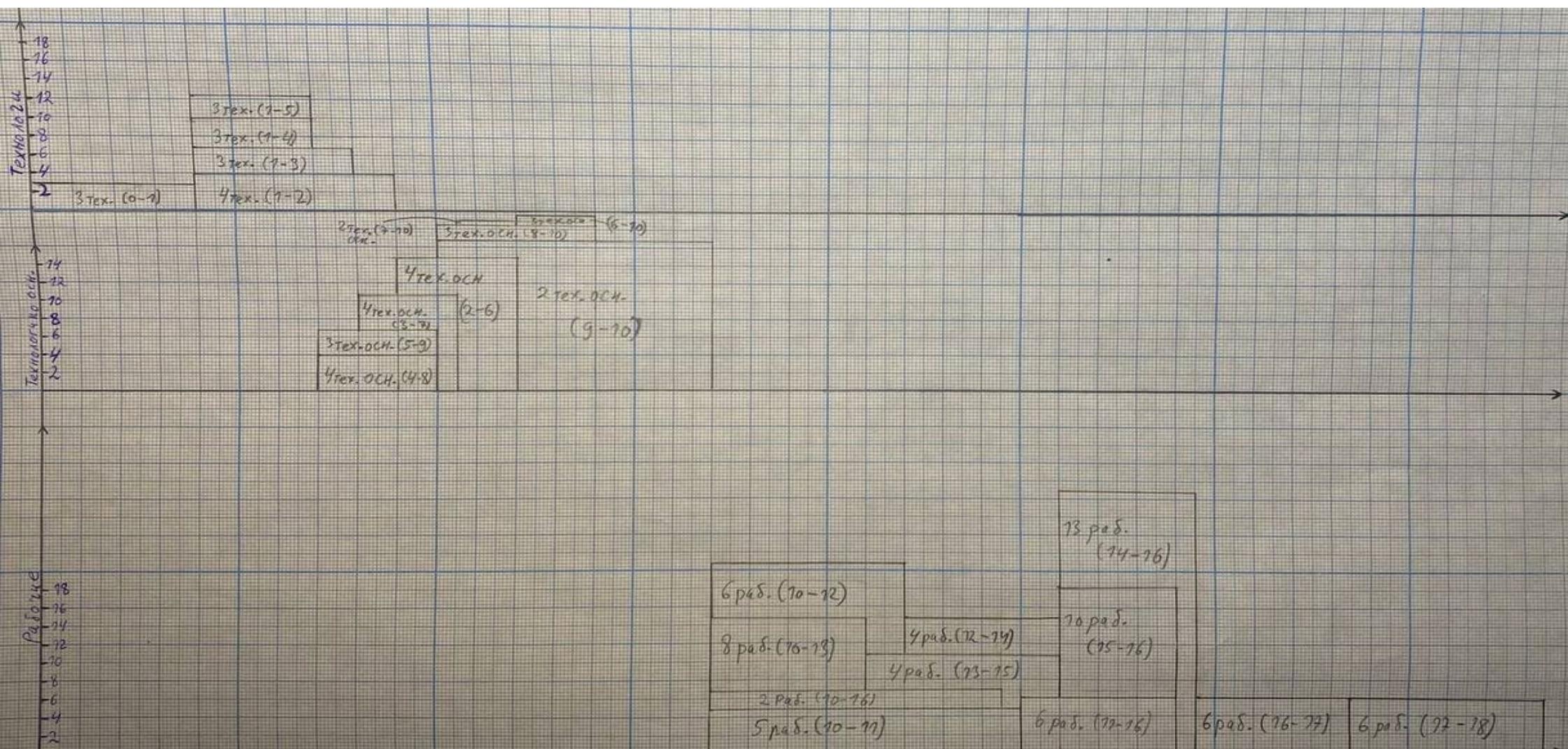


Рисунок 12 – Графики загрузки исполнителей по их категориям

Составление сметы затрат на выполнение комплекса работ

Из условия, себестоимость часа работы одного исполнителя:

- инженерно-технических работников – 400 руб./час;
- рабочих – 350 руб./час.

Персонал работает 5 дней в неделю, по 8 часов в день.

Номер работы	Продолжительность работы, t_{ij} , недель	Количество исполнителей по категориям	Себестоимость работы, руб. $S_i = t_{ij} \cdot P_{uij} \cdot 5 \cdot 8 \cdot pay$
1	8	3 технологии	$8 \cdot 3 \cdot 5 \cdot 8 \cdot 400 = 384\,000$
2	10	4 технологии	$10 \cdot 4 \cdot 5 \cdot 8 \cdot 400 = 640\,000$
3	8	3 технологии	$8 \cdot 3 \cdot 5 \cdot 8 \cdot 400 = 384\,000$
4	6	3 технологии	$6 \cdot 3 \cdot 5 \cdot 8 \cdot 400 = 288\,000$
5	6	3 технологии	$6 \cdot 3 \cdot 5 \cdot 8 \cdot 400 = 288\,000$
6	6	4 технологии по оснастке	$6 \cdot 4 \cdot 5 \cdot 8 \cdot 400 = 384\,000$
7	4	3 технологии по оснастке	$4 \cdot 3 \cdot 5 \cdot 8 \cdot 400 = 192\,000$
8	5	4 технологии по оснастке	$5 \cdot 4 \cdot 5 \cdot 8 \cdot 400 = 320\,000$
9	3	2 технологии по оснастке	$3 \cdot 2 \cdot 5 \cdot 8 \cdot 400 = 96\,000$

10	6	4 технологии по оснастке	$6 \cdot 4 \cdot 5 \cdot 8 \cdot 400 = 384\ 000$
11	8	3 технологии по оснастке	$8 \cdot 3 \cdot 5 \cdot 8 \cdot 400 = 384\ 000$
12	6	3 технологии по оснастке	$6 \cdot 3 \cdot 5 \cdot 8 \cdot 400 = 288\ 000$
13	14	2 технологии по оснастке	$14 \cdot 2 \cdot 5 \cdot 8 \cdot 400 = 448\ 000$
14	16	5 рабочие	$16 \cdot 5 \cdot 5 \cdot 8 \cdot 350 = 1\ 120\ 000$
15	10	6 рабочие	$10 \cdot 6 \cdot 5 \cdot 8 \cdot 350 = 840\ 000$
16	8	8 рабочие	$8 \cdot 8 \cdot 5 \cdot 8 \cdot 350 = 896\ 000$
17	15	2 рабочие	$15 \cdot 2 \cdot 5 \cdot 8 \cdot 350 = 420\ 000$
18	8	4 рабочие	$8 \cdot 4 \cdot 5 \cdot 8 \cdot 350 = 448\ 000$
19	10	4 рабочие	$10 \cdot 4 \cdot 5 \cdot 8 \cdot 350 = 560\ 000$
20	8	6 рабочие	$8 \cdot 6 \cdot 5 \cdot 8 \cdot 350 = 672\ 000$
21	7	13 рабочие	$7 \cdot 13 \cdot 5 \cdot 8 \cdot 350 = 1\ 274\ 000$
22	6	10 рабочие	$6 \cdot 10 \cdot 5 \cdot 8 \cdot 350 = 840\ 000$
23	8	6 рабочие	$8 \cdot 6 \cdot 5 \cdot 8 \cdot 350 = 672\ 000$
24	10	6 рабочие	$10 \cdot 6 \cdot 5 \cdot 8 \cdot 350 = 840\ 000$

Итоговая сумма затрат в рублях составляет: $\sum_1^{24} S_i = 13\ 062\ 000$

Приложение А

Данный срок свершения события:

$$T_{p0} = 0$$

$$T_{p1} = T_{p0} + T_{01} = 0 + 8 = 8$$

$$T_{p2} = T_{p1} + T_{12} = 8 + 10 = 18$$

$$T_{p3} = T_{p2} + T_{13} = 18 + 8 = 26$$

$$T_{p4} = T_{p3} + T_{14} = 26 + 6 = 32$$

$$T_{p5} = T_{p4} + T_{15} = 32 + 6 = 38$$

$$T_{p6} = T_{p5} + T_{26} = 38 + 6 = 44$$

$$T_{p7} = T_{p6} + T_{37} = 44 + 5 = 49$$

$$T_{p8} = T_{p7} + T_{48} = 49 + 6 = 55$$

$$T_{p9} = T_{p8} + T_{59} = 55 + 6 = 61$$

$$T_{p10} = T_{p9} + T_{610} = 61 + 4 = 65$$

$$T_{p11} = T_{p10} + T_{710} = 65 + 3 = 68$$

$$T_{p12} = T_{p11} + T_{810} = 68 + 8 = 76$$

$$T_{p13} = T_{p12} + T_{910} = 76 + 10 = 86$$

$$T_{p11} = T_{p10} + T_{1011} = 65 + 8 = 73$$

$$T_{p12} = T_{p10} + T_{1012} = 65 + 10 = 75$$

$$T_{p13} = T_{p10} + T_{1013} = 65 + 8 = 73$$

$$T_{p14} = T_{p12} + T_{1214} = 75 + 8 = 83$$

$$T_{p15} = T_{p11} + T_{1114} = 73 + 8 = 81$$

$$T_{p16} = T_{p13} + T_{1315} = 73 + 10 = 83$$

$$T_{p17} = T_{p11} + T_{1115} = 73 + 10 = 83$$

$$T_{p18} = T_{p10} + T_{1016} = 65 + 6 = 71$$

$$T_{p19} = T_{p14} + T_{1416} = 83 + 6 = 89$$

$$T_{p20} = T_{p15} + T_{1516} = 83 + 6 = 89$$

$$T_{p21} = T_{p16} + T_{1617} = 83 + 8 = 91$$

$$T_{p22} = T_{p17} + T_{1718} = 83 + 8 = 91$$

Поздний срок свершения события:

$$T_{n18} = T_{p18} = 82$$

$$T_{n17} = T_{n18} - T_{1718} = 82 - 10 = 72$$

$$T_{n16} = T_{n17} - T_{1617} = 72 - 8 = 64$$

$$T_{n15} = T_{n16} - T_{1516} = 64 - 6 = 58$$

$$T_{n14} = T_{n16} - T_{1416} = 64 - 12 = 52$$

$$T_{n13} = T_{n16} - T_{1116} = 64 - 8 = 56$$

$$T_{n12} = T_{n16} - T_{1016} = 64 - 5 = 59$$

$$T_{n11} = T_{n15} - T_{1115} = 58 - 0 = 58$$

$$T_{n10} = T_{n14} - T_{1014} = 52 - 0 = 52$$

$$T_{n9} = T_{n12} - T_{1212} = 59 - 8 = 51$$

$$T_{n8} = T_{n12} - T_{1212} = 59 - 8 = 51$$

$$T_{n7} = T_{n11} - T_{1115} = 58 - 0 = 58$$

$$T_{n10} = T_{n12} - T_{1012} = 59 - 10 = 49$$

$$T_{n11} = T_{n10} - T_{1011} = 49 - 8 = 41$$

$$T_{n12} = T_{n10} - T_{1012} = 49 - 10 = 39$$

$$T_{n13} = T_{n11} - T_{1113} = 41 - 8 = 33$$

$$T_{n14} = T_{n10} - T_{810} = 49 - 8 = 41$$

$$T_{n15} = T_{n10} - T_{910} = 49 - 14 = 35$$

$$T_{n16} = T_{n10} - T_{610} = 49 - 6 = 43$$

$$T_{n17} = T_{n10} - T_{710} = 49 - 3 = 46$$

$$T_{n18} = T_{n10} - T_{818} = 49 - 8 = 41$$

$$T_{n19} = T_{n10} - T_{918} = 49 - 14 = 35$$

$$T_{n20} = T_{n10} - T_{510} = 49 - 6 = 43$$

$$T_{\text{п1}} = T_{\text{п2}} - T_{\text{п2}} = 24 - 10 = 14$$

$$T_{\text{п1}} = T_{\text{п3}} - T_{\text{п3}} = 22 - 8 = 14$$

$$T_{\text{п1}} = T_{\text{п4}} - T_{\text{п4}} = 20 - 6 = 14$$

$$T_{\text{п1}} = T_{\text{п5}} - T_{\text{п5}} = 14 - 6 = 8$$

$$T_{\text{п0}} = T_{\text{п1}} - T_{\text{п2}} = 8 - 8 = 0$$

Резерв свершения события :

$$\cdot R_0 = T_{\text{п0}} - T_{\text{р0}} = 0 - 0 = 0$$

$$\cdot R_1 = T_{\text{п1}} - T_{\text{р1}} = 8 - 8 = 0$$

$$R_2 = T_{\text{п2}} - T_{\text{р2}} = 24 - 18 = 6$$

$$R_3 = T_{\text{п3}} - T_{\text{р3}} = 22 - 16 = 6$$

$$R_4 = T_{\text{п4}} - T_{\text{р4}} = 20 - 14 = 6$$

$$\cdot R_5 = T_{\text{п5}} - T_{\text{р5}} = 14 - 14 = 0$$

$$R_6 = T_{\text{п6}} - T_{\text{р6}} = 30 - 24 = 6$$

$$R_7 = T_{\text{п7}} - T_{\text{р7}} = 37 - 27 = 10$$

$$R_8 = T_{\text{п8}} - T_{\text{р8}} = 26 - 20 = 6$$

$$\cdot R_9 = T_{\text{п9}} - T_{\text{р9}} = 20 - 20 = 0$$

$$\cdot R_{10} = T_{\text{п10}} - T_{\text{р10}} = 34 - 34 = 0$$

$$R_{11} = T_{\text{п11}} - T_{\text{р11}} = 52 - 42 = 10$$

$$\cdot R_{12} = T_{\text{п12}} - T_{\text{р12}} = 44 - 44 = 0$$

$$R_{13} = T_{\text{п13}} - T_{\text{р13}} = 48 - 42 = 6$$

$$\cdot R_{14} = T_{\text{п14}} - T_{\text{р14}} = 52 - 52 = 0$$

$$R_{15} = T_{\text{п15}} - T_{\text{р15}} = 58 - 52 = 6$$

$$R_{16} = T_{\text{п16}} - T_{\text{р16}} = 64 - 64 = 0$$

$$\cdot R_{17} = T_{\text{п17}} - T_{\text{р17}} = 72 - 72 = 0$$

$$\cdot R_{18} = T_{\text{п18}} - T_{\text{р18}} = 82 - 82 = 0$$

Поздний резерв работы:

$$R_{\text{п1}} = 8 - 0 - 8 = 0$$

$$R_{\text{п2}} = 24 - 8 - 10 = 6$$

$$R_{\text{п3}} = 22 - 8 - 8 = 6$$

$$R_{\text{п4}} = 20 - 8 - 6 = 6$$

$$\cdot R_{\text{п5}} = 14 - 8 - 6 = 0$$

$$R_{\text{п6}} = 30 - 18 - 6 = 6$$

$$R_{\text{п7}} = 34 - 24 - 4 = 6$$

$$R_{\text{п8}} = 37 - 16 - 5 = 10$$

$$R_{\text{п1}} = T_{\text{п1}} - T_{\text{р1}} + t_{\text{б}}$$

$$R_{\text{п9}} = 34 - 21 - 3 = 10 \quad R_{\text{п12}} = 64 - 34 - 5 = 25$$

$$R_{\text{п10}} = 26 - 19 - 6 = 6 \quad R_{\text{п18}} = 52 - 44 - 8 = 0$$

$$R_{\text{п11}} = 34 - 20 - 8 = 6 \quad R_{\text{п19}} = 58 - 42 - 10 = 6$$

$$R_{\text{п12}} = 20 - 14 - 6 = 0 \quad R_{\text{п20}} = 64 - 42 - 8 = 14$$

$$R_{\text{п13}} = 34 - 20 - 14 = 0 \quad R_{\text{п21}} = 64 - 52 - 12 = 0$$

$$R_{\text{п14}} = 52 - 34 - 8 = 10 \quad R_{\text{п22}} = 64 - 82 - 6 = 6$$

$$R_{\text{п15}} = 44 - 34 - 10 = 0 \quad R_{\text{п23}} = 72 - 64 - 8 = 0$$

$$R_{\text{п16}} = 48 - 34 - 8 = 6 \quad R_{\text{п24}} = 82 - 72 - 10 = 0$$

Расчет раннего и позднего сроков свершения событий, резервов свершения событий, полного резерва работ

Свободный резерв работ: $R_{cif} = T_{pj} - T_{pi} - t_{if}$

- $R_{c1} = 8 - 0 - 8 = 0 \quad R_{c9} = 34 - 27 - 3 = 0 \quad R_{c12} = 64 - 34 - 5 = 25$
- $R_{c2} = 78 - 8 - 10 = 0 \quad R_{c10} = 20 - 14 - 6 = 0 \quad R_{c18} = 52 - 44 - 8 = 0$
- $R_{c3} = 16 - 8 - 8 = 0 \quad R_{c11} = 34 - 20 - 8 = 6 \quad R_{c19} = 52 - 42 - 10 = 0$
- $R_{c4} = 14 - 8 - 6 = 0 \quad R_{c12} = 20 - 14 - 6 = 0 \quad R_{c20} = 64 - 42 - 8 = 14$
- $R_{c5} = 14 - 8 - 6 = 0 \quad R_{c13} = 34 - 20 - 14 = 0 \quad R_{c21} = 64 - 52 - 12 = 0$
- $R_{c6} = 24 - 18 - 6 = 0 \quad R_{c14} = 42 - 34 - 8 = 0 \quad R_{c22} = 64 - 52 - 6 = 6$
- $R_{c7} = 34 - 24 - 4 = 6 \quad R_{c15} = 44 - 34 - 10 = 0 \quad R_{c23} = 72 - 64 - 8 = 0$
- $R_{c8} = 27 - 16 - 5 = 0 \quad R_{c16} = 42 - 34 - 8 = 0 \quad R_{c24} = 82 - 72 - 90 = 0$

Расчет свободного резерва работ