

## **К вопросу об особенностях корректировки сетевого графика по трудовым ресурсам при поточной организации строительства** **Старостин Г. Г.<sup>1</sup>, Каргин С. А.<sup>2</sup>**

<sup>1</sup>*Старостин Геннадий Георгиевич / Starostin Gennadij Georgievich – кандидат экономических наук, доцент, кафедра строительных материалов и технологии;*

<sup>2</sup>*Каргин Степан Антонович / Kargin Stepan Antonovich – студент, Саратовский государственный технический университет им. Ю. А. Гагарина, г. Саратов*

**Аннотация:** в статье рассмотрены особенности корректировки сетевого графика по трудовым ресурсам при поточной организации строительства.

**Ключевые слова:** сетевой график, матрица, трудовые ресурсы, потенциальные и парадоксальные клетки, корректировка.

В обширной научной и учебной литературе до сих пор не прослеживается четкое построение сетевых графиков при поточной организации работ. Так, в [1, с. 59] при построении сетевого графика неритмичного потока для устранения противоречий между расчетами общей продолжительности всех работ в потоке и критического срока в сетевом графике предлагается учитывать время организационных простоев между смежными процессами на первой захватке. В этом случае критический путь всегда проходит по процессам первой захватки и их технологическим связям с учетом организационных перерывов и по захваткам последнего процесса, что не соответствует работам самого напряженного безразрывного (критического) пути от первой до последней клеток матрицы (табл. 1). Поэтому в [2, с. 75] нами изложено правило 13 построения сетевого графика при поточной организации работ, согласно которому сетевой график должен строиться в соответствии с безразрывным путем, а для устранения логических противоречий в системе ОФР (ордината-фронт работ) между одноименными работами на захватках вводятся нулевые связи (рис. 1). В системе ОВР (ордината-вид работ) сетевой график должен строиться также согласно правилу 13, но нулевые связи вводятся между смежными процессами на захватках.

Для изложения основных положений заявленной темы статьи предположим, что полученная в результате расчета матрицы и сетевого графика проектная продолжительность выполнения работ удовлетворяет заданный срок, а график движения рабочих при числе исполнителей процессов  $A = 10$  чел.,  $B = 8$  чел.,  $V = 12$  чел.,  $\Gamma = 6$  чел., имеет следующий вид (рис. 2).

*Таблица 1. Пример расчета параметров неритмичного потока\**

Захватки (объекты) (j)	Процессы (i)				$\frac{\sum t_{ij}^{1)}$ $\sum t_{ij} + \sum t_{on}$
	А	Б	В	Г	
1	0	2	7	10	9/14
	1	1	4	3	
2	1	3	10	14	13/16
	2	4	3	4	
3	3	7	14	17	13/18
	3	1	3	2	
4	6	11	16	21	14/17
	4	1	5	3	
5 (m)	10	16	19	23	13/17
	5	1	2	2	
$\sum_{j=1}^m t_i$	15	16	14	17	62/82=0,756

\*) Заштрихованные клетки матрицы, согласно [1, с. 42-47], являются потенциальными, а клетка В<sub>3</sub>, находящаяся под двойной штриховкой является парадоксальной.

1) В числителе приведена суммарная продолжительность работ на захватке (объекте), в знаменателе – суммарная продолжительность работ ( $\sum t_{ij}$ ) и организационных перерывов ( $\sum t_{on}$ )

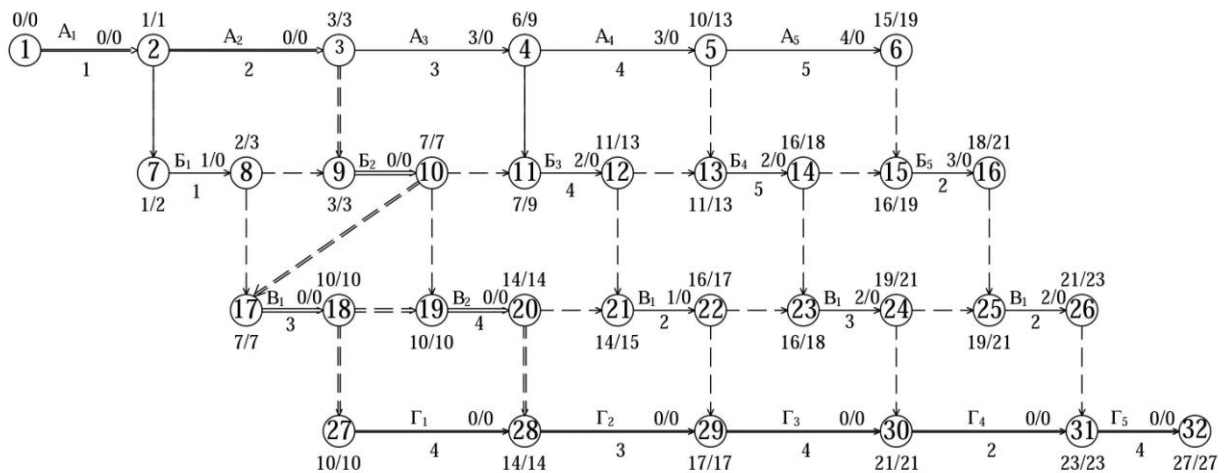


Рис. 1. Сетевой график, построенный по матрице неритмичного потока и рассчитанный методом дроби<sup>2)</sup>  
<sup>2)</sup> Над стрелкой в числителе приводится полный резерв времени работы на захватке, в знаменателе - свободный.

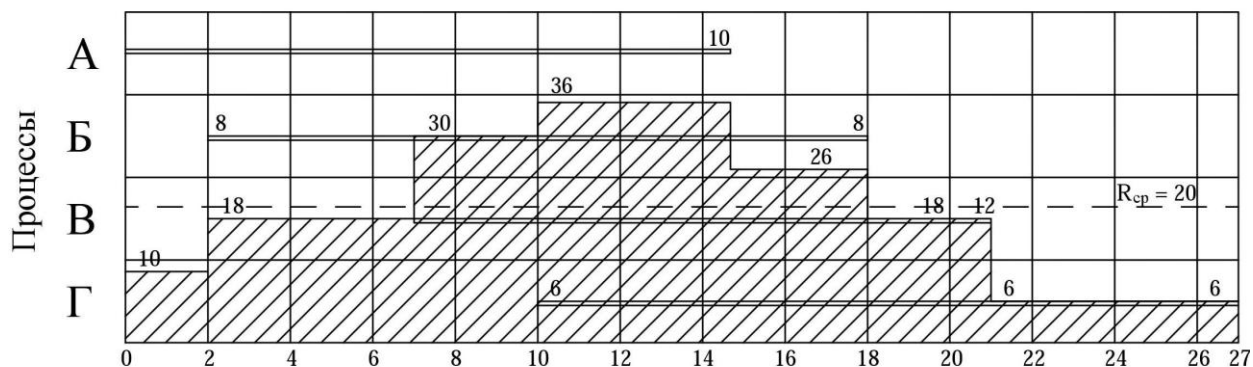


Рис. 2. График движения рабочих, построенный по исходной матрице и поздним началам работ сетевого графика

Анализируя график движения рабочих (рис. 2), можно отметить, что он не имеет впадин, резких скачков и кратковременных пик, а коэффициент неравномерности использования рабочих  $K_{нр}=1,77$  (представляет собой отношение наибольшего количества рабочих  $R_{\max}$ , принимаемого по графику, к среднему количеству рабочих  $R_{\text{ср}}$ , определенному путем деления общей трудоемкости  $Q$  на общий срок строительства  $T$ ).

$$R_{\text{ср}}=Q/T; K_{нр}=R_{\max}/R_{\text{ср}}. \text{ Для нашего примера } Q=10\cdot 15+8\cdot 16+12\cdot 14+6\cdot 17=548$$

$T=27$  ед. времени.  $R_{\text{ср}}=548/27=20,3$   $R_{\max}=36$  чел.  $K_{нр}=1,77$ ). Рациональным считается вариант графика, при котором значение коэффициента  $K_{нр}=1,4\dots 1,5$ . В нашем примере это условие не соблюдается, поэтому корректировка графика по трудовым ресурсам весьма желательна.

Корректировка по трудовым ресурсам, как правило, направлена на решение следующих задач:

- исходя из требований поточной организации строительства, сохранить постоянный состав ведущих бригад и обеспечить непрерывность их работ;
- равномерно распределить рабочую силу;
- минимизировать количество рабочей силы в пределах имеющихся резервов времени.

Корректировка графика движения рабочих может происходить тремя способами:

- 1) увеличением продолжительности не критических работ в пределах резервов времени (главным образом свободных) с одновременным уменьшением числа рабочих;
- 2) сокращением критического срока с одновременным уменьшением организационных перерывов между смежными процессами (в системе ОФР) или частными фронтами работ (в системе ОВР);
- 3) одновременным использованием обоих способов.

Таким образом, для проведения корректировки графика движения рабочих любым из вышеперечисленных способов первоначально необходимо определить резервы времени не критических работ сетевого графика (или работ, не лежащих на базоразрывном пути матрицы). Результаты расчета организационных простоев захватки между смежными потоками по матрице (табл. 1) и резервов времени по сетевому графику, рассчитанному методом дроби (рис. 1), для нашего примера представлены в табл. 2.

Таблица 2

Процессы	Процессы на частном фронте, имеющие организационные простои	Резервы увеличения продолжительности процессов						
		По матрице		По сетевому графику				
		Организационные простои	Возможное (допустимое) увеличение продолжительности процессов	Резервы времени		Возможное (допустимое) увеличение продолжительности процессов		
На частном фронте	Всего			Полный	Свободный	На частном фронте	Всего	
А	А <sub>1</sub>	1	1	1	0	0	0	4

	A <sub>3</sub>	1	1		3	0	3	
	A <sub>4</sub>	1	1		3	0	3	
	A <sub>5</sub>	1	1		4	0	4	
Б	Б <sub>1</sub>	4	4	1	1	0	1	3
	Б <sub>2</sub>	3	3		0	0	0	
	Б <sub>3</sub>	3	3		2	0	2	
	Б <sub>4</sub>	0	0		2	0	2	
	Б <sub>5</sub>	1	0		3	0	3	
В	В <sub>3</sub>	1(3)	0	(3)	1	0	1	2
	В <sub>4</sub>	2	0	2	2	0	2	
	В <sub>5</sub>	2	0		2	0	2	
	Итого	20		7				4

Из табл. 2 видно:

1. Суммарная величина организационных простоев по матрице и по потоку в целом составляет 20 ед. времени, в том числе между процессами А и Б – 4 ед. времени, между Б и В – 11 ед. времени, между В и Г – 5 ед. времени, а возможное увеличение продолжительности процессов (без изменения критического срока) с учетом особенностей парадоксальной клетки В3 в потоке в целом составляет 7 ед. времени.

2. Свободные резервы времени не имеет ни одна работа.

3. Полные резервы времени по процессу А составляют 4 ед. времени, по процессу Б – 3 ед. времени, по процессу В – 2 ед. времени, а возможное увеличение продолжительности процессов на частных фронтах в целом по сетевому графику должно быть не более 4 ед. времени.

Несоответствие между возможным увеличением продолжительности процессов по матрице и сетевому графику, как показала практика выполненных нами расчетов, связана с наличием или отсутствием: парадоксальных клеток матрицы; связующего звена или ожидания между ветвями безразрывного пути.

Выбор конкретных процессов на частном фронте для увеличения продолжительности их выполнения за счет организационных простоев должен быть согласован как с матрицей, так и с сетевым графиком. Эти процессы на частных фронтах должны относиться к потенциальным или парадоксальным. Если по одному и тому же процессу возможное увеличение продолжительности его выполнения на частных фронтах составляет одну и ту же величину (в нашем примере на 1 ед. времени по процессам А<sub>1</sub>, А<sub>3</sub>, А<sub>4</sub>, А<sub>5</sub>), то предпочтительнее увеличение продолжительности выполнить на последнем частном фронте (А<sub>5</sub>), так как высвободившиеся рабочие в этом случае могут быть окончательно переведены на другой объект (или на другую работу).

Исходя из вышеизложенных требований и данных табл. 2 о резервах увеличения продолжительности процессов на частных фронтах, увеличим продолжительность потенциальных процессов А<sub>5</sub>, Б<sub>5</sub>, В<sub>4</sub> и В<sub>5</sub> на 1 ед. времени, а парадоксального процесса В<sub>3</sub> на 3 ед. времени. При этом численность рабочих по процессу А снизим до 9 человек, по процессу Б – до 7 человек, по процессу В – до 9 человек. После построения графика движения рабочих оказалось, что  $R_{\max} = 31$  чел.,  $R_{\text{ср}} = 19,85$  чел.,  $K_{\text{нр}} = 1,56 > 1,5$ . Следовательно, необходима дальнейшая корректировка графика движения рабочих.

Эвристические алгоритмы корректировки сетевого графика по трудовым ресурсам, изложенные в учебных пособиях по организации, планированию и управлению в строительстве, а также в научных работах (например [3]), посвященных методу распределения возобновляемых ресурсов при постоянной интенсивности выполнения работ, не рассматривают поточную организацию работ и построение сетевого графика в соответствии с безразрывным путем и введением нулевых связей между одноименными работами (или смежными процессами на частном фронте работ).

Корректировка сетевого графика по продолжительности строительства может выполняться с использованием экономико-математических методов (например, метод «ветвей и границ») и программных продуктов, а также приближенными способами. Рассмотрим возможность дальнейшей корректировки графика движения рабочих для нашего примера за счет сокращения критического срока.

Корректировка сроков строительства простейшим приближенным способом при поточной организации работ может быть осуществлена: в системе ОФР - по показателям суммы предшествующих и последующих процессов по отношению к ведущему процессу (процессу наибольшей продолжительности – в нашем примере – процесс Г) и разнице ритмов между первым и последним процессом на соответствующей захватке [2, с. 57-60]; по непрерывному (если это возможно по конструктивным, объемно-планировочным и организационно-технологическим соображениям) выполнению смежных процессов на частном фронте работ (в системе ОВР).

При организации неритмичных потоков и при наличии на матрице парадоксальных клеток можно в определенных пределах манипулировать как общим сроком строительства, так и сроками возведения отдельных объектов (захваток), что было уже продемонстрировано нами при корректировке графика

движения рабочих без изменения критического срока. (Продолжительность процесса В<sub>3</sub> в парадоксальной клетке была увеличена на большую величину разрыва слева с 2 до 5 ед. времени, что привело к сокращению общего срока на меньшую величину разрыва справа равную 1 ед. времени. При этом была увеличена продолжительность процесса В в клетке матрицы В<sub>4</sub> на 1 ед. времени, таким образом было достигнуто сохранение критического срока).

Во втором варианте корректировки графика движения рабочих (в сравнении с первым вариантом) продолжительность процесса В<sub>4</sub> оставим равной не 4, а 3 ед. времени. Тогда критический срок сократился с 27 до 26 ед. времени, общее сокращение организационных перерывов составило 9 ед. времени,  $R_{\max} = 31$  чел.,  $R_{\text{ср}} = 20,27$  чел.,

$$K_{\text{нр}} = 1,53 \approx 1,5.$$

Корректировка сроков строительства по показателям суммы предшествующих и суммы последующих процессов по отношению к ведущему потоку (процесс Г) и по разнице ритмов между первым и последними процессами на соответствующих захватках не привела к сокращению общего срока строительства.

Результаты расчета параметров потока по матрице и сетевому графику, построенных в системе ОВР с одновременным увеличением продолжительности процессов В<sub>1</sub> и В<sub>3</sub> соответственно на 1 ед. времени, показали, что срок строительства составил 25 ед. времени, продолжительность организационных перерывов составила 9 ед. времени,  $R_{\max} = 36$  чел.,  $R_{\text{ср}} = 21,92$  чел.,  $K_{\text{нр}} = 1,64 > 1,5$ . Условие не выполняется.

Одной из особенностей возобновляемых (людских) ресурсов является то, что их фактическая производительность в единицу времени может колебаться в значительных пределах. Следовательно, производительность, достигнутая этими ресурсами, существенно влияет на продолжительность выполнения той или иной работы и делает необходимым систематическое корректирование числа исполнителей. При возможном увеличении производительности труда для нашего примера (вариант 2) по процессу А на 17,2 %, по Б – на 7,6 %, по В – на 16,7 %, по Г – на 20 %, снижаем численность рабочих по процессам А до 8 чел., по Б – до 7 чел., по В – до 8 чел., по Г – до 5 чел. Получаем снижение организационных простоев до 9 ед. времени,  $R_{\max} = 28$  чел.,  $R_{\text{ср}} = 18,3$  чел.,

$K_{\text{нр}} = 1,53 \approx 1,5$ . Учитывая снижение минимальной численности рабочих до 28 чел. Против 31 чел. по варианту 2, можно считать данный вариант лучшим, хотя он незначительно отличается от второго варианта.

В заключение отметим, что особенности корректировки сетевого графика по трудовым ресурсам при поточной организации строительства вызваны:

1. Необходимостью соблюдения правила построения топологии сетевого графика в соответствии с безразрывным путем, поиск которого может быть выполнен на основе расчета матрицы (или построения циклограммы) и введения нулевых связей между одноименными работами на смежных захватках

2. Выявлением и учетом особенностей потенциальных и парадоксальных клеток матрицы для уменьшения организационных простоев между смежными процессами на частных фронтах работ с соответствующим снижением численности исполнителей процессов, или сокращением общего срока строительства объекта с соответствующим увеличением средней и уменьшением максимальной численности исполнителей.

### *Литература*

1. Организация и планирование строительного производства: Учеб. для инж.-экон. спец. вузов / И. Г. Галкин, Э. И. Сафонова, Н. В. Огнева и др. Под ред. И. Г. Галкина. – М.: Высш.шк., 1985. – 463 с.
2. *Старостин Г. Г.* Основы организации строительного производства: учеб. пособие, Саратов: Саратов. гос. техн. ун-т, 2001. – 120 с.
3. *Корффер М. И., Козловцев С. Г.* Алгоритм минимизации полного изменения интенсивности потребления ресурсов. – Известия вузов, раздел «Строительство и архитектура», 1969, № 9.