

рассчитываемого по теории В. И. Мурашева, и существенно уточнена формула для определения основного параметра ψ_S , учитывающего сопротивление бетона между трещинами.

ИСПОЛЬЗОВАННАЯ ЛИТЕРАТУРА

1. Колчунов В. И. Об использовании гипотезы плоских сечений в железобетоне / В. И. Колчунов, И. А. Яковенко // Строительство и реконструкция. – Орел : Орел ГТУ, 2011. – № 6. – С. 21 – 27.
2. Мурашев В. И. Трещиностойкость, жесткость и прочность железобетона / Василий Иванович Мурашев. – М. : Машстройиздат, 1950. – 286 с.
3. Немировский Я. М., Кочетков О. И. Влияние работы растянутой и сжатой зон бетона на деформации обычных изгибаемых железобетонных элементов после возникновения в них трещин // Особенности деформации бетона и железобетона и использование ЭВМ для оценки их влияния на поведение конструкций / Под ред. А. А. Гвоздева, С. М. Крылова. – М. : Стройиздат, 1969. – С. 106 – 156.
4. Бондаренко В. М. Расчетные модели силового сопротивления железобетона : монография / В. М. Бондаренко, В. И. Колчунов. – М. : АСВ, 2004. – 472 с.
5. Бетонные и железобетонные конструкции : СНиП 2.03.01–84 – [Введены в действие с 1986-01-01]. – М. : ЦТИП Госстроя СССР, 1989. – 88 с. – (Строительные нормы и правила).

УДК 69.057:658.513.4

ВЕРОЯТНОСТНЫЕ ПАРАМЕТРЫ РАБОТ В СОСТАВЕ КАЛЕНДАРНОГО ПЛАНА

В. Р. Млодецкий, д. т. н., проф., А. А. Мартыш, асп.

Ключевые слова: *сетевой график, планирование, организационно-технологическая надежность, нормальное распределение*

Введение. Статья посвящена организационно-технологической надежности в строительстве на стадии планирования. Основой для статьи являются наработки по учету вероятностных факторов, которые влияют на окончательное время выполнения какой-либо строительно-монтажной работы. Статья базируется на подходе, согласно которому время завершения некоторого объема работ является не детерминированным значением, а диапазоном (промежутком) возможных значений, которые можно описать с помощью α -распределения.

Цель статьи. Задача заключается в анализе вероятностных факторов, влияющих на взаимоувязку отдельных работ как частных потоков в объектный поток. Показано, как изменяется построение типичного календарного плана при учете вероятностного характера частных потоков.

Изложение материала. Как и при известных методах табличных расчетов (в общем случае неритмичных потоков), в которых временные параметры принимаются как величины детерминированные, узловым моментом есть взаимоувязка по срокам окончания предшествующей работы и начала последующей на том этапе, где отмечается их критическое сближение. В данном случае имеет место простое условие $T_{(i-1)}^O = T_i^H$, которое является универсальным для взаимоувязки смежных работ независимо от того, на первом или каком-либо последующем этапе это критическое сближение произошло.

Несколько сложнее обстоит ситуация в случае учета вероятностной природы факторов, влияющих на режим работы. Ранее отмечено, что при «веерном» характере развития процесса время выполнения работы на отдельном этапе определяется не двумя параметрами, как в детерминированном варианте ($T_i^H; T_i^O = T_i^H + T_i$), а четырьмя – два по ранним срокам ($T_i^{PH}; T_i^{PO}$) и два по поздним срокам ($T_i^{PH}; T_i^{PO}$) (рис.1)

Рассмотрим вначале ситуацию, когда критическое сближение имеет место по окончанию работ на первом этапе. В любом случае, когда рассматривается вероятностный процесс, то всегда устанавливается вероятность свершения определенного события, в нашем случае это вероятность N завершения этапа работ к определенному сроку T_N . Обратим внимание, что в данном случае объем работ по отдельному этапу V_i рассматривается как неслучайная величина. Всегда, когда имеет место вероятность своевременного завершения работ N , присутствует и вероятность, что этот срок будет превышен $P(T > T_N) = 1 - N$. Следовательно, эти

обстоятельства необходимо учитывать при планировании работ. Традиционно ограничивались лишь определением T_N и в дальнейшем расчет временных параметров ничем не отличался от детерминированного варианта [2; 4; 5].

В дальнейшем будем применять следующую индексацию: i – этап выполнения работ (захватка), $i = 1, 2, \dots, n$; j – номер специализированного потока в составе объектного, $j = 1, 2, \dots, m$.

В соответствии с этим запишем временные параметры, определяемые для условия критического сближения на первом участке (рис. 1)

Вероятное время окончания предыдущей работы T_{j-1}^N . Следовательно, вероятное время задержки окончания работы ($j - 1$) после этого срока равно:

$$T_{j-1}^{(+)} = (1 - N) * (T_{j-1}^{\text{ПЕС}} - T_{j-1}^N) \quad (1)$$

В соответствии с этим, сроки начала последующей j -ой работы, исходя из представленных на рисунке 1 построений, определяются выражениями:

$$T_j^{\text{PH}} = T_{j-1}^{N(\text{ок})}; \quad (2)$$

$$T_j^{\text{PO}} = T_j^{\text{PH}} + \frac{V_1}{I_j^{\text{ОПТ}}}; \quad (3)$$

$$T_j^{\text{ПН}} = T_{j-1}^{N(\text{ок})} + T_{j-1}^{(+)}; \quad (4)$$

$$T_j^{\text{ПО}} = T_j^{\text{ПН}} + \frac{V_1}{I_j^{\text{ПЕС}}}. \quad (5)$$

При таком подходе критическое сближение двух частных потоков определяется «критической зоной», которая выделена штриховкой на рисунке 1. И это вполне логично, так как в вероятностном процессе не может быть детерминированных (однозначных) параметров. В результате имеем не полюс начала последующей работы, а зону в интервале времени $\{T_j^{\text{PH}} \dots T_j^{\text{ПН}}\}$ и для расчета координат ожидаемого времени окончания j -й работы T_j^N необходимо воспользоваться расчетом на базе определения «фиктивного полюса».

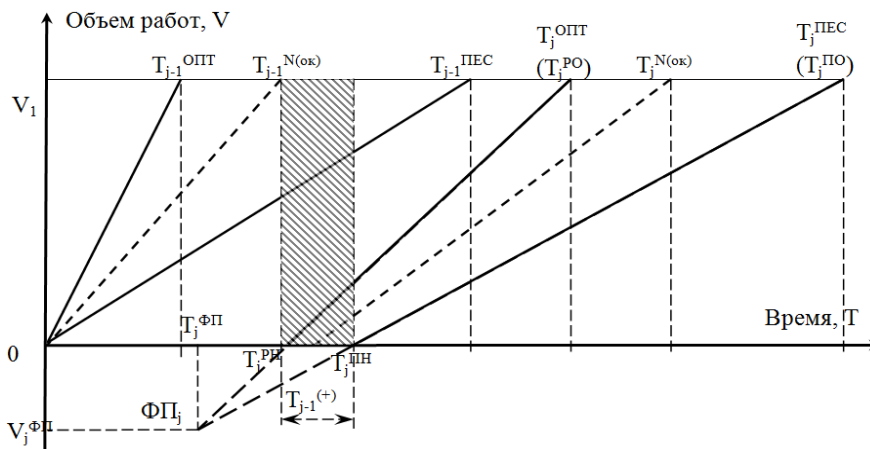


Рис. 1. Схема расчета временных параметров двух смежных частных потоков ($j - 1$; j) при их критическом сближении на первом этапе

Очевидно, что если нет критического сближения на первом участке, то начало последующей работы будет определяться условиями критического сближения на последующих этапах работ.

Аналогичным образом определим особенности расчета временных параметров смежных потоков при условии их критического сближения на других этапах работ. Традиционно [1] при взаимоувязке двух смежных последовательно выполняемых на одной захватке работ применялся прием детерминированного расчета, когда график выполнения работы соответствовал рассчитанной ее продолжительности при заданном уровне надежности. Априори принималось, что итоговая вероятность такого совмещения также равна N . Однако, если рассмотреть эту ситуацию более детально, легко заметить, что в данном случае мы имеем дело со сложным событием. Дадим определение этому событию.

S – сложное событие, определяемое возможностью начала работы бригады j на i -й захватке;

A – простое событие, определяемое вероятностью завершения работы j на предыдущем этапе (i);

B – простое событие, определяемое вероятностью завершения работы j на предыдущем этапе ($i-1$).

События A и B можно рассматривать как независимые, т. к. их появление определяется различными работами на различных этапах. В этом случае выполнены все условия для того, чтобы применить известную теорему о вероятности произведения двух независимых событий для определения вероятности сложного события:

$$P(C) = P(A) * P(B). \quad (6)$$

Отсюда следует, что если выбранные режимы сложных работ соответствуют вероятности их завершения на соответствующих этапах с вероятностью $N = 0,7$, то сложное событие C имеет вероятность всего 0,49, что значительно ниже ожидаемого уровня.

Следовательно, традиционное решение о взаимоувязке двух смежных работ не обеспечивает сохранения заданного уровня надежности по этапам выполнения частных потоков в составе объектного. Необходим новый подход к организации взаимоувязки смежных потоков при сохранении критерия непрерывности выполнения работ по всем этапам.

Для сохранения неизменного уровня надежности выполнения работ на всех этапах с учетом мест критического сближения необходимо, в соответствии с выражением (6), чтобы одно из простых событий было приближено к уровню достоверного. Это условие может быть выполнено (если сохраняется заданная вероятность окончания предыдущей работы), когда выполняется условие

$$T_{ij}^{PH} = T_{i(j-1)}^{N(ок)}. \quad (7)$$

То есть в точке критического сближения двух частных потоков последующий поток контактирует с предыдущим траекторией графика выполнения работ, построенной по оптимистическим параметрам.

Определив расчетные процедуры взаимоувязки смежных потоков, можно выполнить в табличной форме расчет временных параметров объектного потока.

Перейдем к привычной форме записи потока в параметрах «время-захватки». Дополнительно к расчетным временным параметрам в таблице в правом нижнем углу каждого элементарного расчетного прямоугольника в составе общей матрицы обозначим время окончания работы, соответствующее заданному уровню надежности $T_{ij}^{N(ок)}$.

Первоначально, на предварительном этапе, расчет выполняем при условии взаимоувязки частных потоков по первой захватке. После этого определяется значение максимального наложения смежных потоков.

$$\Delta T_{j,(j-1)} = \max \{ T_{ij}^{PH} - T_{i(j-1)}^{N(ок)} \} \quad (8)$$

Таблица 1

Предварительный расчет временных параметров работы трех потоков на четырех участках

	поток А			поток Б			поток В		
Захватка I		$T_{OPT}^{OPT}=25$			$T_{OPT}^{OPT}=14$			$T_{OPT}^{OPT}=21$	
	0	$T_{OPT}^{OPT}=2,0$	2,0	3,1	$T_{OPT}^{OPT}=1,1$	4,2	4,5	$T_{OPT}^{OPT}=1,0$	5,4
	0	$T_{ПЕС}^{ПЕС}=3,6$	3,6	3,1	$T_{ПЕС}^{ПЕС}=1,5$	4,6	4,5	$T_{ПЕС}^{ПЕС}=1,3$	5,8
		$T_{ПЕС}^{ПЕС}=14$	$T_{N(ок)}^{N(ок)}=3,1$		$T_{ПЕС}^{ПЕС}=10$	$T_{N(ок)}^{N(ок)}=4,5$		$T_{ПЕС}^{ПЕС}=15$	$T_{N(ок)}^{N(ок)}=5,7$
	V = 50			V = 15			V = 20		
Захватка II		$T_{OPT}^{OPT}=25$			$T_{OPT}^{OPT}=24$			$T_{OPT}^{OPT}=24$	
	2,0	$T_{OPT}^{OPT}=1,4$	3,4	4,2	$T_{OPT}^{OPT}=1,0$	5,2	5,4	$T_{OPT}^{OPT}=1,3$	6,7
	3,6	$T_{ПЕС}^{ПЕС}=1,9$	5,5	4,6	$T_{ПЕС}^{ПЕС}=1,4$	6,0	5,8	$T_{ПЕС}^{ПЕС}=7,3$	7,3
		$T_{ПЕС}^{ПЕС}=18$	$T_{N(ок)}^{N(ок)}=4,9$		$T_{ПЕС}^{ПЕС}=18$	$T_{N(ок)}^{N(ок)}=5,8$		$T_{ПЕС}^{ПЕС}=20$	$T_{N(ок)}^{N(ок)}=7,1$
	V = 35			V = 25			V = 30		

Окончание таблицы 1

Захватка III		$\Gamma^{OPT}=23$			$\Gamma^{OPT}=24$			$\Gamma^{OPT}=24$	
	3,4	$T^{OPT}=1,7$	5,1	5,2	$T^{OPT}=1,9$	7,1	6,7	$T^{OPT}=2,3$	9,0
	5,5	$T^{ПЕС}=20$	7,5	6,0	$T^{ПЕС}=2,3$	8,2	7,3	$T^{ПЕС}=3,1$	10,4
		$\Gamma^{ПЕС}=20$	$T^{N(OK)}=6,8$		$\Gamma^{ПЕС}=20$	$T^{N(OK)}=7,9$		$\Gamma^{ПЕС}=18$	$T^{N(OK)}=9,9$
V = 40			V = 45			V = 55			
Захватка IV		$\Gamma^{OPT}=23$			$\Gamma^{OPT}=23$			$\Gamma^{OPT}=27$	
	5,1	$T^{OPT}=1,7$	6,9	7,1	$T^{OPT}=2,2$	9,3	9,0	$T^{OPT}=2,3$	11,3
		$T^{ПЕС}=2,0$	9,5	8,2	$T^{ПЕС}=2,6$	10,9	10,4	$T^{ПЕС}=2,7$	13,1
		$\Gamma^{ПЕС}=20$	$T^{N(OK)}=8,7$		$\Gamma^{ПЕС}=19$	$T^{N(OK)}=10,4$		$\Gamma^{ПЕС}=23$	$T^{N(OK)}=12,5$
V = 40			V = 50			V = 62			
			-0,7			-0,4			
			-1,6			-1,2			
			-1,6			-1,4			
			Max=-1,6			Max=-1,4			

Дальнейший окончательный расчет временных параметров осуществляется путем корректировки прежних сроков начала последующей работы на первой захватке ($T_{i,j}^{PH}$) на величину $\Delta T_{j(j-1)}$ и выполняется перерасчет временных параметров по всем остальным захваткам. Результаты корректировки записаны в таблице 2.

Таблица 2

Окончательный расчет временных параметров работы трех потоков на четырех участках

	поток А			поток Б			поток В		
Захватка I		$\Gamma^{OPT}=25$			$\Gamma^{OPT}=14$			$\Gamma^{OPT}=21$	
	0	$T^{OPT}=2,0$	2,0	4,7	$T^{OPT}=1,1$	5,8	7,5	$T^{OPT}=1,0$	8,5
	0	$T^{ПЕС}=3,6$	3,6	4,7	$T^{ПЕС}=1,5$	6,2	7,5	$T^{ПЕС}=1,3$	8,9
		$\Gamma^{ПЕС}=14$	$T^{N(OK)}=3,1$		$\Gamma^{ПЕС}=10$	$T^{N(OK)}=6,1$		$\Gamma^{ПЕС}=15$	$T^{N(OK)}=8,?$
V = 50			V = 15			V = 20			
Захватка II		$\Gamma^{OPT}=25$			$\Gamma^{OPT}=24$			$\Gamma^{OPT}=24$	
	2,0	$T^{OPT}=1,4$	3,4	5,8	$T^{OPT}=1,0$	6,8	5,4	$T^{OPT}=1,3$	9,7
	3,6	$T^{ПЕС}=1,9$	5,5	6,2	$T^{ПЕС}=1,4$	7,6	5,8	$T^{ПЕС}=7,3$	10,4
		$\Gamma^{ПЕС}=18$	$T^{N(OK)}=4,9$		$\Gamma^{ПЕС}=18$	$T^{N(OK)}=7,4$		$\Gamma^{ПЕС}=20$	$T^{N(OK)}=10,2$
V = 35			V = 25			V = 30			
Захватка III		$\Gamma^{OPT}=23$			$\Gamma^{OPT}=24$			$\Gamma^{OPT}=24$	
	3,4	$T^{OPT}=1,7$	5,1	6,8	$T^{OPT}=1,9$	8,7	6,7	$T^{OPT}=2,3$	12,0
	5,5	$T^{ПЕС}=20$	7,5	7,6	$T^{ПЕС}=2,3$	9,9	7,3	$T^{ПЕС}=3,1$	13,4
		$\Gamma^{ПЕС}=20$	$T^{N(OK)}=6,8$		$\Gamma^{ПЕС}=20$	$T^{N(OK)}=9,5$		$\Gamma^{ПЕС}=18$	$T^{N(OK)}=13,0$
V = 40			V = 45			V = 55			
Захватка IV		$\Gamma^{OPT}=23$			$\Gamma^{OPT}=23$			$\Gamma^{OPT}=27$	
	5,1	$T^{OPT}=1,7$	6,9	8,7	$T^{OPT}=2,2$	10,9	9,0	$T^{OPT}=2,3$	14,3
		$T^{ПЕС}=2,0$	9,5	9,9	$T^{ПЕС}=2,6$	12,5	10,4	$T^{ПЕС}=2,7$	16,1
		$\Gamma^{ПЕС}=20$	$T^{N(OK)}=8,7$		$\Gamma^{ПЕС}=19$	$T^{N(OK)}=12,0$		$\Gamma^{ПЕС}=23$	$T^{N(OK)}=15,6$
V = 40			V = 50			V = 62			

По данным окончательного расчета строится циклограмма работ (рис. 2, б). На рисунке 2, а представлена циклограмма, соответствующая предварительному расчету с указанием одной из зон наложения смежных потоков.

Сравнение предложенной методики расчета временных параметров циклограммных моделей на базе учета вероятности выполнения работ с традиционной детерминированной показывает, что, при прочих равных условиях, в данном случае общее время функционирования потока будет дольше. Это происходит по двум причинам:

1. Основная траектория выполнения работ, к параметрам которой осуществляется

привязка режима работы последующего частного потока, это траектория T_{ij}^N . Как следует из предыдущих разделов работы, рациональный диапазон надежности в организационно-технологических процессах принимается в диапазоне 0,6...0,8, а детерминированный расчет выполняется по средним значениям интенсивностей работы, что соответствует $N = 0,5$. Так как повышение надежности окончания работ приводит к соответствующему увеличению продолжительности е выполнения, то уже сам подход, основанный на учете вероятностных процессов в календарном планировании, предусматривает увеличение этих сроков по отношению к детерминированным расчетам.

2. Следующая особенность заключается в принятой схеме взаимоувязки смежных потоков (рис. 2), когда критическое сближение определяется не нулевым по времени сближением смежных потоков по срокам $T_{i(j-1)}^{N(ок)} = T_{ij}^{N(нач)}$, а условием $T_{i(j-1)}^{N(ок)} = T_{ij}^{PH}$. В этом случае потоки раздвигаются на больший интервал времени, так как $T_{ij}^{PH} < T_{ij}^{N(нач)}$.

Отличительные особенности ни в коем случае не могут рассматриваться как недостатки такого подхода к расчету временных параметров потока. Преобладание в планировании и организации строительного производства детерминированных методов расчета, которые в соответствии с отмеченными особенностями расчета дают достаточно оптимистические, а значит и менее надежные результаты, приводит к массовому срыву как промежуточных так и завершающих сроков строительства объектов.

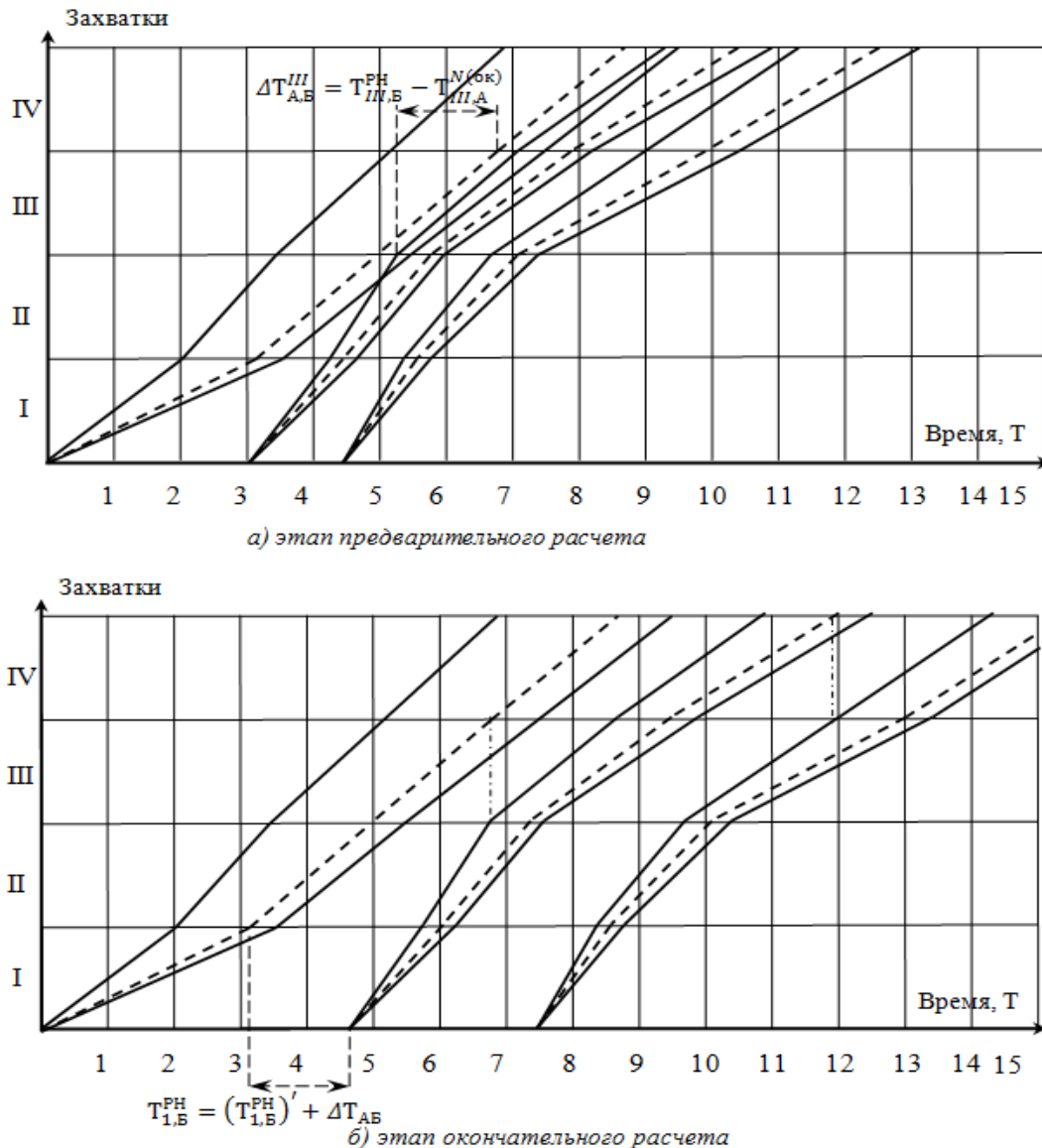


Рис. 2. Циклограмма поточного выполнения работ с учетом уровня вероятности окончания соответствующих работ по захваткам (уровень надежности по всем работам принят одинаковый)

На рисунке 3 показана ситуация, требующая не только индивидуального подхода к назначению уровня надежности выполнения работы в целом (работа Б), но и различного такого уровня на отдельных этапах выполнения этой работы. Так, работа А на первой захватке является критической, так как на этой захватке имеет место критическое сближение с последующей работой, и, соответственно, на этом этапе ее выполнения в графике работ необходимо заложить интенсивность, обеспечивающую требуемый уровень надежности. На второй захватке выполняется условие $T_{II,A}^{ПО} = T_{II,B}^{РН}$. В этом случае даже окончание работ по пессимистическому сценарию не приводит к нарушению оптимистической траектории выполнения работы Б на этой же захватке, и, естественно, не требуется вводить дополнительные условия по повышению интенсивности работ. Но с целью контроля недопущения возможного нарушения этого условия при расчете интенсивности управления лучше будет предусмотреть контроль выполнения этой работы с минимальной интенсивностью.

Так как в случае выполнения работ с интенсивностью близкой к $I^{ПЕС}$, ее надежность приближается к единице (то есть, например, ρ в формуле $T = f(Kг; \rho)$), то принимается значение $ОН = 0,95$, а значение $Kг = 0,9$. И в этом случае обеспечивается минимальная интенсивность управленческого воздействия на выполнение работы.

На третьей захватке имеет место условие $T_{III,A}^{ПО} < T_{III,B}^{РН}$, то есть имеется еще резерв времени между двумя смежными потоками $\Delta T_{III,(A-B)} = T_{III,B}^{РН} - T_{III,A}^{ПО}$. В этом случае нет необходимости не только выделять траекторию работы в обозначаемом диапазоне, но и назначать дополнительный контроль за ее выполнением. Работа выполняется в режиме самоуправления без необходимости дополнительных внешних воздействий.

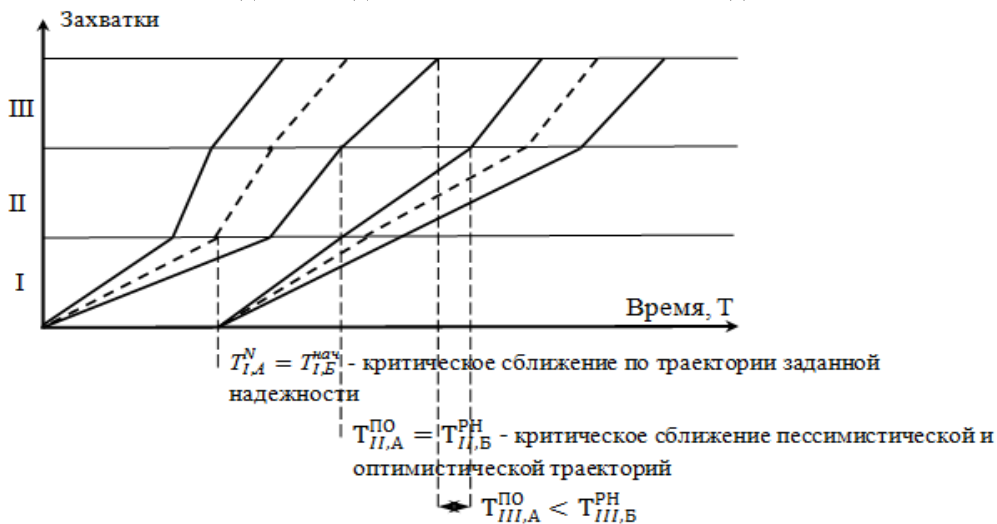


Рис. 3. Возможные ситуации сближения смежных частных потоков

Вывод. Расчет календарных планов с учетом реальной, вероятностной природы их выполнения позволяет получить хотя и более пессимистические, но в то же время более достоверные по вероятности достижения результаты.

ИСПОЛЬЗОВАННАЯ ЛИТЕРАТУРА

1. Антипенко Е. Ю. Принципы анализа капитальных вложений / Е. Ю. Антипенко, В. И. Доненко – Запорожье : Фазан; Дикое Поле, 2005. – 420 с.
2. Ахьюджа Х. Сетевые методы управления в проектировании и производстве / Х. Ахьюджа Пер. с англ. Б. С. Лунынова – М. : Мир, 1979. – 638 с.
3. Васильев В. М. Управление строительным производством / В. М. Васильев – Л. : Стройиздат, 1998. – 176 с.
4. Гусаков А. А. Организационно-технологическая надежность строительного производства / А. А. Гусаков – М. : Стройиздат, 1974. – 252 с.
5. Голенко Д. И. Статистические методы сетевого планирования и управления / Д. И. Голенко – М. : Наука, 1968. – 299 с.