

ВЛИЯНИЕ УСЛОВИЙ ВЫПОЛНЕНИЯ РАБОТЫ НА ЕЕ НАДЕЖНОСТЬ

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

*Приднепровская государственная академия строительства и
архитектуры*

Введение. Практически все исследования в области организационно-технологической надежности (ОТН) в строительстве в части разработки календарных планов, предусматривали применение единого уровня надежности, как для промежуточных этапов строительства, так и для завершения объекта в целом.

В данном подходе просматривается определенное противоречие. По определению, на неопределенность состояния объекта управления влияют как внутренние, так и внешние факторы. Причем интенсивность их воздействия увеличивается с увеличением анализируемого временного интервала. Можно предположить, что и закладываемый в расчет уровень надежности плановых заданий по отдельным этапам выполнения должны быть переменным. То есть уровень неопределенности и закладываемый в плановых расчетах уровень надежности конечного результата должны быть взаимосвязаны.

Цель статьи. Разработать подходы к расчету временных параметров строительного потока с учетом нарастания неопределенности по этапам выполнения работ с учетом индивидуальных особенностей исполнителей.

Результаты исследований. Основой для определения уровня надежности является изменение неопределенности состояния системы на разных этапах, которая нарастает со временем и зависит от принятой организационно-технологической взаимосвязки работ в составе календарного плана. Следует обратить внимание, что уровень неопределенности является результатом совокупного воздействия случайных факторов внешней и внутренней среды и носит преимущественно объективный характер, в то же время уровень требуемой надежности выполнения плана устанавливается субъективно.

В работе [6] отмечалось, что «каждая управляющая система в соответствии со своими целями и задачами устанавливает перечень состояний, по которым осуществляется контроль за работой управляемой подсистемы. Этот перечень формирует матрицу – систему мер – физи-

ческих, экономических и т.д. для оценки состояния контролируемой системы». Как отмечалось в работе [4], уровень неопределенности зависит от количества возможных состояний n , в которых может находиться система управления. В соответствии с этим, количество состояний, определяется с одной стороны объективными внутренними процессами, а с другой – субъективной, принятой матрицей оценки ее состояния. В терминах рассматриваемых задач объективная составляющая это интервал времени возможных сроков окончания работ (от пессимистического до оптимистического варианта), субъективная же составляющая, определяется возможной точностью определения значения контролируемого параметра.

Прежде чем перейти к дальнейшим исследованиям по данному вопросу обратимся к первым определениям понятия надежности в работах проф. А.А.Гусакова [1-3]. «...в организационно-технологических и управленческих строительных системах термин «надежность» должен применяться только к результату деятельности системы». Действительно, если задача стоит в обеспечении достижения заданного уровня надежности реализации плана строительства объекта, то надежность промежуточных этапов реализации плана может отличаться, в ту или иную сторону, от заданного уровня надежности. Так как возможная вероятность их не выполнения в предполагаемые сроки не обязательно приводит к наступлению отказа строительной системы. Ведь в последствии, при выполнении оставшейся части работ такие отставания могут быть компенсированы.

Для такой ситуации целесообразно выделить несколько возможных ситуаций наступления, так называемого, параметрического отказа. Рассмотрим основные термины, используемые в теории надежности характеризующие состояние производственной системы [4]. Различают два основных состояния системы: работоспособное и неработоспособное. Работоспособным называют состояние объекта, при котором значение всех параметров, характеризующих способность выполнять заданные функции, соответствуют требованиям нормативно-технической и проектно-конструкторской документации. Когда это условие не выполняется, состояние системы характеризуется как неработоспособное.

Переход состояния системы из работоспособного состояния в неработоспособное характеризуется как отказ.

Внезапные отказы характерны для технических объектов и отдельных видов СМР, режим выполнения которых определяется ведущим механизмом: земляные работы (экскаватор, бульдозер); монтажные работы (кран) и т.д. Для этого вида отказа характерно отсутствие ви-

димых или косвенных признаков, свидетельствующих о его приближении.

Постепенные отказы (параметрические, плавные), в этом случае переход системы из работоспособного состояния (РС) в неработоспособное (НР) происходит за некоторый промежуток времени, в течении которого в производственной системе накапливаются негативные тенденции и, при достижении ими некоторого критического уровня, система переходит в неработоспособное состояние. Этот вид отказа характерен для организационных систем, когда переход из одного состояния в другое осуществляется плавно и, как правило, этому переходу предшествуют сигналы о возникновении в системе неблагоприятных тенденций.

Также следует обратить внимание на следующую особенность отказов, характерную для организационных систем. Если в технических системах множественный отказ приводит к прекращению выполнения производственных функций, то в организационной системе сохраняется работоспособность, но параметры, характеризующие ее состояние (производственные, экономические) ниже уровня соответствующего условиям эффективной работы. То есть имеет место ситуация, когда отказавшая система сохраняет работоспособность и способна восстанавливаться, то есть возвращать значение контролируемых параметров, в диапазоне допустимых отклонений плавно возвращаясь в работоспособное состояние.

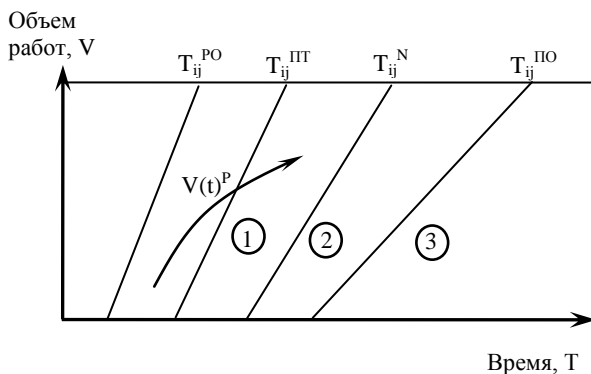


Рис. 1. Зоны появления параметрического отказа

Рассмотрим промежуточный этап выполнения работы (рис.1) с графиками, соответствующими определенным интенсивностям выполнения работ. На рисунке обозначены время окончания некоторой работы (i) на этапе (j), где: T_{ij}^{PO} – раннее время окончания работы, соответствующее оптимистической интенсивности работ; $T_{ij}^{ПО}$ - позднее время

окончания работ, соответствующее пессимистической интенсивности выполнения работ; T_{ij}^P - плановый срок окончания работы; T_{ij}^N - срок окончания работы, соответствующий вероятности N .

На основании этого выделяем следующие характерные зоны степени параметрического отказа:

1. Первая зона соответствует угрозе появления параметрического отказа;

2. Вторая зона – параметрический отказ;

3. Третья зона – критический параметрический отказ.

Также на графике показана реальная траектория выполнения работ за предыдущие временные периоды $V(t)^P$.

Факт наступления параметрического отказа соответствует моменту времени, когда реальная траектория $V(t)^P$ пересечет траекторию выполнения работ, обеспечивающую ее завершение к сроку T_{ij}^P . Однако в этом случае система за счет увеличения интенсивности выполнения последующей части работ в состоянии компенсировать отставание, накопленное на предыдущих этапах, так как имеется резерв увеличения интенсивности работ.

Факт критического параметрического отказа имеет место, когда точка, соответствующая реальному выполнению работ, находится в зоне 3 за траекторией пессимистической интенсивности. В данном случае весьма высока вероятность срыва конечных сроков строительства, так как даже в случае выполнения оставшейся части работ с максимальной интенсивностью работа не будет выполнена в срок T_{ij}^N .

При реализации управленческих воздействий по компенсации возможных отставаний реальная траектория выполнения работ отличается от плановой и на этапах возникновения параметрического отказа необходимо увеличивать интенсивность работ в возможном диапазоне ее изменения – от оптимистической до пессимистической.

Изменение условий выполнения работ по этапам их реализации влечет за собой адаптацию режимов производства работ. Одним из основных параметров, определяющих режим выполнения работ, является интенсивность работ – скорость, с которой выполняются работы. Наряду с этим необходимо оценивать, как долго производственная система может сохранять такую интенсивность? Этот вопрос достаточно важен, так как, ответив на него, можно определить временные интервалы выполнения работ в режиме повышенной интенсивности, а без этого невозможно планировать обоснованную траекторию работ. Справедливость такого подхода подтверждается тем, что организационная система, как и техническая имеет ограниченный срок работы в форсированном режиме.

Для решения этой задачи был выполнен анализ режимов выполнения аналогичных работ в прошлом и определены параметры распределения интенсивности выполнения работ. Так как параметры распределения получены по данным прошлых реализаций, то можно предположить, что та либо иная интенсивность работ в будущем будет появляться с такой же частотой, как и в прошлом. Если принять время выполнения работ за единицу, то часть этого периода, в течении которого работа будет выполняться с некоторой интенсивностью I_j будет равна вероятности того, что за период данного этапа интенсивность $I_j \leq I_j$. Очевидно, что чем с большей интенсивностью предполагается выполнение работ на некотором ее участке, тем короче продолжительность этого участка. Поэтому в форсированном режиме можно работать лишь ограниченное время. Принципиальная блок-схема выполнения расчетов по обоснованию интенсивностей работ представлена на рисунке 2.

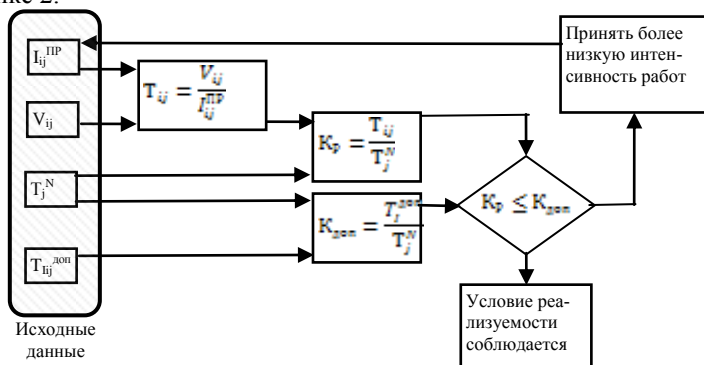


Рис. 2. Блок-схема обоснования принятия интенсивности для выполнения j -ой работы на i -ом этапе.

Распределение времени окончания работ специализированного потока принимается в виде закона α -распределения [4] в диапазоне от $T_{\text{опт}}$ до $T_{\text{пес}}$, при условии, что закон распределения интенсивностей работ является нормальным. На рисунке 3 приведены функции надежности времени окончания работ специализированного потока и интенсивности выполнения работ.

Как видно из приведенного на надежность выполнения работы существенное влияние оказывают параметры распределения интенсивности выполнения работ конкретным исполнителем. Традиционно графики производства работ строятся по нормативным показателям трудоемкости, и в зависимости от численного состава исполнителей определяется продолжительность работ т.е., когда осуществляется планирование работ на основе детерминированного подхода, то доста-

точно математического ожидания, при вероятностном подходе необходимо учитывать и дисперсию показателей производительности в статистической выборке результатов работы конкретного исполнителя.

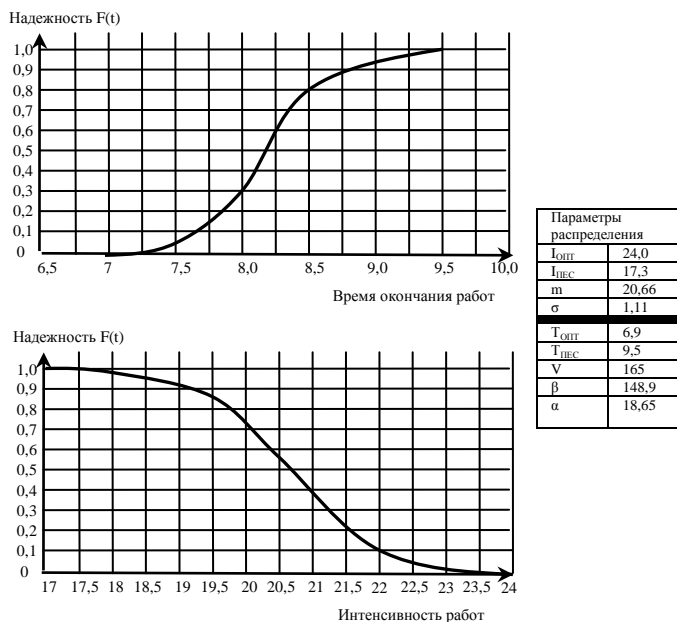


Рис. 3. Функции надежности времени окончания и интенсивности работ и основные параметры распределения.

Дисперсия, при прочих равных условиях, оказывает существенное влияние на уровень надежности достижения конечного результата [4].

Количественно это влияние можно оценить через нормальную функцию распределения параметра $\Phi(T)$. При заданном уровне надежности N сравним показатели работы двух исполнителей при известных значениях математического ожидания m_1 и m_2 и среднеквадратичного отклонения σ_1 и σ_2 . Будем считать, что математические ожидания равны $m_1=m_2$. Тогда отсюда определим вероятное время окончания работ для каждого исполнителя и разность $\Delta T=T_2^N - T_1^N$, соответствующих одинаковому уровню надежности окончания работ (рис.4).

Запишем функцию надежности для каждого исполнителя:

$$N_1 = \Phi\left(\frac{T_1 - m_2}{\sigma_1}\right); N_2 = \Phi\left(\frac{T_2 - m_2}{\sigma_2}\right);$$

Если найти разницу времени выполнения работ при одном и том же уровне надежности $N_1=N_2$, то окажется, что эта разница зависит от среднеквадратичного отклонения и математического ожидания. А если сравнить распределения с одинаковым математическим ожиданием $m_1 = m_2$, то разница в времени выполнения работ будет зависеть лишь от среднеквадратичного отклонения:

$$\Delta T = N(\sigma_2 - \sigma_1)$$

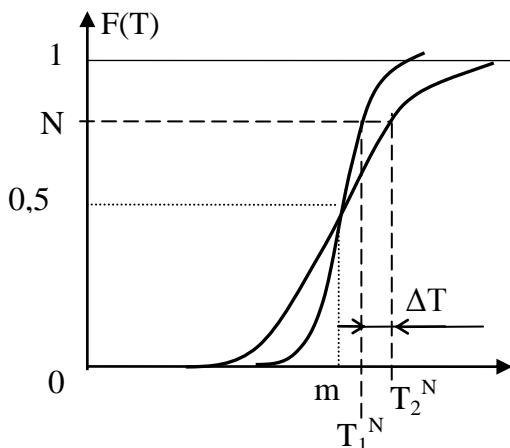


Рис.4. Влияние параметров распределения на сроки окончания работ

Таким образом, исполнитель, параметры работы которого характеризуются меньшим значением σ при прочих равных условиях, выполняет работу за фиксированное время с более высокой надежностью, либо же при заданном уровне надежности за более короткое время.

Следовательно, при планировании работ с учетом вероятностного характера их выполнения учитывается большее количество параметров, характеризующих особенности конкретных исполнителей, что повышает достоверность результатов планирования по отношению к традиционным преимущественно детерминированным подходам. При таком подходе учитываются индивидуальные особенностей в работе каждого исполнителя (бригады, звена). В соответствии с этим одна и та же работа для различных исполнителей может иметь различный график выполнения при сопоставимом уровне надежности конечных результатов.

Для подтверждения справедливости данных положений были проведены натурные замеры времени монтажа наружных стеновых пане-

лей, внутренних панелей и плит перекрытия, которые выполнялись четырьмя звеньями. По каждому элементу было проведено 15 замеров.

Был выполнен расчет математического ожидания и среднего квадратичного отклонения времени монтажа элемента, а также рассчитан коэффициент вариации (σ/m). Дополнительно был проведен анализ чувствительности параметра надежности к параметрам распределения. Для оценки чувствительности было рассчитано время монтажа одного элемента для каждого звена при значениях надежности $N=0,7$ и $N=0,8$ и построена зависимость $\Delta Tf(\sigma/m)$ (рис.5).

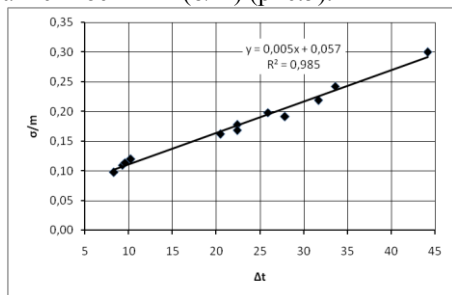


Рис.5. График зависимости $\Delta Tf(\sigma/m)$

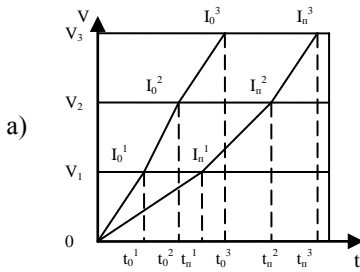
Данные расчета и графика показывают, что среднее квадратичное отклонение оказывает существенное влияние на временные параметры работы при учете фактора надежности.

Дальнейшая задача заключается в получении итогового распределения времени выполнения определенного объема работ, с учетом сложной организационно-технологической взаимосвязи их в составе календарного плана. Основная проблема учесть в расчетах все возможное многообразие реальных ограничений по времени начала и окончания работ, а также сохранить адресное влияние каждой работы в составе календарного плана на конечное итоговое распределение, при сохранении условий, накладываемых на выполнение отдельных работ в составе календарного плана.

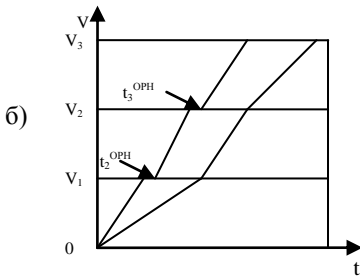
С учетом постепенного нарастания неопределенности для последовательных этапов выполнения одной работы, с учетом ограничений, качественные циклограммы выполнения одной работы представлены на рис.6. Здесь же для каждого варианта проводится фрагменты зон расчетного квадрата, в котором указывается параметры по каждому отдельному этапу выполнения работ с указанием значений на "входе" и "выходе" этапа.

- j – предшествующие i -ой работы;
- $j = 1, 2, \dots, n$.

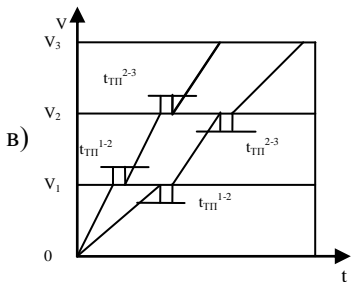
Степень совмещения	Виды работ		Ограничения по срокам начала
	Однородные	Разнородные	
Последовательные	+	+	$t_i^H = t_{i-1}^O$
Параллельные	+	+	t_i^H - фиксир.
Параллельно-последовательные	+	+	$t_i^H = \max\{t_j\}_{j=1}^n$ для сетевых моделей



t_i^{PH}	I_i^0	t_i^{PO}
	t_i^0	
$t_i^{ПН}$	t_i^{Π}	$t_i^{ПО}$
	I_i^{Π}	
V_i		



t_i^{OPH}	I_i^0	t_i^{PO}
t_i^{PH}	t_i^0	
$t_i^{ПН}$	t_i^{Π}	$t_i^{ПО}$
	I_i^{Π}	
V_i		



$t_{ПН}^{i(i+1)}$	I_i^0	t_i^{PO}
t_i^{PH}	t_i^0	
$t_i^{ПН}$	t_i^{Π}	$t_i^{ПО}$
	I_i^{Π}	
$t_{ПН}^{i(i+1)}$	I_i^{Π}	
V_i		

Рис. 6. Циклограммы различных вариантов выполнения последовательных этапов одной работы и соответствующие им квадраты (матрицы) расчетных временных параметров: а) выполнение работ без дополнительных ограничений; б) выполнение работ с ограничением по ранним началам; в) выполнение работ с технологическими перерывами между смежными

этапами.

Рассмотрим последовательность расчета временных параметров выполнения работ на последовательных этапах с учетом вероятностной природы режимов ее выполнения в диапазоне оптимистической и пессимистической интенсивностей без дополнительных ограничений (рис. 6. а). В фрагментах расчетных матриц приняты следующие обозначения: V_i – объем работ, выполненных на i -ом этапе; $I_i^{O,П}$ – соответственно оптимистическая и пессимистическая интенсивность выполнения работ; $t_i^{O,П}$ – соответственно оптимистическая и пессимистическая продолжительность выполнения работ V_i ; $t_i^{(PH),(ПН)}$ – соответственно раннее и позднее начало работы; $t_i^{(PO),(ΠO)}$ – соответственно раннее и позднее окончание работы.

Для первого этапа работы $t_i^{PH} = t_i^{ПН} = 0$. Для последующих этапов:

$$t_i^{PH} = t_{i-1}^{PO}; \quad t_i^{ПН} = t_{i-1}^{ΠO};$$

$$t_i^{PO} = t_i^{PH} + t_i; \quad t_i^{ΠO} = t_i^{ПН} + t_i.$$

В предлагаемом виде расчет легко выполняется стандартными программами Excel и для работы, состоящей из трех этапов, имеет следующий вид:

0	15	3,3	3,3	24	4,6	4,6	34	6,3
	3,3			1,3			1,8	
0	4,2	4,2	4,2	1,5	5,7	5,7	3,3	9,0
	12			20			18	
50			30			60		

Определив вероятный диапазон времени окончания работ, далее можно на нем построить функцию надежности и для требуемого значения определить срок окончания работ соответствующий данной надежности.

Вывод. Комплексный учет статистических параметров, характеризующих особенности выполнения работ при разработке календарных графиков по предлагаемой методике позволяет учесть индивидуальные особенности каждого исполнителя, сформировать под него режим работы и тем самым в итоге повысить реальность разрабатываемых планов.

Summary

The paper presents a method of planning with taking into account the individual work of each artist. Also analyzed the factor that takes into account the probabilistic nature of the run-time construction works in the schedule.

Литература

1. Гусаков А.А. Организационно-технологическая надежность строительного производства / А.А. Гусаков. – М.: Стройиздат. – 1974. – 252 с.
2. Гусаков А.А. Основы проектирования организации строительного производства /А.А. Гусаков. – М.: Стройиздат. – 1977. – 287 с.
3. Гусаков А.А. Системотехника строительства. /А.А. Гусаков. – М.: Стройиздат, – 1983. – 440 с.
4. Дружинин Г.В. Надежность автоматизированных производственных систем.-М.: Энергоатомиздат, 1986.-480с.
5. Млодецкий В. Р. Управленческая реализуемость строительных проектов / Млодецкий В. Р. – Дн-ск: Наука і освіта, 2005. – 261 с.
6. Эшби У.Р. Введение в кибернетику. – М.: Издательство иностранной литературы. – 1959. – 430 с.