

# ОПРЕДЕЛЕНИЕ ПРОДОЛЖИТЕЛЬНОСТИ СТРОИТЕЛЬСТВА С ПСЕВДОСЛУЧАЙНЫМИ ВРЕМЕННЫМИ ПАРАМЕТРАМИ РАБОТ

## DETERMINATION OF THE CONSTRUCTION DURATION WITH PSEUDO-RANDOM TIME PARAMETERS OF WORKS

*Милашук Е.С., Кузьмич П.М.*

*Брестский государственный технический университет, г. Брест,  
Республика Беларусь*

*Milashuk Y.S., Kuzmich P.M.*

*Brest State Technical University, Brest,  
Republic of Belarus*

### *Аннотация*

*В работе исследовано влияние организационного уровня исполнителей (высокий, средний, низкий) и количества работ (событий) на общую продолжительность комплекса работ (строительства). Получены зависимости общей продолжительности от вышеупомянутых факторов.*

### *Summary*

*The article investigates the influence of the organizational level of implementers (high, middle, low) and the number of works (events) on the general time of the work complex (construction). Obtained the relations of the general construction time to the above factors.*

Началу строительства всегда предшествует процесс разработки и утверждения проектно-сметной документации. И одной из важнейших частей этого этапа является разработка календарного плана. Календарный план – весьма важный документ, необходимый для получения точного и полного расписания реализации проекта и его отдельных работ. При этом в календарном планировании необходимо учитывать не только продолжительности выполнения работ, но и потребности в материальных, технических и рабочих ресурсах для каждой из них, что является весьма сложной задачей. В свою очередь, своевременное завершение проекта полностью зависит от качества составленного календарного плана. Результатом некачественного календарного планирования являются излишние траты заказчика, которые связаны с задержками из-за несвоевременного завершения отдельных работ, простоями машин, механизмов и рабочих. И самое главное – это несвоевременный ввод в эксплуатацию объектов, который ведет к существенным потерям для заказчиков, а в некоторых случаях – и к разорению.

На данный момент все методы расчета календарных планов основываются на точном значении продолжительности выполнения работы. Это значение определяется исходя из нормативных затрат труда (машинного времени) и принятого количества исполнителей (машин или механизмов). Но существует множество дестабилизирующих факторов, влияющих на процесс производства работ. В связи с этим работа может быть завершена не в установленные сроки, а ранее и позднее их. В такой ситуации календарный план теряет актуальность. Поэтому, для минимизации потерь, необходим постоянный контроль реализации проекта и обязательная корректировка календарного плана в соответствии с ситуацией, что является весьма сложной задачей.

Своевременное выполнение работ зависит не только от высокого качества календарного планирования, но и от организационного уровня исполнителей. Если он высокий, то работа может быть выполнена не только в срок, но и досрочно. Если же организационный уровень исполнителей окажется низким, то строительство может быть завершено значительно позже планируемых сроков.

При расчете календарных планов принято считать, что событие (факт окончания и начала работы) не имеет продолжительности. То есть это мгновенное явление, хотя на самом деле это не совсем так. Ведь на начало следующей работы так же могут оказывать влияние различные дестабилизирующие факторы. И в таком случае продолжительность выполнения комплекса работ не будет равна сумме продолжительностей этих работ. А это говорит о том, что на самом деле событие имеет продолжительность, находящуюся в интервале от нуля до некоторого значения. Поэтому, во многих случаях, действительная продолжительность выполнения комплекса работ не совпадает с запланированной.

В статьях [1] и [2] авторы предлагают присваивать событиям определенные продолжительности, которые зависят от организационного уровня исполнителей. Однако методики расчетов, предложенные в данных работах, весьма трудоемки и требуют больших временных затрат.

В данной работе предложен несколько отличающийся метод расчета календарных графиков. В его основу положены следующие принципы:

1. Продолжительность работ, как выходящих из первого события, так и всех последующих, определяется как случайная величина, взятая в определенном диапазоне значений, с использованием функции СЛЧИС (MicrosoftExcel). Диапазон значений, в котором может находиться продолжительность выполнения работ зависит от организационного уровня исполнителей. Мы принимаем его согласно материалам, изложенным автором в работе [1]. И эти интервалы будут следующими:

от  $0,5t$  до  $1,5t$  – для исполнителей, имеющих высокий организационный уровень;

$0,6t \div 2,6t$  – для исполнителей, имеющих средний организационный уровень

$0,625t \div 3,375t$  – для исполнителей, имеющих низкий организационный уровень,

где  $t$  – дискретное значение продолжительности выполнения работы, определенное одним из известных способов: нормативным, экспертным, параметрическим.

2. Срок свершения события, в которое входят работы, выходящие из первого события, выбирается в диапазоне от  $T^c$  до  $1,5T^c$  по аналогии с п.1, но не менее принятой продолжительности, входящей в данное событие работы ( $T^c$  – это кратчайший возможный срок свершения события с учетом продолжительностей предшествующих работ).

3. Сроки свершения последующих событий определяются как сумма сроков свершения предшествующих событий и продолжительностей работ, входящих в данное по максимальному значению, полученному в соответствии с п.1 и п.2 для всех входящих в данное событие работ и зависимостей и определяются в соответствии с п.2.

Мы предлагаем производить расчеты в следующем порядке:

1. Традиционными способами определить продолжительность работ  $t$ .

2. Приняв соответствующий организационный уровень (высокий, средний, низкий), с использованием функции СЛЧИС (Microsoft Excel) в соответствующих диапазонах ( $0,5t \div 1,5t$ ,  $0,6t \div 2,6t$ ,  $0,625t \div 3,375t$ ) определить значения работ  $t_i$ .

3. Срок наступления событий, следующих за первым, определить с использованием функции СЛЧИС в диапазоне  $t_i \div 1,5t_i$ .

4. Срок наступления всех остальных событий ( $T^c$ ) определить в два этапа:

- сперва определить максимальную из сумм сроков наступления предшествующих событий и продолжительностей входящих в данное событие работ, определенных в соответствии с п.2;
- затем, с использованием функции СЛЧИС, в диапазоне  $T^c \div 1,5T^c$  получить значение срока свершения события.

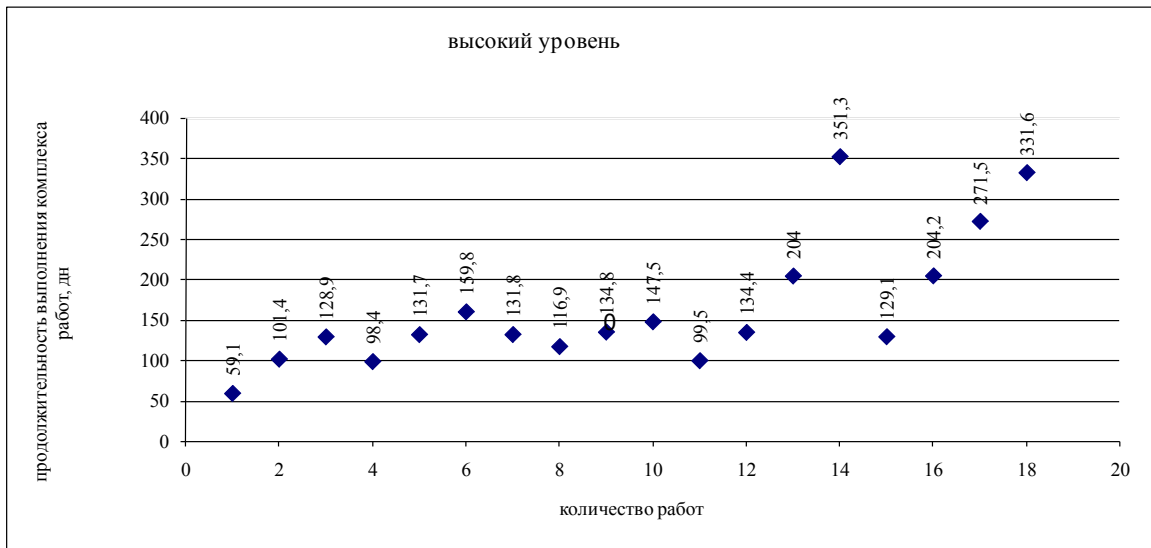
С целью установления зависимости общей продолжительности выполнения комплекса работ от количества этих работ и от организационного уровня исполнителей были выполнены расчеты 18 организационно-технических моделей. Они представляют собой линейную цепочку, содержащую от одной до восемнадцати работ и имеющих, соответственно, от двух до девятнадцати событий. Модели были просчитаны по каждому из организационных уровней исполнителей: высокому, среднему и низкому. При этом суммарная продолжительность выполнения комплекса работ во всех случаях равна 100 к.е. (календарным единицам).

Результаты расчетов представлены в таблице 1.

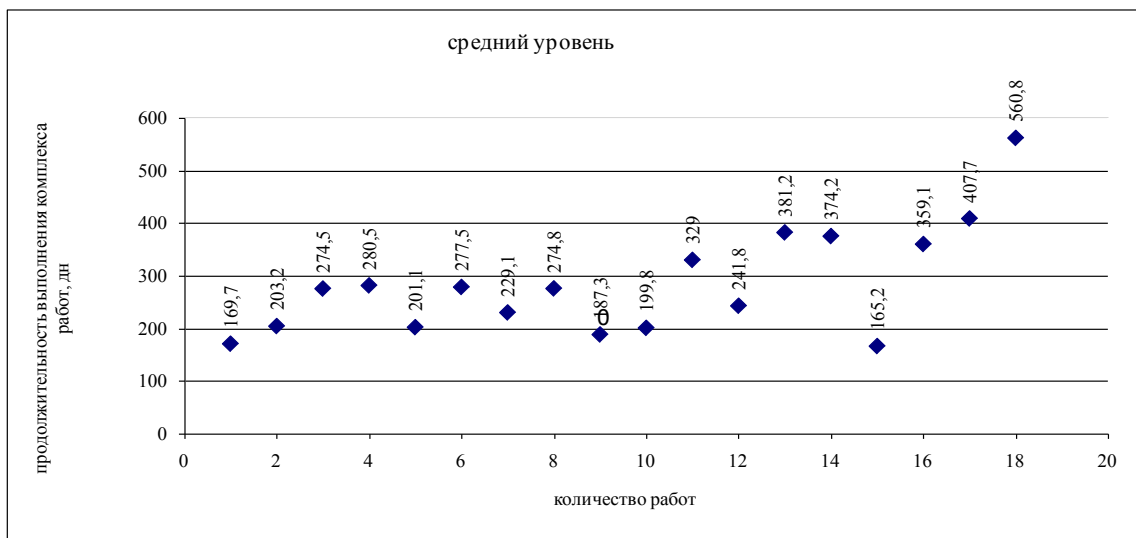
Таблица 1 - Итоговые результаты расчетов календарных планов

| Количество работ | Количество событий | Продолжительность выполнения работы | Продолжительность выполнения комплекса работ |         |        |
|------------------|--------------------|-------------------------------------|--|---------|--------|
|                  |                    |                                     | высокий                                      | средний | низкий |
| 1                | 2                  | 3                                   | 4  | 5       | 6      |
| 1                | 2                  | 100                                 | 59,1   | 169,7   | 97,8   |
| 2                | 3                  | 50                                  | 101,4  | 203,2   | 237,2  |
| 3                | 4                  | 33,3                                | 128,9  | 274,5   | 181,7  |
| 4                | 5                  | 25                                  | 98,4   | 280,5   | 257,9  |
| 5                | 6                  | 20                                  | 131,7  | 201,1   | 257    |
| 6                | 7                  | 16,7                                | 159,8  | 277,5   | 242,5  |
| 7                | 8                  | 14,3                                | 131,8  | 229,1   | 418,3  |
| 8                | 9                  | 12,5                                | 116,9  | 274,8   | 500,2  |
| 9                | 10                 | 11,1                                | 134,8  | 187,3   | 540,1  |
| 10               | 11                 | 10                                  | 147,5  | 199,8   | 319,6  |
| 11               | 12                 | 9,1                                 | 99,5   | 329     | 654,2  |
| 12               | 13                 | 8,3                                 | 134,4  | 241,8   | 589,2  |
| 13               | 14                 | 7,7                                 | 204  | 381,2   | 459,9  |
| 14               | 15                 | 7,1                                 | 351,3  | 374,2   | 346,4  |
| 15               | 16                 | 6,7                                 | 129,1  | 165,2   | 475    |
| 16               | 17                 | 6,3                                 | 204,2  | 359,1   | 677    |
| 17               | 18                 | 5,9                                 | 271,5  | 407,7   | 487    |
| 18               | 19                 | 5,6                                 | 331,6  | 560,8   | 555,4  |

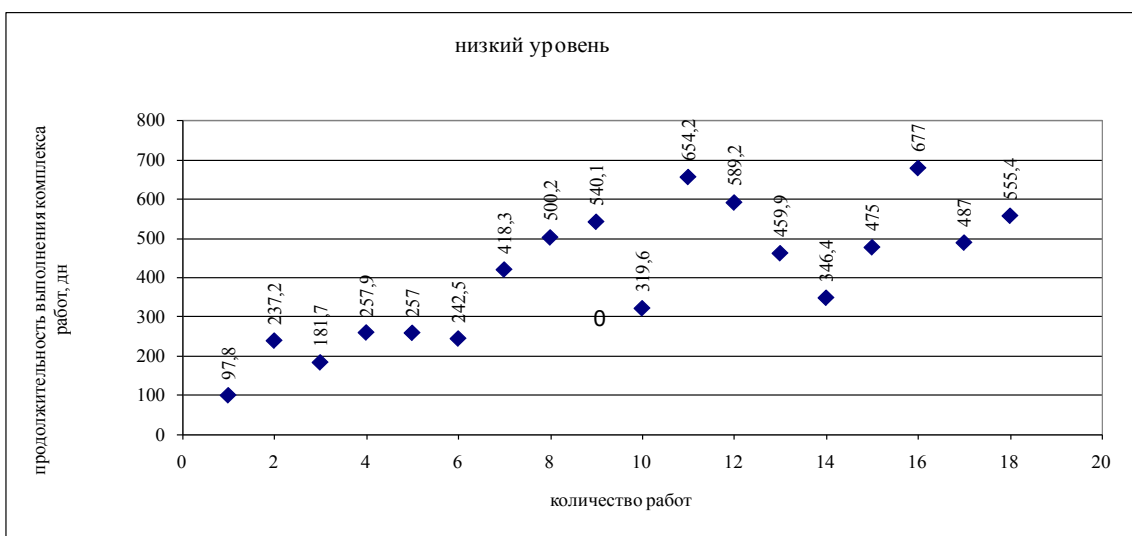
На рисунках 1, 2, 3 в графически изображены полученные результаты.



**Рисунок 1 – Зависимость продолжительности выполнения комплекса работ от количества событий для высокого организационного уровня исполнителей**



**Рисунок 2 – Зависимость продолжительности выполнения комплекса работ от количества событий для среднего организационного уровня исполнителей**



**Рисунок 3 – Зависимость продолжительности выполнения комплекса работ от количества событий для низкого организационного уровня исполнителей**

Из результатов видно, что отклонение от первоначальной продолжительности выполнения всего комплекса работ изменяется в пределах от 59,1 к. е. до 654,1 к. е. Это соответствует отклонению на -40,9% и 554,1%. Среднее отклонение составляет 184% (63% при высоком организационном уровне исполнителей, 184% - при среднем, 305% - при низком).

В результате расчетов были получены зависимости продолжительности выполнения комплекса работ от количества этих работ и от организационного уровня исполнителей. И на основе их выведена формула для расчета продолжительности строительства, при выполнении работ исполнителями с различным организационным уровнем [3,4]:

$$T_0 = \frac{(2,78 \cdot N + 136,73) \cdot \sum_{i=1}^n t_{\text{в}} + (3,11 \cdot N + 254,67) \cdot \sum_{j=1}^k t_{\text{ср}} + (6,13 \cdot N + 347,08) \cdot \sum_{l=1}^m t_{\text{н}}}{100} \quad (1)$$

где

$$\sum_{i=1}^n t_{\text{в}}$$

– сумма дискретных значений продолжительностей работ из всего комплекса работ, лежащих на критическом пути и выполняемых исполнителями (исполнителем) высокого организационного уровня;

$$\sum_{j=1}^k t_{\text{ср}}$$

- то же, выполняемых исполнителями среднего организационного уровня;

$$\sum_{l=1}^m t_{\text{н}}$$

- то же, выполняемых исполнителями низкого организационного уровня.

С использованием этой зависимости был выполнен расчет календарного плана строительства 60-квартирного жилого дома. Общая продолжительность выполнения работ, рассчитанная параметрическим способом, составляет 224 дня. Критический путь состоит из 20 работ. Расчет выполнен для различных соотношений исполнителей с разным организационным уровнем. Результаты представлены в таблице 2.

Таблица 2 - Общие продолжительности работ при различных соотношениях организационных уровней исполнителей

| Соотношение продолжительностей, выполненных исполнителями, %      |                 |                | Продолжительность выполнения работ исполнителями, дни |                 |                | Общая продолжительность (T <sub>0</sub> ), дни |
|---|-----------------|----------------|---|-----------------|----------------|--|
| высокого уровня   | среднего уровня | низкого уровня | высокого уровня                                       | среднего уровня | низкого уровня |  |
| При равном соотношении среднего и низкого организационных уровней |                 |                |   |                 |                |  |
| 10  | 45              | 45             | 22  | 101             | 101            | 837,11   |
| 20  | 40              | 40             | 45  | 89              | 90             | 791,52   |
| 30  | 35              | 35             | 67  | 78              | 79             | 747,19   |
| 40  | 30              | 30             | 89  | 67              | 68             | 702,86   |
| 50  | 25              | 25             | 112   | 56              | 56             | 655,76   |
| 60  | 20              | 20             | 134   | 45              | 45             | 611,43   |
| 70  | 15              | 15             | 157   | 33              | 34             | 565,85   |
| 80  | 10              | 10             | 180   | 22              | 22             | 518,74   |
| 90  | 5               | 5              | 202   | 11              | 11             | 474,41   |
| 100   | 0               | 0              | 224   | 0               | 0              | 430,08   |

Продолжение таблицы 2

| При равном соотношении высокого и низкого организационных уровней  |     |     |     |     |     |         |
|--|-----|-----|-----|-----|-----|---------|
| 45   | 10  | 45  | 101 | 22  | 101 | 738,11  |
| 40   | 20  | 40  | 89  | 45  | 89  | 731,69  |
| 35   | 30  | 35  | 78  | 67  | 78  | 728,71  |
| 30   | 40  | 30  | 67  | 89  | 67  | 725,74  |
| 25   | 50  | 25  | 56  | 112 | 56  | 725,94  |
| 20   | 60  | 20  | 45  | 134 | 45  | 722,96  |
| 15   | 70  | 15  | 33  | 157 | 33  | 716,54  |
| 10   | 80  | 10  | 22  | 180 | 22  | 716,74  |
| 5  | 90  | 5   | 11  | 202 | 11  | 713,76  |
| 0  | 100 | 0   | 0   | 224 | 0   | 710,79  |
| При равном соотношении высокого и среднего организационных уровней |     |     |     |     |     |         |
| 45   | 45  | 10  | 101 | 101 | 22  | 617,74  |
| 40   | 40  | 20  | 89  | 89  | 45  | 664,65  |
| 35   | 35  | 30  | 78  | 78  | 67  | 711,95  |
| 30   | 30  | 40  | 67  | 67  | 89  | 759,26  |
| 25   | 25  | 50  | 56  | 56  | 112 | 811,26  |
| 20   | 20  | 60  | 45  | 45  | 134 | 858,56  |
| 15   | 15  | 70  | 33  | 33  | 157 | 905,47  |
| 10   | 10  | 80  | 22  | 22  | 180 | 957,47  |
| 5  | 5   | 90  | 11  | 11  | 202 | 1004,78 |
| 0  | 0   | 100 | 0   | 0   | 224 | 1052,08 |

Из таблицы видно, что отклонение от первоначальной продолжительности находится в пределах от 92% до 370%. Среднее отклонение составляет 226%.

Кроме этого, был выполнен анализ реальных сроков строительства жилых домов, общественных и производственных зданий, строящихся в период с 2009 по 2015 год. На рисунках 4 и 5 графически изображены нормативные и реальные сроки строительства отдельных объектов.



Рисунок 4 - Нормативные и фактические сроки строительства жилых домов



**Рисунок 5 - Нормативные и фактические сроки строительства общественных и производственных зданий**

Как видно, в большинстве случаев фактические сроки строительства значительно превышают нормативные. Отклонения находятся в пределах:

от -56 % до 1587% – для жилых домов;

от -52,4% до 1851% – для остальных объектов.

Среднее отклонение от нормативной продолжительности составляет 79,3% и 180,9% соответственно.

Таким образом, можно сделать вывод, что современные методы расчета календарных планов нуждаются в совершенствовании. И предложенная здесь методика может применяться на стадии разработки календарных планов, в частности для определения более вероятностных сроков строительства.

#### **Литература:**

1. Калугин, Ю.Б. Расчет календарных планов работ с вероятностными временными параметрами. /Ю.Б. Калугин// Изв. вузов: Строительство – 2011. – №10. – С.51-58.

2. Кузьмич, П.М. Расчет календарных планов с вероятностными временными параметрами работы /П.М. Кузьмич, Л.П. Махнист, Н.В. Михайлова // Вестник БрГТУ. – 2013. - №1(79): Строительство и архитектура. – с. 139-142.

3. Кузьмич, П.М. О влиянии организационного уровня исполнителей на продолжительность строительства / П.М. Кузьмич, Е.С. Милашук // Вестник Брестского государственного технического университета, 2015. – №1: Строительство и архитектура. – С. 85 – 89.

4. Милашук, Е.С. Зависимость продолжительности строительства от организационного уровня исполнителей / Е.С. Милашук // Сборник конкурсных научных работ студентов и магистрантов: в 2 ч. / УО «Брестский государственный технический университет. – Брест, 2015. – Ч.1 – С. 166-168.