

Кузьмич П.М., Милашук Е.С.

Теорией сетевого планирования событие определяется как факт окончания одной или нескольких операций (работ) необходимый и достаточный для начала последующих операций (работ). Из данного определения вытекает, что длительность события в расчетах принимается равной нулю. Данное утверждение можно рассматривать как ложное, вытекающее из предположения, что продолжительность события стремится к нулю. В действительности же очевидно, что факт окончания одной операции и начала другой операции не может происходить и, как правило, не происходит мгновенно. При расчете временных параметров сетевой модели это обстоятельство в определенной степени учитывается лишь на цепочках событий формируемых операциями (работами) не критического пути [1,2,3,4]. В работах предлагаются подходы, направленные на устранение данного недостатка существующих методик расчета временных параметров сетевых моделей. Но в основе этих подходов лежит предположение о том, что сроки свершения событий подчиняются тем же закономерностям, что и продолжительности работ (операций). При сопоставлении результатов расчетов по упомянутым методикам [2, 3, 4] с фактическими данными по ряду уже реализованных проектов становится очевидно, что расчетные данные оказываются несколько завышенными.

В качестве возможных вариантов можно предложить задавать длительность событий:

1. в виде некоторой «константы», одинаковой для всех событий;
2. в виде случайной величины из диапазона продолжительностей предшествующих данному событию работ (операций);
3. экспертно или на основе статистических данных в зависимости от видов стыкуемых операций (работ) или с учетом организационного уровня исполнителей завершающих выполнение предшествующих работ (операций) и приступающих к выполнению последующих операций (работ).

Данные подходы, во-первых, требуют определенного статистического материала, а, во-вторых, не учитывают то существенное обстоятельство, что сроки свершения событий начиная с начального и до завершающего увеличиваются в зависимости не только от суммы продолжительностей работ, предшествующих данному событию, но и от множества других факторов (организационного уровня исполнителей, погодных условий, форс-мажорных обстоятельств и т.п.).

С учетом изложенного предлагается устанавливать сроки свершения событий, учитывая, во-первых, ранг события, во-вторых, влияние случайных факторов на эти события. Ранг события можно определить как номер события в ветви графа данной сетевой модели.

При расчете временных параметров продолжительность работ выбирается из диапазона $0,5t \div 1,5t$, что соответствует высокому организационному уровню исполнителей [1], с использованием генератора случайных чисел (ГСЧ). Нижний диапазон свершения события (T_n) определяем в соответствии с методикой, изложенной в [2] и [4]. Верхний диапазон свершения события (T_b), в зависимости от способа присвоения рангов событиям, определяем по следующим формулам:

$$T_b = T_n \cdot \left(1 + \frac{n_i}{n}\right) \cdot k \quad (1)$$

в том случае, когда самый низкий ранг, равный 1, присваивается начальному событию, а завершающему самый высокий;

$$T_b = T_n \cdot \left(1 + \frac{n-n_i}{n}\right) \cdot k \quad (2)$$

в том случае, когда завершающему событию присваивается самый низкий ранг, равный 1, а начальному событию присваивается самый высокий ранг, соответствующий количеству уровней графа сетевой модели;

где n_i - ранг события в соответствующей ветви графа сетевой модели;

n - количество уровней в соответствующей ветви графа сетевой модели;

k - приоритет события (устанавливается индивидуально).

С использованием ГСЧ срок свершения события выбираем в диапазоне от $T_{н}$ до $T_{з}$.

По данной методике выполнен расчет сетевой модели с исходными данными, приведенными на рисунке 1. На рисунке 2 представлен результат расчета сетевого графика с детерминированными временными параметрами работ и «нулевой длительностью» событий. Выполним расчет сетевого графика с учетом влияния рангов событий по предлагаемой методике. Для этого строим граф сетевой модели (рисунок 3). Принимаем, что в проекте участвуют исполнители с высоким организационным уровнем, то есть продолжительность работ находится в диапазоне от $0,5t$ до $1,5t$.

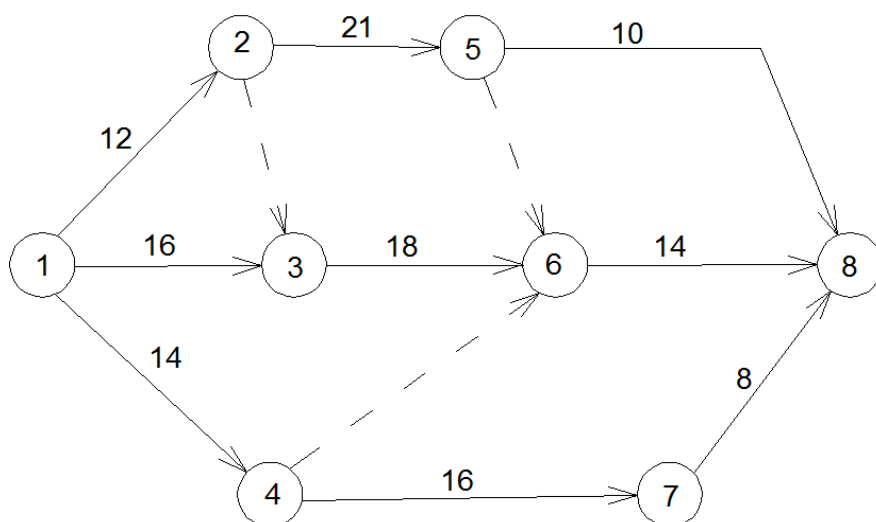


Рисунок 1 – Исходный сетевой график

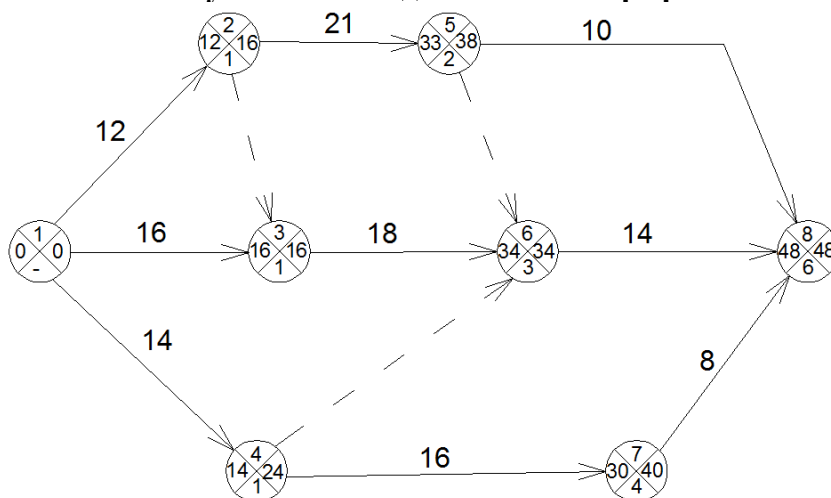


Рисунок 2 – Результаты расчета сетевого графика с детерминированными временными параметрами работ и «нулевой длительностью» событий

Как видно из рисунка 3, одно и тоже событие может иметь различные значения ранга в зависимости от нахождения в той или иной ветви дерева графа. Рассмотрим сначала вариант расчета, когда ранги событий присвоим снизу вверх, то есть завершающее событие имеет ранг, равный, а начальное событие имеет самый высокий ранг, соответствующий количеству уровней графа сетевой модели.

При отсутствии иного, срок свершения события №1 задаем равным 0. Продолжительность работы 1-2 равна 12 дн. Диапазон изменения ее продолжительности (t_{1-2}) находится в пределах $6 \div 18$ дн. С использованием ГСЧ выбираем значение продолжительности работы в заданном диапазоне. Получаем 7 дн.

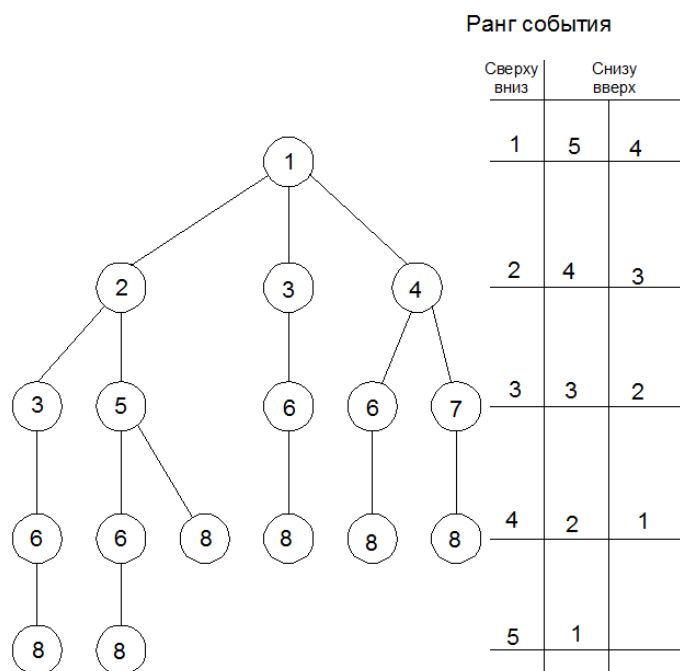


Рисунок 3 – Граф сетевой модели

Значение приоритета события k в расчетах принимаем равным 1.

Определим срок свершения события №2. Согласно графу сетевой модели (рисунок 3), ранг события равен 4, при рассмотрении ветвей 1-2-3-6-8 и 1-2-5-6-8, при этом количество уровней равно 5, а в ветви 1-2-5-8 ранг события №2 равен 3, а количество уровней – 4. Выполним расчет по обоим вариантам:

1. Нижняя граница диапазона срока свершения события равна продолжительности работы 1-2, что составляет 7 дн. Верхнюю границу диапазона определяем по формуле (2): $T_b = 7 * (1 + (5 - 4) / 5) = 8,4$ дн. С помощью ГСЧ определяем срок свершения события в заданном диапазоне и получаем 7,8 дн.

2. Нижняя граница диапазона такая же как и в первом случае. Определяем верхнюю: $T_b = 7 * (1 + (4 - 3) / 4) = 8,7$ дн. С помощью ГСЧ находим срок свершения события в заданном диапазоне равный 7,1 дн.

Срок свершения определяем как максимальное из полученных значений.

$$T_c = \max(7,8; 7,1) = 7,8 \text{ дн.}$$

Продолжительность работы 1-3 равна 16 дн. Определяем диапазон ее изменения (t_{1-3}): нижний предел равен $0,5t = 0,5 * 16 = 8$ дн., верхний предел равен $1,5t = 1,5 * 16 = 24$ дн. С использованием ГСЧ получаем значение продолжительности работ равное 9,1 дн.

Определим срок свершения события №3. Согласно графу сетевой модели (рисунок 3), ранг события равен 3. При рассмотрении ветви 1-3-6-8, количество уровней равно 4, а в ветви 1-2-3-6-8 количество уровней – 5. Выполним расчет, учитывая оба варианта:

1. Нижняя граница диапазона срока свершения события равна продолжительности работы 1-3, что составляет 9,1 дн. Верхнюю границу диапазона определяем по формуле (2): $T_b = 9,1 * (1 + (4 - 3) / 4) = 11,3$ дн. С помощью ГСЧ определяем срок свершения события в заданном диапазоне и получаем 10,5 дн.

2. Нижняя граница диапазона равна сроку свершения события №2 и равна 7,8. Определяем верхнюю: $T_b = 7,8 * (1 + (5 - 3) / 5) = 10,9$ дн. С помощью ГСЧ определяем срок свершения события в заданном диапазоне и получаем 8,7 дн.

Срок свершения определяем как максимальное из полученных значений.

$$T_c = \max(10,5; 8,7) = 10,5 \text{ дн.}$$

Продолжительность работы 1-4 равна 14 дн. Определяем диапазон ее изменения (t_{1-4}): нижний предел равен $0,5t = 0,5 * 14 = 7$ дн., верхний предел равен $1,5t = 1,5 * 14 = 21$ дн. С использованием ГСЧ получаем значение равное 16 дн.

Определим срок свершения события №4. Согласно графу сетевой модели (рисунок 3), ранг события равен 3, а количество уровней – 4. Нижняя граница диапазона срока свершения события равна продолжительности работы 1-4, что составляет 16 дн. Верхнюю границу диапазона определяем по формуле (2): $T_b = 16 * (1 + (4-3)/4) = 20$ дн. С помощью ГСЧ определяем срок свершения события в заданном диапазоне и получаем 17,8 дн.

Продолжительность работы 2-5 равна 21 дн. Определяем диапазон ее изменения (t_{2-5}): нижний предел равен $0,5t = 0,5 * 21 = 10,5$ дн., верхний предел равен $1,5t = 1,5 * 21 = 31,5$ дн. С использованием ГСЧ получаем значение продолжительности работ равное 15,2 дн.

Определим срок свершения события №5. Согласно графу сетевой модели (рисунок 3), ранг события равен 3, при рассмотрении ветви 1-2-5-6-8, при этом количество уровней 5, а в ветви 1-2-5-8 ранг 2, количество уровней – 4. Выполним расчет, по обоим вариантам:

1. Нижняя граница диапазона срока свершения события равна сумме продолжительности работы 2-5 и срока свершения события №2, что составляет $15,2 + 7,8 = 23$ дн. Верхнюю границу диапазона определяем по формуле (2): $T_b = 23 * (1 + (5-3)/5) = 32,3$ дн. С помощью ГСЧ определяем срок свершения события в заданном диапазоне и получаем 31,5 дн.

2. Нижняя граница диапазона определяется, как и в первом случае. Определяем верхнюю: $T_b = 23 * (1 + (4-2)/4) = 34,6$ дн. С помощью ГСЧ определяем срок свершения события в заданном диапазоне и получаем 28,1 дн.

Срок свершения определяем как максимальное из полученных значений.

$$T_c = \max(31,5; 28,1) = 31,5 \text{ дн.}$$

Продолжительность работы 3-6 равна 18 дн. Определяем диапазон ее изменения (t_{3-6}): нижний предел равен $0,5t = 0,5 * 18 = 9$ дн., верхний предел равен $1,5t = 1,5 * 18 = 27$ дн. С использованием ГСЧ получаем значение продолжительности работ равное 13,2 дн.

Определим срок свершения события №6.

1. Ветвь 1-3-6-8. Ранг события 2, количество уровней – 4. Нижняя граница диапазона срока свершения события равна сумме продолжительности работы 3-6 и срока свершения события №3, что составляет $13,2 + 10,5 = 23,7$ дн. Верхнюю границу диапазона определяем по формуле (2): $T_b = 23,7 * (1 + (4-2)/4) = 35,6$ дн. С помощью ГСЧ определяем срок свершения события в заданном диапазоне и получаем 24,9 дн.

2. Ветвь 1-2-3-6-8. Ранг события 2, количество уровней – 5. Нижняя граница диапазона определяется, как и в первом случае. Определяем верхнюю: $T_b = 23,7 * (1 + (5-2)/5) = 38$ дн. С помощью ГСЧ определяем срок свершения события в заданном диапазоне и получаем 28,2 дн.

3. Ветвь 1-4-6-8. Ранг события 2, количество уровней – 4. Нижняя граница диапазона равна сроку свершения события №4 и равна 17,8. Определяем верхнюю: $T_b = 17,8 * (1 + (4-2)/4) = 26,7$ дн. С помощью ГСЧ определяем срок свершения события в заданном диапазоне и получаем 24,4 дн.

4. Ветвь 1-2-5-6-8. Ранг события 2, количество уровней – 5. Нижняя граница диапазона равна сроку свершения события №5 и равна 31,5. Определяем верхнюю: $T_b = 31,5 * (1 + (5-2)/5) = 50,3$ дн. С помощью ГСЧ определяем срок свершения события в заданном диапазоне и получаем 43,3 дн.

Срок свершения определяем как максимальное из полученных значений.

$$T_c = \max(24,9; 28,2; 24,4; 43,3) = 43,3 \text{ дн.}$$

Продолжительность работы 4-7 равна 16 дн. Определяем диапазон ее изменения (t_{3-6}): нижний предел равен $0,5t = 0,5 * 16 = 8$ дн., верхний предел равен $1,5t = 1,5 * 16 = 24$ дн. С использованием ГСЧ получаем значение продолжительности работ равное 15,5 дн.

Определим срок свершения события №7. Согласно графу сетевой модели (рисунок 3), ранг события равен 2, а количество уровней – 4. Нижняя граница диапазона срока свершения события равна сумме продолжительности работы 4-7 и срока свершения события №4, что составляет $15,5 + 17,8 = 33,3$ дн. Верхнюю границу диапазона определяем по формуле (2): $T_b = 33,3 * (1 + (4-2)/4) = 50$ дн. С помощью ГСЧ определяем срок свершения события в заданном диапазоне и получаем 45,2 дн.

Продолжительность работы 5-8 равна 10 дн. Определяем диапазон ее изменения (t_{3-6}): нижний предел равен $0,5t = 0,5 * 10 = 5$ дн., верхний предел равен $1,5t = 1,5 * 10 = 15$ дн. С использованием ГСЧ получаем значение продолжительности работ равное 6,8 дн.

Продолжительность работы 6-8 равна 14 дн. Определяем диапазон ее изменения (t_{3-6}): нижний предел равен $0,5t=0,5*14=7$ дн., верхний предел равен $1,5t=1,5*14=21$ дн. С использованием ГСЧ получаем значение продолжительности работ равное 7,7 дн.

Продолжительность работы 7-8 равна 8 дн. Определяем диапазон ее изменения (t_{3-6}): нижний предел равен $0,5t=0,5*8=4$ дн., верхний предел равен $1,5t=1,5*8=12$ дн. С использованием ГСЧ получаем значение продолжительности работ равное 8,0 дн.

Определим срок свершения события №8.

1. Ветвь 1-2-5-8. Ранг события 4, количество уровней – 4. Нижняя граница диапазона срока свершения события равна сумме продолжительности работы 5-8 и срока свершения события №5, что составляет $6,8+31,5=38,3$ дн. Верхнюю границу диапазона определяем по формуле (2): $T_в=38,3*(1+(4-1)/4)=66,9$ дн. С помощью ГСЧ определяем срок свершения события в заданном диапазоне и получаем 53,5 дн.

2. Ветви 1-3-6-8 и 1-4-6-8. Ранг события 1, количество уровней – 4. Нижняя граница диапазона срока свершения события равна сумме продолжительности работы 6-8 и срока свершения события №6, что составляет $7,7+43,3=51$ дн. Определяем верхнюю: $T_в=51*(1+(4-1)/4)=89,4$ дн. С помощью ГСЧ определяем срок свершения события в заданном диапазоне и получаем 84,4 дн.

3. Ветви 1-2-3-6-8 и 1-2-5-6-8. Ранг события 1, количество уровней – 5. Нижняя граница диапазона срока свершения события равна сумме продолжительности работы 6-8 и срока свершения события №6, что составляет $7,7+43,3=51$ дн. Определяем верхнюю: $T_в=51*(1+(5-1)/5)=92$ дн. С помощью ГСЧ определяем срок свершения события в заданном диапазоне и получаем 88,8 дн.

4. Ветвь 1-4-7-8. Ранг события 1, количество уровней – 4. Нижняя граница диапазона срока свершения события равна сумме продолжительности работы 7-8 и срока свершения события №7, что составляет $8+45,2=53,2$ дн. Определяем верхнюю: $T_в=53,2*(1+(4-1)/4)=93,2$ дн. С помощью ГСЧ определяем срок свершения события в заданном диапазоне и получаем 59,6 дн.

Срок свершения определяем как максимальное из полученных значений.

$$T_c = \max(53,5; 84,4; 88,8; 59,6) = 88,8 \text{ дн.}$$

Таким образом, принимаемая по сроку свершения завершающего события, общая продолжительность выполнения работ составила 88,8 дней. Результаты расчета представлены на рисунке 4.

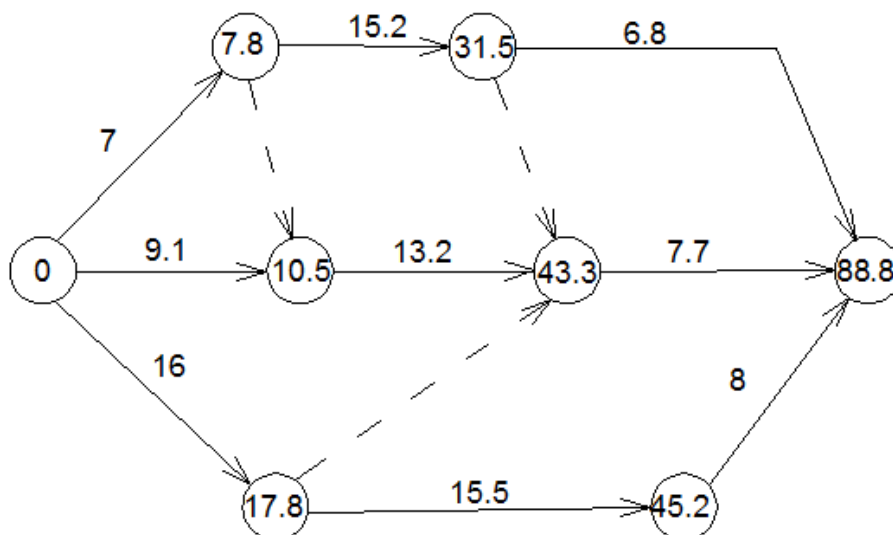


Рисунок 4 – Результаты расчета сетевого графика с учетом влияния рангов событий при присвоении рангов снизу вверх

Подобным образом выполнен расчет сетевого графика, когда самый низкий ранг, равный 1, присвоен начальному событию, а завершающему самый высокий. При этом верхняя граница диапазона свершения события определяется по формуле (1). Общая продолжительность выполнения работ составила 124,6 дня. Результаты расчета представлены на рисунке 5.

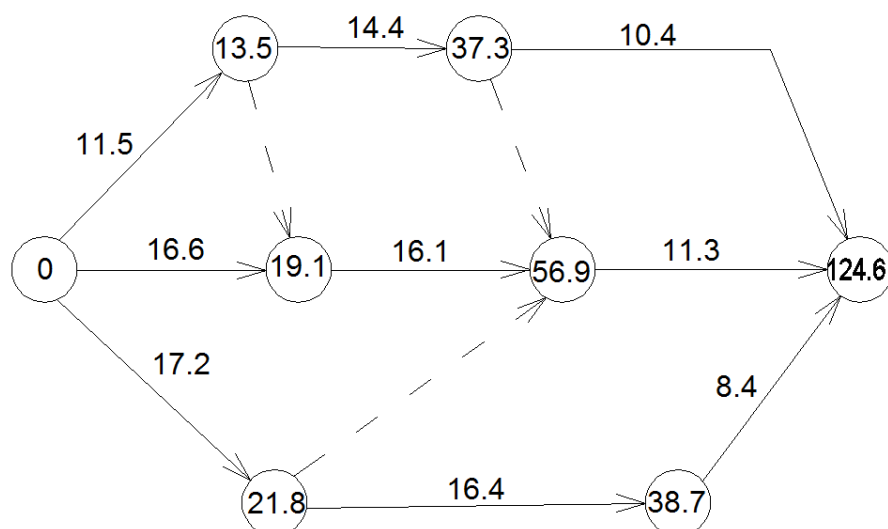


Рисунок 5 – Результаты расчета сетевого графика с учетом влияния рангов событий при присвоении рангов сверху вниз

Выводы. В результате проведенного вычислительного эксперимента установлено, что использование рангов событий позволяет учитывать обстоятельства непрогнозируемого характера в календарном планировании в любом случае, даже когда продолжительность операций (работ) не выходит за пределы планируемых (или даже строго соответствует заданному значению), а общая продолжительность комплекса операций (работ), как показывает опыт, отличается от заданной и, как правило, в большую сторону.

Наиболее близкий к имеющимся данным о фактической продолжительности строительства отдельных объектов (выполнения комплексов работ) дает подход, когда ранг события задается «снизу вверх», т.е. завершающее событие имеет ранг равный 1, а начальное имеет самый высокий ранг, соответствующий максимальному количеству уровней графа данной сетевой модели.

Использование приоритета событий k позволяет учесть индивидуальные факторы (вид строительства, организационный уровень исполнителей, погодные факторы и т.п.).

СПИСОК ЦИТИРОВАННЫХ ИСТОЧНИКОВ

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., Махнист Л.П., Михайлова Н.В. 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., Милашук Е.С. О влиянии организационного уровня исполнителей на продолжительность строительства // Вестник БрГТУ. – 2015. - №1: Строительство и архитектура. – с. 85 – 89.
4. Милашук Е.С. Календарное планирование с псевдослучайными временными параметрами работ (процессов): диссертация на соискание академической степени магистра наук / Е.С. Милашук. – М., 2016. – 89 с.