

УДК 69.05

**М. Г. Добросоцких**, ст. преподаватель, ФГБОУ ВО «Воронежский государственный технический университет» (Россия, 394026, Воронеж, Московский проспект, 14)  
(e-mail: dobrmax@yandex.ru)

## УЧЕТ СТОХАСТИЧЕСКИХ ВОЗДЕЙСТВИЙ ПРИ КАЛЕНДАРНОМ ПЛАНИРОВАНИИ СТРОИТЕЛЬНОГО ПРОИЗВОДСТВА

*В рамках данной статьи автором был изучен имеющийся на сегодняшний день опыт в календарном планировании строительного производства. Обзору подверглись существующие методы календарного планирования: сетевой метод календарного планирования, теория ограничений (Constraint Programming), теории расписаний. Также рассматривались методы, адаптированные непосредственно для строительства – планирование по кратчайшему пути, метод непрерывного освоения фронта работ, метод непрерывного использования ресурсов. Все перечисленные методы являются упрощенными и не учитывают стохастические факторы. Специфика стройпроизводства заключается в особенно сильном влиянии стохастических воздействий на происходящие в нем процессы. Были рассмотрены методы использования резерва времени, возникающего на различных этапах работ, который может быть использован, в частности, для минимизации негативных последствий стохастических воздействий на элементы строительного комплекса. Для этих целей была построена целевая функция задачи минимизации негативных последствий, описывающая как динамические, так и стохастические потери. Вклад случайных воздействий выражен через экспоненциальные функции. Показано, что перераспределение резерва времени позволяет без увеличения динамических потерь уменьшить вклад стохастических потерь. Показано, что в приближении независимых работ оптимальным является календарный план, предусматривающий увеличение резерва времени на критических направлениях. На конкретном примере продемонстрировано применение алгоритма минимизации последствий случайных неблагоприятных факторов, что дает возможность построить календарный план с минимальными прогнозируемыми стохастическими потерями. В противоположность этому, при наличии возможности перераспределения ресурсов на направления, связанные с высокими рисками или потерями, оптимальным является альтернативный календарный план, предусматривающий возможность такого оперативного перераспределения, даже и путем увеличения рисков на некритических направлениях.*

**Ключевые слова:** оптимизация; строительное производство; календарный план; ресурс; рациональное значение; резерв времени; оптимизация; стохастическое воздействие; перераспределение ресурсов.

**DOI:** 10.21869/2223-1560-2018-22-6-61-71

**Ссылка для цитирования:** Добросоцких М. Г. Учет стохастических воздействий при календарном планировании строительного производства // Известия Юго-Западного государственного университета. 2018. Т. 22, № 6(81). С. 61-71.

\*\*\*

Календарное планирование (в дальнейшем – КП) строительного производства решает задачу оптимального согласования работ и ресурсов во времени и пространстве на базе технической обусловленной последовательности процессов.

Высокая стоимость строительных проектов и связанные с этим значительные потери, возникающие при нарушении рациональной последовательности работ и использования ресурсов, придает оптимизации КП особую важность, что стимулирует большой интерес практиков к этой проблеме. Так, например, как указано в книге [1], в США при реализации

любого строительного проекта всегда выделяется лицо, разрабатывающее, оптимизирующее и в режиме реального времени реализующее КП. При этом КП является юридически обязывающим документом и все расчеты как по этапам строительства, так и по его итогам, осуществляются только на его основе. Важность оптимального календарного плана приводит к тому, что на крупной стройке выделяется специальная должность (в русской транскрипции – шедюлер от английского «schedule» – расписание), непосредственно подчиняющийся руководителю проекта. На небольших строй-

ках эти функции выполняет первый руководитель.

На начальных этапах развития календарного планирования задача оптимизации не ставилась и КП строились на основе эмпирических правил [2]. Однако с началом индустриальной эпохи этот подход продемонстрировал свою ограниченность, что стимулировало создание теории КП. Основы научного подхода были заложены в начале века в работах Ганта [2] и получили значительное развитие, стимулированное промышленной революцией [4]. Основные успехи были достигнуты в визуализации КП [5]. Наибольшее развитие получили сетевые методы календарного планирования [6]. В последнее время прогресс в исследовании теории и практики календарного планирования определяется широким внедрением вычислительной техники [7] и применением методов математической теории расписаний [8]. Потребности практики в середине XX века стимулировали стремительный прогресс теоретических исследований [9] и практических приложений [10].

Однако несмотря на значительный интерес к данной тематике и значительные усилия, направленные на совершенствования методов календарного планирования, многие практические задачи к настоящему времени не решены. Связано это с размерностью исследуемой системы «объект + ресурсы» [11]. Вследствие этого параллельно с оптимизационными алгоритмами развивались и эвристические методы, основанные на концепции «приемлемого решения» [12]. Недостатком таких алгоритмов является отсутствие оценок качества полученного решения. Неизвестно, насколько решение отличается от оптимального в наихудшем случае [13]. В последнее время широкое распространение получил метод про-

граммирования в ограничениях (в англоязычной литературе – Constraint Programming) [14].

В рамках приемлемого решения, при построении календарных планов часто выделяется единственный критерий оценки и оптимизации. Частными случаями такой постановки задачи является планирование по кратчайшему пути [15], метод непрерывного освоения фронта работ, метод непрерывного использования ресурсов и др. Однако столь упрощенный подход часто приводит к решениям весьма далеким от оптимальных [16]. Поэтому основные проблемы планирования и управления так и остались нерешенными.

Как свидетельствуют многочисленные исследования, большинство задач теории расписаний являются *NP*-трудными [24-26]. С практической точки зрения это приводит к тому, что алгоритмы их решения (даже реализованные на современных и перспективных ЭВМ) требуют неприемлемо большого времени работы для решения реальных задач. В работе [17] сформулирован алгоритм количественного описания последовательности работ *A* и *B*, связанных между собой организационно, технологически или пространственно, или может быть описана безразмерными коэффициентами опережения --  $(A/B)_o$ , запаздывания --  $(A/B)_z$ , совмещения --  $(A/B)_c$ .

Однако эти алгоритмы не учитывают стохастические процессы. Между тем, они оказывают значительное влияние на технологические [18] и социально-экономические [19, 20, 21] процессы. Специфика стройпроизводства приводит к особенно сильному влиянию стохастических воздействий на происходящие в нем процессы [22], что определяется в основном следующими факторами:

– технологические процессы в строительстве в значительной мере определя-

ются стохастическими погодными явлениями;

– в них участвует большое число исполнителей с различными технико-технологическими и экономическими характеристиками;

– различные процессы связаны между собой как пространственно, так и по времени, вследствие чего влияние стохастических воздействий сказывается за пределами области их первоначальной локализации.

В работе [18] сформулирован алгоритм количественного описания последовательности работ А и В, связанных между собой организационно, технологически и/или пространственно через безразмерные коэффициенты опережения –  $(A/B)_o$ , запаздывания –  $(A/B)_з$ , совмещения –  $(A/B)_с$ . Показано, что учет возможности совмещения работ позволяет сформулировать алгоритм оптимизации календарного плана. Однако система уравнений, описывающих оптимальное распределение ресурсов, несовместима на множестве рациональных чисел. Вследствие этого возникает резерв времени, который может быть использован, в частности, для минимизации негативных последствий стохастических воздействий на элементы строительного комплекса. Формулировка алгоритма такой минимизации является целью данной работы.

Для реализации алгоритма минимизации негативных стохастических процессов может быть использован метод выделения комплексных работ, то есть частей процесса строительства, в ходе реализации которых не изменяется состав используемых нескладируемых ресурсов и помещений, в которых выполняются технологические процессы.

Целевая функция задачи минимизации негативных последствий может быть представлена в виде

$$C = \sum_{i=1}^W \{L_i \cdot \Delta t_i + p_i(\delta t_i) s_i(\delta t_i)\}, \quad (1)$$

где индекс  $i$  нумерует комплексные работы,  $W$  – их общее количество;

$\Delta t_i$  – резерв времени, возникающий за счет неполного использования ресурсов в течение части промежутка планирования;

$\delta t_i$  – продолжительность ликвидации отставания от календарного плана;

$p_i(\delta t_i)$  – вероятность возникновения отставания, для ликвидации которого необходимо время  $\delta t_i$ ;

$S_i(\delta t_i)$  – потери, возникающие вследствие отставания от графика.

Точной верхней границей времен  $\Delta t_i$  является полное время выполнения работы  $T_i$ , а времени  $\delta t_i$  – резерв  $\Delta t_i$  и, кроме того, выполняется условие

$$\Delta t_i + \delta t_i \leq T_i. \quad (2)$$

Оптимальным будет КП, при реализации которого целевая функция (1), описывающая суммарные ожидаемые потери, примет минимальное значение.

Минимизация целевой функции требует построения математических моделей потерь  $S_i(\delta t_i)$  и вероятностей  $p_i(\delta t_i)$ . Вероятность положительно определена и в реальных системах монотонно уменьшается с увеличением времени отставания. Такими свойствами обладает экспоненциальная функция

$$p_i(\delta t_i) = P_i \exp(-\alpha_i \cdot \delta t_i). \quad (3)$$

Здесь параметр  $\alpha_i$  описывает скорость убывания вероятности, а параметр  $P_i$  – максимальную вероятность. Графики зависимости функции (3) от времени приведены на рисунке 1.

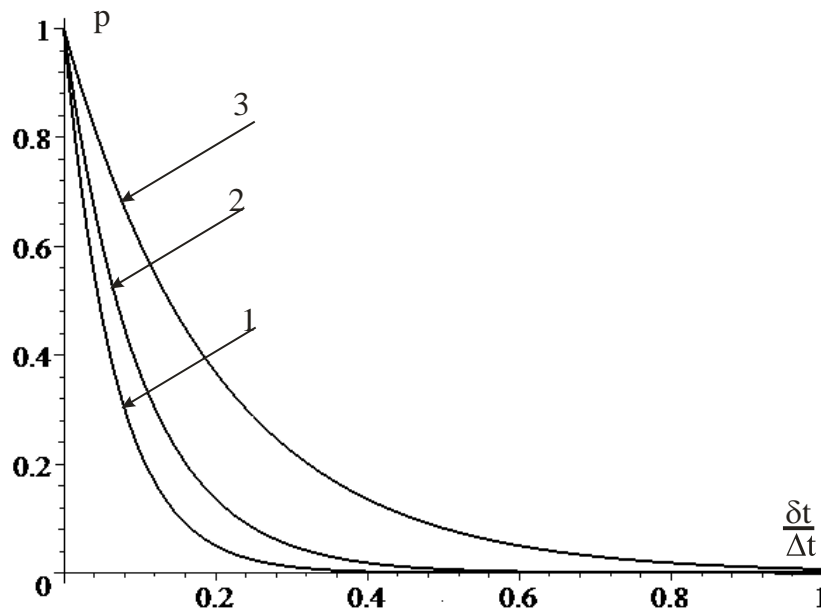


Рис. 1. Зависимости вероятности возникновения отставания от времени

Величины вероятности и времени нормированы на максимальное значение. Кривые 1, 2, 3 соответствуют значениям  $\alpha_i = 5, 10, 15$ . Наглядно видно быстрое уменьшение промежутка времени с реальной возможностью отставания при увеличении параметра  $\alpha_i$ .

Потери, возникающие вследствие отставания от графика, на практике монотонно возрастают с увеличением времени отставания. Однако скорость роста должна уменьшаться, и при больших значениях  $\delta t_i$  рост должен практически прекращаться, что описывает полную реализацию всех возможных негативных последствий. Такими свойствами обладает функция вида

$$s_i(\delta t_i) = S_i \rho(\delta t_i) [1 - \exp(-\beta_i \cdot \delta t_i)]. \quad (4)$$

Здесь параметр  $\beta_i$  описывает скорость убывания вероятности, а параметр  $S_i$  – максимальные потери;  $\rho(\delta t_i)$  – ступенчатая функция, определяемая условиями:

$$\rho(t) = \begin{cases} 1 & t \geq 0 \\ 0 & t < 0. \end{cases} \quad (5)$$

На практике значительные потери, быстро возрастающие при увеличении времени отставания, характерны для процессов, лимитирующих открытие фронта работ для большого числа рабочих или механизмов. Графики зависимости функции (4) от времени приведены на рисунке 2.

Величины потерь и времени нормированы на максимальное значение. Кривые 1, 2, 3, 4 соответствуют значениям  $\beta_i = 2, 5, 10, 15$ . Наглядно видно быстрое уменьшение промежутка времени с малыми потерями при увеличении параметра  $\beta_i$ .

Подставляя выражения (3) и (4) в функцию (2), сформулируем условие оптимизации целевой функции в следующем виде:

$$C = \sum_{i=1}^W \{L_i \cdot \Delta t_i + P_i S_i \exp(-\alpha_i \cdot \delta t_i) \rho(\delta t_i) \times \\ \times [1 - \exp(-\beta_i \cdot \delta t_i)]\} \Rightarrow \min. \quad (6)$$

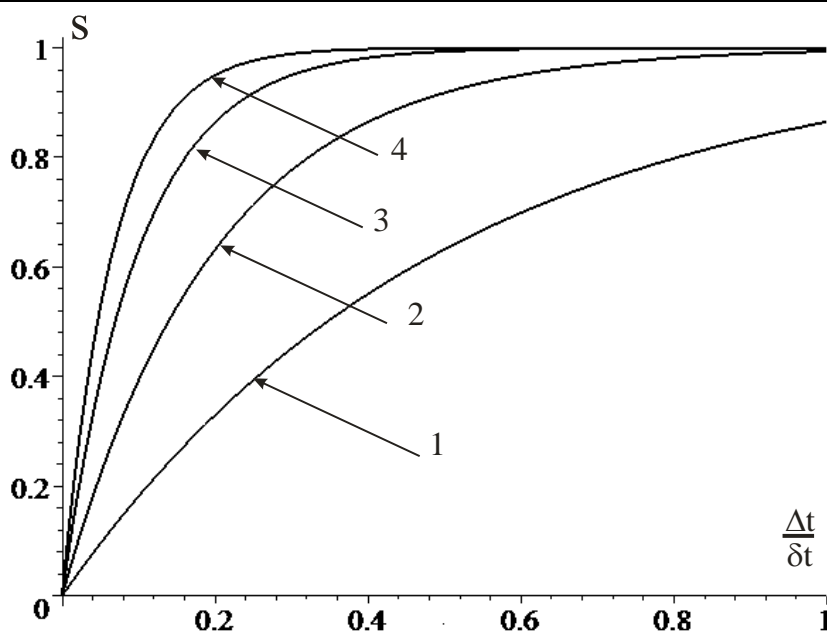


Рис. 2. Зависимости потерь от времени

Учтем теперь возможность использования резерва времени для ликвидации отставания. Количественно такой учет приводит к следующему условию оптимизации:

$$C = \sum_{i=1}^W \{L_i \cdot \Delta t_i + P_i S_i \times \exp(-\alpha_i \cdot [\delta t_i - \Delta t_i]) \rho([\delta t_i - \Delta t_i]) \times [1 - \exp(-\beta_i \cdot [\delta t_i - \Delta t_i])]\} \Rightarrow \min. \quad (7)$$

Задача оптимизации значительно упрощается в случае, если организационно или технологически нецелесообразно использовать ресурсы, задействованные

при реализации  $i$ -той работы, для выполнения других работ. В этом приближении может быть получено не оптимальное, а лишь допустимое решение. Минимизация в этом приближении осуществляется отдельно для каждой парциальной целевой функции:

$$\exp(-\alpha_i \cdot [\delta t_i - \Delta t_i]) \rho([\delta t_i - \Delta t_i]) \times \exp(-\alpha_i \cdot [\delta t_i - \Delta t_i]) \rho([\delta t_i - \Delta t_i]) \times [1 - \exp(-\beta_i \cdot [\delta t_i - \Delta t_i])] \Rightarrow \min \quad (8)$$

Делим обе части равенства на множитель  $\Delta t_i$  и приведем условие (8) к виду, не зависящему от максимальных значений вероятностей и потерь:

$$\frac{\exp(-\alpha_i \cdot [\delta t_i - \Delta t_i]) \rho([\delta t_i - \Delta t_i]) [1 - \exp(-\beta_i \cdot [\delta t_i - \Delta t_i])]}{\Delta t_i} \Rightarrow \min. \quad (9)$$

График функции (9) приведен на рис. 3.

Наглядно видна треугольная область плоскости координатной плоскости  $[\Delta t_i; \delta t_i]$  с нулевым значением функции (9). На практике эта область соответствует

наличию резерва времени, позволяющего полностью ликвидировать последствия стохастических внешних воздействий.

Разберем теперь конкретный пример применения изложенного выше алгоритма минимизации последствий случайных

неблагоприятных факторов. В таблице приведены относительные мощности (то есть доли работ, выполняемых за единый промежуток планирования – например за смену) нескладируемых ресурсов, используемых при их выполнении трех работ. В скобках представлены максимальные доступные количества соответствующего ресурса (например число исполнителей требуемой квалификации или машин и механизмов).

Работы упорядочены в порядке их технологической последовательности. В последней колонке приведены минимальные значения коэффициента совмещения работы относительно предыдущей. Графическое представление одного из возможных календарных планов изображено на рисунке 4.

По горизонтальной оси отложено время выполнения работ. Точными линиями отражены резервы времени.

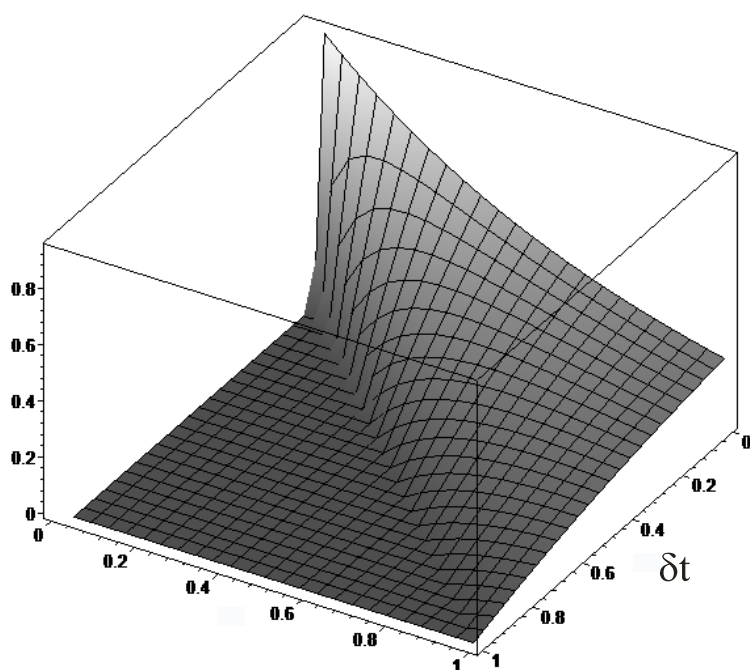


Рис. 3. Зависимость функции (9) от резерва времени (ось абсцисс) и отставания от графика (ось ординат)

Работа	Ресурс 1	Ресурс 2	Ресурс 3	Максимальный коэффициент совмещения
А	2/15 (4)	1/9(3)	--	--
В	--	1/5(4)	1/2(5)	0.6
С	3/5(3)	--	2/5(2)	0.7

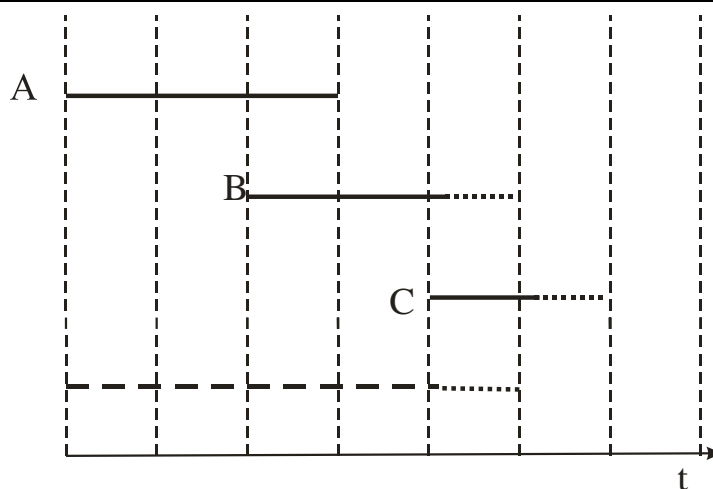


Рис. 4. Диаграмма Ганта календарного плана выполнения трех работ при ресурсных ограничениях, отраженных в таблице

В рассматриваемом примере для выполнения работы А использованы по 3 единицы ресурсов 1 и 2. Вследствие этого к концу третьей смены работа А выполнена полностью, ресурсы использованы оптимально, однако резерв времени отсутствует. Потери при таком планировании работы А полностью определяются рисками (4). Если данная работа характеризуется высокими рисками (например, выполняется с использованием изношенной техники или персоналом низкой квалификации) или находится на критическом пути реализации и определяет фронт работ для большого числа исполнителей, необходим подробный анализ целевой функции (7). В случае, если прогнозируемые потери окажутся неприемлемыми, следует изменить распределение ресурсов при выполнении данной работы. Так, например, при уменьшении использования ресурса 2 до двух единиц выполнение работы займет пять смен, но возникнет резерв времени, равный  $8/9$  смены, который может быть использован при возникновении отставания от графика. Такой вариант календарного планирования работы А изображен на рисунке 4 пунктирной линией.

В соответствии с ограничением на коэффициент совмещения работ А и В выполнение начало работы В возможно с третьей смены. При использовании двух единиц обоих необходимых ресурсов, работа В займет три смены с запасом времени, равным  $4/5$  смены (точечная линия на диаграмме). Фронт работы С открывается в начале четвертой смены. Выполнение работы С с использованием лишь одной единицы первого ресурса и двух единиц второго ресурса займет две смены с резервом времени  $4/5$  смены. Резерв последней работы и определит резерв всего процесса.

При составлении изложенного выше КП не учтена возможность использования ресурсов работ В и С для ликвидации возможного отставания при выполнении работы А. В случае, если такое использование технологически и организационно возможно, календарный план может быть оптимизирован даже в случае высоких рисков, сопряженных с работой А. Учет возможности концентрации резервов времени для ликвидации отставания на критических участках с наибольшими ожидаемыми потерями. Количественно такой учет приводит к следующему условию оптимизации:

$$C = \sum_{i=1}^W \{L_i \cdot \Delta t_i\} + \sum_{i=1}^{W_c} \{P_i S_i \exp(-\alpha_i \cdot [\delta t_i - t_i]) \rho([\delta t_i - t_i]) [1 - \exp(-\beta_i \cdot [\delta t_i - t_i])]\} \Rightarrow \min, (10)$$

при выполнении условия баланса времени

$$\sum_{i=1}^W \Delta t_i = \sum_{i=1}^{W_i} t_i. \quad (11)$$

В частности, в рассмотренном примере суммарный резерв времени, возникший при выполнении работ В и С и равный 8/5 смены при оперативном перераспределении ресурсов, задействованных при выполнении всех работ, для ликвидации отставания, допущенного при выполнении работы А, позволит избежать увеличения срока выполнения комплекса работ на две смены (нижняя линия рис. 4). При этом такое перераспределение ресурсов для ликвидации отставания на критических направлениях, позволяет оптимизировать КП и при наличии отставания на направлениях с малыми рисками и/или возможными потерями. Изложенный выше алгоритм дает возможность построить календарный план с минимальными прогнозируемыми стохастическими потерями.

## Выводы

Как свидетельствует отечественный и зарубежный опыт строительства, на ход реализации проектов значительное влияние оказывают стохастические факторы. Вследствие этого целевая функция задачи оптимизации календарного плана должна содержать слагаемые, учитывающие вероятность стохастических воздействий на ход строительства и ожидаемые потери, возникающие вследствие таких процессов. В данной работе предложена целевая функция, описывающая как динамические, так и стохастические потери. Показано, что вклад случайных воздействий может быть выражен через экспоненциальные функции. Показано,

что перераспределение резерва времени позволяет без увеличения динамических потерь уменьшить вклад стохастических потерь. В приближении независимых работ, практически соответствующих технологической или организационной невозможности перераспределения нескадируемых ресурсов, оптимальным является календарный план, предусматривающий увеличение резерва времени на критических направлениях. При наличии возможности перераспределения ресурсов на направления, связанные с высокими рисками или потерями, оптимальным является альтернативный календарный план, предусматривающий возможность такого оперативного перераспределения, даже и путем увеличения рисков на некритических направлениях.

## Список литературы

1. Дикман Л.Г., Дикман Д.Л. Организация строительства в США, М.: Изд-во ассоциации строительных вузов, 2004.
2. Weaver P A Brief History of Scheduling: Back to the Future, Hyatt, Canberra: Mosaic, Project Services Pty Ltd, pp. 4 – 6, April 2006.
3. Gantt H. L., Organizing for Work, USA, New York: Harcourt, Brace and Howe, 1919, 120 p.
4. Russell A. D., Wong, W. C. M. New generation of planning structures / J. Constr. Engrg. and Mgmt., ASCE, 1993. 119(2). P. 196–214.
5. Reda, R. M. RPM: Repetitive project modeling / J. Constr. Engrg. and Mgmt., ASCE, 1990. 116(2). P. 316–330.
6. Х. Ахьюджа Сетевые методы управления в проектировании и производстве, М.: Мир. 1979, 641 с.



7. Skibniewski P, Mirosław J. Mobile and Pervasive Computing in Construction // Construction Management and Economics. 2 November 2014. Vol. 32, no. 11. P. 1148-1150(3).
8. Blazewicz J., Ecker K., Pesch E., Schmidt G., Weglarz J. Scheduling Computer and Manufacturing Processes. Springer Berlin, 1996.
9. Jain V., Grossmann I.E. Algorithms for hybrid MILP/CLP models for a class of optimization problems // INFORMS J. Computing. 2001. Vol. 13. P. 258 – 276.
10. Merkle D., Middendorf M., Schmeck H. Ant Colony Optimization for Resource-Constrained Project Scheduling // IEEE Transactions on Evolutionary Computation. 2002. Vol. 6. No. 4. P. 333–346.
11. Lenstra J.K., Rinnooy Kan A.H.G., Brucker P. Complexity of machine scheduling problems // European Journal of Operational Research. 2011. Vol. 44. P. 270–275.
12. Posypkin M.A., Sigal I. Kh. Speedup estimates for some variants of the parallel implementations of the branch-and-bound method // Computational Mathematics and Mathematical Physics. 2006. Vol. 46, No. 12. P. 2189–2202.
13. Du J., Leung J. Y.-T. Minimizing total tardiness on one processor is NP-hard // Math. Operation Research. 1990. Vol. 15. P. 483–495.
14. Karp R. M. Reducibility among combinatorial problems, in Complexity of Computer Computations (R. E. Miller, ed.), Plenum Press. New York, 1992. P. 85-104
15. Подчасова Т.П., Португал В.М., Шкуба В.В. Эвристические методы календарного планирования. Киев: Техника, 1980. 144 с.
16. Мищенко В.Я., Преображенский М.А., Добросоцких М.Г. Оптимизация календарного плана строительного производства на основе учета пространственно-технологических связей // Проблемы безопасности строительных критических инфраструктур (SAFETY2018): матер. Междунар. конф. / под общ. ред. В.Н. Алехина. Екатеринбург, 2018.
17. Федюкин В. К., Дурнев В. Д., Лебедев В. Г. Методы оценки и управление качеством промышленной продукции. М.: Рилант, 2005. 328 с.
18. Douglas Hubbard «How to Measure Anything: Finding the Value of Intangibles in Business» pg. 46, John Wiley & Sons, 2007.
19. Paul Stoneman et al., Handbook of the Economics of Innovation and Technological Change, (Malden, MA: Basil Blackwell, 2005).
20. D. Hubbard, The Failure of Risk Management: Why It's Broken and How to Fix It (Hoboken, NJ: Wiley, 2009), pp. 181–187.
21. Воробьев В. С. Имитационное моделирование в планировании и прогнозировании строительного производства. Новосибирск: Изд-во СГУПСа, 2008. 147 с.
22. Kreiner Kristian Organizational Behavior in Construction // Construction Management and Economics. November 2013. Vol. 31, no. 11. P. 1165-1169(5).
23. Моделирование выполнения бригадами комплекса технологических процессов в организационно-технологическом проектировании / В.Я. Мищенко, Е.П. Горбанева, С.Ю. Арчакова, М.Г. Добросоцких // ФЭС: Финансы. Экономика. Стратегия: научно-практический и методологический журнал. 2017. №6. С. 37-43.
24. Мищенко В.Я., Горбанева Е.П., Овчинникова Е.В. Повышение эффективности производства с использованием оптимального распределения ремонтно-строительных бригад с помощью алгоритма Литтла // ФЭС: Финансы. Экономика. Стратегия: научно-практический и методологический журнал. 2018. №5. С. 30-36.
25. Генетические алгоритмы в решении многокритериальных задач оптимизации распределения ресурсов при пла-

нировании энергосберегающих мероприятий / В.Я. Мищенко, Е.П. Горбанева, А.Ю. Мануковский, А.О. Сафонов //

Научный вестник ВГАСУ. Строительство и архитектура. 2014. №3(35). С.77-82.

Поступила в редакцию 28.11.18

UDC 69.05

**M. G. Dobrosotskikh**, Senior Lecturer, Voronezh State Technical University (Russia, 394026, Voronezh, Moskovsky prospect, 14) (e-mail: dobrmax@yandex.ru)

## CONSIDERATION OF STOCHASTIC IMPACTS IN THE CONSTRUCTION SCHEDULING

*There is show an experience of modern methods of scheduling in construction. There are reviewed existed scheduling methods: Critical Path Method, Constraints Programming, Job Shop Scheduling. Additionally there were reviewed methods with special edition for construction industry: shortest path planning, continue development frontline volume method, continue resources utilization method. All reviewed methods are simplified and don't consider stochastic factors. Specific of the construction operation is a especially strong influence of stochastic factors to the construction production processes. There were reviewed methods of time reserve utilization, which appears in different stages of operations. This time reserve could be used, in particular, for minimization of negative aftereffects of stochastic factor influence on elements of construction. For these purpose was created target function of negative aftereffects minimization task, which describes dynamic and stochastic loses. The contribution of stochastic factors is expressed by exponential functions. There is shown, that redistribution of time reserve allows without any dynamic loses, to decrease contribution of stochastic loses. There is shown, that in approximation of independent works, the optimal schedule is that, which considers increasing of time reserve on critical directions. There is showed on individual example of algorithm for negative factors aftereffect minimization. Using this algorithm allows to make schedule with details of minimal approximated stochastic loses. In opposite, having a possibility of resources redistribution to directions, associated by high risks and loses, the optimal schedule plan will be alternative schedule plan, considering a possibility of operative redistribution, even through risks rise on non-critical directions.*

**Key words:** optimization; construction; schedule plan; resource; rational meaning; time reserve; optimization; stochastic impact; redistribution of resources.

**DOI:** 10.21869/2223-1560-2018-22-6-61-71

**For citation:** Dobrosotskikh M. G. Consideration of Stochastic Impacts in the Construction Scheduling. Proceedings of the Southwest State University, 2018, vol. 22, no. 6(81), pp. 61-71 (in Russ.).

\*\*\*

## Reference

1. Dikman L.G., Dikman D.L. Organizatsiya stroitel'stva v SShA. Moscow, Assoatsii stroitel'nyh vuzov Publ., 2004.
2. Weaver P. A. Brief History of Scheduling: Back to the Future, Hyatt, Canberra: Mosaic, Project Services Pty Ltd, pp. 4 – 6, April 2006.
3. Gantt H. L. Organizing for Work, USA, New York: Harcourt, Brace and Howe, 1919, 120 p.
4. Russell A. D., Wong W. C. M. New generation of planning structures. J. Constr. Engrg. and Mgmt., ASCE, 119(2), 1993, pp. 196–214.
5. Reda R. M. RPM: Repetitive project modeling. J. Constr. Engrg. and Mgmt., ASCE, 116(2), 1990, pp. 316–330.
6. Ah'judzha H. Setevye metody upravleniya v proektirovanii i proizvodstve. Moscow, Mir Publ., 1979, 641 p.
7. Skibniewski P, Mirosław J. Mobile and Pervasive Computing in Construction. Construction Management and Economics, 2 November 2014vol. 32, no. 11, , pp. 1148-1150(3).
8. Blazewicz J., Ecker K., Pesch E., Schmidt G., Weglarz J. Scheduling Computer and Manufacturing Processes. Springer Berlin, 1996.

9. Jain V., Grossmann I.E. Algorithms for hybrid MILP/CLP models for a class of optimization problems. *INFORMS J. Computing*, 2001, vol. 13, pp. 258 – 276.
10. Merkle D., Middendorf M., Schmeck H. Ant Colony Optimization for Resource-Constrained Project Scheduling. *IEEE Transactions on Evolutionary Computation*, 2002, vol. 6, no. 4, pp. 333–346.
11. Lenstra J.K., Rinnooy Kan A.H.G., Brucker P. Complexity of machine scheduling problems. *European Journal of Operational Research*, 2011, vol. 44, pp. 270–275.
12. Posypkin M.A., Sigal I. Kh. Speedup estimates for some variants of the parallel implementations of the branch-and-bound method. *Computational Mathematics and Mathematical Physics*, 2006, vol. 46, no. 12, pp. 2189–2202.
13. Du J., Leung J. Y.-T. Minimizing total tardiness on one processor is NP-hard. *Math. Operation Research*, 1990, vol. 15, pp. 483–495.
14. Baptiste Ph., Le Pape C., Nuijten W. Constraint-based scheduling: applying constraint programming to scheduling problems. Kluwer Academic Publishers, 2001, 198 p.
15. Karp R. M., Reducibility among combinatorial problems, in *Complexity of Computer Computations* (R. E. Miller, ed.), Plenum Press. New York, 1992, pp. 85-104
16. Podchasova T.P., Portugal V.M., Shkuba V.V. Jevristicheskie metody kalendarного планирования. Kiev, Tehnika Publ., 1980, 144 p.
17. Mishhenko V.Ja., Preobrazhenskij M.A., Dobrosockih M.G. Optimizacija kalendarного плана stroitel'nogo proizvodstva na osnove ucheta prostranstvenno-tehnologicheskikh svyazej. Problemy bezopasnosti stroitel'nykh kritichnykh infrastruktur (SAFETY2018). Mater. Mezhdunarodnoj konferencii; ed. by Alehin V.N. Ekaterinburg, 2018.
18. Fedjukin, V. K., Durnev V. D., Lebedev V. G. Metody ocenki i upravlenie kachestvom promyshlennoj produkcii. Moscow, Rilant Publ., 2005, 328 p.
19. Douglas Hubbard «How to Measure Anything: Finding the Value of Intangibles in Business» pg. 46, John Wiley & Sons, 2007.
20. Paul Stoneman et al., Handbook of the Economics of Innovation and Technological Change, (Malden, MA: Basil Blackwell, 2005).
21. Hubbard D. The Failure of Risk Management: Why It's Broken and How to Fix It (Hoboken, NJ: Wiley, 2009), pp. 181–187.
22. Vorob'ev V. S. Imitacionnoe modelirovanie v planirovanii i prognozirovanii stroitel'nogo proizvodstva. Novosibirsk, 2008, 147 p.
23. Kreiner Kristian Organizational Behavior in Construction. *Construction Management and Economics*, november 2013, vol. 31, no. 11, pp. 1165-1169(5).
24. Mishhenko V.Ja., Gorbaneva E.P., Archakova S.Ju., Dobrosockih M.G. Modelirovanie vypolnenija brigadami kompleksa tehnologicheskikh processov v organizacionno-tehnologicheskom proektirovanii. *FJeS: Finansy. Jekonomika. Strategija. Nauchno-prakticheskij i metodologicheskij zhurnal*, 2017, no. 6, pp. 37-43.
25. Mishhenko V.Ja., Gorbaneva E.P., Ovchinnikova E.V. Povyshenie jeffektivnosti proizvodstva s ispol'zovaniem optimal'nogo raspredelenija remontno-stroitel'nykh brigad s pomoshh'ju algoritma Littla. *FJeS: Finansy. Jekonomika. Strategija. Nauchno-prakticheskij i metodologicheskij zhurnal*, 2018, no.5, pp. 30-36.
26. Mishhenko V.Ja., Gorbaneva E.P., Manukovskij A.Ju., Safonov A.O. Geneticheskie algoritmy v reshenii mnogokriterial'nykh zadach optimizacii raspredelenija resursov pri planirovanii jenergosberegajushhih meroprijatij. *Nauchnyj vestnik VGASU. Stroitel'stvo i arhitektura*, 2014, no.3(35), pp.77-82.