Сокращение площади строительной площадки за счет оптимизации графиков движения рабочих

К.т.н., доцент Т.Ф. Морозова,
магистр Тяньфу Хэ,
магистрант Е.М. Петрова*,
ФГБОУ ВПО Санкт-Петербургский государственный политехнический университет

Ключевые слова: календарное планирование; строительный генеральный план; ресурсный график; оптимизация; выравнивание ресурсов; пиковые нагрузки; эвристический алгоритм

Основными организационно-технологическими документами, регламентирующими требования к строительному генеральному плану при строительстве жилищно-гражданских, сельских и промышленных объектов, являются проект организации строительства (ПОС) и проект производства работ (ППР) [1]. Эти документы разрабатываются на основании СНиП 12-01-2004 «Организация строительства», МДС 12-81-2007 «Организация строительства» и должны содержать мероприятия по наиболее эффективной организации строительства с использованием современных средств механизации и прогрессивных технологий строительного производства, способствующих улучшению качества, сокращению сроков и себестоимости работ.

ПОС и ППР обеспечивают не только высококачественное выполнение работ в заданные сроки, но и, что самое главное, безопасность строительства, поскольку содержат мероприятия по выполнению требований Технических регламентов в строительстве [2,3]. Поэтому наличие и использование в строительном производстве проектов организации строительства и проектов производства работ во многом предопределяют конкурентоспособность строительной организации [4,5].

В соответствии с МДС 12-81 -2007 проект организации строительства включает, в том числе, календарный план строительства и строительный генеральный план. Последний должен содержать:

- решения по организации следующих производственных процессов;
- санитарно-эпидемиологические и гигиенические требования;
- инженерное обеспечение территории строительства, включающее средства коммуникаций;
- требования к безопасности.

Таким образом, при проектировании стройгенплана необходимо принимать решения по широкому кругу вопросов, которые в конечном итоге определяют технико-экономические показатели проекта организации строительства. На рис. 1 представлена блок-схема проектирования строительного генерального плана.

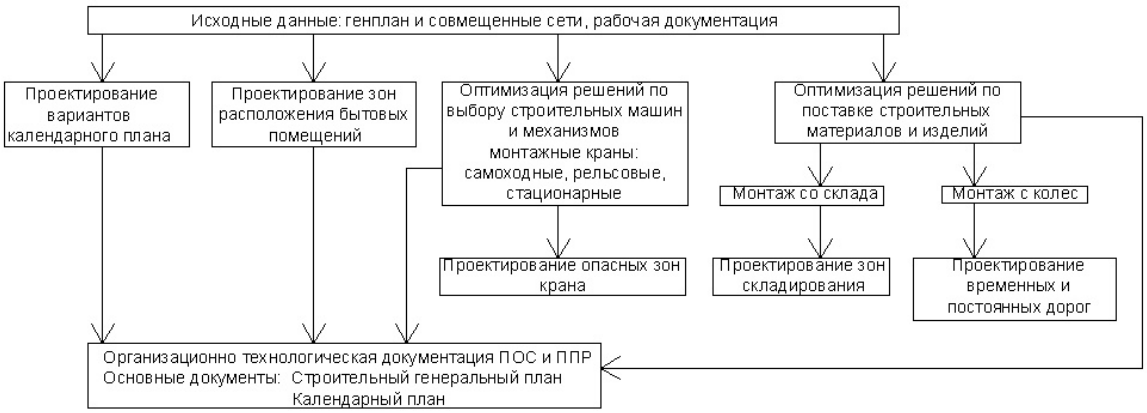

Рисунок 1. Блок-схема проектирования строительного генерального плана

Анализ норм размещения объектов строительного хозяйства при проектировании стройгенпланов [6,7] показывает достаточно сложную формализацию зависимости площади стройплощадки от конкретных параметров строительства. Поэтому подавляющее число научно-практических работ, ориентированных на поиск оптимальных решений в организации строительства, находится в сфере календарного планирования [8,9,10].

Одной из оптимизационных задач календарного планирования является опосредованная минимизация площади строительной площадки через минимизацию максимума графика движения рабочих [6]. В данной статье предлагается методика минимизации ресурсных пиков за счет вариации ресурсных профилей.

Задачи календарного планирования, целью которых являлось воздействие на график неравномерности использования ресурсов, ставились и решались ранее. При этом под распределяемыми ресурсами понимаются рабочие или проектировщики различных специальностей. Эти ресурсы обладают свойством возобновляемости и относятся к ресурсам 2 рода (нескладируемых и возобновляемых). Предполагается, что каждая отдельная работа потребляет, как правило, один вид таких ресурсов. На интенсивность потребления ресурса определенного вида отдельной работой могут накладываться различные ограничения.

Каждому календарному плану реализации комплекса и каждому из распределяемых ресурсов соответствует функция, выражающая суммарную интенсивность потребления ресурса в каждый момент времени. Целевую функцию полагают «ступенчатой», т.е. постоянной на каждом элементарном промежутке времени (день, неделя, месяц и т.д.).

Количественный показатель неравномерности использования ресурса, является, как правило, средней оценкой. При необходимости учета двух и более видов ресурсов используются два способа.

В первом способе выравнивания сначала учитывают лишь один (в каком-то смысле наиболее важный) вид ресурса и оптимизируют его использование. Затем, фиксируя достигнутое значение показателя использования этого ресурса, переходят к учету следующего (в соответствии с принятым приоритетом). При этом выбирают календарные планы, оптимизирующие использование второго ресурса и не ухудшающие (или ухудшающие не более чем на заданную величину) показатель качества использования первого вида ресурса и т.д.

При втором способе выравнивания применяются «взвешенные» показатели качества использования всего множества учитываемых ресурсов. Оценка значимости отдельных видов ресурсов производится путем присвоения каждому из них некоторого числового параметра (весового множителя) и построения с помощью этих параметров единого показателя качества.

Критерий выравнивания загрузки ресурсов используется в программном комплексе MS Project. При автоматическом выравнивании загрузки Project выбирает задачи, выполнение которых следует задержать или прервать, учитывая при этом такие факторы, как идентификатор задачи, имеющийся временной резерв, приоритет задачи, зависимости задачи, ограничения задачи, плановые даты.

Критерий выравнивания загрузки ресурсов с помощью комплекса MS Project соответствует целям календарного планирования на стадии стройгенплана.

Практика производства строительных работ показывает, что многие работы могут производиться с разной интенсивностью или разным набором профилей ресурсов в MS Project.

Как показано в исследовании [6], вариации профилей ресурсов позволяют снизить пиковые значения ресурсных профилей. При этом предлагается алгоритм полного перебора возможных профилей ресурсов для работ, составляющих пиковые нагрузки. Для целей практического проектирования календарных планов и графиков движения рабочих в составе ПОС нами предлагается эвристический алгоритм перебора профилей ресурсов для пиковых нагрузок, основанный на методах статистического моделирования. Алгоритм предполагает перебор ограниченного числа вариантов и выбор лучшего по критерию пиковых значений ресурсов. Применение алгоритма позволяет найти приемлемое решение за короткое время.

Примем интенсивности работ (профили загрузки) L переменными поставленной задачи.

Исследование вариации профилей загрузки в целях снижения пиковых значений, выполненных в работе [6], показали, что целесообразно использовать четыре профиля – загрузка в начале, загрузка в конце, черепаха, плоский. Пусть профиль обозначается следующим образом:

$$L = \begin{Bmatrix} 1 - \text{профиль "загрузка в начале"} \\ 2 - \text{профиль "загрузка в конце"} \\ 3 - \text{профиль "черепаха"} \\ 4 - \text{профиль "плоский"} \end{Bmatrix}. \quad (1)$$

Пусть ζ – случайная величина, равномерно распределенная в промежутке $[0;1]$.

Полагаем:

$$L = \begin{cases} 1, если\ \zeta \in [0;1/4] \\ 2, если\ \zeta \in [1/4;2/4] \\ 3, если\ \zeta \in [2/4;3/4] \\ 4, если\ \zeta \in [3/4;1] \end{cases}. \quad (2)$$

Эффективность изменения интенсивности оценивается путем расчета и сравнительного анализа вариантов при различных значениях интенсивности тех или иных работ. Методика выравнивания ресурсных пиков для календарных планов в составе стройгенплана:

1) определение ресурсного пика работ при стандартном (заданном по умолчанию) плоском профиле ресурсов;
2) применение к полученному на первом шаге календарному плану стандартной процедуры MS Project выравнивания загрузки ресурсов;
3) определение строительных работ ресурсного пика;
4) оценка ресурсного пика графика движения рабочих;
5) осуществление перебора профилей ресурсов по формуле (2).

Рассчитывается 20 вариантов календарных планов и выбирается лучший по критерию:

$$R_{пик} \to \min, \quad (3)$$

где $R_{пик}$ представляет сумму работ (r), образующих ресурсный пик в зависимости от принятых ресурсных профилей L.

В результате работы алгоритма получим множество различных расписаний. Вычисляемое для каждого такого расписания значение функции $R_{пик}$ – минимальной загрузки используемых ресурсов – служит критерием, по которому следует сравнивать полученные расписания.

Результаты расчета календарного плана с вариацией ресурсных профилей по предложенному алгоритму и методике на примере бизнес-центра представлены на рис. 2-5.

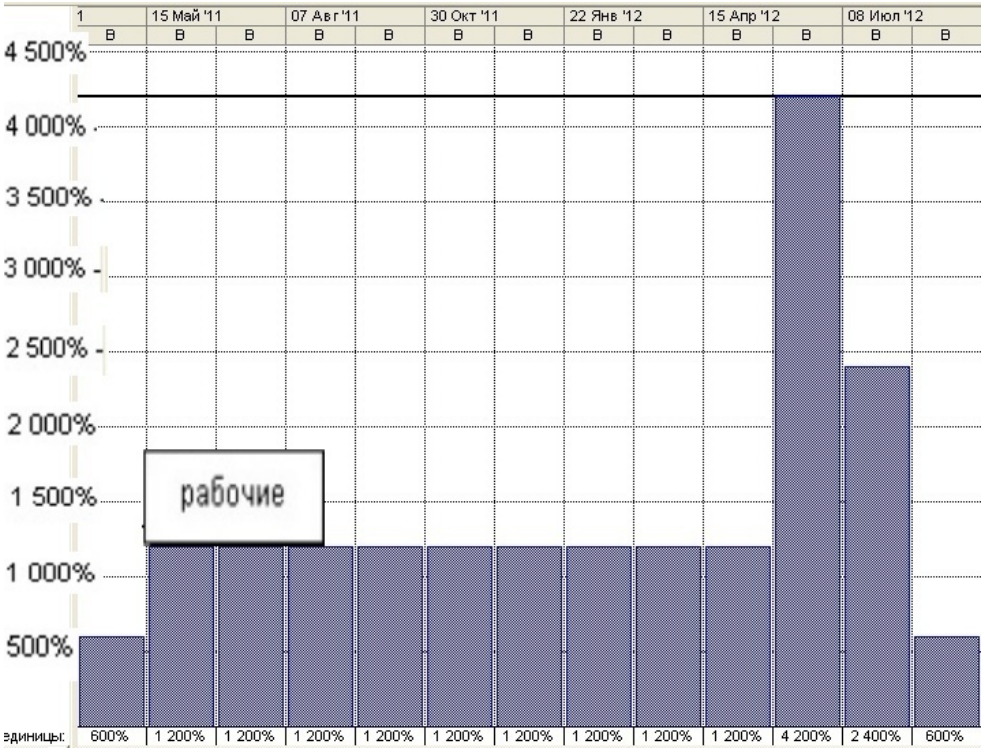

Рисунок 2. Неоптимизированный график движения рабочих при расчете по методу критического пути (МКР)

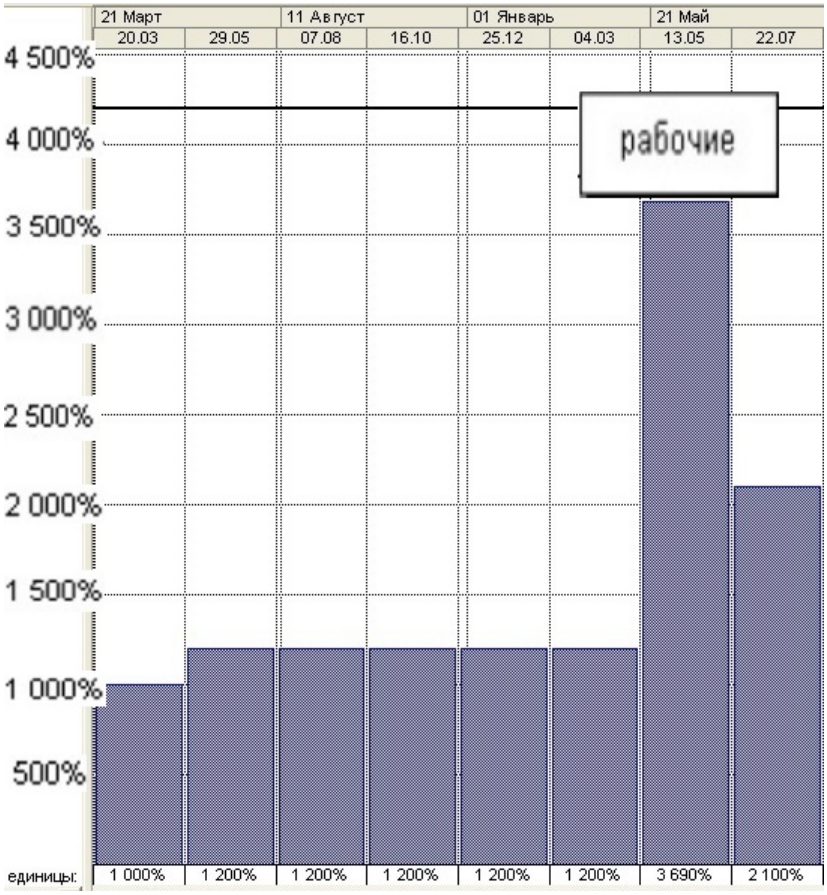

Рисунок 3. Оптимизированный график движения рабочих при методе МКР

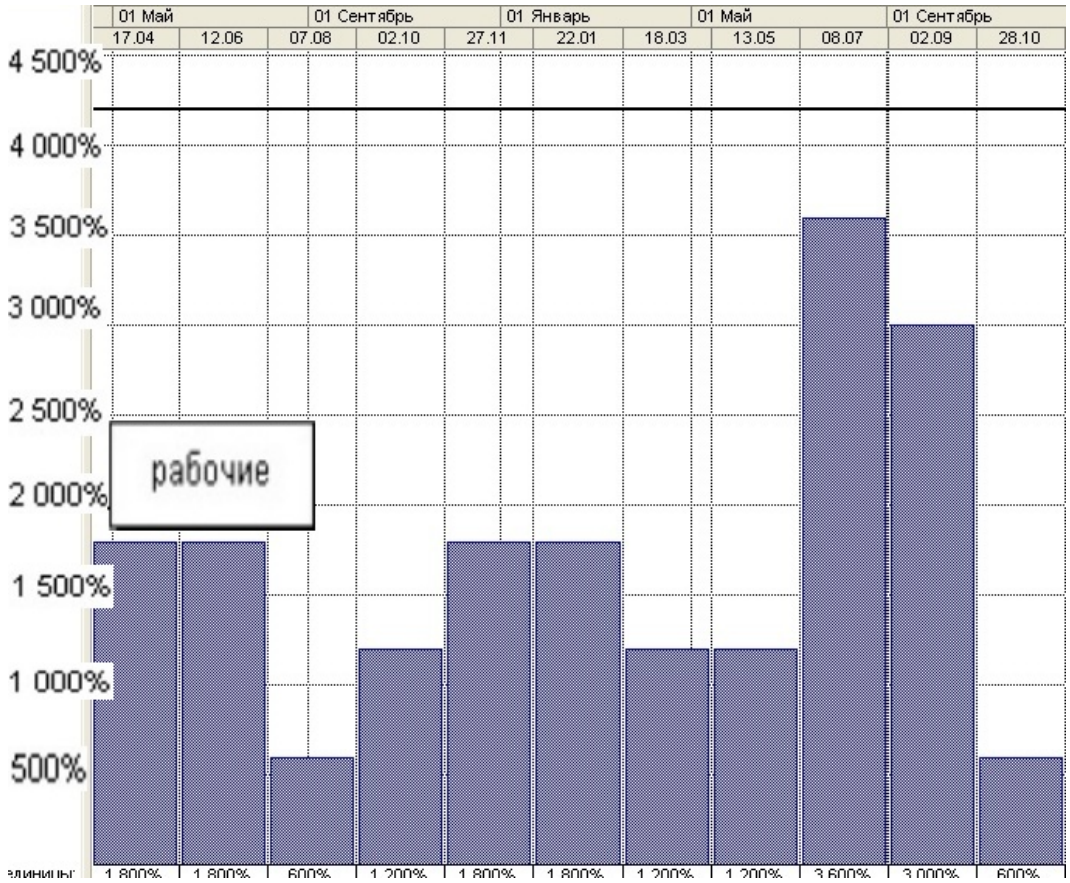

Рисунок 4. Неоптимизированный график движения рабочих при расчете по методу непрерывного использования ресурсов (НИР)

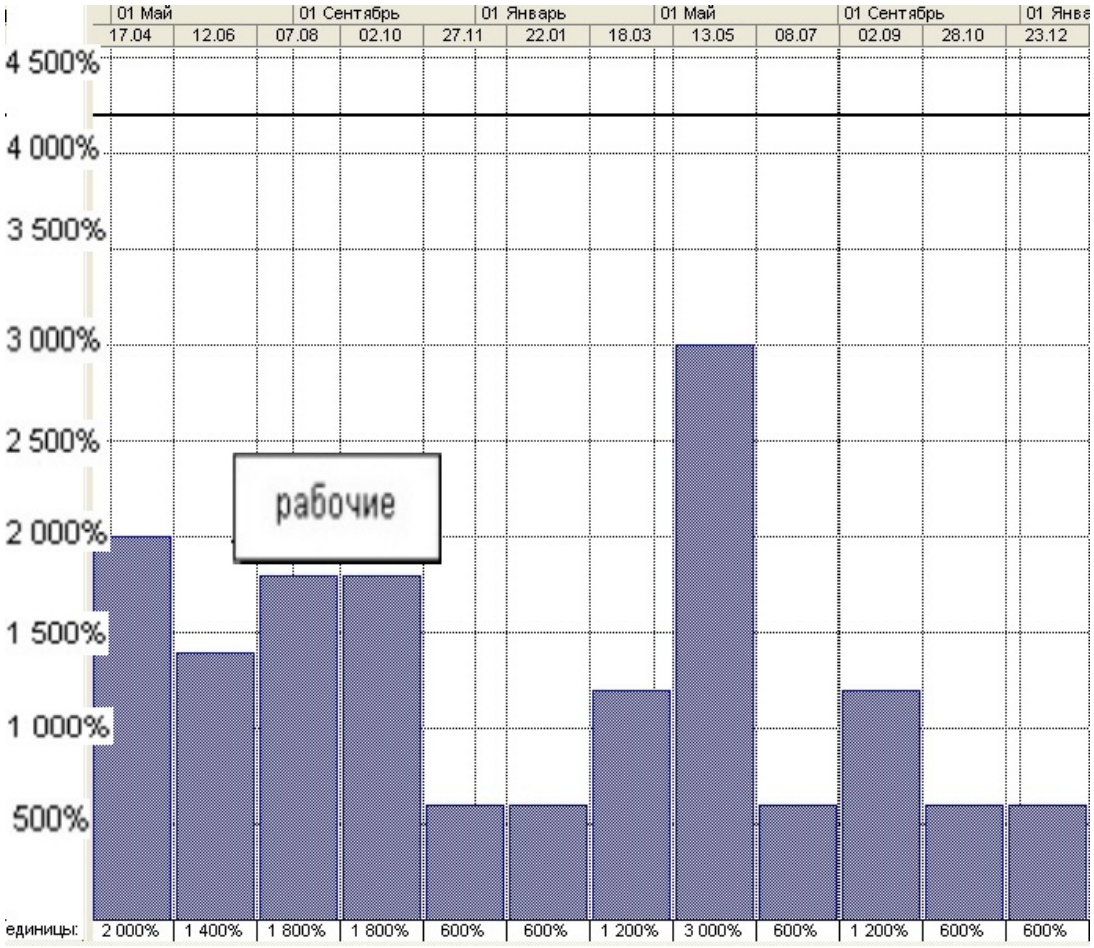

Рисунок 5. Оптимизированный график движения рабочих при методе НИР

Результаты расчета 20 вариантов представлены в таблице 2.

Таблица 2. Результаты расчета

№ варианта	Величина ресурсного пика по методу МКР	Величина ресурсного пика по методу НИРС
1	42	35
2	41	31
3	42	31
4	37	30
5	41	35
6	42	35
7	37	30
8	40	35
9	41	35
10	41	30

Использование методики и алгоритма вариации профилей ресурсов позволило снизить пиковые нагрузки в календарном плане, построенном методом с критического пути, на шесть человек, а в календарном плане, построенном методом непрерывного использования ресурсов, на пять человек. Это составляет примерно 10% от первоначального неоптимизированного ресурсного пика.

Определим число сокращаемых ресурсов и связанную с ним денежную экономию на основании данных примера:

$$R=R_{нач}-R_{опт}, \quad (4)$$

где $R_{нач}$ – начальный (дооптимизационный) ресурсный пик;
$R_{опт}$ – оптимизированный ресурсный пик.

Средняя потребность во временных зданиях и сооружениях составляет 1.8 кв. м/чел.

Сокращение ресурсного пика на 10% привело к сокращению временных административно-бытовых зданий на 11 кв.м. Принимаем аренду земли согласно [7] 22000 руб./м^2.

Исключая полученную площадь из арендуемой на строительство площади, получаем оценку экономического эффекта на данный объект:

$$11м^2 \cdot 22000(м^2 / год) \cdot 2года = 484000руб./объект.$$

Выводы

1. Предложен эвристический алгоритм и методика минимизации ресурсных пиков за счет вариации ресурсных профилей, включающая режим диалога и компьютерные технологии MS Project.
2. Снижение пиковых нагрузок позволит минимизировать площадь строительной площадки и приведет к экономии ресурсов.
3. На примере конкретного объекта получены оптимизированные графики движения рабочих и рассчитан экономический эффект.

Литература

1. Дикман Л. Г. Организация строительного производства. М. : АСВ, 2003. 512 с.
2. Асаул А. Н., Барановская Н. И. Экономика строительства. М. : АСВ, СПбГАСУ, 2004. 175 с.
3. Бовтеев С. В., Еременко В. П. Управление проектами в строительстве: Учеб. пособие / СПбГАСУ. СПб., 2004. 424 с.
4. Богданов В. В. Управление проектами в Microsoft Project: учебный курс. СПб. : Питер, 2003. 640 с.
5. Kahkonen K. Project Management Software Packages-Exam – pies from Recent Trends and Developments // Project Management. 1995. Vol.18, No.3. Pp. 18-20.
6. Болотин С. А. Анализ потенциальных возможностей проектирования оптимального строительного генерального плана // Известия высших учебных заведений. Строительство. 2008. №4. С. 30-33.
7. Малкин М. М. Оптимизация графика движения рабочих в календарных планах методом вариации ресурсных профилей: дис. канд. техн. наук: 05.23.08. Санкт-Петербург. 2010 .149 с.
8. Абдуллаев Г. И. Влияние организационно-технологических факторов на эффективность управления строительством сооружений // Инженерно-строительный журнал. 2011. №2. С. 52-54.
9. Заренков В. А. Управление проектами. М. : АСВ, 2006. 312 с.
10. Виленский П. Л., Лившиц В. Н. Оценка эффективности инвестиционных проектов. Теория и практика. М. : Дело, 2001. 832 с.

** Елена Михайловна Петрова, Санкт-Петербург, Россия*

Тел. моб.: +7(904)616-82-04; эл. почта: elen_p88@mail.ru

Building side area minimization at the expense of optimization the schedule of movement of workers

T.F. Morozova,
Tyanfu Khe,
Ye.M. Petrova,
Saint-Petersburg State Polytechnical University, Saint-Petersburg, Russia
+7(904)616-82-04; эл. почта: elen_p88@mail.ru

Key words

calendar planning; the schedule of movement of workers; investment and construction project; master plan; resource graph; optimization; alignment of resources; random number; peak loads; heuristic algorithm

Abstract

The article analyzes the current methodology of master plan constructing. The requirements of building sides areas minimization in the constrained city conditions lead to the increasing significance of reducing peak values of resource demands in the schedule of movement of workers.

The article offers heuristic algorithms and methods to reduce peak loads in the schedule of movement of workers. The algorithm is based on the methods of statistical modeling and involves a limited number of sorting options and choose the best by the criterion of peak values of resources.

The method takes into account the mode of dialogue and possibilities of the program MS Project. Techno-economic assessment of proposed optimization solutions master plan is submitted.

The proposed calculation method is considered by the example of a business center.

References

1. Dikman L.G. *Organizatsiya stroitelnogo proizvodstva* [Construction industry organization]. Moscow: ACB, 2003. 512 p. (rus)
2. Asaul A.N., Baranovskaya N.I. *Ekonomika stroitelstva* [Economy of building]. Moscow: ACB, SPbGASU, 2004. 175 p. (rus)
3. Bovteev S. V., Eremenko V.P. *Upravleniye proyektami v stroitelstve: ushchebnoye posobiye* [Project management in building: tutorial]. Saint-Petersburg: SPbGASU, 2004. 424p. (rus)
4. Bogdanov V.V. *Upravlenie proektami v Microsoft Project: ushchebnyy kurs* [Project management using Microsoft Project: training course]. Saint-Petersburg: Piter, 2003. 640 p. (rus)
5. Kahkonen K. *Project Management*. 1995. Vol.18, No.3. Pp.18-20.
6. Bolotin S.A. *Izvestiya vysshikh uchebnykh zavedeniy. Stroitelstvo* [University News. Construction]. 2008. №4. Pp.30-34. (rus)
7. Malkin M.M. *Optimizatsiya grafika dvizheniya rabochikh v kalendarnykh planakh metodom variatsii resursnykh profiley* [Optimization of the workers schedules by the method of resource profiles variation]. Dissertation of candidate of technical sciences: 05.23.08. Saint-Petersburg. 2010. 149 p. (rus)
8. Abdullayev G.I. *Magazine of civil engineering*. 2011. №2(20). Pp. 52-54. (rus)
9. Zarenkov V.A. *Upravlenie proektami* [Project management]. Moscow: ACB, 2006. 312 p. (rus)
10. Vilenskiy P.L., Livshits V.N. *Otsenka effektivnosti investitsionnykh proyektov. Teoriya i praktika* [Evaluating the effectiveness of investment projects. Theory and Practice]. Moscow: Delo, 2001. 832 p. (rus)

Full text of this article in Russian: pp. 76-81