

## Применение методики организационно-технического моделирования на примере реконструкции учебного корпуса ВУЗа

*И.Ю. Зильберова, А.О. Вонгай, Д.М. Тальников*

*Донской Государственный Технический Университет, Ростов-на-Дону*

**Аннотация:** Организационно-технологическое моделирование в применении к процессам реконструкции зданий ВУЗов основывается на разделении моделей на структурную и функциональную составляющие – модель пространственно-технологической структуры и функциональную модель процесса реконструкции здания ВУЗов. В статье рассмотрена организация рабочей площадки с технологической последовательностью протекания рабочих процессов. С учетом этого были составлены графы работ по этапам, показывающие возможность параллельного производства работ, а также показаны предшествующие им необходимые работы. На основании этого сделан вывод об эффективности применения методики организационно-технического моделирования для повышения организационной эффективности.

**Ключевые слова:** технологический процесс, реконструкция, здание ВУЗа, ресурсно-технологический модуль, энергосбережение, повышение энергетической эффективности, конструктивный элемент, сетевой график, оргграф, рабочая операция.

Приняв за основу простые технологические процессы (далее – ТП), представляется возможным создать модель пространственно-технологической структуры [1,2]. Входящие в неё операции состоят из элементов, которые, в свою очередь, представляются ресурсно-технологическими модулями (далее – РТМ). Модулями является ресурс ТП, выполняющий работу в объёме сменной выработки. Организационно-технологическая модель анализируется на уровне ТП [3,4].

Выделение рабочих операций, взаимосвязи рабочих операций, пространственные характеристики РТМ определяются организационно-техническими модулями. Составление расписаний работ производится на организационно-технологической модели и решает задачу выбора количества исполнителей [5]. Также в ней определяется продолжительность РТМ [6-8].

Исследование проводилось на примере утепления ограждающих конструкций. Единица измерения объёмов – квадратный метр поверхности

фасада. Эффективность ТП при формировании РТМ характеризуется следующими показателями:

- нормы затрат труда;
- время простоев;
- состав исполнителей и т.д.

Повышение организационной эффективности ТП достигается путём наблюдений за работой исполнителей, замены неэффективных операций или приёмов в них.

Недостаток этого подхода заключается в том что исходные данные не могут полноценно показать эффективность работы, ввиду того что работа исполнителей оценивается не в начале работ, а по мере производства работ. Организационно-технологическое моделирование значительно устраняет эти недостатки [9]. Ниже рассмотрен пример применения РТМ ТП утепления ограждающих конструкций здания учебно-лабораторного корпуса №5. Технологическая структура РТМ ТП утепление ограждающих конструкций здания представлена в таблице №1.

Таблица №1

Технологическая структура РТМ для утепления фасадов здания

№	Рабочая операция	Состав, чел	Обозначение операций	Последовательность
1	2	3	4	5
1	Устройство инвентарного ограждения	Плотники: 4 разр. -1 2 разр. – 1 Подсобный рабочий 1 разр. - 1	$f_1$	$m_1$
2	Установка наружных инвентарных лесов высотой до 16 м:	Монтажники: 4 разр. -1 3 разр. – 2 2 разр. - 1	$f_2$	$m_2$
3	Очистка поверхности стен	Термоизолировщик 3 разряд - 1	$f_3$	$m_4$

1	2	3	4	5
---	---	---	---	---



4	Подъём лебёдки на 5-й этаж	Такелажники: 3 разр. – 1 2 разр. - 1	$f_4$	$m_3$
5	Разметка мест постановки анкеров	Монтажник 3 разр. - 1	$f_5$	$m_6$
6	Сверление отверстий для постановки анкеров перфоратором	Монтажник 3 разр. - 1	$f_6$	$m_7$
7	Установка распорного анкера и его предварительного затяжка	Монтажник 3 разр. - 1	$f_7$	$m_8$
8	Установка кронштейнов	Монтажник 3 разр. - 1	$f_8$	$m_9$
9	Подъём каркаса	Подсобные рабочие 2 разряд.-1	$f_9$	$m_5$
10	Установка и выверка направляющей	Монтажник 3 разр. - 1	$f_{10}$	$m_{10}$
11	Постановка соединит. болтов для крепления кронштейнов и направляющих	Монтажник 3 разр. - 1	$f_{11}$	$m_{11}$
12	Полная затяжка анкеров	Монтажник 3 разр. - 1	$f_{12}$	$m_{12}$
13	Разметка мест установки дюбелей	Монтажник 3 разр. - 1	$f_{13}$	$m_{15}$
14	Сверление отверстий для крепления теплоизоляции	Монтажник 3 разр. - 1	$f_{14}$	$m_{16}$
15	Подъём теплоизоляционных плит	Такелажники: 3 разр. – 1 2 разр.- 2	$f_{15}$	$m_{13}$
16	Установка теплоизоляционных плит	Теплоизолирующие: 4 разр. - 1 3 разр. - 1 2 разр. - 1	$f_{16}$	$m_{17}$
17	Установка дюбелей для крепления теплоизоляционных плит	Монтажник 3 разр. - 1	$f_{17}$	$m_{18}$
18	Подъём облицовочных плит	Подсобник: 2 разряд - 2	$f_{18}$	$m_{14}$

1	2	3	4	5
---	---	---	---	---

19	Переноска грузов требующих особой осторожности	Подсобник: 2 разряд - 2	$f_{19}$	$m_{19}$
20	Установка облицовочных плит	Монтажник 3 разр. - 1	$f_{20}$	$m_{20}$
21	Снятие лебедки	Такелажники: 3 разр. - 1 2 разр.- 2	$f_{21}$	$m_{21}$
22	Разборка наружных инвентарных лесов	Монтажник по монтажу стальных и ж/б конструкций: 4 разр. - 1 3 разр.- 2 2 разр.- 1	$f_{22}$	$m_{22}$
23	Демонтаж временного ограждения	Плотники: 4 разр. - 1 2 разр. - 1 Подсобный рабочий 1 разр. - 1	$f_{23}$	$m_{23}$
24	Погрузо-разгрузочные работы при автомобильных перевозках: Погрузка мусора строительного с погрузкой экскаваторами емкостью ковша до 0,5 м <sup>3</sup>	Подсобник: 1 разряд - 1	$f_{24}$	$m_{24}$
25	Перевозка грузов автомобилями-самосвалами грузоподъемностью 10 т	Водитель самосвала - 1	$f_{25}$	$m_{25}$

Далее была построена матрица тех. последовательности. В ней отражены результаты оценивания последовательности рабочих операций в парных сравнениях. В данной матрице учтены неопределённости – независимость, невозможность определения последовательности и т.д.

Путём математической постановки решилась задача упорядочения рабочих операций.

Построен граф  $M = (T, R)$ , где  $M = \{f_i \mid i=1, \dots, 24\}$ ,  $R = \{(f_i, f_j) \mid f_i \ll f_j\}$ ,

где символ « $\wedge$ » отражает порядок в операциях, то есть  $f_i \wedge f_j$  тогда, когда  $f_i$  предшествует  $f_j$ . Построим граф в виде матрицы, в которой вводится отношение порядка. Найдём последовательность  $(b_i)$ , которая является перестановкой другой последовательности  $(f_i)$ , такую, чтобы из  $b_i \wedge b_j$  следовало, что  $i < j$ .

Порядок «&» определяется экспертными оценками – методом парного сравнения каждого из элементов последовательности  $(f_i)$  с остальными [9,10]. Результаты сравнения заносятся в матрицу связей между элементами последовательности  $(f_i)$ . Матрица рабочих операций изображена на рис. 1.

Обозначим элемент матрицы, находящийся на  $f_i$ -й строке и в  $f_j$ -м столбце, за  $f_{ij}$ .

	$f_1$	$f_2$	$f_3$	$f_4$	$f_5$	$f_6$	$f_7$	$f_8$	$f_9$	$f_{10}$	$f_{11}$	$f_{12}$	$f_{13}$	$f_{14}$	$f_{15}$	$f_{16}$	$f_{17}$	$f_{18}$	$f_{19}$	$f_{20}$	$f_{21}$	$f_{22}$	$f_{23}$	$f_{24}$	$f_{25}$	
$f_1$	0	1	?	1	#	#	?	#	1	#	#	1	#	#	1	#	#	1	?	#	1	#	1	#	#	
$f_2$	0	0	1	?	1	#	#	1	#	1	#	1	1	#	1	1	#	?	1	?	1	1	1	1	#	#
$f_3$	?	0	0	#	1	1	1	1	#	1	#	#	1	1	#	?	1	#	#	1	#	1	1	1	1	
$f_4$	0	?	#	0	#	#	#	#	1	#	#	#	#	1	#	#	1	1	#	1	#	#	*	#		
$f_5$	#	0	0	#	0	*	*	1	#	1	1	*	1	?	#	?	1	#	1	1	#	#	#	#	#	
$f_6$	#	#	0	#	*	0	*	1	#	1	1	*	?	#	#	1	?	#	#	1	#	1	1	#	#	
$f_7$	?	#	0	#	*	*	0	1	#	1	?	*	1	#	#	1	1	#	#	1	#	1	1	#	#	
$f_8$	#	0	0	#	0	0	0	0	#	*	*	*	1	1	#	1	1	#	#	1	#	1	1	#	#	
$f_9$	0	#	#	0	#	#	#	#	0	1	*	#	#	#	1	1	1	1	#	1	1	1	#	1	1	
$f_{10}$	#	0	0	#	0	0	0	*	0	0	*	*	1	1	#	1	1	#	#	1	#	1	1	?	#	
$f_{11}$	#	#	#	#	0	0	?	*	*	*	0	*	1	1	#	1	#	#	#	1	#	1	1	#	#	
$f_{12}$	0	0	#	#	*	*	*	*	#	*	*	0	1	1	#	1	1	#	#	1	#	1	1	#	#	
$f_{13}$	#	0	0	#	0	?	0	0	#	0	0	0	0	*	#	1	*	#	#	1	#	1	#	#	#	
$f_{14}$	#	#	0	#	?	#	#	0	#	0	0	0	*	0	*	*	*	#	#	1	#	1	#	1	1	
$f_{15}$	0	0	#	0	#	#	#	#	0	#	#	#	#	*	0	1	1	1	1	1	1	1	#	1	#	#
$f_{16}$	#	0	?	#	?	0	0	0	0	0	0	0	0	*	0	0	*	#	#	1	1	1	1	1	1	
$f_{17}$	#	#	0	#	0	?	0	0	0	0	#	0	*	*	0	*	0	#	#	1	1	1	1	#	#	
$f_{18}$	0	?	#	0	#	#	#	#	0	#	#	#	#	#	0	#	#	0	*	*	1	#	1	#	#	
$f_{19}$	?	0	#	0	0	#	#	#	#	#	#	#	#	#	0	#	#	*	0	*	*	#	#	?	#	
$f_{20}$	#	#	0	#	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	*	*	0	#	1	1	1	#	
$f_{21}$	0	0	#	0	#	#	#	#	0	#	#	#	#	#	0	0	0	0	*	#	0	#	1	#	#	
$f_{22}$	#	0	0	#	#	0	0	0	0	0	0	0	0	0	#	0	0	#	#	0	#	0	1	1	1	
$f_{23}$	0	0	0	#	#	0	0	0	#	0	0	0	#	#	0	0	0	0	#	0	0	0	0	1	1	
$f_{24}$	#	#	0	*	#	#	#	#	0	?	#	#	#	0	#	0	#	#	?	0	#	0	0	0	*	
$f_{25}$	#	#	0	#	#	#	#	#	0	#	#	#	#	0	#	0	#	#	#	#	#	0	0	*	0	

Рис. 1. – Матрица связей

Элементы  $f_{ij}$  означают следующее:

- 1, если  $(f_i, f_j)$  принадлежит  $R$ , то есть  $f_i \wedge f_j$ ;
- 0, если  $(f_j, f_i)$  принадлежит  $R$  то есть  $f_j \wedge f_i$ .

Для описания неопределённости введены:

- #, если  $(f_i, f_j)$  не принадлежит  $R$  &  $(f_j, f_i)$  не принадлежит  $R$ ;
- \*, если в  $(f_i, f_j)$  один из элементов является составной частью другого;
- ?, если взаимосвязь между простой и составной операцией не поддаётся определению.

По результатам этой матрицы построен граф, исключая составные операции и разбит на слои в тех. последовательности. Он показан на рис. 2.

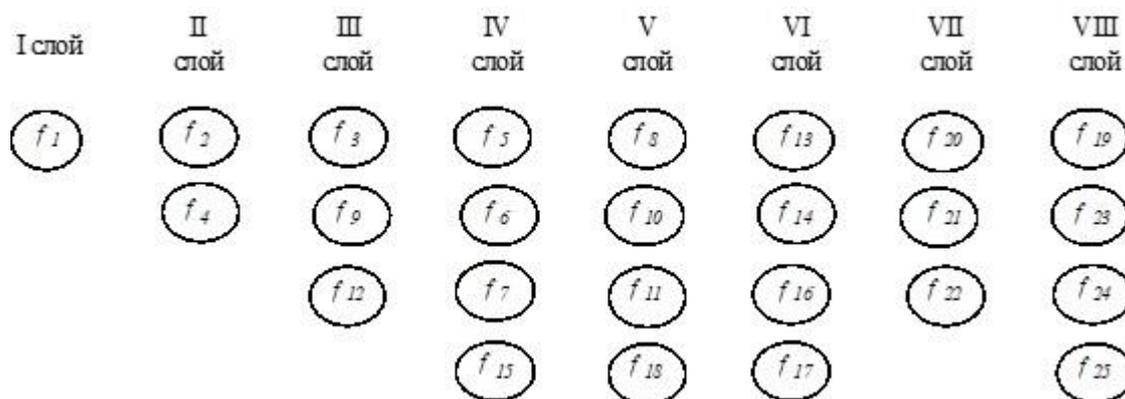


Рис. 2. – Граф технологической структуры ТП

Из-за того что связей между операциями множество, каждый элемент был обособлен, и к нему составлен граф необходимых выполненных работ, который отображён на рис. 3.

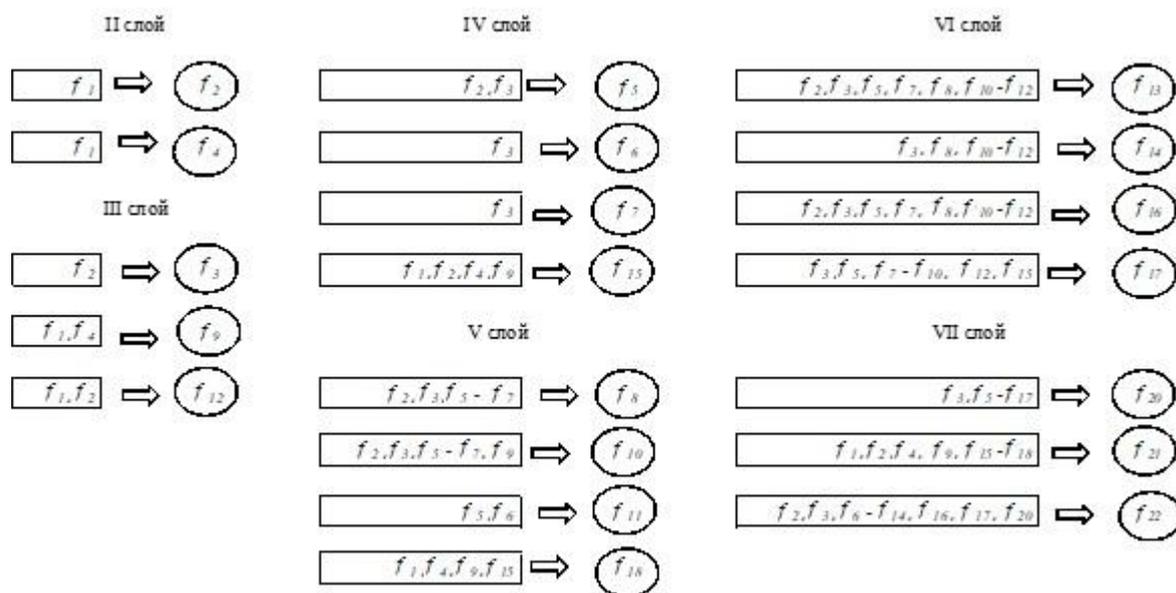


Рис. 3. – Отношение предшествующих операций к рассматриваемым по слоям графа технологической структуры ТП

В каждом слое были выделены те операции, которые технологически независимы и могут выполняться параллельно. Устранены следующие ошибки:

- Операция  $f_{12}$  является составной, включающей в себя операции  $f_5 - f_8, f_{10}, f_{11}$ . Она должна выполняться после первых трех слоев;
- операция  $f_{19}$  является составной. Она не может выполняться после седьмого слоя;
- операции  $f_{20}$  и  $f_{22}$  не являются составными. Они не могут выполняться параллельно;
- устранены циклы.

С учётом вышесказанного составлен граф (рис. 4) и внесены соответствующие изменения в табл. 1.

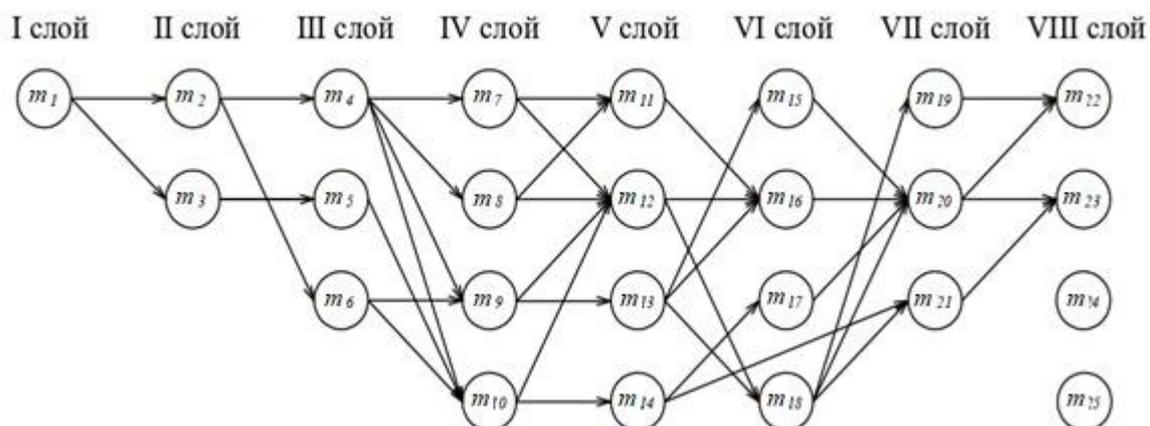


Рис. 4. – Граф технологической структуры ТП после корректировки

Список исполнителей (таблица 1) принят как заданный. Задача решается на организационно-технологической модели технологического процесса РТМ.

Исходя из графа на рис. 4, построим граф ресурсной эквивалентности (Рис. 5).

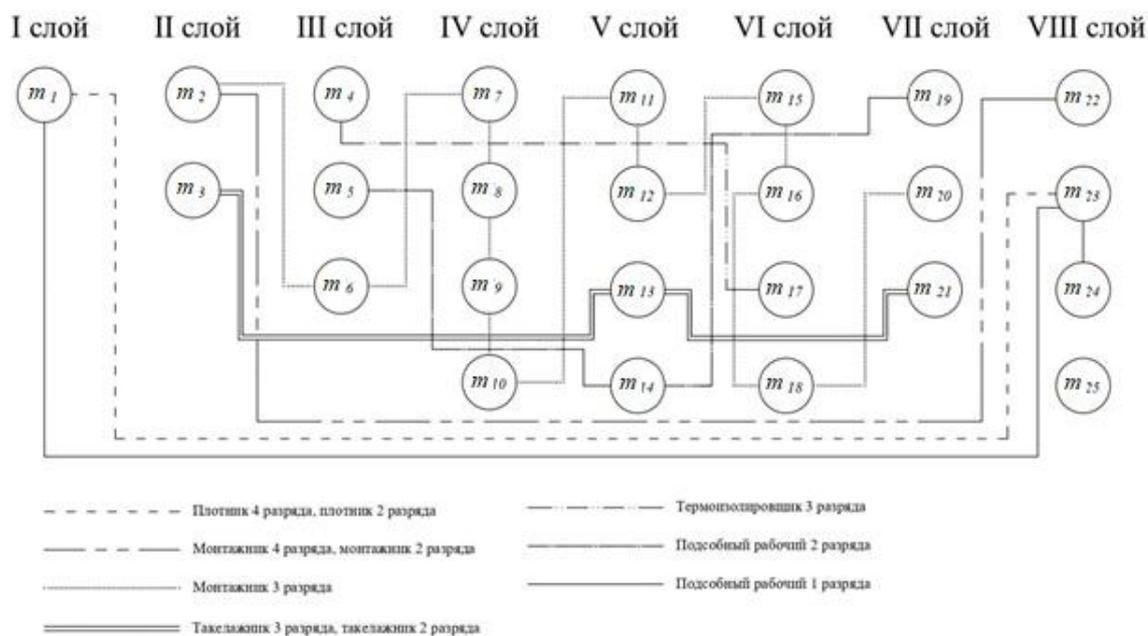


Рис. 5. – Структура распределения трудовых ресурсов ТП

Таким образом, с помощью организационно-технологической модели определили основные показатели организационной эффективности ТП:

- общая продолжительность рабочих операций ТП ресурсно-технологического модуля;
- Продолжительность работы без простоев;
- возможные простои каждого исполнителя.

Проведенные расчеты показали, что внедрение методики организационно-технологического моделирования реконструкции ВУЗов с учетом применения ЭЭМ на основе принципов формирования ресурсных и технологических модулей, позволяет повысить организационную эффективность до 25%, за счет сокращения общей продолжительность рабочих операций ТП ресурсно-технологического модуля на 10% и сокращения возможных простоев трудового ресурса (каждого исполнителя) на 20%.

### Литература

1. Бенаи Х.А. Основы формирования архитектуры зданий и сооружений нового поколения при комплексной реконструкции // Вестник КРСУ. 2019. Т. 19. № 8. С. 111-115.
2. Данилова О.Л., Костюченко П.А. Практическое пособие по выбору и разработке энергосберегающих проектов. - М.: Технопромстрой, 2006. - 668 с.
3. Грахов В.П., Мохначев С.А., Манохин П.Е. и др. Особенности формирования проектов реконструкции агропромышленных предприятий // Современные проблемы науки и образования. - 2015. - №1, 517 с.
4. Халимов И.О., Халимов О.З., Смольникова Р.Р. Реконструкция зданий как продление жизненного цикла недвижимости // Международная научно-практическая конференция «Приоритетные направления развития науки и образования» Чебоксары: ЦНС «Интерактив плюс», 2015. – С. 239-241.

5. Зильберова И.Ю., Вонгай А.О., Арцишевский М.Д. Моделирование энергосберегающих организационно-технологических процессов реконструкции зданий учебных учреждений // Инженерный вестник Дона, 2017, №3. URL: [ivdon.ru/ru/magazine/archive/N3y2017/4291](http://ivdon.ru/ru/magazine/archive/N3y2017/4291)

6. Грабовский П.Г., Харитонов В.А. Реконструкция и обновление сложившейся застройки города. 2 изд. - М.: Проспект, 2013. - 712 с.

7. Ревенко Н.Ф. Определение экономического эффекта от внедрения организационно-технических решений в ремонтном производстве // Математические модели и информационные технологии в организации производства, 2010, №1, с. 53-58

8. Синенко С.А., Дорошин И.Н., Гергоков И.Х. Обобщение опыта выбора организационно-технологических решений при возведении зданий // Инженерный вестник Дона, 2020, №12. URL: [ivdon.ru/ru/magazine/archive/n12y2020/6753](http://ivdon.ru/ru/magazine/archive/n12y2020/6753)

9. Zilberova I.Y., Novoselova I.V., Mailyan V.D. Modern methods for evaluating the technical and organizational-technological solutions for repair and construction production // IOP Conference Series: Materials Science and Engineering. International Scientific Conference "Construction and Architecture: Theory and Practice of Innovative Development" - Organisation and Technology of Construction Production. - 2019. - С. 055013.

10. Sheina S.G., Zilberova I.Y., Vongay A.O. Energy-saving processes simulation in reconstruction of educational institutions edifices // MATEC Web of Conferences. - 2017. - С. 00153.

### References

1. Benai H.A. Vestnik KRSU, 2019, T, 19, № 8, pp. 111-115
  2. Danilova O.L., Kostjuchenko P.A. Prakticheskoe posobie po vyboru i razrabotke jenergoberegajushhih proektov [A practical guide to the selection and development of energy saving projects]. М.: Tehnopromstroj, 2006. 668 p.
-



3. Grahov V.P., Mohnachev S.A., Manohin P.E. etc. *Sovremennye problemy nauki i obrazovaniya*, 2015, №1, p. 517.
4. Halimov I.O., Halimov O.Z., Smol'nikova R.R. *Mezhdunarodnaja nauchno-prakticheskaja konferencija «Prioritetnye napravlenija razvitija nauki i obrazovaniya»* Cheboksary: CNS «Interaktiv pljus», 2015, pp. 239-241.
5. Zil'berova I.Ju., Vongaj A.O., Arcishevskij M.D. *Inzhenernyj vestnik Dona*, 2017, №3. URL: [ivdon.ru/ru/magazine/archive/N3y2017/4291](http://ivdon.ru/ru/magazine/archive/N3y2017/4291)
6. Grabovskij P.G., Haritonov V.A. *Rekonstrukcija i obnovlenie slozhivshejsja zastrojki goroda [Reconstruction and renovation of the existing city development]*. 2 izd, M.: Prospekt, 2013, p. 712
7. Revenko N.F. *Matematicheskie modeli i informacionnye tehnologii v organizacii proizvodstva*, 2010, №1, pp. 53-58
8. Sinenko S.A., Doroshin I.N., Gergokov I.H. *Inzhenernyj vestnik Dona*, 2020, №12. URL: [ivdon.ru/ru/magazine/archive/n12y2020/6753](http://ivdon.ru/ru/magazine/archive/n12y2020/6753)
9. Zilberova I.Y., Novoselova I.V., Mailyan V.D. *IOP Conference Series: Materials Science and Engineering. International Scientific Conference "Construction and Architecture: Theory and Practice of Innovative Development" Organisation and Technology of Construction Production*, 2019, C. 055013.
10. Sheina S.G., Zilberova I.Y., Vongay A.O. *MATEC Web of Conferences*, 2017, C. 00153.