

Выявление значимости параметров, необходимых для выбора оптимального комплекта машин для производства земляных работ в условиях городской застройки

В.В. Ефимов

Национальный исследовательский Московский государственный строительный университет, Москва.

Аннотация: Для определения оптимального комплекта машин для производства земляных работ в условиях городской застройки необходимо производить многокритериальный отбор комплекта среди возможных сочетаний машин, при этом каждый параметр имеет определенный уровень влияния. Для определения веса параметров принято решение о проведении экспертного опроса. Было определено минимальное количество экспертов, проведен опрос, после чего полученные данные были обработаны, был получен уровень согласованности мнения экспертов и выявлен уровень влияния каждого параметра на выбор комплектов машин.

Ключевые слова: параметры, влияющие на выбор комплектов машин, экспертный опрос, коэффициент конкордации Кэнделла, земляные работы, коэффициент Пирсона.

Выбор оптимального комплекта машин для производства земляных работ в условиях городской застройки является актуальной темой, так как в данный момент отсутствует единая система подбора техники. До сих пор подбор техники производится путем нахождения нескольких подходящих по производительности машин и выбирается наиболее дешевая. В данный момент эта технология выбора комплектов машин, особенно при производстве земляных работ, устарела.

Поэтому для усовершенствования метода подбора оптимального комплекта машин для производства земляных работ в условиях городской застройки необходимо решить следующие задачи:

1. Выявить основные параметры, влияющие на выбор машин.

2. Провести, в рамках метода экспертных оценок, опрос с определением минимального количества экспертов, а также определением коэффициента согласованности экспертов (коэффициент конкордации Кэнделла) и оценкой значимости коэффициента конкордации (критерий согласованности Пирсона).

3. Определить значимые параметры и их весовые коэффициенты.

Путем анализа научной и научно-технической литературы были выявлены основные параметры, влияющие на выбор оптимального комплекта машин для производства земляных работ, в условиях городской застройки [1-3]:

Производительность машин (x1)

Квалификация рабочих (x2)

Проработанность организационно-технологических документов (x3)

Наличие техники у производителя работ (x4)

Экологический класс двигателя внутреннего сгорания машины (x5)

Техническое состояние техники (x6)

Возможность арендовать технику (x7)

Стоимость комплекта (x8)

Характеристика грунтов (x9)

Геометрические размеры котлована (x10)

Объем перемещаемого грунта (x11)

Стесненность строительной площадки (x12)

Вибрационное воздействие на существующую застройку в результате работы машин (x13)

Шумовое воздействие на существующую застройку в результате работы машин (x14)

Пылевое воздействие на существующую застройку в результате работы машин (x15)

Температура наружного воздуха (x16).

Данные параметры попали в анкету для проведения экспертного опроса.

Для определения минимального количества экспертов воспользовались данными статей [4-6], согласно которым для проведения априорного ранжирования 16 параметров достаточно 5 экспертов. В данном исследовании был проведен опрос 22 экспертов.

Оценку степени значимости параметров эксперты производят путем присвоения им рангового номера. Фактору, которому эксперт дает наивысшую оценку, присваивается ранг 1. Если эксперт признает несколько факторов равнозначными, то им присваивается одинаковый ранговый номер. На основе данных анкетного опроса составляется сводная матрица рангов [7-8] (Таблица №1).

Таблица №1

Матрица рангов

Ф а к т о р ы / Э к с п е р т ы	1	2	3	4	5	6	7	8	9	10	11	12	13	14	15	16	17	18	19	20	21	22	С у м м а р а н г о в	d
	I	2	3	4	5	6	7	8	9	10	11	12	13	14	15	16	17	18	19	20	21	22		
x ₁	15	12	16	13	16	16	16	15	13	13	16	16	13	15	12	16	15	14	16	16	13	13	32 0	13 3

I	2	3	4	5	6	7	8	9	10	11	12	13	14	15	16	17	18	19	20	21	22	23	24	25
x ₂	2	13	10	9	15	9	15	13	9	14	14	15	8	14	7	15	12	16	3	15	10	11	24 9	62
x ₃	8	11	7	12	14	5	14	14	11	16	6	14	9	16	16	11	16	13	6	14	9	9	25 1	64
x ₄	11	16	6	8	13	7	13	10	16	10	5	13	10	13	5	14	14	9	14	13	16	16	25 2	65
x ₅	3	8	5	5	12	4	12	12	7	8	7	12	5	12	4	9	7	1	13	12	8	3	16 9	- 18
x ₆	9	6	9	6	9	10	11	9	10	11	4	11	16	11	3	10	13	7	10	11	7	8	20 1	14
x ₇	10	7	11	10	10	8	10	11	8	9	3	10	7	10	13	12	1	6	8	10	15	15	20 4	17
x ₈	14	15	15	11	11	12	9	8	15	1	2	9	6	9	14	8	2	15	15	9	11	14	22 5	38
x ₉	13	10	4	16	6	15	8	5	12	12	13	8	12	8	6	7	10	5	11	8	14	12	21 5	28
x ₁₀	12	4	14	14	8	14	7	7	6	4	12	7	15	7	8	6	11	12	2	7	6	10	19 3	6
x ₁₁	16	14	12	15	7	13	6	2	4	5	15	6	14	6	10	13	8	10	12	6	12	7	21 3	26
x ₁₂	7	9	13	7	4	11	5	16	14	15	11	5	11	5	15	3	9	11	9	5	5	6	19 6	9
x ₁₃	6	3	8	4	5	6	4	3	5	7	10	4	4	4	9	4	4	8	5	4	4	5	11 6	- 71
x ₁₄	5	2	2	3	3	2	3	4	3	6	9	3	3	3	11	2	6	3	4	3	3	4	87	- 10 0
x ₁₅	4	1	1	2	2	3	2	6	2	3	8	2	2	2	2	5	5	2	7	2	2	2	67	- 12 0
x ₁₆	1	5	3	1	1	1	1	1	1	2	1	1	1	1	1	1	3	4	1	1	1	1	34	- 15 3
Σ	13 6	13 6	13 6	13 6	13 6	13 6	13 6	13 6	13 6	13 6	13 6	13 6	13 6	13 6	13 6	13 6	13 6	13 6	13 6	13 6	13 6	13 6	29 92	

где

$$d = \sum x_{ij} - \frac{\sum \sum x_{ij}}{n} = \sum x_{ij} - 187$$

d – отклонение суммы рангов от средней арифметической суммы рангов;

x_{ij} – ранг;

n – количество исследуемых параметров.

Проверка правильности составления матрицы на основе исчисления контрольной суммы:

$$\sum x_{ij} = \frac{(1+n) \cdot n}{2} = \frac{(1+16) \cdot 16}{2} = 136$$

Суммы по столбцам матрицы равны между собой и контрольной.

Следующий этап - это оценка средней степени согласованности мнений всех экспертов(коэффициент конкордации Кэнделла)

$$W = \frac{12 \cdot S}{m^2 \cdot (n^3 - n)}$$

где:

S -суммирование квадратов отклонения суммы рангов от средней арифметической суммы рангов,

n –количество исследуемых параметров,

m – количество экспертов

$$W = \frac{12 \cdot 86534}{22^2 \cdot (16^3 - 16)} = 0.526$$

Так как $W \geq 0.5$, то существует согласованности мнений экспертов.

Далее необходимо провести оценку значимости коэффициента конкордации.

Для этой цели исчислим критерий согласования Пирсона:

$$\chi^2 = \frac{12 \cdot S}{m \cdot n \cdot (n + 1)} = n \cdot (m - 1) \cdot W$$

$$\chi^2 = 22 \cdot (16 - 1) \cdot 0.526 = 175.53$$

Вычисленный коэффициент Пирсона χ^2 сравним с табличным значением для числа степеней свободы $K = 15$ и при заданном уровне значимости $\alpha = 0.05$.

Так как χ^2 расчетный $173.53 \geq$ табличного (24.99579), то $W = 0.526$ – величина не случайная, а потому полученные результаты имеют смысл и могут использоваться в дальнейших исследованиях.

С целью определения значимых факторов, необходимо убрать из общего списка факторы, которые относятся к факторам «шумового поля» [9–10]. Для этого необходимо ранжировать по фактору, у которого наибольшая сумма рангов. Верхняя граница уровня «шумового поля» - примерно 20% от основного фактора. Также необходимо определить вес параметра. Для этого необходимо общие факторы разделить на общую сумму рангов (данные расчета представлены в таблице №2)

Таблица №2

Определение уровня шумового поля и веса параметров

Факторы	x ₁	x ₂	x ₃	x ₄	x ₅	x ₆	x ₇	x ₈	x ₉	x ₁₀	x ₁₁	x ₁₂	x ₁₃	x ₁₄	x ₁₅	x ₁₆
Сумма рангов	320	249	251	252	169	201	204	225	215	193	213	196	116	87	67	34
%	100,0	77,8	78,4	78,8	52,8	62,8	63,8	70,3	67,2	60,3	66,6	61,3	36,3	27,2	20,9	10,6
Вес параметра	0,107	0,083	0,084	0,084	0,056	0,067	0,068	0,075	0,072	0,065	0,071	0,066	0,039	0,029	0,022	0,011

Выводы:

1. Путем анализа литературы и опыта подбора комплектов машин были выявлены основные шестнадцать параметров, влияющих на выбор машин.
2. Был проведен экспертный опрос, в рамках которого определено, что минимальное количество экспертов по проведению опроса для

априорного ранжирования шестнадцати параметров - 5 человек, а также, что данные проведенного экспертного опроса могут быть использованы в исследовании, путем определения коэффициента согласованности экспертов (коэффициент конкордации Кэнделла) и оценки значимости коэффициента конкордации (критерий согласованности Пирсона).

3. Были определены значимые параметры (x_1-x_{14}), а также их весовые коэффициенты, которые могут быть использованы в дальнейшем исследовании (см. Таблица №2).

Литература

1. Кузьмина Т.К., Ефимов В.В. Выбор оптимальной землеройнотранспортной машины при вертикальной планировке строительной площадки // БСТ №1 (1001), 2018 С. 62-64.

2. Ключникова О.В., Цыбульская А.А., Шаповалова А.Г. Основные принципы выбора типа и количества строительных машин для комплексного производства работ // Инженерный вестник Дона. - 2016, №3. URL: ivdon.ru/uploads/article/pdf/R_13_Kluchnikova

3. Олейник П.П., Ефимов В.В. Система ограничений комплекта машин для земляных работ в условиях реновации городской застройки // Строительное производство. 2020. № 4. С. 58-62.

4. Бешелев С. Л., Гурвич Ф.Г. Математико-статистические методы экспертных оценок. – Москва : Статистика, 1980. – 263 с.

5. Скляр В.А. Организация и математическое планирование эксперимента: учебное пособие. – Екатеринбург: Издательские решения, 2017. – 92 с.

6. Загорская А.В., Лапину А.А. Применение методов экспертной оценки в научном исследовании. Необходимое количество экспертов // Строительное производство. 2020. № 3. С. 21-34.

7. Lapidus A., Khubaev A., Bidov T. Organizational and technological solutions justifying use of non-destructive methods of control when building monolithic constructions of civil buildings and structures // MATEC Web of Conferences. 2018. V. 251. № 05014 (2018) URL: matec-conferences.org/articles/matecconf/pdf/2018/110/matecconf_ipicse2018_05014.pdf

8. Бидов Т.Х., Аветисян Р.Т. Формирование производственно-технологических модулей // Известия Тульского государственного университета. Технические науки. 2019. № 12. С. 496-498.

9. Олейник П.П. Организация строительного производства: Научное издание. – М.: Издательство АСВ, 2010. – 576 с.

10. Кабанов В.Н., Система документального обеспечения строительства // Инженерный вестник Дона, 2019, №4. URL: ivdon.ru/ru/magazine/archive/n4y2019/5915

11. Oleinik P., Kuzmina T. Site preparation in agro-industrial construction // IOP Conference Series: Earth and Environmental Science. 12th International Scientific Conference on Agricultural Machinery Industry, INTERAGROMASH 2019. URL: iopscience.iop.org/article/10.1088/1755-1315/403/1/012188/pdf

References

1. Kuz'mina T.K., Efimov V.V. BST №1 (1001), 2018, pp. 62-64.
2. Kljuchnikova O.V., Cybul'skaja A.A., Shapovalova A.G. Inzhenernyj vestnik Dona. 2016, №3. URL: ivdon.ru/uploads/article/pdf/R_13_Kluchnikova
3. Olejnik P.P., Efimov V.V. Stroitel'noe proizvodstvo. 2020. № 4. pp. 58-62.
4. Beshelev S. L., Gurvich F.G. Matematiko-statisticheskie metody jekspertnyh ocenok [Mathematical and statistical methods of expert assessments]. Moskva: Statistika, 1980. 263 p.



5. Skljar V.A. Organizacija i matematičeskoe planirovanie jeksperimenta [Organization and mathematical planning of the experiment]: učeбноe posobie. Ekaterinburg: Izdatel'skie reshenija, 2017. 92 p.
6. Zagorskaja A.V., Lapidus A.A. Stroitel'noe proizvodstvo. 2020. № 3. p. 21.
7. Lapidus A., Khubaev A., Bidov T. MATEC Web of Conferences. 2018. V. 251. № 05014, 2018 URL: matec-conferences.org/articles/matecconf/pdf/2018/110/matecconf_ipicse2018_05014.pdf
8. Bidov T.H., Avetisjan R.T. Izvestija Tul'skogo gosudarstvennogo universiteta. Tehničeskie nauki. 2019. № 12. p. 496.
9. Olejnik P.P. Organizacija stroitel'nogo proizvodstva [Organization of construction production]: Nauchnoe izdanie. M.: Izdatel'stvo ASV, 2010. 576 p.
10. Kabanov V.N. Inženernyj vestnik Dona, 2019, №4. URL: ivdon.ru/ru/magazine/archive/n4y2019/5915
11. Oleinik P., Kuzmina T. IOP Conference Series: Earth and Environmental Science. 12th International Scientific Conference on Agricultural Machinery Industry, INTERAGROMASH 2019. 2019. URL: iopscience.iop.org/article/10.1088/1755-1315/403/1/012188/pdf