

НАУЧНАЯ СТАТЬЯ / RESEARCH PAPER

УДК 69.05

DOI: 10.22227/2305-5502.2024.3.119-130

Вариативные подходы к оценке технологичности при производстве работ по устройству строительных систем

Елена Анатольевна Король, Анна Геннадьевна Дудина, Рима Сергеевна Петросян
*Национальный исследовательский Московский государственный строительный
университет (НИУ МГСУ); г. Москва, Россия*

АННОТАЦИЯ

Введение. На данный момент в научных исследованиях технологичность строительных конструкций, проектных решений, производства работ и эксплуатации зданий и сооружений определяется различными количественными и качественными показателями. Данные показатели образуют совокупность оценочных критериев, позволяющую оценить уровень технологичности строительных систем на разных этапах. Подходы к оценке технологичности могут быть разнообразны в зависимости от исходных показателей технологичности и целей конечного результата.

Материалы и методы. В основу положено исследование вариативных подходов к оценке технологичности при производстве работ по устройству строительных систем, базирующихся на применении факторных моделей детерминированного анализа. Рассмотрены следующие ключевые факторные модели: аддитивная, мультипликативная, кратная и смешанная (комбинированная). Установлены и проанализированы вариации результирующего показателя — индикатора технологичности на основании данных моделей при исследовании факторных признаков в абсолютных и относительных величинах.

Результаты. Выполненная систематизация вариативных подходов к оценке технологичности может служить базой для моделирования уровня технологичности строительных систем на различных этапах жизненного цикла в зависимости от факторных признаков процессов, а также основой для формирования методологической базы по комплексной оценке технологичности при производстве работ по устройству строительных систем.

Выводы. При рассмотренных вариативных подходах в большинстве случаев расчеты индикаторов технологичности показали, что факторные признаки при производстве строительных систем обеспечивают взаимное влияние на базу начисления результирующего показателя. В рамках подходов, основанных на применении детерминированного факторного анализа при оценке технологичности, последующим этапом выступает исследование и анализ изменения индикатора технологичности при производстве работ по устройству строительных систем как результирующего показателя.

КЛЮЧЕВЫЕ СЛОВА: технологичность, строительные системы, оценка технологичности, детерминированный факторный анализ, мультипликативная модель, строительное производство

ДЛЯ ЦИТИРОВАНИЯ: Король Е.А., Дудина А.Г., Петросян Р.С. Вариативные подходы к оценке технологичности при производстве работ по устройству строительных систем. 2024. Т. 14. Вып. 3. С. 119–130. URL: <http://nso-journal.ru>. DOI: 10.22227/2305-5502.2024.3.119-130

Автор, ответственный за переписку: Елена Анатольевна Король, KorolEA@mgsu.ru

Variable approaches to assessing manufacturability when producing work on construction systems

Elena A. Korol, Anna G. Dudina, Rima S. Petrosyan
*Moscow State University of Civil Engineering (National Research University) (MGSU);
Moscow, Russian Federation*

ABSTRACT

Introduction. At present, in scientific research, manufacturability of various types: manufacturability of building structures, manufacturability of design solutions, manufacturability of work production and manufacturability of operation of buildings and structures — are determined by various quantitative and qualitative indicators. These indicators form a set of evaluation criteria that allows assessing the level of manufacturability of building systems at various stages. Approaches to assessing manufacturability can vary depending on the initial indicators of manufacturability and the goals of the final result.

Materials and methods. The paper is based on the study of variable approaches to assessing manufacturability in the construction of building systems, based on the application of factor models of deterministic analysis. The following key factor models are considered: additive, multiplicative, multiple and mixed (combined). Variations of the resulting indicator — the indicator of manufacturability, based on these models when considering factor features in absolute and relative values are established and analyzed.

Results. The completed systematization of variable approaches to technological assessment can serve as a basis for modelling the level of technological effectiveness of construction systems at various stages of the life cycle depending on the factorial characteristics of the processes, as well as as a basis for the formation of a methodological base for a comprehensive assessment of technological effectiveness in the production of work on the installation of construction systems.

Conclusions. In the considered variable approaches, in most cases, the calculations of the indicators of manufacturability showed that the considered factor characteristics in the production of the device of building systems provide a mutual influence on the basis for calculating the resulting indicator. Within the framework of approaches based on the use of deterministic factor analysis in assessing manufacturability, the next stage is the study and analysis of the change in the indicator of manufacturability in the production of works on the device of building systems, as a result indicator.

KEYWORDS: manufacturability, construction systems, manufacturability assessment, deterministic factor analysis, multiplicative model, construction production

FOR CITATION: Korol E.A., Dudina A.G., Petrosyan R.S. Variable approaches to assessing manufacturability when producing work on construction systems. *Stroitel'stvo: nauka i obrazovanie* [Construction: Science and Education]. 2024; 14(3):119-130. URL: <http://nso-journal.ru>. DOI: 10.22227/2305-5502.2024.3.119-130

Corresponding author: Elena A. Korol, KorolEA@mgsu.ru.

ВВЕДЕНИЕ

В строительной отрасли понятие технологичности детализировано по различным этапам жизненного цикла (ЖЦ) строительных систем и определяется следующими видами: технологичность строительных конструкций, технологичность проектных решений, технологичность производства работ и технологичность эксплуатации зданий и сооружений [1]. Технологичность строительных конструкций обуславливается соответствием данных конструкций установленным требованиям технологических процессов на этапах изготовления, транспортировки, монтажа и эксплуатации [2]. Проектная технологичность обоснована выбором наиболее рационального варианта совокупности объемно-планировочных, конструктивных и организационно-технологических решений строительной системы по заданным параметрам [3]. Под строительной технологичностью понимается совокупность технологических процессов, используемых при производстве работ по устройству строительных систем и характеризующихся различными технологическими параметрами. Помимо этого, выделяется понятие «комплексная технологичность», которое объединяет в себе различные виды технологичности, охватывая несколько этапов ЖЦ строительных систем, например, от изготовления до эксплуатации объекта [4, 5].

Каждый вид технологичности устанавливает систему оценочных показателей, позволяющих выявить уровень технологичности той или иной строительной системы, выраженный определенным обобщенным показателем [6]. В качестве математического аппарата возможно использование различных методов, позволяющих установить зависимость оценочных показателей при производстве работ по устройству строительных систем от результативного значения уровня технологичности. Среди таких количественных и качественных методов оценки можно выделить: регрессивный, корреляционный, факторный анализ, а также метод экспертных оценок [7–9].

Метод экспертных оценок представляет собой универсальный подход в различных отраслях эко-

номики [10, 11], позволяющий систематизировать и упорядочить различные данные для определения конечного результата. Так, данный метод также может быть использован для оценки технологичности при производстве работ по устройству строительных систем путем ранжирования основных показателей, которые выражены как количественными значениями в абсолютных величинах, так и качественными характеристиками процесса [12–14].

При исследовании количественных показателей процесса производства строительных систем может быть применен подход, основанный на детерминированном факторном анализе, который дает возможность провести оценку и анализ его уровня технологичности. Этот метод широко распространен в экономической практике ввиду своей направленности [15], при этом также нашел применение и в технической отрасли для оценки [16] результативности решений, однако использование и адаптация данного подхода к оценке технологичности в строительстве не отражены в научных исследованиях.

МАТЕРИАЛЫ И МЕТОДЫ

В качестве вариативных подходов к оценке технологичности при производстве работ по устройству строительных систем могут использоваться приемы детерминированного факторного анализа, адаптированного под конечную цель исследования, и основанные на количественных показателях процессов. Этот анализ направлен на изучение влияния факторов на результативный показатель при наличии функциональной зависимости между факторами и показателем. Функциональная зависимость может выражаться следующими факторными моделями: аддитивной, мультипликативной, кратной и смешанной (комбинированной) [17–19].

Под факторами или факторными признаками будут выступать ключевые параметры, характеризующие и определяющие процесс производства работ по устройству строительных систем как оптимальный, рациональный и технологичный. Так, например, процесс производства работ по устройству строи-

тельных систем можно охарактеризовать основными технологическими параметрами, как продолжительность, трудоемкость и стоимость работ, которые станут факторными признаками результативного показателя — изменения технологичности. В качестве результативного показателя необходимо ввести понятие индикатора технологичности, определяющего взаимосвязь заданных факторов системы.

Далее на абстрагированном примере рассматриваются варианты определения индикаторов технологичности при производстве работ по устройству строительных систем на различных этапах с применением различных факторных моделей детерминированного анализа. В табл. 1 представлена матрица определяющих факторов на различных этапах производства строительных систем.

Рассмотрим первый вариант определения индикаторов технологичности, при котором значения факторов остаются абсолютными величинами (табл. 2).

Использование аддитивной модели, представляющей собой алгебраическую сумму нескольких факторов, нецелесообразно в связи с тем, что размерность каждого показателя не идентична. Мультипликативная модель определения индикатора технологичности отражает взаимоувязанное влияние на значение индикатора технологичности, образуя комбинированную размерность показателя. Кратную модель возможно использовать при двухфакторности анализа, которая позволяет определить результативный показатель как частное от деления двух факторов. В связи с этим для рассматриваемого примера невозможно использовать данную модель. Комбинированная модель — это совокуп-

Табл. 1. Матрица факторов в абсолютных величинах

Факторный признак	Базовые значения	Проектные значения	Фактические значения
Продолжительность работ П, дни	100	95	93
Трудозатраты Зтр., чел.-дн.	110	103	99
Стоимость С, тыс. руб.	20	19	18

Табл. 2. Расчет индикаторов технологичности при абсолютных значениях факторов

Модель	Математическая зависимость	Индикаторы технологичности		
		Базовый ИТ _б	Проектный ИТ _п	Фактический ИТ _ф
Аддитивная	Общее представление: $Y = \sum_{i=1}^n X_i = X_1 + X_2 + \dots + X_n.$ Частное представление: ИТ = П + Зтр. + С	230	217	210
Мультипликативная	Общее представление: $Y = \prod_{i=1}^n X_i = X_1 \cdot X_2 \cdot \dots \cdot X_n.$ Частное представление: ИТ = П · Зтр. · С	220 000	185 915	165 726
Кратная	Общее представление: $Y = \frac{X_1}{X_2}$	Для данной трехфакторной системы не применима		
Смешанная (комбинированная)	Общее представление: $Y = (X_1 + X_2) \cdot X_3$ или $Y = \frac{X_1 \cdot X_2}{X_3}.$ Частное представление: ИТ = (П + Зтр.) · С или $ИТ = \frac{П \cdot Зтр.}{С}$	4200 550	3762 515	3456 512

ность математических комбинаций из трех ранее рассмотренных моделей и может иметь различные формы представления, в связи с чем значение индикатора технологичности будет варьироваться.

Далее рассмотрим второй вариант определения индикаторов технологичности, при котором значения факторов представляют собой относительные величины. Поскольку эти факторы имеют различные единицы измерения, целесообразно привести их к относительному или долевого показателю с изменением в диапазоне от единицы до установленного минимума или максимума. При переводе

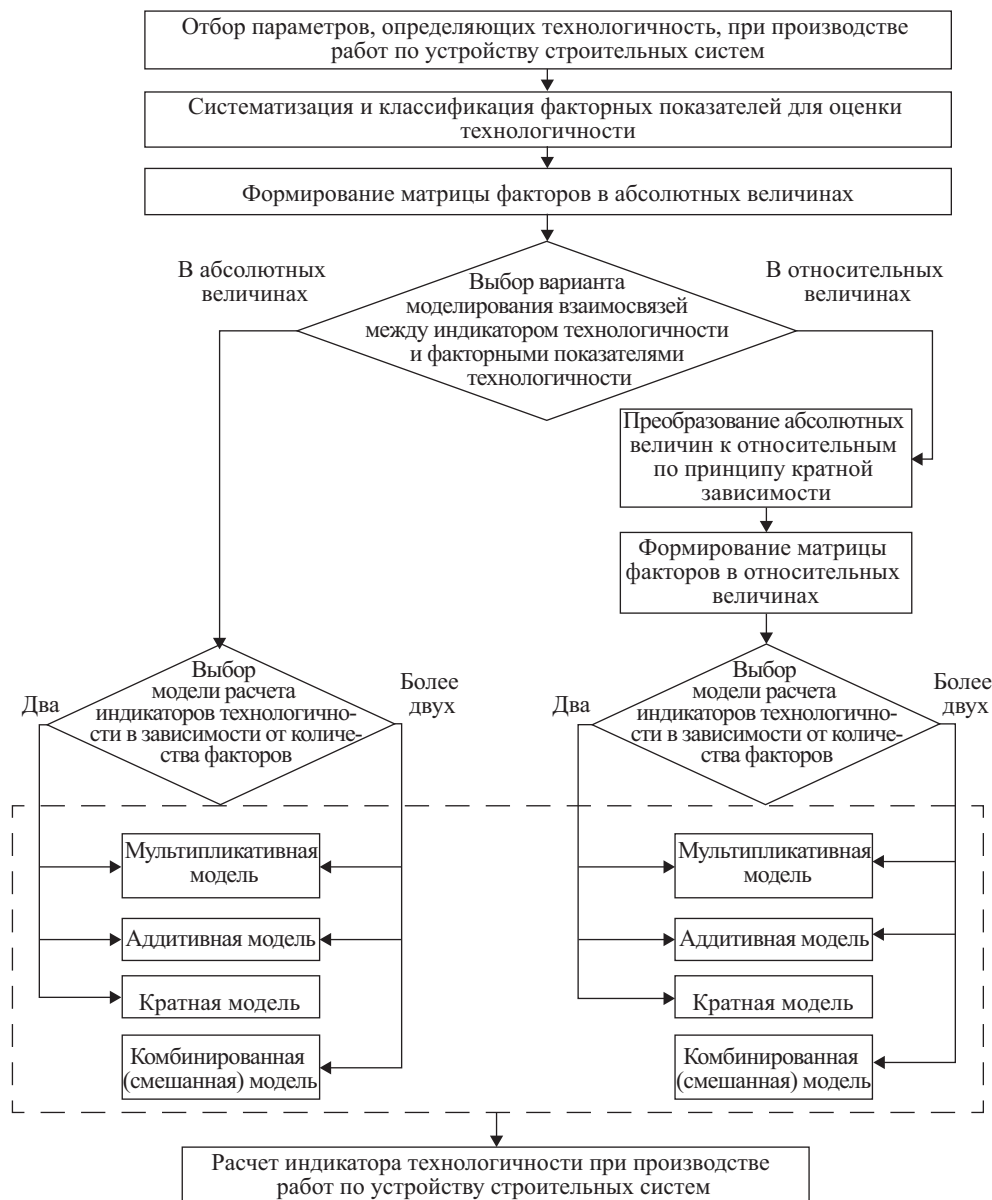
абсолютных величин к относительным значениям целесообразно основываться на кратности последующего показателя или фактора при производстве работ по устройству строительных систем всегда к первичному базовому или нормативному значению параметра технологичности, который принимается равным единице. Данный принцип применим в тех случаях, если формируемая матрица факторов охватывает несколько этапов процесса. При рассмотрении и сравнении факторов по двум выборочным этапам процесса возможно присвоение значения единицы любому фактору для установления даль-

Табл. 3. Преобразованная матрица факторов в относительные величины

Факторный признак	Базовые значения	Проектные значения	Фактические значения
Продолжительность работ П, доли ед.	1	0,95 (Пример расчета: 95/100 = 0,95)	0,93 (Пример расчета: 93/100 = 0,93)
Трудозатраты Зтр., доли ед.	1	0,94 (Пример расчета: 103/110 = 0,94)	0,90 (Пример расчета: 99/110 = 0,90)
Стоимость С, доли ед.	1	0,95 (Пример расчета: 19/20 = 0,95)	0,90 (Пример расчета: 19/20 = 0,95)

Табл. 4. Расчет индикаторов технологичности при относительных значениях факторов

Модель	Математическая зависимость	Индикаторы технологичности		
		Базовый ИТ _б	Проектный ИТ _п	Фактический ИТ _ф
Аддитивная	Общее представление: $Y = \sum_{i=1}^n X_i = X_1 + X_2 + \dots + X_n$. Частное представление: ИТ = П + Зтр. + С	1	2,84	2,73
Мультипликативная	Общее представление: $Y = \prod_{i=1}^n X_i = X_1 \cdot X_2 \cdot \dots \cdot X_n$ или $Y = 1 - (1 - X_1) \cdot (1 - X_2) \cdot \dots \cdot (1 - X_n)$. Частное представление: ИТ = П · Зтр. · С	1	0,84835	0,7533
	или ИТ = 1 – (1 – П) · (1 – Зтр.) · (1 – С)	1	0,99985	0,9993
Кратная	Общее представление: $Y = \frac{X_1}{X_2}$	Для данной трехфакторной системы не применима		
Смешанная (комбинированная)	Общее представление: $Y = (X_1 + X_2) \cdot X_3$ или $Y = \frac{X_1 \cdot X_2}{X_3}$. Частное представление: ИТ = (П + Зтр.) · С	2	1,7955	1,647
	или ИТ = $\frac{П \cdot Зтр.}{С}$	1	0,94	0,93



Блок-схема последовательности выбора подходов оценки технологичности при производстве работ по устройству строительных систем на основе факторных моделей детерминированного анализа

нейшего соотношения величин. В табл. 3 приведена преобразованная матрица принятых факторов для оценки технологичности согласно табл. 1 в относительные величины.

Аналогично первому варианту рассмотрим второй вариант определения индикаторов технологичности по этапам, при котором значения факторов преобразованы в относительные величины (табл. 4).

При значениях факторов, выраженных относительными единицами, предполагается, что аддитивная модель расчета индикаторов технологичности подразумевает, что факторы влияют независимо друг от друга на индикатор технологичности, тем самым совокупно повышая или понижая его. При данной модели индикаторы технологичности равны или больше единицы. Мультипликативная модель расчета индикаторов технологичности предполагает,

что каждый фактор обеспечивает взаимное влияние на базу начисления друг друга.

РЕЗУЛЬТАТЫ ИССЛЕДОВАНИЯ

На основании рассмотренных вариативных подходов к оценке технологичности при производстве работ по устройству строительных систем сформирована общая блок-схема последовательности выбора подходов оценки технологичности при производстве работ по устройству строительных систем на основе моделей детерминированного факторного анализа, представленная на рисунке.

ЗАКЛЮЧЕНИЕ И ОБСУЖДЕНИЕ

Главной неопределенностью применения моделей факторного анализа при рассмотрении пока-

зателей технологичности в абсолютных значениях является неустановленная размерность результата — индикатора технологичности. При использовании абсолютных значений факторов при оценке технологичности строительных систем на различных этапах ЖЦ необходимо обобщить большой объем различных показателей и унифицировать размерность каждого индикатора технологичности по видам и типам строительных систем для возможности проведения дальнейшего анализа и установления степени влияния каждого фактора. При относительных значениях заданных показателей технологичности при производстве работ по устройству строительных систем две модели — аддитивная и мультипликативная — в полной мере

позволяют определить индикатор технологичности с учетом факторных признаков и степени их влияния.

Изменение индикатора технологичности при производстве работ по устройству строительных систем, как результативного показателя, будет отражать изменение хотя бы одного из параметров, выступающих факторными признаками, что при развитии данных подходов к оценке технологичности позволит устанавливать и измерить влияние параметров технологичности на результирующий показатель [20–22]. Более технологичным будет приниматься вариант, в котором улучшен хотя бы один из параметров-факторов в сравнении с другим рассматриваемым вариантом или этапом ЖЦ производства строительных систем.

СПИСОК ИСТОЧНИКОВ

1. Король Е.А., Дудина А.Г., Петросян Р.С. Систематизация понятийного аппарата технологичности строительных систем в научно-методической литературе // Жилищное строительство. 2024. № 7. С. 32–37. DOI: 10.31659/0044-4472-2024-7-32-37. EDN QQXDUH.

2. Колчеданцев Л.М., Ульшин А.Н. Повышение комплексной технологичности стальной стержневой конструкции путем совершенствования конструктивно-технологического решения // Жилищное строительство. 2015. № 1. С. 27–29. EDN RIEKIK.

3. Верстов В.В., Гайдо А.Н. Обоснование выбора рациональных способов устройства свайных фундаментов по критерию технологичности в различных условиях строительства // Монтажные и специальные работы в строительстве. 2013. № 4. С. 6–12.

4. Лебедев В.М., Ломтев И.А. Определение технологичности проектов строительства и реконструкции объектов // Вестник Белгородского государственного технологического университета им. В.Г. Шухова. 2017. № 11. С. 80–83. DOI: 10.12737/article_5a001ab5b736a5.52602351. EDN ZUJXQB.

5. Гайдуков П.В., Пугач Е.М. Структура комплексной технологичности несъемной опалубки перекрытий // Вестник евразийской науки. 2022. Т. 14. № 1. EDN ERGZSV.

6. Ульшин А.Н. Исследование количественных показателей технологичности изготовления и монтажа стальных конструкций // Вестник гражданских инженеров. 2012. № 2 (31). С. 148–154. EDN PAQQEX.

7. Zavadskas E.K., Turskis Z., Šliogerienė J., Vilutienė T. An integrated assessment of the municipal buildings' use including sustainability criteria // Sustainable Cities and Society. 2021. Vol. 67. P. 102708. DOI: 10.1016/j.scs.2021.102708

8. Лебедев В.М. Системокванты комплексной технологичности строительных конструкций // Вестник Белгородского государственного техноло-

гического университета им. В.Г. Шухова. 2015. № 6. С. 112–113. EDN ULFTRH.

9. Лялин Д.А., Пугач Е.М. Технологичность возведения железобетонных каркасов многоэтажных зданий // Вестник евразийской науки. 2022. Т. 14. № 2. С. 40. EDN EMIOFU.

10. Sosunova D.Y., Karimov B.A. Determination of the optimal type of transport for transporting goods along the route Baku (Azerbaijan) — Shanghai (China) using the method of expert assessments // Вестник Академии гражданской авиации. 2023. № 3 (30). С. 51–56. DOI: 10.53364/24138614_2023_30_3_51. EDN NXCSNX.

11. Кузьмина Т.К., Самарин П.И., Шаманова Л.К., Ледовских Л.И. Выявление факторов, влияющих на проведение строительного контроля на этапе отделочных работ, методом экспертной оценки // Инженерный вестник Дона. 2023. № 8 (104). С. 262–271. EDN PTYGUV.

12. Гайдуков П.В., Пугач Е.М. Оценка комплексной технологичности несъемной опалубки перекрытий // Вестник евразийской науки. 2022. Т. 14. № 4. С. 5. EDN APKXJP.

13. Сайманова О.Г., Бялькина Е.Ю. Оптимизация методов организации работ в строительстве // Инновационные стратегии развития управления в строительстве и городском хозяйстве. 2018. С. 172–177. EDN XPGJJZ.

14. Иванов В.Н., Трофимова Л.С. Учет неопределенности спроса при моделировании взаимосвязи параметров машин и качества технологических процессов в дорожном строительстве // Строительные и дорожные машины. 2012. № 3. С. 25–28. EDN VIZVQF.

15. Bogachkova L.Yu., Baybakova K.A. Application of the index method of factor analysis to studying the rates of territorial energy intensity increase (the case of macroregions of the Russian Federation) // Modern Economics:

Problems and Solutions. 2020. No. 12 (132). Pp. 163–173. DOI: 10.17308/meps.2020.12/2501. EDN FKAALL.

16. Щитов С.В., Кидяева Н.П., Митрохина О.П., Кузнецов Е.Е. Использование математических численных методов при обосновании выбора модели зерноуборочной техники // АгроЭкоИнфо. 2017. № 2 (28). С. 8. EDN ZCQUPB.

17. Петров А.М., Антонова О.В. Методические приемы детерминированного факторного анализа // Kant. 2016. № 1 (18). С. 123–128. EDN VRELZV.

18. Зайнутдинова Е.Д. Методика факторного анализа в продажах // Инновации и инвестиции. 2022. № 11. С. 193–195. EDN UQZMAS.

19. Dinukova O.A., Gunko N.N. Factor analysis as a modeling tool in the digital economy // Lecture Notes

in Networks and Systems. 2021. Pp. 441–447. DOI: 10.1007/978-3-030-47458-4_53

20. Митев В.Ц. Апробация усредненного метода цепных подстановок для трех- и четырехкратных и мультипликативно-кратных факторных моделей // Финансы: теория и практика. 2022. Т. 26. № 6. С. 166–174. DOI: 10.26794/2587-5671-2022-26-6-166-174. EDN WVPYVZ.

21. Mitev V. Averaged chain substitution method // Economic and Social Alternatives. 2020. Issue 4. Pp. 90–100. DOI: 10.37075/ISA.2020.4.09

22. Mitev V. Averaged chain substitution method — applicability, advantages, and disadvantages // Economic and Social Alternatives. 2021. Vol. 27. Issue 2. Pp. 127–138. DOI: 10.37075/ISA.2021.2.08

Поступила в редакцию 20 сентября 2024 г.

Принята в доработанном виде 20 сентября 2024 г.

Одобрена для публикации 20 сентября 2024 г.

ОБ АВТОРАХ: Елена Анатольевна Король — доктор технических наук, профессор, профессор кафедры жилищно-коммунального комплекса; Национальный исследовательский Московский государственный строительный университет (НИУ МГСУ); 129337, г. Москва, Ярославское шоссе, д. 26; ORCID: 0000-0002-5019-3694; KorolEA@mgsu.ru;

Анна Геннадьевна Дудина — кандидат технических наук, старший преподаватель кафедры жилищно-коммунального комплекса; Национальный исследовательский Московский государственный строительный университет (НИУ МГСУ); 129337, г. Москва, Ярославское шоссе, д. 26; ORCID: 0009-0009-0789-7061; DudinsAG@mgsu.ru;

Рима Сергеевна Петросян — старший преподаватель кафедры жилищно-коммунального комплекса; Национальный исследовательский Московский государственный строительный университет (НИУ МГСУ); 129337, г. Москва, Ярославское шоссе, д. 26; ORCID: 0000-0002-6243-0482; PetrosyanRS@mgsu.ru.

Вклад авторов:

Король Е.А. — идея, научное редактирование, нормативно-методическое обеспечение.

Дудина А.Г. — написание статьи, подготовка итоговых выводов.

Петросян Р.С. — написание статьи, подготовка итоговых выводов.

Авторы заявляют об отсутствии конфликта интересов.

INTRODUCTION

In the construction industry, the concept of manufacturability is detailed for different stages of the life cycle (LC) of building systems and is defined by the following types: manufacturability of building structures, manufacturability of design solutions, manufacturability of works and manufacturability of operation of buildings and structures [1]. The manufacturability of building structures is conditioned by the conformity of these structures to the established requirements of technological processes at the stages of manufacturing, transport, installation and operation [2]. Design manufacturability is justified by the choice of the most rational variant of a set of volume-planning, structural, organizational and technological solutions of a building system according to the given parameters [3]. Construction manufacturability is understood as a set of technological processes used in the construction of building

systems and characterized by various technological parameters. In addition, there is the concept of “complex manufacturability”, which combines various types of manufacturability, covering several stages of the life cycle of building systems, for example, from manufacturing to operation of the object [4, 5].

Each type of manufacturability establishes a system of evaluation indicators that allow to identify the level of manufacturability of a particular building system, expressed by a certain generalized indicator [6]. As a mathematical apparatus it is possible to use various methods that allow to establish the dependence of evaluation indicators in the production of works on the construction of building systems on the resultant value of the level of manufacturability. Among such quantitative and qualitative methods of assessment we can highlight: regression, correlation, factor analysis, as well as the method of expert judgement [7–9].

The method of expert judgement is a universal approach in various branches of economy [10, 11], which allows systematizing and ordering various data to determine the final result. Thus, this method can also be used to assess manufacturability in the production of works on the construction of building systems by ranking the main indicators, which are expressed as quantitative values in absolute values and qualitative characteristics of the process [12–14].

In the study of quantitative indicators of the production process of construction systems, an approach based on deterministic factor analysis can be applied, which makes it possible to assess and analyze its level of manufacturability. This method is widespread in economic practice due to its focus [15], while it has also found application in the technical industry to assess [16] the performance of solutions, but the use and adaptation of this approach to the assessment of manufacturability in construction is not reflected in scientific research.

MATERIALS AND METHODS

Deterministic factor analysis techniques, adapted to the final goal of the study and based on quantitative indicators of processes, can be used as variable approaches to assessing manufacturability in the production of works on the construction of building systems. This analysis is aimed at studying the influence of factors on the resultant indicator in the presence of functional dependence between the factors and the indicator. Functional dependence can be expressed by the following factor models: additive, multiplicative, multiple and mixed (combined) [17–19].

The factors or factor attributes will be the key parameters that characterize and define the process of work production on the construction of building systems as optimal, rational and technological. Thus, for example, the process of work production on the construction of building systems can be characterized by the main technological parameters, such as duration,

Table 1. Matrix of factors in absolute values

Factor attribute	Base values	Projected values	Actual values
Duration of works P , days	100	95	93
Labour costs Lc , man-days	110	103	99
Cost C , thousand rubles	20	19	18

Table 2. Calculation of manufacturability indicators at absolute values of factors

Model	Mathematical dependence	Indicators of manufacturability		
		Basic IM_B	Project IM_p	Actual IM_A
Additive	General Introduction: $Y = \sum_{i=1}^n X_i = X_1 + X_2 + \dots + X_n$. Private view: $IM = P + Lc + C$	230	217	210
Multiplicative	General Introduction: $Y = \prod_{i=1}^n X_i = X_1 \cdot X_2 \cdot \dots \cdot X_n$. Private view: $IM = P \cdot Lc \cdot C$	220,000	185,915	165,726
Multiple	General Introduction: $Y = \frac{X_1}{X_2}$	Is not applicable for this three-factor system		
Mixed (combined)	General Introduction: $Y = (X_1 + X_2) \cdot X_3$ or $Y = \frac{X_1 \cdot X_2}{X_3}$. Private view: $IM = (P + Lc) \cdot C$ or $IM = \frac{P \cdot Lc}{C}$	4,200	3,762	3.456
		550	515	512

Table 3. Transformed matrix of factors into relative values

Factor attribute	Base values	Projected values	Actual values
Duration of works P , fractions of units	1	0.95 (Example calculation: $95/100 = 0.95$)	0.93 (Example calculation: $93/100 = 0.93$)
Labour costs Lc , fractions of units	1	0.94 (Example calculation: $103/110 = 0.94$)	0.90 (Calculation example: $99/110 = 0.90$)
Cost C , fraction of units	1	0.95 (Example calculation: $19/20 = 0.95$)	0.90 (Example calculation: $19/20 = 0.95$)

labour intensity and cost of works, which will be factor attributes of the resultant indicator — changes in manufacturability. As a resultant indicator, it is necessary to introduce the concept of manufacturability indicator, which determines the relationship between the given factors of the system.

Further on the abstract example, the variants of determining the indicators of manufacturability in the production of works on the construction of building sys-

tems at different stages with the use of different factor models of deterministic analysis are considered. Table 1 presents the matrix of determining factors at different stages of construction systems production.

Let us consider the first variant of determining the indicators of manufacturability, in which the values of factors remain absolute values (Table 2).

The use of an additive model, which is an algebraic sum of several factors, is inappropriate due to

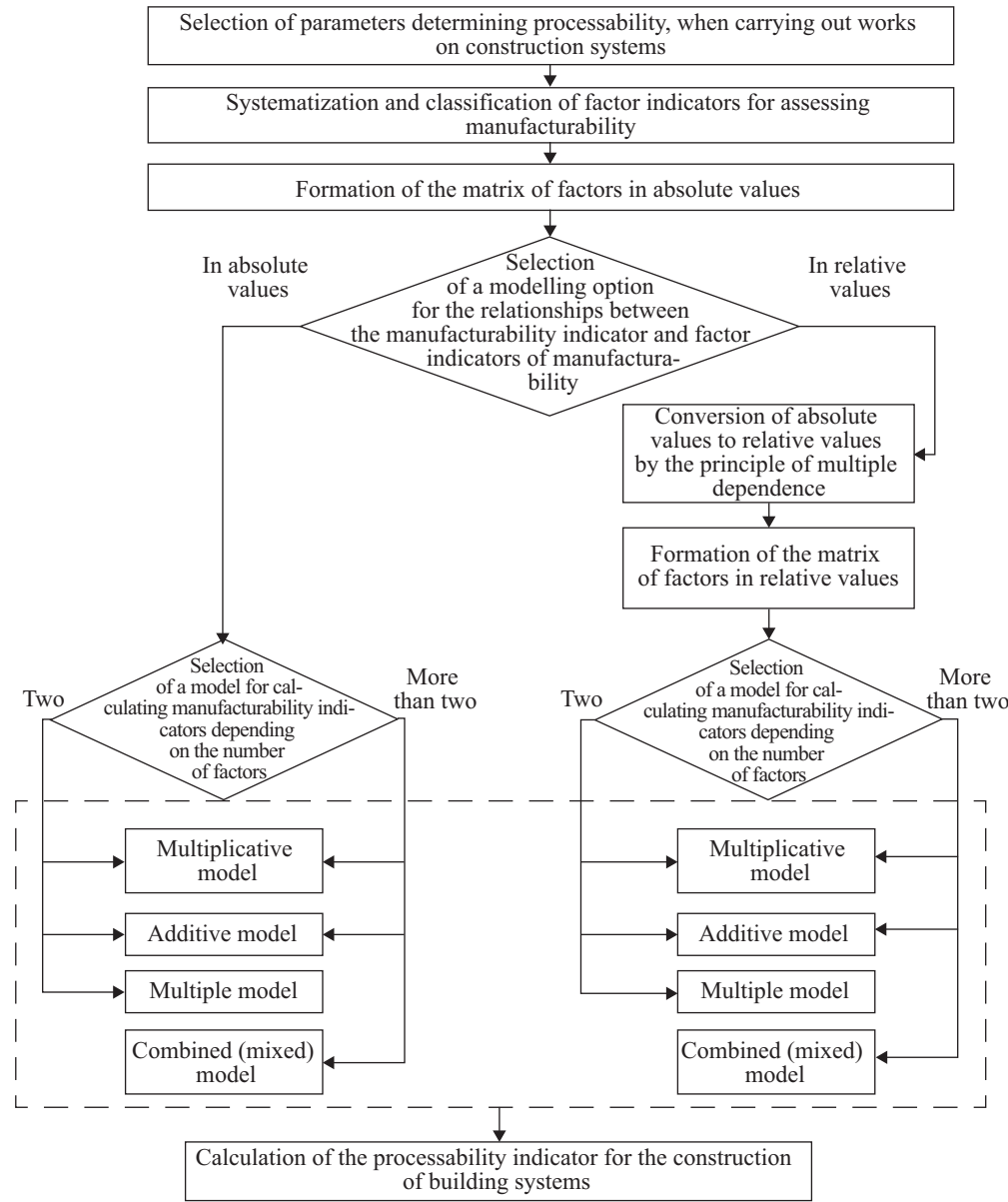
Table 4. Calculation of manufacturability indicators at relative values of factors

Model	Mathematical dependence	Indicators of manufacturability		
		Basic IM_B	Project IM_P	Actual IM_A
Additive	General Introduction: $Y = \sum_{i=1}^n X_i = X_1 + X_2 + \dots + X_n.$ Private view: $IM = P + Lc + C$	1	2.84	2.73
Multiplicative	General Introduction: $Y = \prod_{i=1}^n X_i = X_1 \cdot X_2 \cdot \dots \cdot X_n$ or $Y = 1 - (1 - X_1) \cdot (1 - X_2) \cdot \dots \cdot (1 - X_n).$ Private view: $IM = P \cdot Lc \cdot C$ or $IM = 1 - (1 - P) \cdot (1 - Lc) \cdot (1 - C)$	1	0.84835	0.7533
		1	0.99985	0.9993
Multiple	General Introduction: $Y = \frac{X_1}{X_2}$	Is not applicable for this three-factor system		
Mixed (combined)	General Introduction: $Y = (X_1 + X_2) \cdot X_3$ or $Y = \frac{X_1 \cdot X_2}{X_3}.$ Private view: $IM = (P + Lc) \cdot C$ or $IM = \frac{P \cdot Lc}{C}$	2	1.7955	1.647
		1	0.94	0.93

the fact that the dimensionality of each indicator is not identical. Multiplicative model of determining the indicator of manufacturability reflects the interrelated influence on the value of the indicator of manufacturability, forming a combined dimensionality of the indicator. The multiple model can be used in the case of two-factor analysis, which allows us to determine the resultant indicator as the quotient of the division of two factors. In this regard, it is impossible to use this model for the example under consideration. The combined model is a set of mathematical combinations of the three previously considered models and can have different forms of representation, in connection with which the value of the manufacturability indicator will vary.

Next, let us consider the second variant of defining the indicators of manufacturability, in which the values of factors are relative values. Since these factors have

different units of measurement, it is advisable to bring them to a relative or fractional indicator with a change in the range from one to the established minimum or maximum. When translating absolute values to relative values it is advisable to be based on the multiplicity of the subsequent indicator or factor in the production of works on the device construction systems always to the primary basic or normative value of the parameter of manufacturability, which is assumed to be equal to one. This principle is applicable in cases where the formed matrix of factors covers several stages of the process. When considering and comparing the factors for two sample stages of the process, it is possible to assign a value of one to any factor to establish further correlation of values. Table 3 shows the transformed matrix of accepted factors for evaluation of manufacturability according to Table 1 into relative values.



Flowchart of the sequence of selection of approaches for assessing manufacturability in the production of works on the construction of building systems on the basis of factor models of deterministic analysis

Similarly, to the first variant, let us consider the second variant of determining the indicators of manufacturability by stages, in which the values of factors are transformed into relative values (Table 4).

For factor values expressed in relative units, it is assumed that the additive model for calculating manufacturability indicators implies that factors influence independently of each other on the manufacturability indicator, thereby cumulatively increasing or decreasing it. In this model, the technology indicators are equal to or greater than one. Multiplicative model of calculation of manufacturability indicators assumes that each factor provides mutual influence on the base of accrual of each other.

RESEARCH RESULTS

On the basis of the considered variant approaches to the assessment of manufacturability in the production of works on the construction of building systems, a general flowchart of the sequence of selection of approaches to assess the manufacturability in the production of works on the construction of building systems on the basis of deterministic factor analysis models, presented in the figure.

CONCLUSION AND DISCUSSION

The main uncertainty in the application of factor analysis models when considering manufacturability

indicators in absolute values is the unspecified dimensionality of the result — manufacturability indicator. When using absolute values of factors in assessing the manufacturability of building systems at various stages of the life cycle, it is necessary to generalize a large volume of various indicators and unify the dimensionality of each indicator of manufacturability for types and kinds of building systems to enable further analysis and determination of the degree of influence of each factor. At relative values of the given indicators of manufacturability in the production of works on the construction of building systems, two models — additive and multiplicative — fully allow to determine the indicator of manufacturability taking into account the factor attributes and the degree of their influence.

The change in the indicator of manufacturability in the production of works on the construction of building systems, as a resultant indicator, will reflect the change in at least one of the parameters acting as factor attributes, which in the development of these approaches to assessing manufacturability will allow to establish and measure the impact of manufacturability parameters on the resulting indicator [20–22]. The variant in which at least one of the parameters-factors is improved in comparison with another variant or stage of the life cycle of production of construction systems under consideration will be considered more technological.

REFERENCES

1. Korol E.A., Dudina A.G., Petrosyan R.S. Systematization of the conceptual apparatus of manufacturability of building systems in scientific and methodological literature. *Housing Construction*. 2024; 7:32-37. DOI: 10.31659/0044-4472-2024-7-32-37. EDN QQXDUH. (rus.).
2. Kolchedantsev L.M., Ul'shin A.N. Improvement of complex constructability of steel lattice structure by means of enhancing the structural-technological conception. *Housing Construction*. 2015; 1:27-29. EDN RIEKIK. (rus.).
3. Verstov V.V., Gaido A.N. Justification of the choice of rational methods for the construction of pile foundations based on the criterion of manufacturability in various construction conditions. *Installation and Special Works in Construction*. 2013; 4:6-12. (rus.).
4. Lebedev V.M., Lomtev I.A. Determination of the manufacturability of construction and reconstruction projects. *Bulletin of Belgorod State Technological University Named After V.G. Shukhov*. 2017; 11:80-83. DOI: 10.12737/article_5a001ab5b736a5.52602351. EDN ZUJXQB. (rus.).
5. Gaidukov P.V., Pugach E.M. The structure of the complex manufacturability of permanent formwork for slabs. *The Eurasian Scientific Journal*. 2022; 14(1). EDN ERGZSV. (rus.).
6. Ulshin A.N. Research of quantity indicators of technological constructability at the erection of steel constructions. *Bulletin of Civil Engineers*. 2012; 2(31):148-154. EDN PAQQEX. (rus.).
7. Zavadskas E.K., Turskis Z., Šliogerienė J., Vilutienė T. An integrated assessment of the municipal buildings' use including sustainability criteria. *Sustainable Cities and Society*. 2021; 67:102708. DOI: 10.1016/j.scs.2021.102708
8. Lebedev V.M. System quanta of complex manufacturability of building structures. *Bulletin of Belgorod State Technological University Named After V.G. Shukhov*. EDN ULFTRH. (rus.).
9. Lyalin D.A., Pugach E.M. Manufacturability of construction of reinforced concrete frames of multi-storey buildings. *The Eurasian Scientific Journal*. 2022; 14(2):40. EDN EMIOFU. (rus.).
10. Sosunova D.Y., Karimov B.A. Determination of the optimal type of transport for transporting goods along the route Baku (Azerbaijan) — Shanghai (China) using the method of expert assessments. *Bulletin of the Academy of Civil Aviation*. 2023; 3(30):51-56. DOI: 10.53364/24138614_2023_30_3_51. EDN NXCSNX.
11. Kuzmina T.K., Samarin P.I., Shamanaeva L.K., Ledovskikh L.I. Simulation of the design activity diversifi-

cation of innovative enterprise abstract. *Engineering journal of Don*. 2023; 8(104):262-271. EDN PTYGUV. (rus.).

12. Gaidukov P.V., Pugach E.M. Features of the use of stay in place floor formwork. *The Eurasian Scientific Journal*. 2022; 14(4):5. EDN APKXJP. (rus.).

13. Saimanova O.G., Byalkina E.Yu. Optimization of methods of organization of work in construction. *Innovative strategies for the development of management in construction and urban management*. 2018; 172-177. EDN XPGJJZ. (rus.).

14. Ivanov V.N., Trofimova L.S. Accounting for uncertainty of demand in modeling the relationship between machine parameters and the quality of technological processes in road construction. *Construction and Road Machines*. 2012; 3:25-28. EDN VIZVQF. (rus.).

15. Bogachkova L.Yu., Baybakova K.A. Application of the index method of factor analysis to studying the rates of territorial energy intensity increase (the case of macro-regions of the Russian Federation). *Modern Economics: Problems and Solutions*. 2020; 12(132):163-173. DOI: 10.17308/meps.2020.12/2501. EDN FKAALL.

16. Shchitov S.V., Kidyaeva N.P., Mitrokhina O.P., Kuznetsov E.E. Use of mathematical numerical methods in substantiating the choice of a grain harvesting equip-

ment model. *AgroEcoInfo*. 2017; 2(28):8. EDN ZCQUPB. (rus.).

17. Petrov A.M., Antonova O.V. Methods of deterministic factor analysis. *Kant*. 2016; 1(18):123-128. EDN VRELZV. (rus.).

18. Zaynutdinova E.D. Factor analysis method in sales. *Innovation & Investment*. 2022; 11:193-195. EDN UQZMAS. (rus.).

19. Dinukova O.A., Gunko N.N. Factor analysis as a modeling tool in the digital economy. *Lecture Notes in Networks and Systems*. 2021; 441-447. DOI: 10.1007/978-3-030-47458-4_53

20. Mitev V.Ts. Approbation of the averaged method of chain substitutions for three and four multiples and multiplicative-multiples factor models. *Finance: Theory and Practice*. 2022; 26(6):166-174. DOI: 10.26794/2587-5671-2022-26-6-166-174. EDN WVPYVZ. (rus.).

21. Mitev V. Averaged chain substitution method. *Economic and Social Alternatives*. 2020; 4:90-100. DOI: 10.37075/ISA.2020.4.09

22. Mitev V. Averaged chain substitution method — applicability, advantages, and disadvantages. *Economic and Social Alternatives*. 2021; 27(2):127-138. DOI: 10.37075/ISA.2021.2.08

Received September 20, 2024.

Adopted in revised form on September 20, 2024.

Approved for publication on September 20, 2024.

B I O N O T E S: **Elena A. Korol** — Doctor of Technical Sciences, Professor, Professor of the Department of Housing and Public Utilities; **Moscow State University of Civil Engineering (National Research University) (MGSU)**; 26 Yaroslavskoe shosse, Moscow, 129337, Russian Federation; ORCID: 0000-0002-5019-3694; KorolEA@mgsu.ru;

Anna G. Dudina — Candidate of Technical Sciences, senior lecturer of the Department of Housing and Public Utilities; **Moscow State University of Civil Engineering (National Research University) (MGSU)**; 26 Yaroslavskoe shosse, Moscow, 129337, Russian Federation; ORCID: 0009-0009-0789-7061; DudinsAG@mgsu.ru;

Rima S. Petrosyan — senior lecturer of the Department of Housing and Public Utilities; **Moscow State University of Civil Engineering (National Research University) (MGSU)**; 26 Yaroslavskoe shosse, Moscow, 129337, Russian Federation; ORCID: 0000-0002-6243-0482; PetrosyanRS@mgsu.ru.

Contribution of the authors:

Elena A. Korol — concept, scientific editing, normative and methodological support.

Anna G. Dudina — writing the text of the article, preparation of final conclusions.

Rima S. Petrosyan — writing the text of the article, preparation of final conclusions.

The authors declare no conflict of interest.