

Вестник Евразийской науки / The Eurasian Scientific Journal <https://esj.today>

2022, №4, Том 14 / 2022, No 4, Vol 14 <https://esj.today/issue-4-2022.html>

URL статьи: <https://esj.today/PDF/19SAVN422.pdf>

**Ссылка для цитирования этой статьи:**

Гайдуков, П. В. Оценка комплексной технологичности несъёмной опалубки перекрытий / П. В. Гайдуков, Е. М. Пугач // Вестник евразийской науки. — 2022. — Т. 14. — № 4. — URL: <https://esj.today/PDF/19SAVN422.pdf>

**For citation:**

Gaidukov P.V., Pugach E.M. Features of the use of stay in place floor formwork. *The Eurasian Scientific Journal*, 14(4): 19SAVN422. Available at: <https://esj.today/PDF/19SAVN422.pdf>. (In Russ., abstract in Eng.).

**Гайдуков Павел Владимирович**

ФГБОУ ВО «Национальный исследовательский Московский государственный строительный университет»,  
Москва, Россия  
Преподаватель  
E-mail: [Gaidukov.p.v@yandex.ru](mailto:Gaidukov.p.v@yandex.ru)  
РИНЦ: [https://elibrary.ru/author\\_profile.asp?id=951399](https://elibrary.ru/author_profile.asp?id=951399)

**Пугач Евгений Михайлович**

ФГБОУ ВО «Национальный исследовательский Московский государственный строительный университет»,  
Москва, Россия  
Доцент  
Кандидат технических наук  
E-mail: [Tsp-tvz@mail.ru](mailto:Tsp-tvz@mail.ru)  
ORCID: <https://orcid.org/0000-0003-2832-1941>  
РИНЦ: [https://elibrary.ru/author\\_profile.asp?id=416367](https://elibrary.ru/author_profile.asp?id=416367)

## Оценка комплексной технологичности несъёмной опалубки перекрытий

**Аннотация.** Вариантная проработка различных технологий устройства перекрытий в несъёмной опалубке в рамках реализации на одном проекте позволяет улучшить организационно-технологическую надежность строительного производства. Рассмотрение комплексной технологичности различных систем несъёмной опалубки перекрытий позволяет получить необходимые на этапе проектирования укрупненные технико-экономические показатели для предварительного вариантного проектирования и выбора наиболее подходящего под условия строительства технического решения. По результатам исследования путем построения деревьев свойств были выявлены основные факторы транспортной, монтажной, производственной и эксплуатационной технологичности несъёмной опалубки. Основные показатели рассматриваемых групп технологичности могут быть выражены в абсолютных величинах, полученных аналитическим методом или иметь качественную оценку. Качественная оценка показателей технологичности может быть осуществлена за счет проведения экспертного опроса. Совокупность полученных качественных и количественных показателей выражают комплексную технологичностью несъёмной опалубки. Для проведения опроса были сформированы и описаны различные условия строительной площадки позволяющие определить вес факторов технологичности. Определено необходимое количество экспертов для ранжирования факторов технологичности  $x_1$ – $x_{14}$ , описано проведение экспертного опроса. Предоставлены матрицы рангов для каждого из проведенных опросов, оценка согласованности мнений экспертов подтверждена с помощью коэффициента конкордации Кэндела для оценки значимости которого определены критерий согласованности Пирсона, факторы «Шумового поля» малозначимые для дальнейших исследований.

Полученные результаты ранжирования дают возможность оценить влияние каждого фактора на комплексную технологичность несъемной опалубки перекрытий, что позволяет, при выявлении соответствующих зависимостей, разработать методику определения предварительных технико-экономических показателей для проведения вариантного проектирования.

**Ключевые слова:** несъемная опалубка перекрытий; конструктивные особенности несъемной опалубки перекрытий; функциональные особенности несъемной опалубки перекрытий; технологические особенности несъемной опалубки перекрытий; характеристики несъемной опалубки; технологичность несъемной опалубки

## Введение

Выбор способов производства работ при строительстве и реконструкции перекрытий в несъемной опалубке подразумевает анализ наиболее эффективных параметров технологических процессов. Одним из инструментов подобного анализа является вариантное проектирование. Вариантная проработка различных технологий устройства перекрытий в несъемной опалубке в рамках реализации на одном проекте позволяет улучшить организационно-технологическую надежность строительного производства. Данный подход к процессу проектирования требует детальной проработки сравниваемых технологий в условиях рассматриваемого объекта строительства и последующего анализа полученных технико-экономических показателей, что улучшает качество проектирования, но увеличивает сроки проектных работ [1].

Исследования данной тематики [2; 3] показали, что на стадии проектирования объекта или конструкции может быть выделен ряд укрупненных показателей, определяющих соответствие принятой технологии или способа производства требованиям строительства. Из области знаний системотехники строительства известно определение технологичности строительных проектов приведенное А.А. Гусаковым: «Технологичность проектов представляет собой совокупность технических свойств объемно-планировочных и конструктивных решений строительных объектов, характеризующих их соответствие требованиям строительного производства и эксплуатации» [4]. Технологичность отдельных элементов здания, таких как перекрытие, представляет собой совокупность аналогичных технических свойств, изменяющихся в зависимости от проекта. Из проведенных ранее исследований [2; 3] известны следующие совокупности факторов и параметров технологичности: монтажная, транспортная, производственная и эксплуатационная. Применительно к несъемной опалубке перекрытий данные типы технологичности можно выразить следующим образом.

Монтажная технологичность рассматривает факторы, влияющие на производство работ. К ним относят трудоемкость процессов, подготовку и число рабочих исполнителей, способ обеспечения подачи бетонной смеси к месту устройства конструкции.

Транспортная технологичность рассматривает вопросы доставки комплекта несъемной опалубки на строительную площадку и вертикальный транспорт, необходимый для разгрузки, подъема на горизонт производства работ и, при необходимости, монтажа.

Производственная технологичность определяет гибкость изготовления элементов системы несъемной опалубки и характеризуется факторами материалоемкости, степенью типизации и возможностью изготовления на строительной площадке.

Эксплуатационная технологичность характеризует вид устраиваемого перекрытия, способность опалубки выполнять изоляционные функции и тип создаваемой данной опалубкой поверхности потолка готового перекрытия.

Основные показатели рассматриваемых групп технологичности могут быть выражены в абсолютных величинах, полученных аналитическим методом или иметь качественную оценку [3]. Сравнение в абсолютных величинах может производиться путем сопоставления показателей трудоемкости, материалоемкости, времени продолжительности производства работ, денежных затратах и других единицах. Качественная оценка показателей технологичности может быть осуществлена за счет проведения экспертного опроса [5]. Совокупность полученных качественных и количественных показателей выражают комплексную технологичностью несъемной опалубки.

Рассмотрение комплексной технологичности различных систем несъемной опалубки перекрытий позволяет получить необходимые на этапе проектирования укрупненные технико-экономические показатели для предварительного вариантного проектирования и выбора наиболее подходящего под условия строительства технического решения. Однако главным методологическим вопросом любой комплексной оценки является определение весомости частных показателей [5]. Из области знаний квалиметрии известно, что ранжирование весов разнородных показателей необходимо производить путем экспертной оценки.

### Определение оцениваемых показателей — факторов технологичности

Для определения оцениваемых показателей технологичности несъемной опалубки необходимо выделить основные группы свойств каждого типа. Решить эту задачу позволяет построение деревьев свойств для каждого типа технологичности. Задача построения дерева свойств сводится к нахождению эквистатических и квазипростых свойств и выделению влияющих на них показателей.

Транспортная технологичность несъемной опалубки характеризуется вертикальным и горизонтальным транспортом необходимым для доставки и монтажа комплекта и отдельных элементов несъемной опалубки к месту строительства и на монтажный горизонт. В процессе построения дерева свойств были выявлены следующие факторы транспортной технологичности: мобильность и грузоподъемные характеристики вертикального и горизонтального транспорта необходимого для доставки на строительную площадку и последующего монтажа конструкций несъемной опалубки (табл. 1).

Таблица 1

Транспортная технологичность. Дерево свойств

Ярусы дерева свойств					
1	2	3	4	5	
Транспортная технологичность	Вертикальный транспорт	Мобильность	Стационарные	Приставные	
				Бешеные	
			Самоходные		
		Грузоподъемные характеристики	Грузоподъемность		
			Радиус действия	Высота подъема	Вылет стрелы
	Внеплощадочный транспорт	Характеристики грузового автомобиля	Грузоподъемность		
			Размер грузового отсека	Длина	Ширина
		Маневренные характеристики	Бортовые 5–16 т		
			Фургоны и бортовые 0.5–5 т		

Монтажная технологичность несъемной опалубки характеризуется факторами квалификации и состава звена, особенностями технологических процессов армирования и бетонирования (табл. 2).

Таблица 2

**Монтажная технологичность. Дерево свойств**

Ярусы дерева свойств					
1	2	3	4	5	6
Монтажная технологичность	Квалификация и состав звена	Потребность в широкопрофильных специалистах среднего класса			
		Потребность в узкопрофильных специалистах			
	Особенности технологических процессов	Арматурные работы	Арматура из отдельных элементов	Сетки и каркасы	
				Арматурные стержни	
		Армирование включено в конструкцию опалубки			
	Устройство конструкции	Монтаж опалубки	Потребность в устройстве временных лесов		
			Подготовительные работы		
		Процессы бетонирования	Подача бетонной смеси	Доставка	
			Укладка бетонной смеси	Замес на месте	
				Единая укладка	
		Возможность укладки по частям			

Эксплуатационная технологичность выражает особенности возведенного перекрытия на этапе эксплуатации здания и характеризуется типом возводимого перекрытия и необходимыми отделочными работами (табл. 3).

Таблица 3

**Эксплуатационная технологичность. Дерево свойств**

Ярусы дерева свойств			
1	2	3	4
Эксплуатационная технологичность	Конструкция перекрытия	Тип возводимого перекрытия	Плоское перекрытие
		Влияние на изоляционные свойства	Улучшение теплотехнических характеристик Улучшение звукоизоляции
	Последующие отделочные работы	Возможен любой тип потолка	
		Подвесной потолок	

Производственная технологичность несъемной опалубки перекрытий характеризует гибкость производственных процессов по ее изготовлению (табл. 4). В отдельных случаях условия строительства предполагают необходимость выполнения работ в районах, удаленных от производственных центров, по этой причине возможность изготовления конструкций или их частей на строительной площадке приобретает большое значение [6].

Таблица 4

**Производственная технологичность. Дерево свойств**

Ярусы дерева свойств		
1	2	3
Производственная технологичность	Место производства	Заводское изготовление
		Возможность изготовления на строительной площадке
	Количество элементов	Многоэлементная опалубка
		Одноэлементная опалубка
	Потребность в исходных компонентах	Один
Составной		

Для дальнейшей работы по определению комплексной технологичности несъемной опалубки перекрытий необходимо произвести априорное ранжирование полученных показателей (квазипростых свойств) с помощью экспертов.

Экспертами рассмотрены следующие факторы технологичности:

Транспортная технологичность: мобильность вертикального транспорта (1), радиус действия вертикального транспорта (2), необходимый размер грузового отсека автомобиля доставщика (3), маневровые характеристика автомобиля доставщика (4).

Монтажная технологичность: квалификация и состав звена (5), вид арматурных работ (6), особенности монтажа опалубки (7), подача бетонной смеси (8), укладка бетонной смеси (9).

Эксплуатационная технологичность: вид возводимого перекрытия (10), тип последующих отделочных работ (11).

Производственная технологичность: место изготовления опалубки (12), количество элементов опалубки (13), потребность в исходных компонентах (14).

Данные факторы были включены в анкету для проведения экспертного опроса.

Для определения минимального количества экспертов были использованы работы [7; 8], согласно которым для проведения априорного ранжирования 14 факторов необходимо привлечение пяти экспертов.

### Проведение и обработка результатов экспертного опроса

Для проведения опроса было составлено четыре анкеты, содержащие описанные выше факторы технологичности несъемной опалубки и характеристики условий строительства.

Таблица 5

Первичная матрица рангов для опросов № 1, 2, 3, 4

Факторы	мобильность вертикального транспорта	радиус действия вертикального транспорта	необходимый размер грузового отсека автомобиля доставщика	маневровые характеристика автомобиля доставщика	квалификация и состав звена	тип арматурных работ	особенности монтажа опалубки	подача бетонной смеси	укладка бетонной смеси	тип возводимого перекрытия	тип последующих отделочных работ	место производства опалубки	количество элементов опалубки	потребность в исходных компонентах
Эксперты	f1	f2	f3	f4	f5	f6	f7	f8	f9	f10	f11	f12	f13	f14
Эксперт 1	10/3 6/3	8/7 5/5	9/4 8/4	6/4 7/3	4/5 4/4	3/8 3/3	1/1 1/1	2/2 2/2	5/5 3/3	7/9 4/4	13/10 9/9	14/12 10/10	11/7 11/11	12/11 12/12
Эксперт 2	10/3 8/3	9/4 6/6	6/3 7/5	8/2 6/4	3/6 5/5	1/5 1/1	2/1 2/2	4/3 3/3	7/7 4/4	5/10 7/7	12/11 10/10	11/13 9/8	14/5 12/9	13/12 11/11
Эксперт 3	9/4 7/2	8/5 6/6	10/3 8/3	6/1 5/5	2/7 6/6	3/5 4/4	1/2 1/1	4/4 3/3	5/8 2/2	7/9 4/4	11/12 10/10	12/11 12/12	14/6 13/13	13/10 11/11
Эксперт 4	9/5 6/1	8/6 5/5	10/5 9/4	6/4 5/5	1/8 5/6	3/6 5/5	2/3 4/2	4/1 4/3	5/7 3/4	7/12 4/8	13/10 11/11	11/12 13/13	12/8 9/9	14/11 12/12
Эксперт 5	8/4 9/5	9/5 7/7	10/2/ 10/3	6/3 6/4	4/5 6/5	3/8 1/1	1/1 3/3	2/2 5/5	5/6 2/2	7/9 4/4	13/10 10/10	14/13 11/11	11/7 9/9	12/11 12/12

Опрос № 1 предполагал применение технологий несъемной опалубки в условиях нового строительства при отсутствии стесненности. Опрос № 2 так же проводился для нового

строительства, но в стесненных условиях строительной площадки. Новое строительство подразумевает возведение перекрытия при отсутствии перекрытого вышестоящего этажа, что позволяет осуществлять подачу материалов несъемной опалубки быстровозводимым башенным или колесным краном. Опрос № 3 проводился для объекта реконструкции без стесненных условий строительной площадки, опрос № 4 — так же для условий реконструкции, но в стесненных условиях. В каждом из опросов экспертам необходимо было присвоить ранг от 1 до 14 (1 — наивысший, 14 — наименьший ранг) факторам технологичности несъемной опалубки для каждого из условий строительства. Допускалось присвоение одинаковых рангов для разных факторов. После проведения опроса были получены следующие результаты (табл. 5).

Так как в опросах № 2, 3 и 4 присутствуют связные ранги, было принято решение о корректировке без изменения мнения экспертов. На основании полученных переформированных матриц были составлены сводные матрица рангов для опросов (табл. 6–9).

**Таблица 6**

**Сводная матрица рангов для опроса № 1**

Факторы / Эксперты	1	2	3	4	5	Сумма рангов	d	d <sup>2</sup>
x <sub>1</sub>	10	10	9	9	8	46	8.5	72.25
x <sub>2</sub>	8	9	8	8	9	42	4.5	20.25
x <sub>3</sub>	9	6	10	10	10	45	7.5	56.25
x <sub>4</sub>	6	8	6	6	6	32	-5.5	30.25
x <sub>5</sub>	4	3	2	1	4	14	-23.5	552.25
x <sub>6</sub>	3	1	3	3	3	13	-24.5	600.25
x <sub>7</sub>	1	2	1	2	1	7	-30.5	930.25
x <sub>8</sub>	2	4	4	4	2	16	-21.5	462.25
x <sub>9</sub>	5	7	5	5	5	27	-10.5	110.25
x <sub>10</sub>	7	5	7	7	7	33	-4.5	20.25
x <sub>11</sub>	13	12	11	13	13	62	24.5	600.25
x <sub>12</sub>	14	11	12	11	14	62	24.5	600.25
x <sub>13</sub>	11	14	14	12	11	62	24.5	600.25
x <sub>14</sub>	12	13	13	14	12	64	26.5	702.25
Σ	105	105	105	105	105	525		5357.5

**Таблица 7**

**Сводная матрица рангов для опроса № 2**

Факторы / Эксперты	1	2	3	4	5	Сумма рангов	d	d <sup>2</sup>
x <sub>1</sub>	3	4	4.5	4.5	5	21	-16.5	272.25
x <sub>2</sub>	8.5	6	6.5	6.5	6.5	34	-3.5	12.25
x <sub>3</sub>	4.5	4	3	4.5	2.5	18.5	-19	361
x <sub>4</sub>	4.5	2	1	3	4	14.5	-23	529
x <sub>5</sub>	6.5	9	9	9.5	6.5	40.5	3	9
x <sub>6</sub>	10	7.5	6.5	6.5	10	40.5	3	9
x <sub>7</sub>	1	1	2	2	1	7	-30.5	930.25
x <sub>8</sub>	2	4	4.5	1	2.5	14	-23.5	552.25
x <sub>9</sub>	6.5	10	10	8	8	42.5	5	25
x <sub>10</sub>	11	11	11	13.5	11	57.5	20	400
x <sub>11</sub>	12	12	14	11	12	61	23.5	552.25
x <sub>12</sub>	14	14	13	13.5	14	68.5	31	961
x <sub>13</sub>	8.5	7.5	8	9.5	9	42.5	5	25
x <sub>14</sub>	13	13	12	12	13	63	25.5	650.25
Σ	105	105	105	105	105	525		5288.5

Таблица 8

Сводная матрица рангов для опроса № 3

Факторы / Эксперты	1	2	3	4	5	Сумма рангов	d	d <sup>2</sup>
x <sub>1</sub>	8	10	9	9	9.5	45.5	8	64
x <sub>2</sub>	7	6.5	7.5	6.5	8	35.5	-2	4
x <sub>3</sub>	10	8.5	10	10.5	11.5	50.5	13	169
x <sub>4</sub>	9	6.5	6	6.5	6.5	34.5	-3	9
x <sub>5</sub>	5.5	5	7.5	6.5	6.5	31	-6.5	42.25
x <sub>6</sub>	3.5	1	4.5	6.5	1	16.5	-21	441
x <sub>7</sub>	1	2	1	3	3	10	-27.5	756.25
x <sub>8</sub>	2	3	3	3	5	16	-21.5	462.25
x <sub>9</sub>	3.5	4	2	1	2	12.5	-25	625
x <sub>10</sub>	5.5	8.5	4.5	3	4	25.5	-12	144
x <sub>11</sub>	11	12	11	12	11.5	57.5	20	400
x <sub>12</sub>	12	11	13	14	13	63	25.5	650.25
x <sub>13</sub>	13	14	14	10.5	9.5	61	23.5	552.25
x <sub>14</sub>	14	13	12	13	14	66	28.5	812.25
Σ	105	105	105	105	105	525		5131.5

Таблица 9

Сводная матрица рангов для опроса № 4

Факторы / Эксперты	1	2	3	4	5	Сумма рангов	d	d <sup>2</sup>
x <sub>1</sub>	4.5	3.5	2.5	1	8	19.5	-18	324
x <sub>2</sub>	10	9	9.5	7	10	45.5	8	64
x <sub>3</sub>	8	7.5	4.5	4.5	3.5	28	-9.5	90.25
x <sub>4</sub>	4.5	5.5	8	7	5.5	30.5	-7	49
x <sub>5</sub>	8	7.5	9.5	9	8	42	4.5	20.25
x <sub>6</sub>	4.5	1	6.5	7	1	20	-17.5	306.25
x <sub>7</sub>	1	2	1	2	3.5	9.5	-28	784
x <sub>8</sub>	2	3.5	4.5	3	8	21	-16.5	272.25
x <sub>9</sub>	4.5	5.5	2.5	4.5	2	19	-18.5	342.25
x <sub>10</sub>	8	10	6.5	10	5.5	40	2.5	6.25
x <sub>11</sub>	11	13	11	12	12	59	21.5	462.25
x <sub>12</sub>	12	11	13	14	13	63	25.5	650.25
x <sub>13</sub>	13	12	14	11	11	61	23.5	552.25
x <sub>14</sub>	14	14	12	13	14	67	29.5	870.25
Σ	105	105	105	105	105	525		4793.5

Где

$$d_1 = \sum x_{ij} - \frac{\sum \sum x_{ij}}{n} = \sum x_{ij} - 37.5.$$

Проверка правильности составления матрицы на основе исчисления контрольной суммы:

$$\sum x_{ij} = \frac{(1+n)n}{2} = \frac{(1+14)14}{2} = 105.$$

Сумма по столбцам матрицы равны между собой и контрольной суммы, значит, матрица составлена правильно.

#### Анализ значимости исследуемых факторов

В проведенных опросах факторы по значимости распределились следующим образом (табл. 10–13).

**Таблица 10**

**Расположение факторов по значимости для опроса № 1**

Факторы	X <sub>7</sub>	X <sub>6</sub>	X <sub>5</sub>	X <sub>8</sub>	X <sub>9</sub>	X <sub>4</sub>	X <sub>10</sub>	X <sub>2</sub>	X <sub>3</sub>	X <sub>1</sub>	X <sub>11</sub>	X <sub>12</sub>	X <sub>13</sub>	X <sub>14</sub>
Сумма рангов № 1	7	13	14	16	27	32	33	42	45	46	62	62	62	64

**Таблица 11**

**Расположение факторов по значимости для опроса № 2**

Факторы	X <sub>7</sub>	X <sub>8</sub>	X <sub>4</sub>	X <sub>3</sub>	X <sub>1</sub>	X <sub>2</sub>	X <sub>5</sub>	X <sub>6</sub>	X <sub>9</sub>	X <sub>13</sub>	X <sub>10</sub>	X <sub>11</sub>	X <sub>14</sub>	X <sub>12</sub>
Сумма рангов	7	14	14.85	18.5	21	34	40.5	40.5	42.5	42.5	57.5	61	63	68.5

**Таблица 12**

**Расположение факторов по значимости для опроса № 3**

Факторы	X <sub>7</sub>	X <sub>9</sub>	X <sub>8</sub>	X <sub>6</sub>	X <sub>10</sub>	X <sub>5</sub>	X <sub>4</sub>	X <sub>2</sub>	X <sub>1</sub>	X <sub>3</sub>	X <sub>11</sub>	X <sub>13</sub>	X <sub>12</sub>	X <sub>14</sub>
Сумма рангов	10	12.5	16	16.5	25.5	31	34.5	35.5	45.5	50.5	57.5	61	63	66

**Таблица 13**

**Расположение факторов по значимости для опроса № 4**

Факторы	X <sub>7</sub>	X <sub>9</sub>	X <sub>1</sub>	X <sub>6</sub>	X <sub>8</sub>	X <sub>3</sub>	X <sub>4</sub>	X <sub>10</sub>	X <sub>5</sub>	X <sub>2</sub>	X <sub>11</sub>	X <sub>13</sub>	X <sub>12</sub>	X <sub>14</sub>
Сумма рангов	9.5	19	19.5	20	21	28	30.5	40	42	45.5	59	61	63	67

Оценка средней степени согласованности мнений всех экспертов.

Коэффициент конкордации опроса № 1:

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

где S = 5357.5, n = 14, m = 5.

$$W = \frac{12 \cdot 5357.5}{5^2(14^3-14)} = 0.942,$$

W = 0.942 говорит о наличии высокой степени согласованности мнений экспертов.

Для опроса № 2 в случаях, когда имеются связанные ранги (одинаковые значения рангов в оценках одного эксперта) использован коэффициент конкордации:

$$W = \frac{S}{\frac{1}{12} \cdot m^2(n^3-n) - m \cdot \sum T_i},$$

где S = 5288.5, n = 14, m = 5.

$$T_i = \frac{1}{12} \cdot \sum (t_i^3 - t_i),$$

L<sub>i</sub> — число связей (видов повторяющихся элементов) в оценках i-го эксперта, t<sub>i</sub> — количество элементов в l-й связке для i-го эксперта (количество повторяющихся элементов).

$$T_1 = [(2^3 - 2) + (2^3 - 2) + (2^3 - 2)]/12 = 1.5$$

$$T_2 = [(3^3 - 3) + (2^3 - 2)]/12 = 2.5$$

$$T_3 = [(2^3 - 2) + (2^3 - 2)]/12 = 1$$

$$T_4 = [(2^3 - 2) + (2^3 - 2) + (2^3 - 2) + (2^3 - 2)]/12 = 2$$

$$T_5 = [(2^3 - 2) + (2^3 - 2)]/12 = 1$$

$$\sum T_i = 1.5 + 2.5 + 1 + 2 + 1 = 8$$

$$W = \frac{5288.5}{\frac{1}{12} \cdot 5^2(14^3-14) - 5 \cdot 8} = 0.94,$$



$W = 0.94$  говорит о наличии высокой степени согласованности мнений экспертов в опросе № 2.

Для опроса № 3:

$$W = \frac{S}{\frac{1}{12} \cdot m^2(n^3 - n) - m \cdot \sum T_i},$$

где  $S = 5131.5$ ,  $n = 14$ ,  $m = 5$ :

$$T_i = \frac{1}{12} \cdot \sum (t_l^3 - t_l)$$

$$T_1 = [(2^3 - 2) + (2^3 - 2)]/12 = 1$$

$$T_2 = [(2^3 - 2) + (2^3 - 2)]/12 = 1$$

$$T_3 = [(2^3 - 2) + (2^3 - 2)]/12 = 1$$

$$T_4 = [(4^3 - 4) + (2^3 - 2) + (3^3 - 3)]/12 = 7.5$$

$$T_5 = [(2^3 - 2) + (2^3 - 2) + (2^3 - 2)]/12 = 1.5$$

$$\sum T_i = 1 + 1 + 1 + 7.5 + 1.5 = 12$$

$$W = \frac{5131.5}{\frac{1}{12} \cdot 5^2(14^3 - 14) - 5 \cdot 12} = 0.91,$$

$W = 0.91$  говорит о наличии высокой степени согласованности мнений экспертов.

Для опроса № 4:

$$W = \frac{S}{\frac{1}{12} \cdot m^2(n^3 - n) - m \cdot \sum T_i},$$

где  $S = 4793.5$ ,  $n = 14$ ,  $m = 5$ :

$$T_i = \frac{1}{12} \cdot \sum (t_l^3 - t_l)$$

$$T_1 = [(4^3 - 4) + (3^3 - 3)]/12 = 7$$

$$T_2 = [(2^3 - 2) + (2^3 - 2) + (2^3 - 2)]/12 = 1.5$$

$$T_3 = [(2^3 - 2) + (2^3 - 2) + (2^3 - 2) + (2^3 - 2)]/12 = 2$$

$$T_4 = [(3^3 - 3) + (2^3 - 2)]/12 = 2.5$$

$$T_5 = [(3^3 - 3) + (2^3 - 2) + (2^3 - 2)]/12 = 3$$

$$\sum T_i = 7 + 1.5 + 2 + 2.5 + 3 = 16$$

$$W = \frac{4793.5}{\frac{1}{12} \cdot 5^2(14^3 - 14) - 5 \cdot 16} = 0.85,$$

$W = 0.85$  говорит о наличии высокой степени согласованности мнений экспертов.

Оценка значимости коэффициента конкордации.

Для оценки значимости коэффициента конкордации определен критерий согласования Пирсона.

Для опроса № 1:

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

$$\chi^2 = 5(14-1)0.942 = 61.23.$$

Вычисленный  $\chi^2$  сравним с табличным значением для числа степеней свободы  $K = n - 1 = 14 - 1 = 13$  и при заданном уровне значимости  $\alpha = 0.05$ .

Так как  $\chi^2$  расчетный  $61.23 \geq$  табличного (22.36203), то  $W = 0.942$  — величина не случайная, а потому полученные результаты имеют смысл и могут использоваться в дальнейших исследованиях.

Для опроса № 2:

$$\chi^2 = \frac{S}{\frac{1}{12}mn(n+1) + \frac{1}{n-1}\sum T_i},$$

$$\chi^2 = \frac{5288.5}{\frac{1}{12}5 \cdot 14(14+1) + \frac{1}{14-1}8} = 60.87.$$

Вычисленный  $\chi^2$  сравним с табличным значением для числа степеней свободы  $K = n - 1 = 14 - 1 = 13$  и при заданном уровне значимости  $\alpha = 0.05$ .

Так как  $\chi^2$  расчетный  $60.87 \geq$  табличного (22.36203), то  $W = 0.94$  — величина не случайная, а потому полученные результаты имеют смысл и могут использоваться в дальнейших исследованиях.

Для опроса № 3:

$$\chi^2 = \frac{S}{\frac{1}{12}mn(n+1) + \frac{1}{n-1}\sum T_i},$$

$$\chi^2 = \frac{5131.5}{\frac{1}{12}5 \cdot 14(14+1) + \frac{1}{14-1}12} = 59.27.$$

Вычисленный  $\chi^2$  сравним с табличным значением для числа степеней свободы  $K = n - 1 = 14 - 1 = 13$  и при заданном уровне значимости  $\alpha = 0.05$ .

Так как  $\chi^2$  расчетный  $59.27 \geq$  табличного (22.36203), то  $W = 0.91$  — величина не случайная, а потому полученные результаты имеют смысл и могут использоваться в дальнейших исследованиях.

Для опроса № 4:

$$\chi^2 = \frac{S}{\frac{1}{12}mn(n+1) + \frac{1}{n-1}\sum T_i},$$

$$\chi^2 = \frac{4793.5}{\frac{1}{12}5 \cdot 14(14+1) + \frac{1}{14-1}16} = 55.56.$$

Вычисленный  $\chi^2$  сравним с табличным значением для числа степеней свободы  $K = n - 1 = 14 - 1 = 13$  и при заданном уровне значимости  $\alpha = 0.05$ .

Так как  $\chi^2$  расчетный  $55.56 \geq$  табличного (22.36203), то  $W = 0.85$  — величина не случайная, а потому полученные результаты имеют смысл и могут использоваться в дальнейших исследованиях.

Этап 7. Подготовка решения экспертной комиссии.

На основе получения суммы рангов (табл. 14–17) можно вычислить показатели весомости рассмотренных параметров. Матрицу опроса преобразуем в матрицу преобразованных рангов по формуле  $s_{ij} = x_{\max} - x_{ij}$ , где  $x_{\max} = 14$ .

**Таблица 14**

**Матрица преобразованных рангов для опроса № 1**

№ п.п. / Эксперты	1	2	3	4	5	$\Sigma$	Вес $\lambda$
X <sub>1</sub>	4	4	5	5	6	24	0.05275
X <sub>2</sub>	6	5	6	6	5	28	0.06154
X <sub>3</sub>	5	8	4	4	4	25	0.05495
X <sub>4</sub>	8	6	8	8	8	38	0.08352
X <sub>5</sub>	10	11	12	13	10	56	0.1231
X <sub>6</sub>	11	13	11	11	11	57	0.1253
X <sub>7</sub>	13	12	13	12	13	63	0.1385
X <sub>8</sub>	12	10	10	10	12	54	0.1187
X <sub>9</sub>	9	7	9	9	9	43	0.09451
X <sub>10</sub>	7	9	7	7	7	37	0.08132
X <sub>11</sub>	1	2	3	1	1	8	0.01758
X <sub>12</sub>	0	3	2	3	0	8	0.01758
X <sub>13</sub>	3	0	0	2	3	8	0.01758
X <sub>14</sub>	2	1	1	0	2	6	0.01319
Итого						455	1

**Таблица 15**

**Матрица преобразованных рангов для опроса № 2**

Эксперты № п.п.	1	2	3	4	5	$\Sigma$	Вес $\lambda$
X <sub>1</sub>	10	10	9	8	9	46	0.09871
X <sub>2</sub>	6	9	8	7	8	38	0.08155
X <sub>3</sub>	9	10	10	8	11	48	0.103
X <sub>4</sub>	9	11	12	9	10	51	0.1094
X <sub>5</sub>	8	7	6	5	8	34	0.07296
X <sub>6</sub>	5	8	8	7	5	33	0.07082
X <sub>7</sub>	12	12	11	10	12	57	0.1223
X <sub>8</sub>	11	10	9	12	11	53	0.1137
X <sub>9</sub>	8	6	5	6	7	32	0.06867
X <sub>10</sub>	4	3	4	1	4	16	0.03433
X <sub>11</sub>	3	2	1	3	3	12	0.02575
X <sub>12</sub>	1	0	2	1	0	4	0.00858
X <sub>13</sub>	6	8	7	5	6	32	0.06867
X <sub>14</sub>	2	1	3	2	2	10	0.02146
Итого						466	1

**Таблица 16**

**Матрица преобразованных рангов для опроса № 3**

№ п.п. / Эксперты	1	2	3	4	5	$\Sigma$	Вес $\lambda$
X <sub>1</sub>	7	5	6	7	4	29	0.06416
X <sub>2</sub>	8	7	7	8	6	36	0.07965
X <sub>3</sub>	5	6	5	4	3	23	0.05088
X <sub>4</sub>	6	7	8	8	7	36	0.07965
X <sub>5</sub>	9	8	7	8	7	39	0.08628
X <sub>6</sub>	10	12	9	8	12	51	0.1128
X <sub>7</sub>	12	11	12	9	10	54	0.1195
X <sub>8</sub>	11	10	10	9	8	48	0.1062
X <sub>9</sub>	10	9	11	10	11	51	0.1128
X <sub>10</sub>	9	6	9	9	9	42	0.09292
X <sub>11</sub>	4	3	3	2	3	15	0.03319

№ п.п. / Эксперты	1	2	3	4	5	$\Sigma$	Вес $\lambda$
x <sub>12</sub>	3	4	1	0	2	10	0.02212
x <sub>13</sub>	2	1	0	4	4	11	0.02434
x <sub>14</sub>	1	2	2	1	1	7	0.01549
Итого						452	1

Таблица 17

**Матрица преобразованных рангов для опроса № 4**

№ п.п. / Эксперты	1	2	3	4	5	$\Sigma$	Вес $\lambda$
x <sub>1</sub>	10	10	11	12	8	51	0.1006
x <sub>2</sub>	8	7	7	8	6	36	0.07101
x <sub>3</sub>	9	8	10	9	10	46	0.09073
x <sub>4</sub>	10	9	8	8	9	44	0.08679
x <sub>5</sub>	9	8	7	7	8	39	0.07692
x <sub>6</sub>	10	12	9	8	12	51	0.1006
x <sub>7</sub>	12	11	12	11	10	56	0.1105
x <sub>8</sub>	11	10	10	10	8	49	0.09665
x <sub>9</sub>	10	9	11	9	11	50	0.09862
x <sub>10</sub>	9	6	9	5	9	38	0.07495
x <sub>11</sub>	4	3	3	2	3	15	0.02959
x <sub>12</sub>	3	5	1	0	2	11	0.0217
x <sub>13</sub>	2	4	0	4	4	14	0.02761
x <sub>14</sub>	1	2	2	1	1	7	0.01381
Итого						507	1

Для определения значимых факторов необходимо было исключить из перечня факторы «шумового поля» путем ранжирования факторов относительно фактора с наибольшей суммой рангов. Верхняя граница «шумового поля» согласно [9–10] составляет 20 % от фактора с наибольшей суммой рангов. В таблице 18 показаны результирующие веса факторов, красным выделены факторы «шумового поля».

Таблица 18

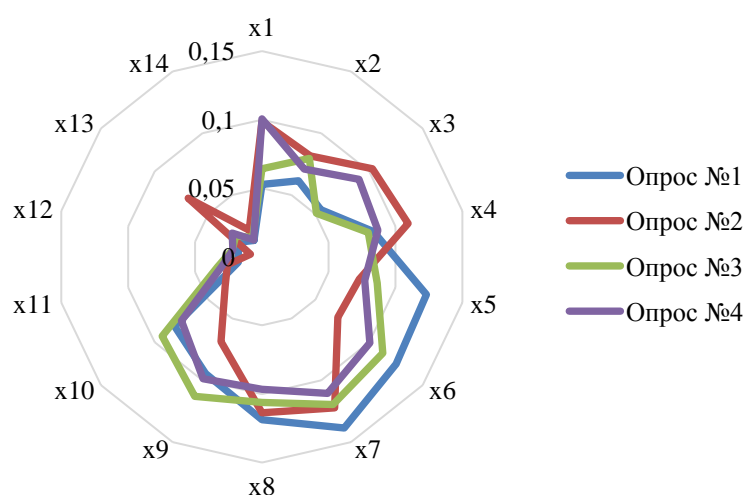
**Веса факторов для опросов № 1, 2, 3, 4. Факторы "Шумового поля"**

№	Опрос № 1			Опрос № 2			Опрос № 3			Опрос № 4		
	%	$\Sigma$	Вес $\lambda$	%	$\Sigma$	Вес $\lambda$	%	$\Sigma$	Вес $\lambda$	%	$\Sigma$	Вес $\lambda$
x <sub>1</sub>	38,1 %	24	0.05275	80,7 %	46	0.09871	56,9 %	29	0.06416	91,1 %	51	0.1006
x <sub>2</sub>	44,4 %	28	0.06154	66,7 %	38	0.08155	70,6 %	36	0.07965	64,3 %	36	0.07101
x <sub>3</sub>	39,7 %	25	0.05495	84,2 %	48	0.103	45,1 %	23	0.05088	82,1 %	46	0.09073
x <sub>4</sub>	60,3 %	38	0.08352	89,5 %	51	0.1094	70,6 %	36	0.07965	78,6 %	44	0.08679
x <sub>5</sub>	88,9 %	56	0.1231	59,6 %	34	0.07296	76,5 %	39	0.08628	69,6 %	39	0.07692
x <sub>6</sub>	90,5 %	57	0.1253	57,9 %	33	0.07082	100,0 %	51	0.1128	91,1 %	51	0.1006
x <sub>7</sub>	100,0 %	63	0.1385	100,0 %	57	0.1223	105,9 %	54	0.1195	100,0 %	56	0.1105
x <sub>8</sub>	85,7 %	54	0.1187	93,0 %	53	0.1137	94,1 %	48	0.1062	87,5 %	49	0.09665
x <sub>9</sub>	68,3 %	43	0.09451	56,1 %	32	0.06867	100,0 %	51	0.1128	89,3 %	50	0.09862
x <sub>10</sub>	58,7 %	37	0.08132	28,1 %	16	0.03433	82,4 %	42	0.09292	67,9 %	38	0.07495
x <sub>11</sub>	12,7 %	8	0.01758	21,1 %	12	0.02575	29,4 %	15	0.03319	26,8 %	15	0.02959
x <sub>12</sub>	12,7 %	8	0.01758	7,0 %	4	0.00858	19,6 %	10	0.02212	19,6 %	11	0.0217
x <sub>13</sub>	12,7 %	8	0.01758	56,1 %	32	0.06867	21,6 %	11	0.02434	25,0 %	14	0.02761
x <sub>14</sub>	9,5 %	6	0.01319	17,5 %	10	0.02146	13,7 %	7	0.01549	12,5 %	7	0.01381

**Выводы**

По результатам исследования путем построения деревьев свойств были выявлены основные факторы транспортной, монтажной, производственной и эксплуатационной технологичности несъемной опалубки. Определено необходимое количество экспертов для

ранжирования факторов технологичности  $x_1$ – $x_{14}$ , описано проведение экспертного опроса. Произведено ранжирование факторов для различных условий строительства с помощью экспертных опросов, определены факторы «Шумового поля» малозначимые для дальнейших исследований. На рисунке 1 показана диаграмма распределения веса факторов для рассмотренных в опросе условий строительства: новое строительство в квартале новой застройки без стесненных условий (Опрос № 1), новое строительство в стесненных условиях существующей городской застройки (Опрос № 2), реконструкция существующего здания (замена перекрытий) на объекте без стесненных условий строительной площадки (Опрос № 3) и реконструкция существующего здания в условиях стесненных условий строительной площадки (Опрос № 4).



$f_1$  — мобильность вертикального транспорта,  $f_2$  — радиус действия вертикального транспорта,  $f_3$  — необходимый размер грузового отсека автомобиля доставщика,  $f_4$  — маневровые характеристика автомобиля доставщика,  $f_5$  — квалификация и состав звена,  $f_6$  — тип арматурных работ,  $f_7$  — особенности монтажа опалубки,  $f_8$  — подача бетонной смеси,  $f_9$  — укладка бетонной смеси,  $f_{10}$  — укладка бетонной смеси,  $f_{11}$  — тип последующих отделочных работ,  $f_{12}$  — место производства опалубки,  $f_{13}$  — количество элементов опалубки,  $f_{14}$  — потребность в исходных компонентах

**Рисунок 1.** Диаграмма распределения веса факторов для опросов 1–4

Как видно из диаграммы для условий нового строительства (Опрос № 1) наибольший вес имеют факторы из раздела монтажной технологичности. На первый план выдвигаются особенности монтажа опалубки, квалификация и состав звена, способы производства бетонных работ. Данный выбор экспертов обусловлен неограниченным доступом на монтажный горизонт ввиду отсутствия перекрытий вышележащего этажа и отсутствия ограничений строительной площадки для применения средств доставки. Те же тенденции сохраняются и для производства работ при реконструкции перекрытий в условиях свободной строительной площадки (Опрос № 3). Потребность в производстве работ в закрытом помещении увеличивает вес факторов, связанных с бетонными и арматурными работами.

По результатам экспертного опроса работы в стеснённых условиях строительной площадки (Опросы № 2 и 4) увеличивают вес факторов транспортной технологичности. Так для нового строительства и реконструкции вес факторов мобильности вертикального транспорта и средств доставки увеличился в два раза.

Полученные результаты ранжирования дают возможность оценить влияние каждого фактора на комплексную технологичность несъемной опалубки перекрытий, что позволяет, при выявлении соответствующих зависимостей, разработать методику определения предварительных технико-экономических показателей для проведения вариантного проектирования.

## ЛИТЕРАТУРА

1. Вариантное проектирование строительных процессов как способ принятия рационального решения по срокам и стоимости строительства / В.Н. Кабанов, А.А. Трандофиров, К.В. Степанов [и др.] // Вестник Волгоградского государственного архитектурно-строительного университета. Серия: Строительство и архитектура. — 2017. — № 50(69). — С. 37–45. — EDN ILNDUU.
2. Булгаков С.Н. Технологичность железобетонных конструкций и проектных решений. М.: Стройиздат, 1983.
3. Полтавцев С.И., Монфред Ю.Б., Волга В.С. Технологичность жилых зданий. М.: Стройиздат, 1992.
4. Системотехника строительства. Энциклопедический словарь. Под ред. А.А. Гусакова. М.: изд-во АСВ, 2004.
5. Азгальдов А.А., Квалиметрия в архитектурно-строительном проектировании / ГГ. Азгальдов. — М.: Стройиздат, 1989.
6. Гайдуков, П.В. Структура комплексной технологичности несъемной опалубки перекрытий / П.В. Гайдуков, Е.М. Пугач // Вестник евразийской науки. — 2022. — Т. 14. — No 1.
7. Бешелев С.Л., Гурвич Ф.Г. Математико-статистические методы экспертных оценок. — Москва: Статистика, 1980. — 263 с.
8. Загорская А.В., Лapidус А.А. Применение методов экспертной оценки в научном исследовании. Необходимое количество экспертов // Строительное производство. 2020. No 3. С. 21–34.
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, No 4. URL: <http://www.ivdon.ru/ru/magazine/archive/n4y2019/5915>.

### Gaidukov Pavel Vladimirovich

National Research Moscow State University of Civil Engineering, Moscow, Russia  
E-mail: Gaidukov.p.v@yandex.ru  
RSCI: [https://elibrary.ru/author\\_profile.asp?id=951399](https://elibrary.ru/author_profile.asp?id=951399)

### Pugach Evgeniy Mihailovich

National Research Moscow State University of Civil Engineering, Moscow, Russia  
E-mail: Tsp-tvz@mail.ru  
ORCID: <https://orcid.org/0000-0003-2832-1941>  
RSCI: [https://elibrary.ru/author\\_profile.asp?id=416367](https://elibrary.ru/author_profile.asp?id=416367)

## Features of the use of stay in place floor formwork

**Abstract.** The variant study of various technologies for the construction of floors in fixed formwork within the framework of implementation on one project allows to improve the organizational and technological reliability of construction production. Consideration of the complex manufacturability of various systems of non-removable formwork of floors allows us to obtain the enlarged technical and economic indicators necessary at the design stage for preliminary variant design and selection of the most suitable technical solution for the construction conditions. According to the results of the study, by constructing property trees, the main factors of transport, installation, production and operational manufacturability of fixed formwork were identified. The main indicators of the considered groups of manufacturability can be expressed in absolute values obtained by the analytical method or have a qualitative assessment. A qualitative assessment of the technological performance indicators can be carried out by conducting an expert survey. The totality of the obtained qualitative and quantitative indicators express the complex manufacturability of the permanent formwork. To conduct the survey, various conditions of the construction site were formed and described to determine the weight of the processability factors. The required number of experts has been determined to rank the factors of manufacturability  $x_1-x_{14}$ , and an expert survey has been described. Rank matrices are provided for each of the surveys conducted, the assessment of the consistency of expert opinions is confirmed using the Kendel concordance coefficient, for which the Pearson consistency criterion is determined, the "Noise Field" factors are insignificant for further research. The obtained ranking results make it possible to assess the impact of each factor on the complex manufacturability of fixed formwork of floors, which allows, when identifying the corresponding dependencies, to develop a methodology for determining preliminary technical and economic indicators for carrying out variant design.

**Keywords:** stay in place slab formwork; structural features of stay in place slab formwork; functional features of stay in place formwork; technological features of stay in place floor formwork; characteristics of stay in place formwork; manufacturability stay in place formwork