

УДК: 69.05, 691.3

DOI: 10.48612/NewsKSUAE/75.13

EDN: HQCAID



Конструктивно-технологические особенности строительства сборно-разборных конструкций клинового типа

Р.Х. Мухаметрахимов¹, Г.Н. Шмелев¹, Д.Р. Ахтямов², Р.З. Рахимов¹, О.В. Хохряков¹

¹ Казанский государственный архитектурно-строительный университет, г. Казань,
Российская Федерация

² ООО «Стадия Проектирования», г. Казань, Российская Федерация

Аннотация. *Постановка задачи.* Проблемами при использовании стержневых сборно-разборных конструкций клинового типа являются:

1. Большое количество горизонтальных креплений к стене основного сооружения, согласно рекомендациям заводов-изготовителей, не варьируется от формы конструкции, что увеличивает стоимость, трудоемкость возведения самих конструкций, а также усложняет производство строительных процессов на лесах.

2. Отсутствие фундаментов приводит к неравномерным осадкам конструкции. Неравномерные осадки в данном случае сложно прогнозировать, поэтому приходится вводить дополнительные крепления с «запасом», согласно требованиям нормативных документов и инструкциям заводов-изготовителей элементов этих конструкций.

Цель исследований заключается в определении влияния конструктивно-технологических особенностей эксплуатации на прочность, жесткость, устойчивость, трудоемкость и стоимость конструкции. Задачами исследования являются: обоснование необходимости учета формы сооружения и неравномерности осадки опор; обеспечение существенной экономии трудовых, материальных затрат и сокращения продолжительности работ при обеспечении надежности, путем уменьшения количества креплений.

Результаты. Изучено влияние конструктивно-технологических особенностей стержневых сборно-разборных конструкций клинового типа на прочность, жесткость, устойчивость, трудоемкость и стоимость. Показана эффективность предложенного подхода по учету форм сооружения и неравномерности осадок опор, способствующих снижению количества горизонтальных креплений и как следствие трудовых и материальных затрат.

Выводы. Учет таких особенностей как форма и механические свойства основания конструкции позволяют обеспечить существенную экономию трудовых, материальных затрат и сократить продолжительность работ, путем уменьшения количества креплений. Установлено, что при возведении рассмотренных в работе круглых по форме лесов на жестком основании, которое обеспечивает разность осадок не более 4,95 мм, при учете конструктивно-технологических особенностей, экономия по стоимости достигается на 18%, по трудозатратам на 11,4%.

Ключевые слова: сборно-разборные стержневые конструкции, строительные леса, клиновые леса.

Для цитирования: Мухаметрахимов Р.Х., Шмелев Г.Н., Ахтямов Д.Р., Рахимов Р.З., Хохряков О.В. Конструктивно-технологические особенности строительства сборно-разборных конструкций клинового типа // Известия КГАСУ, 2026, № 1(75), с.148-160, DOI: 10.48612/NewsKSUAE/75.13, EDN: HQCAID

Structural and technological features of the construction of demountable wedge-type structures

R.Kh. Mukhametrakhimov¹, G.N. Shmelev¹, D.R. Akhtyamov², R.Z. Rakhimov¹,
O.V. Khokhryakov¹

¹Kazan State University of Architecture and Engineering

²“Design stage” LLC, Kazan, Russian Federation

Abstract: *Problem statement.* Problems with the use of wedge-type rod demountable structures are:

1. A large number of horizontal fasteners to the wall of the main structure, according to the recommendations of the manufacturers, does not vary from the shape of the structure. This fact increases the cost, labor intensity of the construction of the structures themselves, and also complicates the processes of the main work on the scaffolding.

2. The absence of foundations leads to uneven settlement of the structure. Uneven settlement in this case is difficult to predict, so it is necessary to introduce additional fasteners to be on the safe side. It is done according to the requirements of regulatory documents and instructions of manufacturers of elements of these structures.

The purpose of the research is to determine the influence of structural and technological features of operation on the strength, rigidity, stability, labor intensity and cost of the structure. The tasks of the study are: to justify the need to take into account the shape of the structure and the uneven settlement of the supports; to ensure significant saving on labor and material costs and reduce the duration of work, while providing reliability, by reducing the number of fasteners.

Results. The influence of structural and technological features of wedge-type rod demountable structures on strength, rigidity, stability, labor intensity and cost has been studied. The effectiveness of the proposed approach is shown. The approach suggests taking into account the shapes of the structure and the unevenness of the settlement of the supports, which contribute to reducing the number of horizontal fasteners and, consequently, of labor and material costs.

Conclusions. Taking into account such features as the shape and mechanical properties of the base of the structure can provide significant savings in labor and material costs and reduce the duration of work by decreasing the number of fasteners. It was revealed that the construction of the round-shaped scaffolding on a rigid base considered in this work provides the difference in settlements no more than 4.95 mm. Taking into account structural and technological features, cost savings are achieved by 18.01%, labor costs by 11.41%.

Keywords: demountable rod structure, scaffolding, wedge scaffolding.

For citation: Mukhametrakhimov R.Kh., Shmelev G.N., Akhtyamov D.R., Rakhimov R.Z., Khokhryakov O.V. Structural and technological features of the construction of demountable wedge-type structures // News of KSUAE, 2026, № 1(75), p.148-160, DOI: 10.48612/NewsKSUAE/75.13, EDN: HQCAID

1. Введение

Стержневые сборно-разборные конструкции применяют в качестве строительных лесов [1,2], опалубки, каркаса сооружений для культурно-массовых мероприятий [3,4] и т.д. Клиновый узел (рис. 1) – это шарнирный узел соединения, где все горизонтальные и наклонные элементы соединяются со стойкой через диск с помощью клина.

Такие конструкции имеют много преимуществ, например, большая скорость монтажа и демонтажа, возможность возведения без использования тяжелой техники, создание произвольных форм в зависимости от назначения [6, 7], но есть и недостатки:

1. Слишком большое количество горизонтальных креплений к стене. При отделочных и ремонтных работах в гражданском и промышленном строительстве применение большого количества креплений к стене и вертикальных связей поперек проходов увеличивают стоимость, трудоемкость при возведении самих конструкций, а также усложняют процессы основной работы на лесах.

2. Отсутствие фундаментов приводит к неравномерным осадкам конструкции. Неравномерные осадки в данном случае сложно прогнозировать, поэтому приходится вводить дополнительные крепления с «запасом», согласно требованиям нормативных документов, и инструкциям заводов-изготовителей элементов этих конструкций.

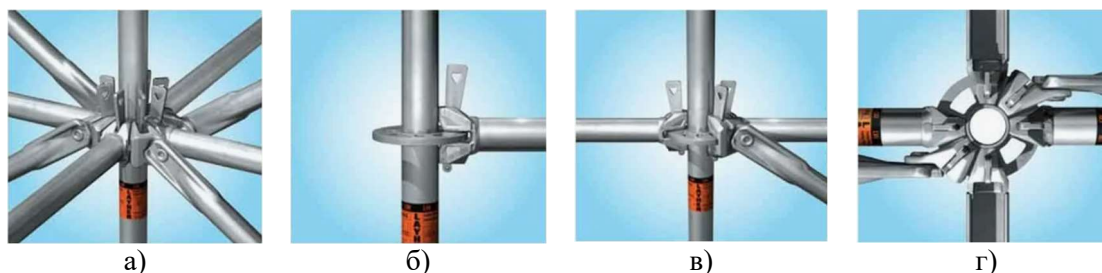


Рис. 1. Узел стержневых сборно-разборных конструкций клинового типа. а – вид узла, в котором к стойке присоединяется 8 элементов (4 ригеля, 4 диагоналя); б – вид узла, в котором к стойке присоединяется 1 элемент (1 ригель); в – вид узла в котором к стойке присоединяется 3 элемента (2 ригеля, 1 диагональ); г – вид узла, в котором к стойке присоединяется 6 элементов (4 ригеля, 2 диагонали) (вид сверху) [5]

Fig. 1. Assembly of rod demountable wedge-type structures. a – assembly type in which 8 elements (4 beams, 4 diagonals) are attached to the post; b – assembly type in which 1 element (1 beam) is attached to the post; c – assembly type in which 3 elements (2 beams, 1 diagonal) are attached to the post; d – assembly type in which 6 elements (4 beams, 2 diagonals) are attached to the post (top view) [5]

Важность учета неравномерных осадок при расчете системных лесов подтверждается исследованиями зарубежных авторов [8], где отмечено, что данный фактор, часто игнорируемый в стандартном анализе, может приводить к преждевременному разрушению конструкции.

Несущие каркасные системы, рассматриваемые в настоящей работе, являются статически неопределимыми. В таких системах вся конструкция не теряет несущую способность при потере несущей способности отдельных элементов [9]. Это происходит из-за перераспределения усилий в системе. При потере устойчивости одного элемента, усилия перераспределяются на соседние элементы. Это объясняется тем, что узлы данной системы шарнирные во всех направлениях, присутствует нелинейная зависимость между углами поворота и изгибающими моментами [10].

Изучением особенностей работы стержневых конструкций занимались различные группы исследователей, используя различные подходы к решению поставленных задач. Так, податливость стержней после потери устойчивости вычисляли, решая систему эллиптических уравнений [11], итеративным методом [12]. В работе [13] рассматривали стержень на упругом основании с поперечным прогибом с учетом деформаций сжатия, изгиба и сдвига, в работе [14] рассмотрены критические состояния стержней.

Несмотря на многочисленные исследования опорного узла и его влияния на общую работу конструкции, отсутствуют работы, позволяющие на основании учета этой и других конструктивно-технологических особенностей уменьшить количество горизонтальных креплений.

В связи с этим выдвинуты следующие гипотезы:

1) Форма сооружения влияет на устойчивость, жесткость конструкции. От устойчивости и жесткости конструкции зависит количество горизонтальных креплений.

2) Учитывая свойства основания этих сооружений, их величины осадок можно добиться экономии путем сокращения горизонтальных креплений.

Для подтверждения данных гипотез проведен анализ нормативной литературы с целью выявления существующих методик их расчета по ГОСТ 27751, ГОСТ 27321, ГОСТ 57956, МДС 12-58, СП 16.13330, требований к технике безопасности по ФЗ №384-ФЗ, ФЗ №123-ФЗ, Приказу Минтруда №782н, Приказу №883, ГОСТ Р 12.3.050, требований к самим конструкциям по ГОСТ Р 15.301, ГОСТ 58758, ГОСТ 34329, ГОСТ 9.104, ГОСТ 3242 и инструкции заводов-изготовителей элементов стержневых сборно-разборных конструкций клинового типа.

В результате выяснилось, что к стержневым сборно-разборным конструкциям предъявляются серьезные требования по безопасности, как для лесов, на которых производятся работы на высоте, так и для временных конструкций, используемых во время культурно-массовых мероприятий, из-за большого числа пребывания в них людей. Принципы расчетов таких конструкций такие же, как и для капитальных зданий и сооружений.

Анализ нормативных документов позволил выявить также и недостатки нормативного регулирования в области строительства стержневых сборно-разборных конструкций клинового типа: не учитывается реальная работа опорного узла, которая является полужесткой; не учитывается пространственная работа конструкции.

Поэтому для учета этих особенностей необходимо изучить технологические и конструктивные особенности строительства сборно-разборных конструкций клинового типа.

В качестве конструктивно-технологических особенностей рассмотрены:

- отсутствие у этих конструкций фундаментов;
- унификация элементов конструкции;
- возможность строительства конструкций различной формы;
- возможность работы таких конструкций под разными нагрузками;
- наличие в конструкциях горизонтальных креплений к основному зданию или сооружению.

Цель исследований заключается в определении влияния конструктивно-технологических особенностей эксплуатации на прочность, жесткость, устойчивость, трудоемкость и стоимость конструкции.

Задачами исследования являются: обоснование необходимости учета формы сооружения и неравномерности осадки опор, позволяющих обеспечить существенную экономию трудовых, материальных затрат и сократить продолжительность работ, при обеспечении надежности, путем уменьшения количества креплений.

2. Материалы и методы

В исследованиях по изучению влияния конструктивно-технологических особенностей на прочность, жесткость, устойчивость конструкции использовался метод конечных элементов, реализованный в расчетном комплексе «Лира Сапр». Сравнительный анализ осуществлялся аналитическим методом.

Для определения влияния формы конструкции на жесткость и устойчивость рассмотрены 2 схемы:

- круглые по форме леса, устанавливающиеся вокруг резервуаров (рис.2);
- прямолинейные леса, устанавливающиеся вдоль стен.

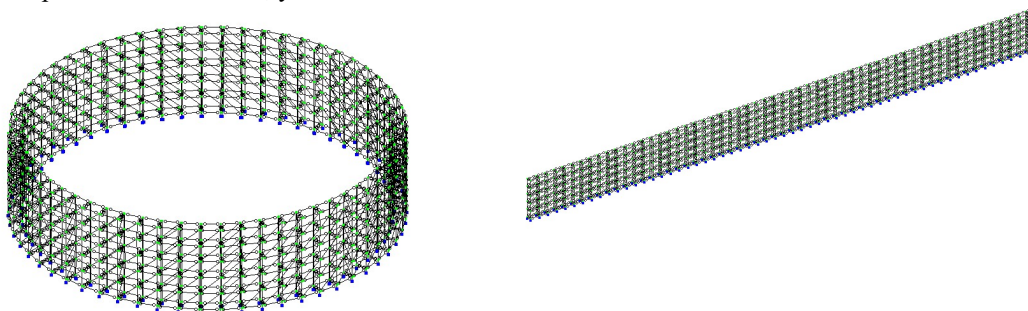


Рис. 2. Расчетная схема лесов (иллюстрация авторов)
- Fig. 2. Calculation scheme of scaffolds (illustration by the authors)

Обе схемы одинаковые по длине и по высоте. На обе схемы были приложены одинаковые нагрузки: собственный вес; кратковременная нагрузка от людей и материалов; ветер по x ; ветер по y .

После приложения нагрузок были заданы два расчетных сочетания нагрузок (далее – РСН): РСН с ветром по оси x и РСН с ветром по оси y .

Влияние неравномерных осадок на прочность конструкции представлены в виде графиков, в которых показана зависимость между усилиями в элементе конструкции от

разности осадок опор. Точка пересечения графика с прямой, определяющей допустимое (разрушающее) усилие в элементе показывает допустимую (разрушающую) разность осадок.

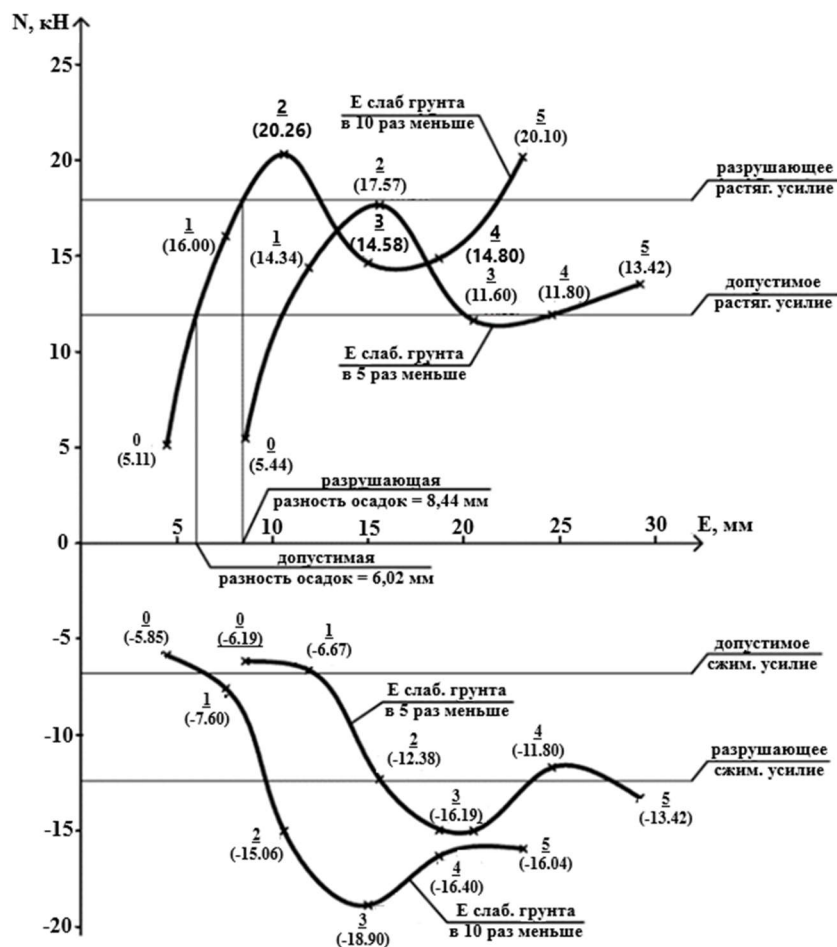


Рис. 3. График зависимости продольных усилий в диагоналях от относительных разностей осадок (иллюстрация авторов)

Fig. 3. Graph of the dependence of longitudinal forces in the diagonals on relative differences in settlement (illustration by the authors)

Для примера определения допустимой (разрушающей) разности осадок рассмотрена конструкция строительных лесов вокруг вертикального резервуара, номинальным объемом 20000 м^3 , диаметром 39.9м, высотой 18м. Геометрические параметры приняты в соответствии с таблицей 3 согласно ГОСТ 31385 «Резервуары вертикальные цилиндрические стальные для нефти и нефтепродуктов». Расчетная схема (рис. 4) имеет круглую форму в плане, что дает возможность учесть эту особенность данной конструкции. Круглая форма лесов увеличивает устойчивость конструкции и жесткость по направлению ветра.

Принцип численных исследований заключался в анализе внутренних усилий в элементах конструкции, возникающих при различных жесткостях упругого основания.

В качестве слабого грунта принят грунт с наименьшим модулем упругости из СП 22.13330. В качестве основного грунта принят грунт с модулем упругости в 5 раз больше слабого в первом варианте, в 10 раз – во втором.

Основание под опорами моделировалось одноузловыми конечными элементами КЭ51. Модуль упругости слабого грунта взят из табл. А.4 по СП 22.13330 – 3 МПа. Опорная плита $200 \times 200 \text{ мм}$. $R = 5 \text{ кН/см}$ (слабого грунта).

В связи с тем, что осадка опор может возникнуть под любыми опорами, рассмотрены 4 возможных случая:

- 1) жесткость опорного узла меняется вдоль наружных стоек;
- 2) жесткость опорного узла меняется вдоль внутренних стоек;

3) жесткость опорного узла меняется вдоль внутренних и внешних стоек одновременно;

4) жесткость опорного узла меняется в шахматном порядке.

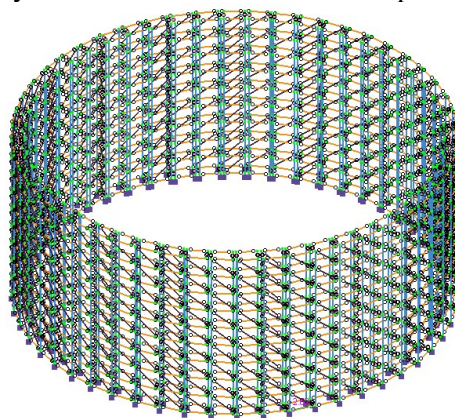


Рис. 4. Общий вид расчетной схемы (иллюстрация авторов)
Fig. 4. General view of the calculation scheme (illustration by the authors)

Для исследования влияния неравномерных осадок на устойчивость конструкции, были рассмотрены две одинаковые схемы с разными жесткостями в опорных узлах:

- расчетная схема лесов при однородной жесткости грунтового основания;
- расчетная схема при неоднородной жесткости грунтового основания.

Для исследования влияния наличия креплений к стене основного сооружения на прочность, жесткость, устойчивость конструкции рассмотрены 2 одинаковые схемы:

- расчетная схема лесов при наличии горизонтальных креплений;
- расчетная схема лесов при отсутствии горизонтальных креплений.

Для определения влияния конструктивно-технологических особенностей на материальные и трудовые затраты, выполнены расчеты стоимости конструкции и требуемых трудозатрат на их строительство. Для сравнения принята конструкция, в которой разность осадок опор не превышает 4,95 мм (объект исследования). При такой разности осадок по полученным результатам горизонтальные крепления к основной конструкции можно не устанавливать. Данную конструкцию сравнивали с конструкцией таких же размеров, прикрепленных к стене основной конструкции горизонтальными креплениями согласно требованиям завода-изготовителя и нормативных документов.

Трудоемкость лесов с креплениями рассчитывалась по ЕНиР Еб. На первом этапе рассчитывался объем работ, затем определялась трудоемкость.

В связи с тем, что в документе нет данных для возведения лесов без креплений, нами определены отдельные виды работ, которые отсутствуют при строительстве лесов без креплений. Что позволило вычесть эти трудозатраты из трудозатрат на строительство лесов с креплениями.

Отдельные виды работ на устройство горизонтальных креплений к стене основного сооружения:

1. Сверления отверстий.
2. Установка анкерных болтов с крюком.
3. Установка хомутов.
4. Установка кронштейнов длиной 1,5 м для строительных лесов.

3. Результаты и обсуждение

Установлено, что форма конструкции влияет на общую жесткость и устойчивость конструкции. Результаты расчетов представлены в таблице 1.

Как видно в табл. 1, круглые леса устойчивее прямолинейных в 2,72 раза (коэффициент устойчивости по 1 форме потери устойчивости для круглых лесов – 10,9, для прямолинейных – 4,01), и жестче в направлении, перпендикулярное ветру в 2,12 раз (максимальное перемещение круглых лесов по x и y – 9,28 мм, максимальное перемещение прямолинейных лесов по x и y – 19,7 мм). Однако круглые леса менее

жесткие в вертикальном направлении в 3,1 раз (максимальные перемещения по z круглых лесов – 5,99 мм, прямолинейных лесов – 1,96 мм).

Таблица 1

Сравнение двух видов лесов, отличающихся по форме

Параметры исследования	Круглые леса	Прямолинейные леса
РСН с ветром по x (вдоль длинной стороны прямолинейных лесов)		
Перемещения по x, мм	9,28	1,33
Перемещения по y, мм	6,34	1,44
Перемещения по z, мм	5,99	1,17
Коэффициент устойчивости (по 1 форме потери устойчивости)	11,05	3,76
РСН с ветром по y (перпендикулярно длинной стороне прямолинейных лесов)		
Перемещения по x, мм	3,51	3,13
Перемещения по y, мм	6,94	19,7
Перемещения по z, мм	5,93	1,96
Коэффициент устойчивости (по 1 форме потери устойчивости)	10,9	4,01

Результаты влияния неоднородности грунтового основания на прочность, устойчивость, жесткость конструкции представлены в таблице 2.

Таблица 2

Влияние особенностей конструкции стержневых сборно-разборных конструкций клинового типа на прочность, устойчивость, жесткость конструкции

Особенность конструкции	Влияние на прочность конструкции	Влияние на устойчивость конструкции	Влияние на жесткость конструкции
1. Разная жесткость опорных узлов (неоднородность грунтового основания)	Чем больше разница между жесткостями опорных узлов, тем больше усилий в элементах, то есть конструкция при меньших нагрузках быстрее теряет свою прочность. Допустимая разность осадок при разности жесткостей в 10 раз – 4,95 мм, в 5 раз – 9,86 мм (разница в 1,9 раз).	Чем больше разница между жесткостями опорных узлов, тем быстрее конструкция теряет устойчивость. Коэффициент потери устойчивости при однородном основании - 2,66, при неоднородном – 1,69 (разница в 1,6 раз).	Чем больше разница между жесткостями опорных узлов, тем больше отклонение вертикальных элементов от горизонтали. То есть меньше жесткость конструкции. Допустимая разность осадок при одинаковых отклонениях при разности жесткостей в 10 раз – 7,35 мм, в 5 раз – 9,64 мм (разница в 1,3 раза)

Кроме этого по результатам анализа зависимостей влияния неравномерных осадок на усилия в элементах, установлено, что неравномерные осадки наибольшее влияние оказывают на стойки и диагонали конструкции, при этом на ригели они практически не влияют. Результаты влияния наличия креплений к основному зданию или сооружению на прочность, устойчивость, жесткость конструкции представлена в форме таблицы 3.

Из-за унификации элементов стержневых сборно-разборных конструкций клинового типа элементы конструкции используются неэффективно. Одинаковые элементы имеют большие диапазоны усилий, что является еще одной отличительной особенностью таких конструкций. В данном примере в сжатых диагоналях усилия находятся в диапазоне от -0,021 кН до -2,1 кН, в растянутых от 0,021 до 5,12 кН, в стойках сжимающие усилия находятся в диапазоне от -0,645 кН до -39,3 кН, в ригелях сжимающие усилия находятся в диапазоне от -0,0216 кН до -2,16 кН, растягивающие усилия от 0,0216 кН до 5,51 кН.

В исследуемом случае определено, что леса круглой формы крепить к основной конструкции нет необходимости при наличии жесткого основания, обеспечивающее недопустимость величины неравномерных осадок в 4,95 мм. То есть на основании

результатов расчетов и при наличии жесткого основания с целью экономической эффективности, можно избавиться от лишних элементов крепления.

Таблица 3

Влияние наличия креплений к основному зданию или сооружению стержневых сборно-разборных конструкций клинового типа на прочность, устойчивость, жесткость конструкции

Особенность конструкции	Влияние на прочность конструкции	Влияние на устойчивость конструкции	Влияние на жесткость конструкции
2.Крепление к основному зданию или сооружению	На прочность не влияют. Меняется расчетная схема, но так как эти элементы не воспринимают вертикальные усилия, прочность таких конструкций остается такой же, как и без креплений.	Наличие таких креплений влияют на устойчивость. Коэффициент устойчивости без крепления – 2,66, при наличии крепления – 2,85 (разница 1,1 раза)	Наличие таких креплений влияют на жесткость конструкции. Горизонтальные смещения вертикальных элементов без крепления – 27,7 мм, при наличии крепления – 20,1 (разница 1,37 раза)

Стоимость клиновых лесов ЛСК-100 без горизонтальных креплений и с горизонтальными креплениями, высотой 18м, длиной 140м представлена в таблице 4.

Таблица 4

Расчет стоимости лесов без горизонтальных креплений к основному сооружению (леса клиновые ЛСК-100; высота 18 м., длина 140м.)

Наименование	Кол-во, шт.	Вес, кг.	Цена за шт., руб.	Стоимость, руб.
Стойка вертикальная 2000/4 ЛСК-100 (48*3 мм)	1026	9192.96	1670.1	1713522.6
Связь горизонтальная 2,5 м. ЛСК (48*2 мм)	1176	6914.88	1022.2	1202107.2
Связь горизонтальная 1,5 м. ЛСК (48*2 мм)	572	2064.92	680.2	389074.4
Связь диагональная 2,5*2 м. ЛСК (42*1,5 мм), 3,25 м.	96	545.28	1026	98496
Связь диагональная 2*1,5 м. ЛСК (42*1,5 мм), 2,548 м.	16	74.08	850.25	13604
Лестница навесная 2 м.	72	496.08	1521.9	109576.8
Домкрат 0,35-0,5 м. 48 мм., пустотелый	114	285	1039.3	118480.2
Настил металлический 2,5*0,28 м.	56	1069.6	4115.4	230462.4
Настил металлический 2,5*0,42 м.	112	2721.6	5125.25	574028
Стартовый элемент 0,35 м. ЛСК-60, ЛСК-100 (48*3 мм)	114	221.16	382.85	43644.9
Ограждение 2,5х0,5 м.	56	560	1624.5	90972
Ограждение 1,5х0,5 м.	2	11	1020.3	2040.6
Отбортовочный мет. эл. 2500х150 мм (комплект)	1008	6572.16	1261.6	1271692.8
Отбортовочный мет. эл. 1500х150 мм (комплект)	18	74.88	822.7	14808.6
Общий вес:	31222.75 кг.			
Площадь лесов:	2520 м2			
Итого:	5872510.5 руб.			

Таблица 5

Расчет стоимости лесов с горизонтальными креплениями к основному сооружению
(Леса клиновые ЛСК-100; высота 18 м., длина 140м)

Наименование	Кол-во, шт.	Вес, кг.	Цена за шт., руб.	Стоимость, руб.
Стойка вертикальная 2000/4 ЛСК-100 (48*3 мм)	1026	9192.96	1670.1	1713522.6
Связь горизонтальная 2,5 м. ЛСК (48*2 мм)	1176	6914.88	1022.2	1202107.2
Связь горизонтальная 1,5 м. ЛСК (48*2 мм)	572	2064.92	680.2	389074.4
Связь диагональная 2,5*2 м. ЛСК (42*1,5 мм), 3,25 м.	96	545.28	1026	98496
Связь диагональная 2*1,5 м. ЛСК (42*1,5 мм), 2,548 м.	16	74.08	850.25	13604
Лестница навесная 2 м.	72	496.08	1521.9	109576.8
Домкрат 0,35-0,5 м. 48 мм., пустотелый	114	285	1039.3	118480.2
Настил металлический 2,5*0,28 м.	56	1069.6	4115.4	230462.4
Настил металлический 2,5*0,42 м.	112	2721.6	5125.25	574028
Стартовый элемент 0,35 м. ЛСК-60, ЛСК-100 (48*3 мм)	114	221.16	382.85	43644.9
Ограждение 2,5х0,5 м.	56	560	1624.5	90972
Ограждение 1,5х0,5 м.	2	11	1020.3	2040.6
Отбортовочный мет. эл. 2500х150 мм (комплект)	1008	6572.16	1261.6	1271692.8
Отбортовочный мет. эл. 1500х150 мм (комплект)	18	74.88	822.7	14808.6
Хомут к балке для строительных лесов	320	64	548	175360
Анкерный болт с крюком	320	160	1683	538560
Кронштейн анкерный 1,5 м. для строительных лесов	320	384	1073	343360
Общий вес:	31830.75 кг.			
Площадь лесов:	2520 м ²			
Итого:	7207230,5 руб.			

Разница в стоимости составляет 1057280 р.

Таблица 6

Ведомость объемов работ на строительство лесов с горизонтальными креплениями

№ п/п	Наименование вида работ	Ед. изм.	Кол-во	Формула расчета. Расчет объемов работ и расхода материалов. Пояснения по размерам и количеству согласно проектным данным
1	Устройство клиновых лесов	м ²	2520	$S = 1$ (длина лесов) $\times$ H (высота лесов) = 140 м $\times$ 18 м = 2520 м ²

Таблица 7

Расчет трудоемкости строительства клиновых лесов с горизонтальными креплениями

№ п/п	Наименование работ	Документ	Измеритель	Объем работ на здание	Состав звена	Затраты труда на ед.		Трудоемкость	
						маш.-ч	чел.-ч	маш.-ч	чел.-ч
1	Устройство клиновых лесов	ЕНиР Е6-1	м ²	2520	Монтажник (4р-1, 3р-2, 2р-1)	-	0,23	-	579,6
									579,6

Для возведения лесов с креплениями необходимо 579,6 чел.-ч.

Таблица 8

Ведомость объемов работ на устройство горизонтальных креплений конструкции лесов

№ п/п	Наименование вида работ	Ед. изм.	Кол-во	Формула расчета. Расчет объемов работ и расхода материалов. Пояснения по размерам и количеству согласно проектным данным
1	Сверление отверстий	шт	320	$N = S (\text{площадь лесов}) / s (\text{площадь лесов на 1 отверстие}) = 2520 \text{ м}^2 / 7,875 \text{ м}^2 = 320 \text{ шт}$
2	Установка анкерных болтов с крюком	100шт т	0,32	$N = S (\text{площадь лесов}) / s (\text{площадь лесов на 1 хомут}) / 100 = 2520 \text{ м}^2 / 7,875 \text{ м}^2 / 100 = 0,320$
3	Установка хомутов	100шт т	0,32	$N = S (\text{площадь лесов}) / s (\text{площадь лесов на 1 хомут}) / 100 = 2520 \text{ м}^2 / 7,875 \text{ м}^2 / 100 = 0,320$
4	Установка кронштейнов 1,5 м для строительных лесов	т	0,384	$M = n (\text{количество элементов}) \times m (\text{масса одного элемента}) / 1000 = 1,2 \text{ кг} \times 320 / 1000 = 0,384 \text{ кг}$

Таблица 9

Расчет трудоемкости на устройство горизонтальных креплений конструкции лесов

№ п/п	Наименование работ	Документ	Измеритель	Объем работ на здание	Состав звена	Затраты труда на ед.		Трудоемкость	
						маш.-ч	чел.-ч	маш.-ч	чел.-ч
1	Сверление отверстий	ЕНиР Е6-1	шт	320	Плотник (3р-1)	-	0,12	-	38,4
2	Установка анкерных болтов с крюком	ЕНиР Е6-54	100 шт	0,32	Плотник (4р-1)	-	6,5	-	2,08
3	Установка хомутов	ЕНиР Е6-54	100 шт	0,32	Плотник (4р-1)	-	40,5	-	12,96
4	Установка кронштейнов 1,5 м для строительных лесов	ЕНиР Е5-1-18	т	0,384	Монтажник (4р-1, 3р-1)	-	33	-	12,67
									66,11

Таким образом, для возведения лесов без креплений необходимо 579,6 чел-ч - 66,11 чел-ч. = 513,49 чел-ч.

В результате экономического сравнения установлено, что конструкция без крепления к основным конструкциям экономически эффективнее по стоимости на 18%, по трудозатратам на 11,4%, чем с креплением.

В данной работе приведены расчеты и количественные показатели эффективности конструкции при правильном учете ее конструктивных и технологических особенностей. В работе [15] отмечается, что пересмотр стандартов на строительные леса позволит повысить эффективность и безопасность строительно-монтажных работ, однако данное утверждение не сопровождается количественным обоснованием. В работе [16] количественная эффективность обоснована анализом продолжительности работ на реальном объекте, но без учета материалоемкости и конструктивно-технологических особенностей. В отличие от перечисленных подходов, в настоящем исследовании выполнено комплексное количественное обоснование эффективности, включающее оценку материальных и трудовых затрат. Установлено, что учет таких особенностей, как форма сооружения и неравномерность осадок опор, позволяет снизить количество горизонтальных креплений, что подтверждается полученными расчетными данными.

Перспективным направлением дальнейших исследований является применение высокопрочных сталей, которое, как показано в работе [17], позволяет снизить материалоемкость конструкций дисковых лесов без потери их несущей способности.

4. Заключение

1. Изучено влияние конструктивно-технологических особенностей стержневых сборно-разборных конструкций клинового типа на прочность, жесткость, устойчивость, трудоемкость и стоимость. Показана эффективность предложенного подхода по учету форм сооружения и неравномерности осадок опор, способствующих снижению количества горизонтальных креплений и как следствие трудовых и материальных затрат.

2. Определено, что круглая форма дополнительно увеличивает устойчивость и жесткость конструкции. Круглые леса устойчивее прямолинейных в 2,72 раза (в рассмотренных в данной работе объектах исследования) и жестче в направлении, перпендикулярное ветру в 2,12 раз. Круглые леса менее жесткие в вертикальном направлении в 3 раза.

3. Механические свойства основания влияют на прочность, жесткость и устойчивость конструкции: чем больше разность жесткостей основания, тем менее прочна конструкция; чем больше разница между жесткостями опорных узлов, тем больше отклонения вертикальных элементов по горизонтали, то есть меньше жесткость конструкции. Чем больше разница между жесткостями опорных узлов, тем быстрее конструкция теряет устойчивость.

4. Установлено, что разность осадок наибольшее влияние оказывает на продольные усилия в стойках и диагоналях конструкции, при этом усилия в ригелях при неравномерных осадках практически не меняются.

5. Определено, что наличие креплений к стене основной конструкции оказывает влияние на жесткость и устойчивость конструкции, но на ее прочность не влияет. Усилия в конструкциях перераспределяются, но так как эти элементы не воспринимают вертикальные усилия, прочность таких конструкций остается такой же, как и без креплений.

6. Показано, что унификация элементов стержневых сборно-разборных конструкций клинового типа приводит к тому, что элементы конструкции работают недогружено.

7. Установлено, что учет таких особенностей как форма и механические свойства основания конструкции позволяют обеспечить существенную экономию трудовых, материальных затрат и сократить продолжительность работ, путем уменьшения количества креплений. Выявлено, что при возведении рассмотренной в данной работе лесов, на жестком основании, обеспечивающее разность осадок не более 4,95 мм, при учете конструктивно-технологических особенностей, круглые леса экономичнее по стоимости на 18%, по трудозатратам на 11,4%. Общая экономическая эффективность составляет 29,4%.

Список литературы/ References

1. Мотылев Р. В., Бахтинова Ч. О., Тилинин Ю. И., Бахтинов С. А. Строительные леса как комбинированные защитные экраны при организации строительства многоэтажных зданий // Вестник гражданских инженеров. – 2021. – № 4(87). – С. 60-78. – DOI 10.23968/1999-5571-2021-18-4-60-78. – EDN ZBKFWW.
Motylev R. V., Bakhtinova Ch. O., Tilinin Yu. I., Bakhtinov S. A. Scaffolding as combined protective screens in the organization of construction of multi-storey buildings // Bulletin of Civil Engineers. 2021. No. 4(87). P. 60-78. DOI: 10.23968/1999-5571-2021-18-4-60-78.
2. Liu H., Hao T., Zhang H., et al. Experimental and theoretical investigation on the lateral bearing capacity of disk-lock scaffold // Journal of Constructional Steel Research. 2026. Vol. 236, Part A. P. 109936. DOI: 10.1016/j.jcsr.2025.109936.
3. Муцанов В. Ф., Оржеховский А. Н., Муцанов А. В., Цепляев М. Н. Надежность пространственных стержневых металлических конструкций высокого уровня ответственности // Вестник МГСУ. 2024. Т. 19, № 5. С. 763-777. DOI: 10.22227/1997-0935.2024.5.763-777. – EDN GEAKOH.
Mushchanov V. F., Orzhekhovsky A. N., Mushchanov A. V., Tseplyaev M. N. Reliability of spatial rod metal structures of high responsibility level // Bulletin of MGSU. 2024. Vol. 19. No. 5. P. 763-777. DOI: 10.22227/1997-0935.2024.5.763-777.

4. Ефремова Е. А., Сергеева А. А., Аветян Н. Ю., Марутян А. С. Модернизация стержневых конструкций Шуховской серии // Современная наука и инновации. 2024. № 2(46). С. 220-234. DOI: 10.37493/2307-910X.2024.2.23. – EDN EVNLSO.
Efremova E. A., Sergeeva A. A., Avetyan N. Yu., Marutyan A. S. Modernization of rod structures of the Shukhov series // Modern Science and Innovations. 2024. No. 2(46). P. 220-234. DOI: 10.37493/2307-910X.2024.2.23.
5. Система строительных лесов Allround : Каталог. – Текст : электронный // ООО «Аксиома» : [сайт]. – URL: http://aksioma.rent/equipment/pdf/allround_scaffolding_system.pdf (дата обращения: 07.04.2026).
Allround scaffolding system : Catalog. – Text : electronic // “Aksioma” LLC : [website].
URL: http://aksioma.rent/equipment/pdf/allround_scaffolding_system.pdf (reference date: 07.04.2026).
6. Yan R., Ji H., Wang S., Zhu P., Peng K., Zhang C. Impact of vertical pipe splicing on the stability of disk-buckle scaffolding // Journal of Constructional Steel Research. 2026. Vol. 239. P. 110252. DOI: 10.1016/j.jcsr.2026.110252.
7. Wang C., Zhang H., Rasmussen K. J. R., Reynolds J., Yan S. System reliability-based limit state design of support scaffolding systems // Engineering Structures. 2020. Vol. 216. P. 110677. DOI: 10.1016/j.engstruct.2020.110677.
8. Chan J. L. Y., Lo S. H. Stability design of system scaffold with differential settlement // Structures. 2020. Vol. 27. P. 1467-1478. DOI: 10.1016/j.istruc.2020.07.024.
9. Гарипов А. И. Численные исследования заkritической работы стержней кольцевого поперечного сечения при внецентренном сжатии // Вестник гражданских инженеров. 2020. № 5(82). С. 87-93. DOI: 10.23968/1999-5571-2020-17-5-87-93.
Garipov A. I. Numerical investigation of post-critical resistance of hollow circular cross-section bars under bending and axial compression // Bulletin of civil engineers. 2020. No. 5(82). P. 87-93. DOI: 10.23968/1999-5571-2020-17-5-87-93.
10. Zheng Y., Guo Z. Investigation of joint behavior of disk-lock and cuplok steel tubular scaffold // Journal of Constructional Steel Research. 2021. Vol. 177. DOI: 10.1016/J.JCSR.2020.106415.
11. Гимазетдинов А. Р., Каюмов Р. А., Шакирзянов Ф. Р. Податливость сжатых стержней на упругих опорах с учетом сдвига // Динамические и технологические проблемы механики конструкций и сплошных сред : материалы XXVIII международного симпозиума имени А.Г. Горшкова, Кременки, 16–20 мая 2022 года. Том 1. – Москва: ООО "ТПП", 2022. – С. 69-70. – EDN RANBWQ.
Gimazetdinov A. R., Kayumov R. A., Shakirzyanov F. R. Compliance of compressed rods on elastic supports considering shear // Dynamic and technological problems of mechanics of structures and continua : Proceedings of the XXVIII International Symposium named after A.G. Gorshkov, Kremenki, May 16–20, 2022. Vol. 1. Moscow: TRP LLC, 2022. P. 69-70.
12. Areiza-Hurtado M., Aristizábal-Ochoa J. D. Second-order analysis of a beam-column on elastic foundation partially restrained axially with initial deflections and semirigid connections // Structures. 2019. Vol. 20. P. 134–146. DOI: 10.1016/J.ISTRUC.2019.03.010.
13. Vega-Posada C., Areiza-Hurtado M., Aristizabal-Ochoa J. D. Large-deflection and post-buckling behavior of slender beam-columns with non-linear end-restraints // International Journal of Non-Linear Mechanics. 2011. Vol. 46. P. 79-95. DOI: 10.1016/J.IJNONLINMEC.2010.07.006.
14. Крутикова М. А. Критическое состояние стержней фермы // Научные технологии и инновации (XXVI научные чтения) : Сборник докладов Международной научно-практической конференции, Белгород, 25 ноября 2025 года. – Белгород: Белгородский государственный технологический университет им. В.Г. Шухова, 2025. – С. 83-86.

- Krutikova M. A. Critical state of truss rods // High-tech technologies and innovations (XXVI Scientific Readings) : Collection of reports of the International Scientific and Practical Conference, Belgorod, November 25, 2025. Belgorod: Belgorod State Technological University named after V.G. Shukhov, 2025. P. 83-86.
15. Олейник П. П., Бродский В. В. Повышение эффективности проектирования и применения строительных лесов // Системные технологии. 2018. № 3(28). С. 39-42.
Oleynik P. P., Brodsky V. V. Increasing of scaffolding design and application efficiency // System technologies. 2018. No. 3(28). P. 39-42.
16. Бунт А. М. Эффективные решения опалубки перекрытий – опорная система «Гамма ST» // Строительные материалы, оборудование, технологии XXI века. 2017. № 11-12 (226-227). С. 22-25.
Bunt A. M. Effective floor slabs formwork solutions – Gamma ST support system // Building materials, equipment, technologies of the XXI century. 2017. No. 11-12 (226-227). P. 22-25.
17. Zhu M., Jin Z., Yu B., Qin Y. Experimental and numerical studies on mechanical properties of high-strength steel tubular disk-lock scaffold // KSCE Journal of Civil Engineering. 2025. Vol. 29, Iss. 12. P. 100292. DOI: 10.1016/j.kscej.2025.100292.

Информация об авторах

Мухаметрахимов Рустем Ханифович, доктор технических наук, профессор, Казанский государственный архитектурно-строительный университет, г. Казань, Российская Федерация.

Email: muhametrahimov@mail.ru, ORCID: 0000-0003-2062-5289

Шмелев Геннадий Николаевич, кандидат технических наук, доцент, Казанский государственный архитектурно-строительный университет, г. Казань, Российская Федерация.

Email: gn.shmelev@mail.ru, ORCID: 0000-0001-6472-9413

Ахтямов Данияр Римович, директор, ООО «Стадия Проектирования», г. Казань, Российская Федерация.

Email: daniyar199903@gmail.com, ORCID: 0009-0005-8522-7451

Рахимов Равиль Зуфарович, доктор технических наук, профессор, Казанский государственный архитектурно-строительный университет, г. Казань, Российская Федерация.

Email: rahimov@kgasu.ru, ORCID: 0000-0002-4251-1605

Хохряков Олег Викторович, доктор технических наук, доцент, Казанский государственный архитектурно-строительный университет, г. Казань, Российская Федерация.

Email: olvik@list.ru, ORCID: 0000-0001-5337-2850

Information about the authors

Rustem Kh. Mukhametrakhimov, doctor of technical sciences, professor, Kazan State University of Architecture and Engineering, Kazan, Russian Federation.

Email: muhametrahimov@mail.ru, ORCID: 0000-0003-2062-5289

Gennady N. Shmelev, Candidate of technical sciences, Associate Professor, Kazan State University of Architecture and Engineering, Kazan, Russian Federation.

Email: gn.shmelev@mail.ru, ORCID: 0000-0001-6472-9413

Daniyar R. Akhtyamov, director, “Desing stage” LLC, Kazan, Russian Federation.

Email: daniyar199903@gmail.com, ORCID: 0009-0005-8522-7451

Ravil Z. Rakhimov, doctor of technical sciences, professor, Kazan State University of Architecture and Engineering, Kazan, Russian Federation.

Email: rahimov@kgasu.ru, ORCID: 0000-0002-4251-1605

Oleg V. Khokhryakov, doctor of technical sciences, associate professor, Kazan State University of Architecture and Engineering, Kazan, Russian Federation.

Email: olvik@list.ru, ORCID: 0000-0001-5337-2850

Дата поступления: 21.11.2025

Дата принятия: 28.04.2026