

Конструктивные решения и работа под нагрузкой свободностоящих блоков строительных хомутовых лесов

А.В. Голиков¹, И.М. Гаранжа², А.А. Тимошенкова¹

¹Волгоградский государственный технический университет

²Национальный исследовательский московский государственный строительный университет

Аннотация: В рамках работы выполнен подробный анализ работы под нагрузкой конструкций хомутовых лесов и систематизированы особенности учета нагрузок и воздействий при выполнении прочностных расчетов. В статье проанализировано напряженно-деформированное состояние свободностоящих лесов. Предложен алгоритм расчета свободностоящих лесов, с учетом особенностей конструктивных схем блоков, не указанных в нормативной литературе. По результатам анализа данных серии численных экспериментов, предложены конструктивные мероприятия по обеспечению несущей способности, жесткости и устойчивости против опрокидывания пространственных блоков свободностоящих лесов, которые позволят устанавливать блоки с отношением высоты к габаритным размерам, превышающим значение 3,5:1 на открытых площадках (снаружи зданий и сооружений) без крепления к существующим конструкциям.

Введение

Строительные леса (далее – леса) неизменно являются основными конструкциями средств подмащивания. Согласно данным OSHA, 65% от общего числа используемых средств подмащивания составляют леса, которые используются не только для работы на высоте и в труднодоступных местах, но и для сборки рекламных щитов, сцен и т.п. [1–3]. Следовательно, несчастные случаи на строительных лесах стали распространенной проблемой. Надежность и безопасность эксплуатации блоков строительных лесов напрямую зависит от уровня знаний об их действительной работе под нагрузкой и в сложных условиях эксплуатации при многократном применении. Безопасность персонала, пребывающего на конструкциях лесов, непосредственно связана с выполнением требований по технике безопасности при проведении строительного-монтажных работ на высоте. Требования по технике безопасности оказывают влияние на конструктивную

форму данного вида сооружений, что необходимо учитывать при компоновке и анализе работы блоков лесов.

В современном мире леса используются не только в строительстве, но и в других отраслях промышленности – машиностроение, авиастроение, кораблестроение, для которых требуются нерассмотренные в существующей нормативной литературе и научных исследованиях о лесах и стержневых системах [3] нетипичные условия установки и опирания. Существующие в нормативной и справочной литературе указания по конструированию и расчету лесов относятся преимущественно к лесам, устанавливаемым с закреплением к стенам здания, но при этом существует достаточно обширная область строительно-монтажных работ, для выполнения которых применяются свободностоящие блоки лесов [4–6]. Соответственно, количество конструктивных решений и методов расчета лесов должно быть расширено до такого числа, чтобы обеспечить их применимость в различных условиях и при этом обеспечить их надежность в эксплуатации и безопасность для жизни рабочих. Как показывает опыт, наиболее удобными в качестве свободностоящих блоков в стесненных условиях установки являются леса хомутового типа.

Цель исследования – изучить и описать характер работы под нагрузкой и распределение усилий и деформаций в несущих элементах свободностоящих блоков хомутовых лесов.

Предметом исследования является напряженно-деформированное состояние (далее – НДС) конструкций свободностоящих хомутовых лесов под влиянием различных сочетаний нагрузок и воздействий, в зависимости от размеров устанавливаемого блока.

Объектом исследования являются конструкция пространственных блоков свободностоящих хомутовых лесов.

Для достижения поставленной цели решены следующие задачи исследования:

- выполнить анализ конструктивных решений и методов расчета лесов, представленных в существующей нормативной базе;
- определить основные нагрузки и характер их действия на конструкции свободностоящих хомутовых лесов;
- выявить конструктивные особенности блоков свободностоящих хомутовых лесов: конструктивные особенности сопряжения элементов лесов между собой и опирания на основание и поддерживающие конструкции;
- создать расчетные схемы, позволяющие учесть особенности конструктивных форм и работу под нагрузкой свободностоящих хомутовых лесов;
- выполнить анализ изменения НДС свободностоящих хомутовых лесов в зависимости от ветрового района, высоты блока и разработать конструктивные мероприятия по обеспечению устойчивости свободностоящих блоков лесов против опрокидывания и мероприятия по обеспечению неизменяемости пространственного положения.

Общие сведения о строительных лесах и их конструкции

Леса представляют собой пространственную многоярусную и многосекционную конструкцию, которая позволяет организовывать рабочие места на высоте для выполнения строительных, монтажных и других работ. Применяются леса как снаружи, так и внутри зданий и сооружений [7].

Ошибки при проектировании лесов являются распространенной причиной несчастных случаев. Основные технические причины аварий на лесах: недостаточная прочность и жесткость элементов блока лесов, слабые грунты, отсутствие страховочных мероприятий и системы ограждений, недостаточная точность сборки и локальные деформации элементов блока [8, 9].

На настоящий момент разработано множество типов строительных лесов: из различных материалов (стальные и деревянные леса), с разнообразными способами сборки (рамные, хомутовые и т.д.) и др. [10, 11]. В зависимости от конструктивных особенностей, можно выделить два признака, по которым можно классифицировать леса:

- по конструкции узловых соединений: рамные (флажковые, штыревые, чашечные) и модульные (хомутовые, клиновые);
- по способу закрепления лесов в пространстве: стоечные приставные, свободностоящие, передвижные (вышки-туры), навесные, подвесные и переставные.

По конструктивной схеме блоки лесов (**Ошибка! Источник ссылки не найден.**) представляют собой решетчатые башни или решетчатые этажерки свободностоящие в пространстве.

Хомутовые леса изготавливают из стальных труб диаметром 48x3,5 мм по ГОСТ 10704 и вставок из труб диаметром 38x6,0 мм. Для изготовления труб применяется углеродистая сталь обыкновенного качества (Ст3сп5, Ст3сп6) по ГОСТ 380-2005. Расчетное сопротивление стали принимают равным $R_y = 240$ МПа, в соответствии с требованиями СП 16.13330.2017. Для закрепления в пространстве свободностоящих лесов дополнительно используют оттяжки, выполняемые из стальных канатов по ГОСТ 3064.

Деревянные щиты и бортовое ограждение настила изготавливаются из досок хвойных пород по ГОСТ 8486. Щиты настила изготавливаются из досок второго сорта. Расчетное сопротивление древесины второго сорта изгибу принимают $R_{дри} = 19,5$ МПа равным по СП 64.13330.2017.

Леса должны быть спроектированы устойчивыми и обладающими определенным уровнем эксплуатационных качеств. Это включает способность выдерживать нагрузку, устойчивость положения против подъема и опрокидывания [12].

При возведении и использовании лесов башенного типа необходимо прежде всего обеспечить их устойчивость. Поэтому для свободностоящих лесов, устанавливаемых внутри помещений, рекомендуемое отношение их высоты к ширине основания в целях безопасности – 4:1. Если же свободностоящие леса устанавливаются вне помещения, это отношение уменьшается до 3, 5:1.

Маркировка размеров блоков (**Ошибка! Источник ссылки не найден.Ошибка! Источник ссылки не найден.**) предусмотрена следующей:

$$A \times B \times H, \quad (1)$$

где A – размер блока лесов в продольном направлении; B – размер блока лесов в поперечном направлении; H – высота блока от опорной поверхности до рабочей площадки.

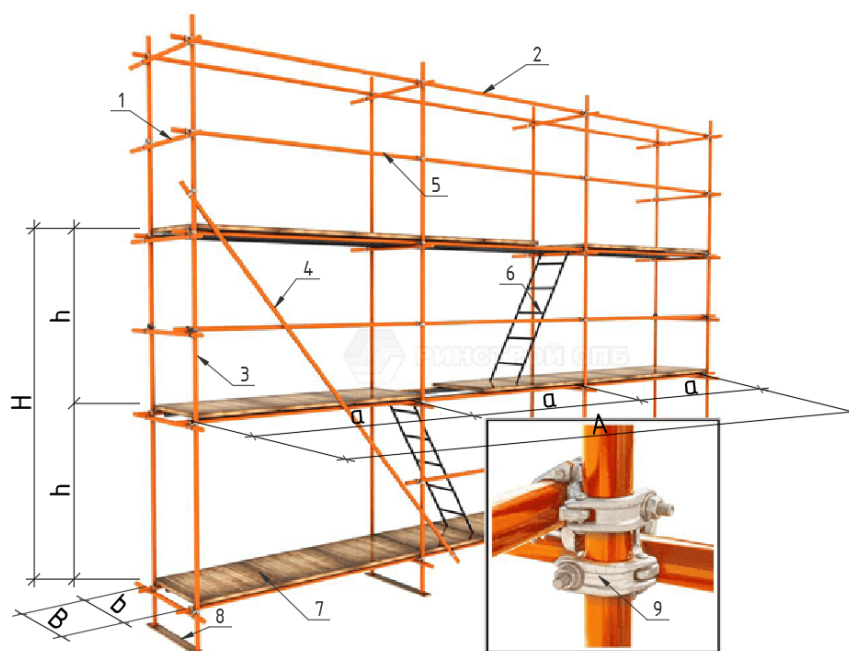


Рис. 1. – Свободностоящий блок хомутовых лесов: 1 – поперечный ригель; 2 – продольный ригель; 3 – стойка; 4 – раскос; 5 – перила ограждения; 6 – лестница; 7 – щиты настила; 8 – опорный башмак; 9 – хомут; a – шаг стоек в продольном направлении; b – шаг стоек в поперечном направлении, c – высота опорного башмака; h – шаг ярусов по высоте

Пространственные блоки требуемых размеров выполняются путем компоновки элементарной ячейки, размерами в плане $a \times b$ (**Ошибка! Источник ссылки не найден.**), необходимым количеством в продольном и поперечном направлении.

Ширина секции в свету (проход между стойками) принимается не менее 1 м, высота секции в свету – не менее 1,9 м [6]. Длина свободностоящих лесов для увеличения опорной поверхности принимается не менее 2 м [5]. Высота рабочей площадки хомутовых свободностоящих лесов не должна превышать 20 м [4].

Элементы из труб стыкуются с помощью патрубков. Согласно СТБ EN 12811-1, такие соединения можно считать жесткими, если в одном из элементов постоянно зафиксирована втулка (патрубок) и, если ее длина не менее 150 мм, когда требование по жесткости соединения обеспечено, остается только проверка втулки на расчетный изгибающий момент в соединении. С целью повышения устойчивости, стыки стоек и полустоек должны находиться на разных уровнях.

Использование раскосов при конструировании лесов значительно увеличивает несущую способность блоков [6–9]. Раскосы чередуются так, чтобы в одном пролете стыки не совпадали.

Если рабочий ярус расположен на высоте 1,3 м и более над поверхностью земли или перекрытия, то леса должны иметь перильное и бортовое ограждение для предотвращения падения с высоты людей и предметов. Высота перил ограждения должна быть не менее 1,1 м [6, 7]. Ограждение должно иметь не менее одного промежуточного горизонтального элемента или сетку, а расстояние между элементами ограждения не должно превышать 0,45 м, в ином случае ограждение должно иметь решетчатое, сетчатое или т.п. заполнение. Высота бортового

ограждения настила лесов должна быть не менее 0,15 м [6, 7]. Бортовые доски закрепляются с помощью скоб.

Щиты настила должны быть установлены на двух верхних ярусах лесов, один из которых рабочий, другой – страховочный [7].

Для подъема и спуска людей леса должны быть оборудованы лестницами по ГОСТ 26887, расположенными на расстоянии не более 40 м друг от друга. Лестницы для подъема на ярусы подвешивают на поперечные ригели и опирают на щиты настила. Угол наклона лестниц к горизонтальной поверхности должен быть не более 60° [6–8].

Расчетные схемы и положения при расчете свободностоящих блоков хомутовых лесов

По расчетной схеме свободностоящие пространственные блоки хомутовых лесов представляют собой пространственные фермы с элементами из труб. По СТБ EN 12811-1 опорные узлы блоков при создании расчетных схем должны рассматриваться как идеальные шарниры.

Основные нагрузки на конструкции лесов: собственный вес (вес элементов из труб, башмаков, настила и лестниц), вес людей и инструмента, полезная нагрузка (вес оборудования и материалов) и ветровая нагрузка [11, 12]. Основные воздействия: податливость опор от просадки грунта и проскальзывание элементов хомутовых лесов в узлах при превышении максимальной нагрузки.

Согласно ОСТ 36-128-85, временную нормативную равномерно распределенную нагрузку (полезную) следует принимать равной 200 кгс/м^2 , нормативную нагрузку от веса одного человека с инструментом принимают равной 1,2 кН. Рабочий настил следует рассчитывать в предположении передачи нагрузки на три доски суммарной шириной не менее 400 мм.

Нагрузка от веса человека с инструментом прикладывается к наименее выгодной точке ($e_1 = 30-40$ см) [10–12]. Максимально возможное количество работников в пределах одной ячейки лесов составляет два человека.

Леса относятся к сооружениям класса КС-1, согласно ГОСТ 27751 (сооружения с ограниченными сроками службы и пребыванием в них людей). Для сооружений этого класса минимальный коэффициент надежности по ответственности γ_n принимается, равным 0,8.

Конструкции лесов следует рассчитывать, согласно табл. 1 ОСТ 36-128-85, с учетом приспособлений для обеспечения безопасности, работающих на собственную массу устройств и приспособлений с коэффициентом надежности по нагрузке 1,1, на действие полезной нагрузки с коэффициентом надежности по нагрузке 1,2 и на действие ветровой нагрузки с коэффициентом 1,3.

Нагрузка от веса лесов передается на грунт посредством башмаков и деревянных подкладок. Поскольку опоры лесов закладываются непосредственно на поверхности грунта, то должны выполняться все требования к незаглубленным фундаментам, приведенные в EN 12812.

Любые основные и средние перила, независимо от способа крепления, должны выдерживать сосредоточенную нагрузку 1,25 кН, приложенную в наиболее неблагоприятных местах с направлением вниз при отклонении от вертикали в пределах спектра $\pm 10^\circ$, согласно требованиям СТБ EN 12811-1. Ступени и тетивы приставных лестниц должны выдерживать сосредоточенную нагрузку 1 кН, согласно ОСТ 36-128-85.

Значение ветровой нагрузки на конструкции лесов определяется по СП 20.13330.2017, как для пространственной решетчатой фермы. При количестве граней пространственной конструкции более 2, аэродинамический коэффициент c_t пересчитывается для учета эффекта затенения согласно требованиям ГОСТ 1451.

Расчет лесов на действие ветровой нагрузки выполняется для двух случаев (Рис. 2):

– ветровая нагрузка для рабочего состояния при наличии людей на лесах;

– ветровая нагрузка для нерабочего состояния при отсутствии людей на лесах расчетной скорости ветра, соответствующей району установки лесов.

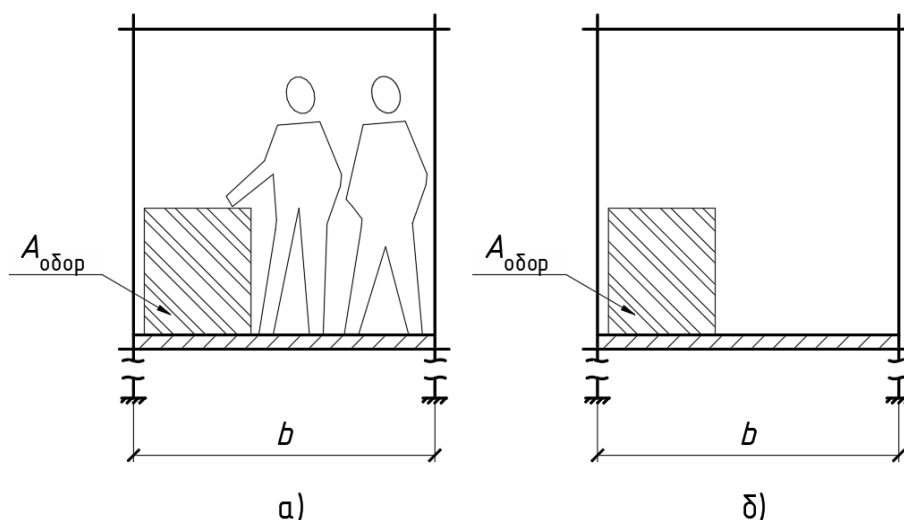


Рис. 2. – Схемы наветренных площадей на рабочем ярусе лесов:

а) рабочее состояние; б) нерабочее состояние

Для расчета прочности и устойчивости блоков лесов и их элементов приняты основные расчетные комбинации нагрузок согласно СП 20.13330.1016:

– сочетание 1: «вес конструкций» $\times 1,0$ + «полезная нагрузка» $\times 1,0$ + «ветровая нагрузка для рабочего состояния» $\times 0,9$;

– сочетание 2: «вес конструкций» $\times 1,0$ + «полезная нагрузка» $\times 1,0$ + «ветровая нагрузка для нерабочего состояния» $\times 0,9$;

– сочетание 3: «вес конструкций» $\times 1,0$ + «ветровая нагрузка для рабочего состояния» $\times 1,0$;

– сочетание 4: «вес конструкций» $\times 1,0$ + «ветровая нагрузка для нерабочего состояния» $\times 1,0$.

При расчете лесов на действие ветровой нагрузки необходимо проверить общую устойчивость блока. Отсутствие закрепления опор лесов также предполагает возможность отрыва (**Ошибка! Источник ссылки не найден.**, б) и сдвига (**Ошибка! Источник ссылки не найден.**, в) опор лесов под действием ветровой нагрузки.

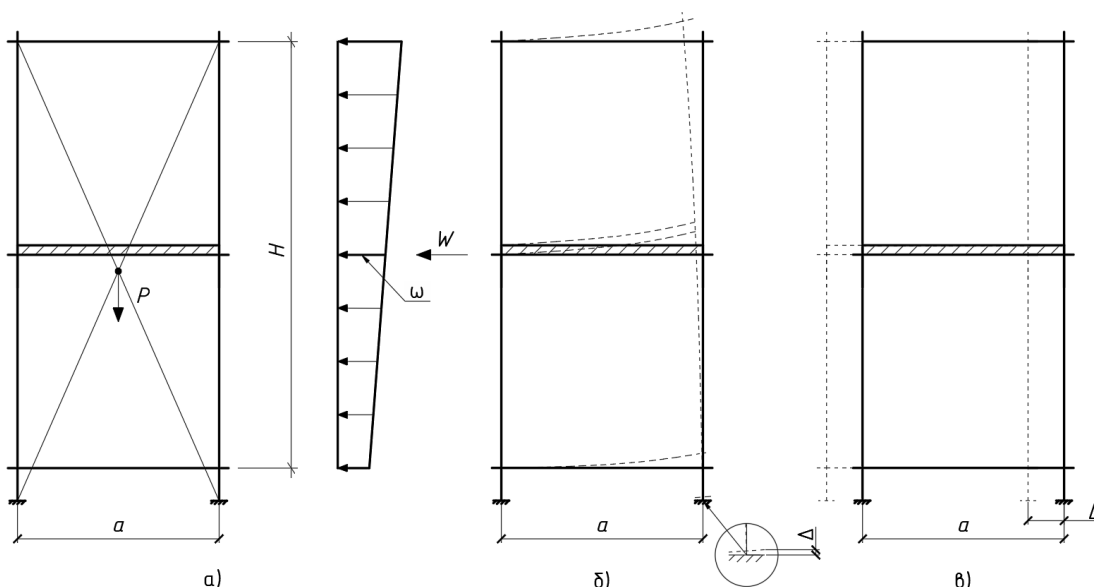


Рис. 3. – Схема блока лесов: а) при расчете на устойчивость против опрокидывания; б) при отрыве опоры; в) при сдвиге опоры

– Условие устойчивости против опрокидывания для блоков свободностоящих лесов (**Ошибка! Источник ссылки не найден.**, а):

$$\frac{M_{уд}}{M_{оп}} \geq k_{уст}, \quad (2)$$

где $M_{уд}$ – удерживающий момент от действия веса конструкции P ;

$M_{оп}$ – опрокидывающий момент от действия результирующей ветровой нагрузки W ;

$k_{уст} = 1,4$ – коэффициент запаса на опрокидывание при расчете устойчивости свободностоящих лесов [10].

При учете всех вышеописанных особенностей, созданные расчетные схемы позволяют учесть ряд факторов, влияющих на несущую способность:

отсутствие закреплений опорных стоек с основанием, односторонняя работа стоек в опорной зоне исключительно на передачу сжимающего вертикального усилия и податливое закрепление к основанию в горизонтальной плоскости за счет сил трения, внецентренное сопряжение ригелей и связей со стойками, сложное распределение усилий в многосекционном пространственном блоке.

Результаты и обсуждение исследования конструктивной формы, характера распределения действующих нагрузок, разработки расчетных схем

Конструктивные решения по установке лесов прямоугольным пространственным блоком разработаны применительно к стоечным, приставным, хомутовым лесам марки ЛСПХ-40. При расчете блоков лесов наветренная площадь возможного размещенного (складируемого) материала или оборудования условно принимается равной $1,0 \text{ м}^2$.

Расчет конструкций лесов выполняется в ПК Лира-САПР в нелинейной постановке, учитывающей особенности конструктивных решений лесов, тип сопряжения элементов между собой и характер сопряжения с основанием. Для учета податливости опор при создании расчетных схем опирание блоков на основание в вертикальном направлении выполняется в виде односторонних связей сжатия, а в горизонтальной плоскости – в виде связей, моделирующих трение.

Внецентренное сопряжение наклонных и горизонтальных элементов со стойками приставных хомутовых лесов приводит к увеличению возникающих усилий в стойках только на уровне первых ярусов, т.к. наличие крепления к стене компенсирует влияние внецентренного приложения нагрузок [8]. Соответственно, для свободстоящих блоков хомутовых лесов влияние сопряжения элементов с эксцентриситетами в плане и по высоте на возникающие усилия с высотой блока только возрастает. Расчетный

эксцентриситет сопряжения ригелей и связей принят равным диаметру трубы плюс 10... 20 мм (Рис. 4), что учитывает различные типы представленных на рынке хомутов.

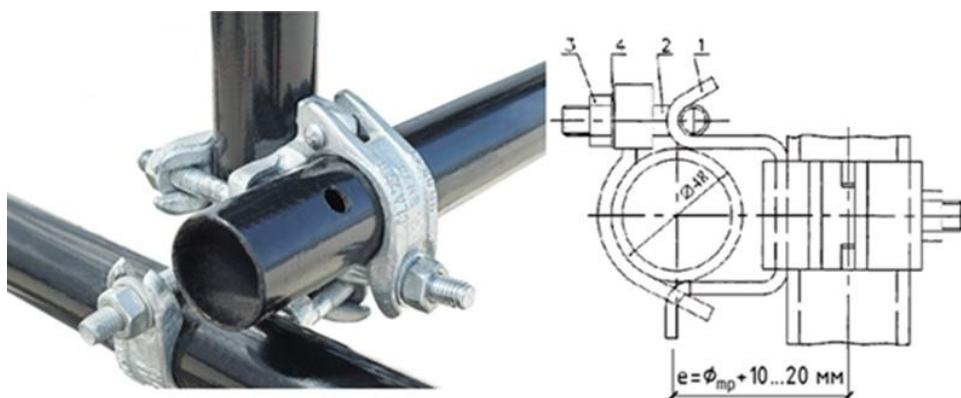


Рис. 4. – Сопряжение элементов хомутовых лесов: 1 – хомут; 2 – болт;
3 – гайка; 4 – шайба; e – эксцентриситет

Для оценки влияния способа сопряжения элементов на НДС конструкций свободностоящих лесов выполнен расчет башенного блока лесов 2,0x2,0x2,0м (Рис. 5) для двух случаев – с центральным и внецентренным сопряжениями элементов. Нагрузки, действующие на рассчитанный блок лесов – собственный вес и полезная нагрузка. Результаты расчета приведены в **Ошибка! Источник ссылки не найден.**

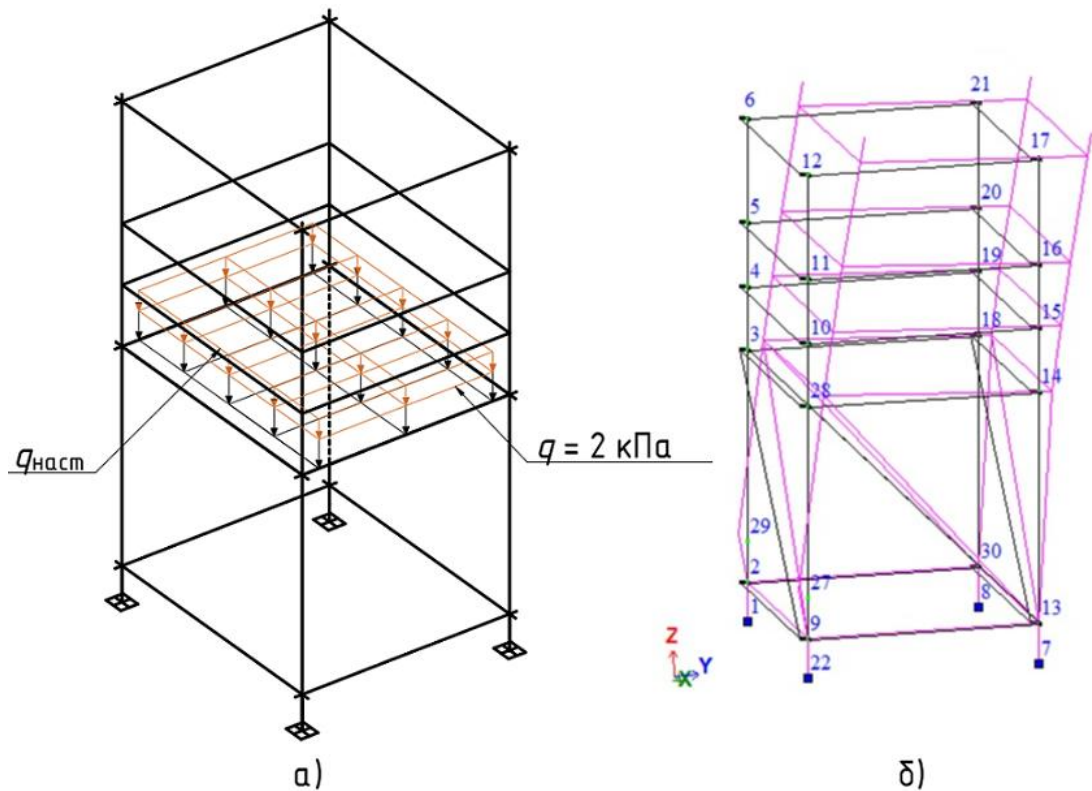


Рис. 5. – Расчет блока лесов 2,0х2,0х2,0м: а) схема действующих нагрузок; б) форма перемещений блока лесов

Таблица 1

Значения усилий в стойке блока 2,0х2,0х2,0м

№ п/п*	Усилия без учета внецентренного сопряжения			Усилия при учете внецентренного сопряжения			Разница, %		
	N_{max} , кН	M_x , кНм	M_y , кН·м	N_{max} , кН	M_x , кНм	M_y , кНм	ΔN_{max}	ΔM_x	ΔM_y
7	-2.869	0	0	-3.055	0	0	6.09	0	0
13	-2.73	0	-0.07	-2.81	0.0012	-0.079	2.85	100	11.39
14	-0.339	0	0.4977	-0.356	0.0576	0.4766	4.78	100	-4.43

* Номера узлов на схеме блока (Рис. 5, б)

Анализ полученных результатов позволяет сделать вывод, что при внецентренном сопряжении элементов стойка работает на косое внецентренное сжатие в отличие от случая с центральным сопряжением, где имеет место простое внецентренное сжатие.

Расчет показал также недостаточную жесткость блока лесов против кручения, следовательно, необходимо устанавливать диафрагмы жесткости. С целью оценки влияния диафрагм на размеры перемещений узлов блока лесов 2,0x2,0x2,0м (Рис. 5, б), был выполнен расчет на 2 сочетание для района 5 с установленными диафрагмами и без них (**Ошибка! Источник ссылки не найден.**).

Таблица № 1

Значения перемещений узлов блока 2,0x2,0x2,0м

№ п/п*	Перемещения узлов блока без диафрагм		Перемещения узлов блока с диафрагмами		Разница, %	
	X, мм	Y, мм	X, мм	Y, мм	Δ_x	Δ_y
6	2.94	72.92	2.74	72.999	6.803	0.108
3	1	43.61	0.84	43.68	16	0.16
2	0.163	5.46	0.15	5.46	7.98	0

* Номера узлов на схеме блока (Рис. 5, б)

В результате анализа данных из **Ошибка! Источник ссылки не найден.**, можно сделать вывод, что диафрагмы жесткости уменьшают перемещения в узлах лесов и значительно повышают жесткость лесов против кручения.

При установке блоков на слабые грунты появляются значительные осадки грунта под опорами из-за уплотнения под нагрузкой от веса лесов P [2]. В результате анализа распределения усилий в элементах блока (Рис. 3, а **Рис. 5**) можно сделать вывод, что установка лесов на слабом основании может привести к увеличению опрокидывающего момента и последующей потере устойчивости блока.

Рассчитаны башенные блоки свободностоящих хомутовых лесов, скомпонованные из ячеек 2,0x1,7м, с переменной высотой от 2,0м до 20,0 м. Проверка устойчивости блоков производилась на 4 основных сочетания для ветровых районов 1а-7. Выделено четыре конструктивных решения для

обеспечения устойчивости лесов (**Ошибка! Источник ссылки не найден.**):

1 – без дополнительных мероприятий; 2 – с устройством пригрузов в опорной секции блока; 3 – установка наклонных связей в каждой ячейке опорной секции; 4 – устройство оттяжек по периметру блока. Оттяжки изготавливают из стальных канатов по ГОСТ 3062-80. Устройство оттяжек возможно с углом наклона от 15° до 45°, в зависимости от условий размещения лесов на строительной площадке. Результаты сведены в Таблица № 2.

Итоговый порядок разработки конструктивных решений свободностоящих блоков лесов: техническое задание, исходные данные о площадке; создание конструктивной схемы; преобразование конструктивной схемы в расчетную; сбор нагрузок и создание загрузений; проверка несущей способности, устойчивости и жесткости блока лесов и его элементов и узлов*; корректировка конструктивной схемы при необходимости до достижения достаточной несущей способности**; утверждение итоговой конструкции блока и разработка чертежей.

* Необходимо выполнить: проверку прочности и жесткости (размеры прогибов) элементов и узлов лесов; проверку общей устойчивости блока лесов от действия ветровой нагрузки (расчет на опрокидывание); проверку опорной секции блока на отрыв и сдвиг.

** Под корректировкой схемы подразумевается: изменение количества раскосов (наклонных связей) и количества и мест расположения диафрагм; применение дополнительных мер для обеспечения устойчивости (**Ошибка! Источник ссылки не найден.**).

Таблица № 2

Конструктивные решения для блоков свободностоящих хомутовых лесов, скомпонованных их ячеек 2,0x1,7м

Размер блока	Ветровой район
--------------	----------------

Размер блока		Ветровой район							
В плане, м	Высота, м	1а	1	2	3	4	5	6	7
2,0x1,7	2,0	(1)				(2)		(4)	
	4,0	(1)	(2)	(4)					
4,0x3,4	2,0	(1)					(4)		
	4,0	(1)		(2)	(4)				
	6,0	(2)	(4)						
6,0x5,1	2,0	(1)					(3)		
	4,0	(1)		(3)			(4)		
	6,0	(1)	(3)	(4)					
8,0x6,8	2,0	(1)					(3)		
	4,0	(1)				(3)	(4)		
	6,0	(3)	(4)						
	8,0	(3)	(4)						
10,0x8,5	2,0	(1)					(3)		
	4,0	(1)		(3)			(4)		
	6,0	(1)	(4)						

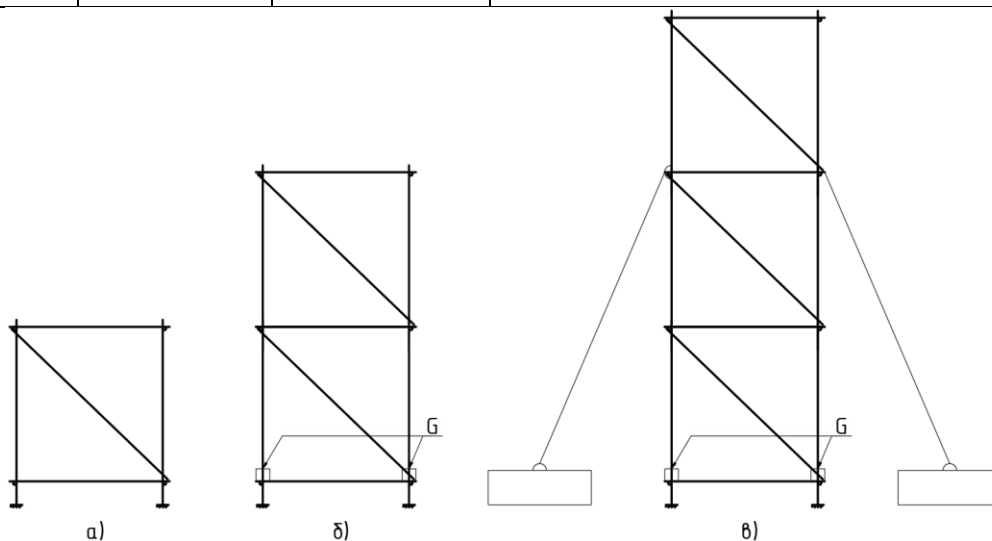


Рис. 6. – Конструктивные мероприятия по обеспечению устойчивости: а) без дополнительных устройств; б) дополнительное нагружение пригрузами

весом G , уложенными в районе крайних поясов блока; в) установкой оттяжек по периметру блока

Выводы

1. Изучен характер работы под нагрузкой и выполнен анализ распределения усилий и деформаций в несущих элементах свободностоящих хомутовых лесов.
2. Выполнен анализ существующей нормативной литературы по расчету и конструированию свободностоящих хомутовых лесов. Анализ показал отсутствие: достаточной информации о нормах конструирования свободностоящих хомутовых лесов, информации о воздействиях на хомутовые леса и их учете при разработке блоков, рекомендаций по расчету свободностоящих хомутовых лесов.
3. Выполнена оценка влияния следующих особенностей конструктивных схем и расчетных моделей на НДС свободностоящих хомутовых лесов:
4. Учет внецентренного соединения элементов лесов приводит к сложной деформации стоек (косое внецентренное сжатие), т.е. к увеличению возникающих изгибающих моментов M_x до 100%;
5. Использование диафрагм при проектировании блоков свободностоящих хомутовых лесов уменьшают перемещения узлов блока до 16 % в сравнении с блоками без устройства диафрагм.
6. Выполнена проверка опорной секции на отрыв для блоков свободностоящих хомутовых лесов, скомпонованные из ячеек $2,0 \times 1,7$ м, с переменной высотой от 2,0 м до 20,0 м для ветровых районов 1а÷7. На основе результатов расчета разработаны конструктивные мероприятия по обеспечению устойчивости опорной секции блоков свободностоящих хомутовых лесов: устройство раскосов и диафрагм жесткости, уплотнение слабых грунтов, использование пригрузов весом до 50 кг и расчаливание

блока лесов.

Литература

1. Nuraffefa H., Hanizam A. Safety scaffolding in the construction site // Journal of Technology. 75(10). 2015. pp. 49-56.
 2. Pieńko M., Robak A., Błazik-Borowa E., Szer J. Safety Conditions Analysis of Scaffolding on Construction Sites // International Journal of Civil, Environmental, Structural, Construction and Architectural Engineering. 12. 2018. pp. 72-77.
 3. Beale R. Scaffold research – a review // Journal of Constructional Steel Research. 98(1). 2014. pp. 188-200.
 4. Godley M., Beale R. Analysis of large proprietary access scaffold structures // Proceedings of the Institute of Civil Engineers, Structures and Buildings. 2016. 146(1). pp. 31-40.
 5. Weesner L., Jones H. Experimental and analytical capacity of frame scaffolding // Engineering Structures. 2001. 33(2). pp. 592-599.
 6. Lindner J., Hamaekers K. Load-carrying capacity of tubular spindles in scaffoldings. // Proceedings of the Institute of Civil Engineers, Structures and Buildings. 2005. 54(8). pp. 225-231.
 7. Peng J., Yen T., Kuo C. & Chan S. Analytical and experimental bearing capacities of system scaffolds // Journal of Zhejiang University Science. 10. 2012. pp. 82-92.
 8. Cimellaro G., Domaneschi M. Stability analysis of different types of steel scaffolds // Engineering Structures. 152. 2017. pp. 535-548.
 9. Сниткин В.М., Фролов И.П., Овсянников Е.М., Овсянников В.Е. Оценка остаточного ресурса мостовых кранов решетчатого сечения // Инженерный вестник Дона, 2015, №3. URL: ivdon.ru/ru/magazine/archive/n3y2015/3128.
-

10. Черпаков А.В., Есипов Ю.В., Гончаров О.Ю., Гриценко В.В., Зотов А.И., Бутенко Ю.И., Шакирзянов Ф.Р. Построение критерия идентификации поврежденности на основе фазовых портретов колебаний ферменных конструкций // Инженерный вестник Дона, 2015, №4. URL: ivdon.ru/ru/magazine/archive/n4y2015/3408.
11. Воронкова Г.В., Габова В.В., Душко О.В., Торгашин Г.А. Исследование динамических характеристик несущих ферм при выносе вентиляционного оборудования на кровлю цеха // Инженерный вестник Дона, 2019, №1. URL: ivdon.ru/ru/magazine/archive/n1y2019/5613.
12. Yip R., Poon C. Comparison of timber and metal formwork systems // Proceedings of the Institution of Civil Engineers, Water and Resources Management. 2018. 161(1). p. 29-36.

References

1. Nuraffefa H., Hanizam A. Journal of Technology. 75(10). 2015. pp. 49-56.
 2. Pieńko M., Robak A., Błazik-Borowa E., Szer J. International Journal of Civil, Environmental, Structural, Construction and Architectural Engineering. 12. 2018. pp. 72-77.
 3. Beale R. Journal of Constructional Steel Research. 98(1). 2014. pp. 188-200.
 4. Godley M., Beale R. Proceedings of the Institute of Civil Engineers, Structures and Buildings. 2016. 146(1). pp. 31-40.
 5. Weesner L., Jones H. Experimental and analytical capacity of frame scaffolding. 2001. 33(2). pp. 592-599.
 6. Lindner J., Hamaekers K. Load-carrying capacity of tubular spindles in scaffoldings. 2005. 54(8). pp. 225-231.
 7. Peng J., Yen T., Kuo C. & Chan S. Journal of Zhejiang University Science. 10. 2012. pp. 82-92.
 8. Cimellaro G., Domaneschi M. Stability analysis of different types of steel
-



- scaffolds. Engineering Structures. 152. 2017. pp. 535-548.
9. Snitkin V.M., Frolov I.P., Ovsyannikov E.M., Ovsyannikov V.E. Inzhenernyj vestnik Dona, 2015, №3. URL: ivdon.ru/ru/magazine/archive/n3y2015/3128.
10. Cherpakov A.V., Esipov YU.V., Goncharov O.Yu., Gricenko V.V., Zotov A.I., Butenko YU.I., Shakirzyanov F.R. Inzhenernyj vestnik Dona, 2015, №4. URL: ivdon.ru/ru/magazine/archive/n4y2015/3408.
11. Voronkova G.V., Gabova V.V., Dushko O.V., Torgashin G.A. Inzhenernyj vestnik Dona, 2019, №1. URL: ivdon.ru/ru/magazine/archive/n1y2019/5613.
12. Yip R., Poon C. Comparison of timber and metal formwork systems. 2018. 161(1). pp. 29-36.