

Организация безопасности работ на высоте при строительстве производственных зданий сельскохозяйственного назначения

В.И. Бродский

*Национальный исследовательский Московский государственный
строительный университет (НИУ МГСУ)*

Аннотация: Представлены условия обеспечения безопасного производства строительно – монтажных работ, выполняемых на высоте, при возведении или реконструкции производственных зданий сельскохозяйственного назначения на основе применения улавливающих устройств и защитных ограждений с синтетическими сетематериалами. Даются виды работ, где требуется применять средства коллективной защиты для исключения случаев падения предметов и людей с высоты возводимого здания с рамным каркасом. Разработанная методика расчета, подтвержденная испытаниями опытных образцов улавливающих устройств, позволяет установить взаимосвязь величины прогиба сетеполотна и значений усилий, прилагаемых к натяжным канатам. Выполнена оценка динамического воздействия на упавший предмет при его захвате улавливающим устройством показавшая, что возникающие при этом динамические перегрузки находятся в пределах допустимых значений.

Ключевые слова: строительство, безопасность работ на высоте, средства коллективной защиты, сетематериалы, улавливающие устройства, защитные ограждения.

Развитие аграрного сектора непосредственно связано с совершенствованием объемно – планировочных и конструктивных решений производственных зданий сельскохозяйственного назначения для животноводческих и птицеводческих комплексов и переработки сельскохозяйственной продукции. Широкое распространение в этом направлении получили здания, возводимые из сборных унифицированных элементов, к которым относятся, в том числе, здания имеющие каркас из сборных «Г» - образных железобетонных полурам. Ширина такого здания может составлять 18 или 21 м с шагом (расстоянием между рамами по длине) 3 м, 4,8 м и 6 м. Полурамы, шарнирно соединенные с фундаментами и между собой в коньке, обычно имеют в сечении постоянную толщину и переменную высоту. Продольная устойчивость и жесткость каркаса здания

обеспечивается посредством устройства горизонтальных и вертикальных связей. Покрытие здания выполняется из железобетонных плит.

Технология монтажа этого типа производственных зданий не исключает травмоопасных ситуаций, когда рабочие вынуждены работать в опасных зонах. Анализ производственного травматизма показал, что при выполнении строительно – монтажных работ одной из основных причин несчастных случаев является падение человека с высоты и падением предметов на него [1].

Было установлено, что при строительстве и реконструкции зданий этой конструктивной схемы по причине падения людей и предметов на человека с высоты наиболее опасными процессами являются монтаж плит покрытия и стеновых панелей, устройство кровли и инженерных коммуникаций, расположенных на высоте. Наибольшее количество несчастных случаев связано с тем, что зачастую рабочие не применяют средства индивидуальной защиты от падения с высоты из-за неудобства пользования ими по время монтажных операций. Также некоторые процессы выполняются в опасных зонах, где не представляется возможным без применения дополнительных устройства закрепить карабин предохранительного пояса или установить страховочный канат. Поэтому требуется для каждого объекта разрабатывать организационно – технологическую документацию, содержащую мероприятия по обеспечению безопасности работ на высоте [2,3]. В составе мероприятий в первую очередь необходимо представить условия применения средств коллективной защиты (СКЗ), которые позволяют обеспечить полную безопасность для работников даже в случаях их падения с монтажного уровня.

Для создания безопасности труда на высоте при строительстве производственных зданий сельскохозяйственного назначения в качестве средств коллективной защиты могут применяться улавливающие устройства

и защитные ограждения с синтетическими сетками [4-6].

Улавливающее устройство (УУ), разработанное для ограничения падения людей и предметов при возведении зданий с каркасом из сборных железобетонных полурам, устанавливается между ними и полностью перекрывает весь пролет здания. Ограждение защитное (ОЗ), предназначенное предотвратить падение человека и предметов с высоты, располагается по краю покрытия здания.

Защитные ограждения или улавливающие устройства в соответствии с нормативными требованиями применяются при нахождении рабочих мест, участков работ и проходов к ним ближе 2 м от границы перепада по высоте более 1,3 м от ниже расположенной поверхности. Такие средства защиты при возведении новых или реконструкции производственных зданий сельскохозяйственного назначения могут устанавливаться при монтаже плит покрытий, устройстве кровли, прокладке инженерных коммуникаций на высоте. Причем, если предусматривается использование улавливающих устройств, расстояние между защитной поверхностью из сетематериалов и уровнем расположения рабочего места допускается до 7 метров.

Предлагаемое улавливающее устройство с сетематериалами состоит из следующих основных сборочных единиц (рис.1): подвесок (1 и 2), синтетических сеток (3 и 4), обвязки (5) и двух шнуров (6 и 7).

Основу подвески составляет хомут П - образной формы из стального пруткового проката диаметром 16 мм. Подвески размещаются на полурамах и имеют два типоразмера: высотой 520 мм для установки около верхней части полурамы и 920 мм, располагаемый ближе к её основанию. Шнур (6) служит для подъема и удержания сеток в натянутом состоянии, а шнур (7) для выполнения операций по демонтажу подвески. При этом, чтобы не было разлета составных частей подвески, шнуры взаимно связаны друг с другом.

Сетки изготавливаются из капроновых или лавсановых веревок диаметром 3,1 мм с ячейей 50 мм. Улавливающая поверхность образуется из составных сеток, каждая из которых может иметь размер 6 х 6 м или 6 х 5 м в зависимости от величины перекрываемого пролета здания.

С помощью нижней обвязки производят закрепление одного из концов шнура (6) после установки сетеполотна в рабочее положение.

Защитное ограждение (рис.1), состоящее из стоек (8), струбцин (9) и сетки (10), располагается с внешней стороны здания на краевых плитах покрытия.

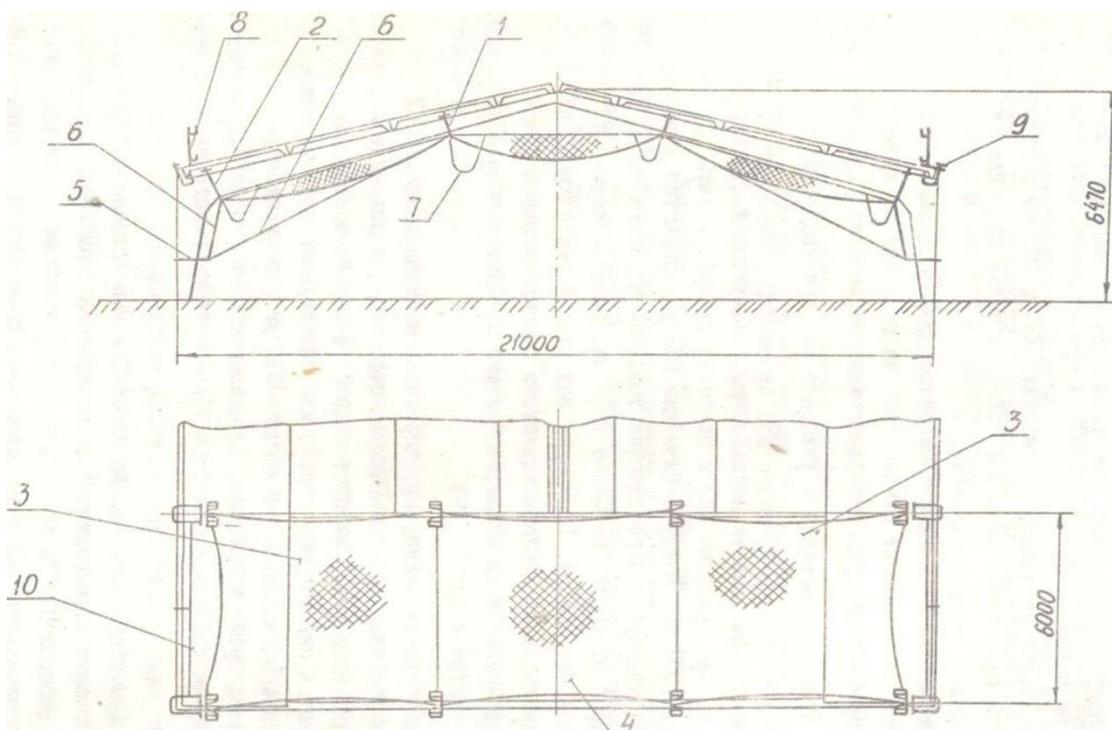


Рис. 1 - Расположение средств коллективной защиты при строительстве производственных зданий сельскохозяйственного назначения

Улавливающее устройство: 1, 2 – подвески, 3, 4 - синтетические сетки, 5 - обвязки, 6,7 – шнуры натяжные. Ограждение защитное: 8 – стойки, 9 – струбцины, 10 - синтетические сетки

Крепление ограждения к торцевой части плиты осуществляется струбциной, имеющей винт с трапецеидальной резьбой, который оборудован подвижной опорой, прижимающей струбцину к поверхности плиты. Стойка высотой 1,1 м изготавливается из трубы с наружным диаметром 33,5 мм. В

нижней и верхней части стойка снабжена двумя кольцевыми крюками, на которые навешивается капроновая или лавсановая сетка также из веревок диаметром 3,1 мм с ячейей 100 мм.

По краям сетка в улавливающем устройстве и защитном ограждении посажена на подбору (контурный канат) с петлями по углам из капронового шнура диаметром 10 мм.

Конструкция ограждения выполнена таким образом, чтобы, несмотря на расположение плиты перекрытия под определенным углом, стойка с сеткой образуют вертикальную защитную плоскость на всю длину опасной зоны, исключая вероятность падения человека и предметов с наружной стороны здания. Для уменьшения величины прогиба верхней кромки сетки, кроме крайних стоек, могут устанавливаться также дополнительные стойки в середине секции ограждения. Защитное ограждение остаётся на плите покрытия до окончания строительно - монтажных работ, выполняемых на высоте возводимого здания.

Условия применения средств коллективной защиты определяются проектом производства работ на конкретный объект строительства, в который включаются:

- строительный генеральный план с указанием опасных зон возможного падения людей и предметов с высоты возводимого здания, площадок складирования средств защиты;
- потребность в улавливающих устройствах и защитных ограждениях;
- графики выполнения строительно - монтажных работ с использованием улавливающих устройств и защитных ограждений.

Опасная зона, где возможны случаи падения предметов и людей с высоты возводимого здания с рамным каркасом, определяется площадью строящегося или реконструируемого здания и дополнительной пятиметровой зоной от его внешнего периметра [7].

Сроки поставки сборочных единиц улавливающих устройств находятся в прямой зависимости от графика начала поступления на объект и монтажа полурам, а защитных ограждений - плит покрытий. Период применения средств коллективной защиты дается в графике работ по строительству одноэтажных зданий сельскохозяйственного назначения с рамным каркасом.

Оснащение объектов строительства средствами коллективной защиты в необходимом объеме требует расчетов потребности в защитных ограждениях и улавливающих устройствах на планируемый период времени строительства. Для здания с рамным каркасом может использоваться один комплект улавливающих устройств, который располагается непосредственно в местах монтажных работ. Количество секций защитных ограждений N , устанавливаемых по периметру возводимого здания, определяется в зависимости от величины опасной зоны

$$N = \frac{L}{f}, \quad (1)$$

где L - длина опасной зоны по периметру здания;

f - длина секции ограждения, которая обычно равна 6 м.

Испытания опытных образцов улавливающих устройств подтвердило предположение, что стрела прогиба сетеполотна и значения динамических нагрузок, возникающих в случае падения предмета на сетку, в определенной степени связана с усилиями в натяжном канате. Поэтому требуется определить зависимости стрелы прогиба ненагруженной сетки от усилий, прилагаемых к натяжному канату.

Определение стрелы прогиба ненагруженной сетки ведется в соответствии с методом деформаций. Вначале определяется прогиб в опорных узлах контура сетки и затем прогиб, получившийся из-за смещения узлов контура [8]. Прогиб $f(x)$ контурного каната (подборы) сетки в точке x можно рассчитать по формуле

$$f(x) = 2 \frac{g}{2T_x} (x^2 - x_0x) \quad (2)$$

где g - удельная нагрузка на контурных канатах, Н/м;

T_x - натяжение контурного каната, Н;

x_0 - расстояние между точками закрепления каната по оси X , м.

Принимая, что внутренние нити сетки под действием силы тяжести и натяжения контурного каната имеют форму квадратной параболы, причем касательные в точках крепления к контурному канату расположены под углом α к вертикали, можно рассчитать дополнительный прогиб в точке с координатами X, Y , получившийся из-за смещения узлов контура [9]:

$$f(y) = \frac{\cot \alpha}{y_1} y^2 \quad (3)$$

Здесь y_1 - величина проекции внутренней нити сетки, а величина угла α определяется из уравнения:

$$2f(x) = \sin \alpha + y_1 = y_0, \quad (4)$$

где y_0 - расстояние между точками закрепления контурного каната по оси OY , м.

Проведенные расчеты показали, что для достижения величины прогиба сетки в середине пролета не более 1,2 м, усилие натяжения, прикладываемое к контурному канату, находится в пределах 500 Н. Расчетные данные хорошо согласуются с результатами, полученными при проведенных испытаниях опытных образцов улавливающих сеток.

Друга задача состоит в оценке динамических воздействий на упавший предмет при его захвате улавливающим устройством. Такие значения можно определить как величину максимального отрицательного ускорения, действующего на тело массой m при падении в сетку, имеющую упругие

характеристики k , с высоты H . В данном случае представляется возможным использовать схему аналогичную колебательной системе [10] во времени t в линейных координатах.

Для этой системы в режиме свободных колебаний уравнение движения запишется в виде [11]:

$$m \frac{d^2 y}{dt^2} + ky = 0 . \quad (5)$$

Начальные условия принимаются следующие:

$$\frac{dy}{dt} |_{t=0} = V_0 \quad (a) \quad y |_{t=0} = 0 \quad (b) .$$

Обозначив циклическую частоту колебаний как $\omega^2 \equiv \frac{k}{m}$, можно получить решение уравнения в виде:

$$y = A \sin \omega t + B \cos \omega t . \quad (6)$$

Из (b) следует, что амплитуда колебаний $B = 0$, а из (a) амплитуда колебаний $A = \frac{v_0}{\omega}$. Итак $y = \frac{v_0}{\omega} \sin \omega t$; $y_t'' = -v_0 \omega \sin \omega t$;

$$c' = |y_{t_{min}}''| = v_0 \omega, \quad \text{но } v_0 = \sqrt{2gH} \Rightarrow a = \sqrt{2gH \frac{k}{m}} \quad (7)$$

Для оценки величины k , соответствующую упругим характеристикам реального сетеполотна, в какой-нибудь точке сетки прикладывается нагрузка P и определяется величина прогиба f от этой нагрузки в точке её приложения.

Тогда можно считать $k = \frac{P}{f}$, а именно отношение нагрузки к величине прогиба.

Если для расчета выбрать падение предмета массой 100 кг в центр сетки в нашем случае не превышающем 4 м, тогда, исходя из соотношения (7), перегрузка составит $6,9 \text{ м/с}^2$.

Как видно из полученных расчетов по оценке динамических воздействий при падении предмета на улавливающую сетку, подтвержденные

результатами испытаний, возникающие динамические перегрузки такого порядка позволяют создать безопасные условия производства строительно – монтажных работ на высоте при возведении производственных зданий сельскохозяйственного назначения.

Выводы.

В результате проведенной работы можно сделать в отношении применения средств коллективной защиты с сетематериалами для возводимых и реконструируемых производственных зданий сельскохозяйственного назначения следующие выводы:

1. Средства коллективной защиты с сетематериалами способствуют обеспечению безопасного выполнения строительно - монтажных работ, выполняемых на высоте.

2. Условия и порядок применения улавливающих устройств и защитных ограждений с сетематериалами должны устанавливаться организационно – технологической документацией с учетом условий строительства конкретного объекта.

3. Уменьшение прогиба сетеполотна в улавливающих устройствах можно достигнуть на основе трех отдельных, последовательно монтируемых сеток с подборами. В этом случае ограничение провисания улавливающих сеток в пределах 1,2 м достигается при усилиях, прилагаемых к натяжным канатам, около 500 Н.

4. Динамические перегрузки, действующие в случае падения предметов на улавливающее устройство, имеют допустимые значения.

Литература

1. Поляков А.В. Анализ производственного травматизма со смертельным исходом в результате падения пострадавших при разности

уровней высот и на глубину // Экономика труда. 2024. Том 11. № 9. С. 1527-1542. doi:10.18334/et.11.9.121676. URL: elibrary.ru/item.asp?id=71960966.

2. Олейник П. П. Индустриально - мобильные методы возведения предприятий, зданий и сооружений. М.: АСВ, 2021. 488 с. ISBN 978-5-4323-0377-6.

3. Ширшиков Б. Ф., Жадановский Б. В. и др. Организационно – технологические решения по безопасности труда в проектах производства работ. М.: АСВ, 2015. 100 с. ISBN: 9785432301154.

4. Brodskiy V. Parametrs of the safety and fall arrest nets in buldings under construction // XXII International Scientific Conference «Construction the formation of living envi ronment» (FORM-2019), Tashkent city, Uzbekistan. E3S Web of Conferences 97, 03006. 2019. URL: doi.org/10.1051/e3sconf/20199703006.

5. Brodskiy V. Dependence of trapping nets' protective properties on structural layout // VIII International Scientific Siberian Transport Forum Trans-Siberia 2019, “Achievements in the Field of Intelligent Systems and Computing” Book Series (AISC, Volume 1116). Volume 2. 2019. doi: 10.1007 / 978-3-030-37919-3_27. URL: doi.org/10.1007/978-3-030-37919-3_27 (2019)

6. Brodskiy V. VIII International Scientific Conference Transport of Siberia – 2020 IOP Conf. Series: Materials Science and Engineering 918 (2020) 012016. 2020. E3S Web of Conferences. 2021. URL: doi.org/10.1051/e3sconf/202125809005.

7. Жадановский Б. В., Синенко С. А., Кужин М. Ф. Рациональные организационно – технологические схемы производства строительно - монтажных работ в условиях реконструкции действующего предприятия // Технология и организация строительного производства. 2014. № 9. С. 51-55.

8. Евтушенко Ю. Г. Методы решения экстремальных задач и их применение в системах оптимизации. М.: Наука. 1982. 432 с.

9. Волков В. Т., Ягола А.Г. Интегральные уравнения. Вариационное исчисление. Методы решения задач. Московский гос. университет им. М. В. Ломоносова, Физический фак. М.: Книжный Дом Университет. 2013. 137 с. ISBN 978-5-98227-315-4.

10. Бутенин Н. В., Лунц Я. Л., Меркин Д. Р. Курс теоретической механики. М.: Лань. 2023. 736 с. ISBN978-5-8114-5552-2.

11. Арнольд В.И. Обыкновенные дифференциальные уравнения. М.: МЦНМО. 2012. 344 с. ISBN 978-5-94057-907-6.

References

1. Polyakov A.V. *Ekonomika truda*. 2024. Volume 11. No. 9. pp. 1527-1542.

2. Oleynik P.P. *Industrial'no-mobil'nye metody vozvedeniya predpriyatiy, zdaniy i sooruzheniy* [Industrial Mobile Methods of Construction of Enterprises, Buildings and Structures]. Moskva: ASV, 2021. 488 p.

3. Shirshikov B.F., Zhadanovskiy B.V., et al. *Organizatsionno-tekhnologicheskie resheniya po bezopasnosti truda v proektakh proizvodstva rabot* [Organizational and Technological Solutions for Occupational Safety in Work Execution Designs]. Moskva: ASV, 2015. 100 p.

4. Brodskiy V. XXII International Scientific Conference “Construction the Formation of Living Environment” (FORM-2019), E3S Web of Conferences. 2019. Volume 97. URL: doi.org/10.1051/e3sconf/20199703006

5. Brodskiy V. VIII International Scientific Siberian Transport Forum Trans-Siberia 2019, “Achievements in the Field of Intelligent Systems and Computing” Book Series (AISC, Volume 1116). 2019. Volume 2. pp. 277-284. URL: doi.org/10.1007/978-3-030-37919-3_27

6. Brodskiy V. Ural Environmental Science Forum “Sustainable Development of Industrial Region” (UESF-2021), E3S Web of Conferences. 2021. Volume 258. URL: doi.org/10.1051/e3sconf/202125809005



7. Zhadanovskiy B.V., Sinenko S.A., Kuzhin M.F. Tekhnologiya i organizatsiya stroitel'nogo proizvodstva. 2014. № 9. pp. 51-55.

8. Evtushenko Yu.G. Metody resheniya ekstremal'nykh zadach i ikh primenenie v sistemakh optimizatsii [Methods for Solving Extremum Problems and Applications Thereof in Optimization Systems]. Moskva: Nauka, 1982. 432 p.

9. Volkov V.T., Yagola A.G. Integral'nye uravneniya. Variatsionnoe ischislenie. Metody resheniya zadach [Integral Equations. Calculus of Variations. Problem Solving Methods]. Moskva: Knizhnyy Dom Universitet, 2013. 137 p.

10. Butenin N.V., Lunts Ya.L., Merkin D.R. Kurs teoreticheskoy mekhaniki [Theoretical Mechanics Course]. Moskva: Lan', 2023. 736 p.

11. Arnol'd V.I. Obyknovennye differentsial'nye uravneniya [Ordinary Differential Equations]. Moskva, MTsNMO, 2012. 344 p.

Дата поступления: 17.10.2024

Дата публикации: 30.11.2024