

УДК 624.04:593.3

Суржан Е.А., Ващенко Ю.И.

Харьковский национальный университет городского хозяйства имени А.Н. Бекетова,
(ул. Маршала Бажанова, 13, Харьков, 61000, Украина; e-mail: evgenijsurzhan@gmail.com)

АНАЛИЗ ЭФФЕКТА ПЕРЕРАСПРЕДЕЛЕНИЯ ВНУТРЕННИХ УСИЛИЙ В СКЛАДЧАТОМ ПОКРЫТИИ СИСТЕМЫ СТИСК

Выполнена рационализация покрытия системы СТИСК прямым численным методом. В результате, благодаря совмещению функций элементов и оптимальному расположению опор по предварительным оценкам удалось сократить удельный расход металла. При этом система СТИСК сохранила все присущее ей положительные качества. Оценивалось влияние формы в плане, на напряженно деформированное состояние. В статье также затронуто пассивное управление конструкцией покрытия.

Ключевые слова: большепролетные покрытия, складчатые тонкостенные конструкции, структуры, рационализация, пассивное управление.

1. Вступление

Расширение потребностей современного общества постоянно требует новых, разнообразных архитектурно-строительных решений. Проектирование уникальных объектов зачастую приводит к тратам значительных усилий. Поэтому поиск новых путей, которые обеспечивали достаточную степень стандартизации, сохраняя при этом большую вариативность архитектурных решений является одной из приоритетных задач строительной отрасли сегодня.

Созданная в Харьковском национальном университете городского хозяйства, под руководством проф. Шмуклера В.С., система СТИСК (структуры и складки) нашла применение как в гражданском, так и промышленном строительстве. Она позволяет перекрывать значительные пролеты. Это открывает широкие возможности по применению данной системы при реконструкции и новом строительстве. В первую очередь, благодаря возможности формирования свободного пространства в перекрываемых зданиях и сооружениях, и многовариантности в формообразовании.

Система СТИСК нашла широкое применение в г. Харькове. (рис. 1). К примеру, данная она применялась при строительстве развлекательного центра «Мисто» (а), кондитерской фабрики (б), обустройстве выходов из метро «Центральный Рынок «в», детского развлекательного центра в парке им. Горького (г).

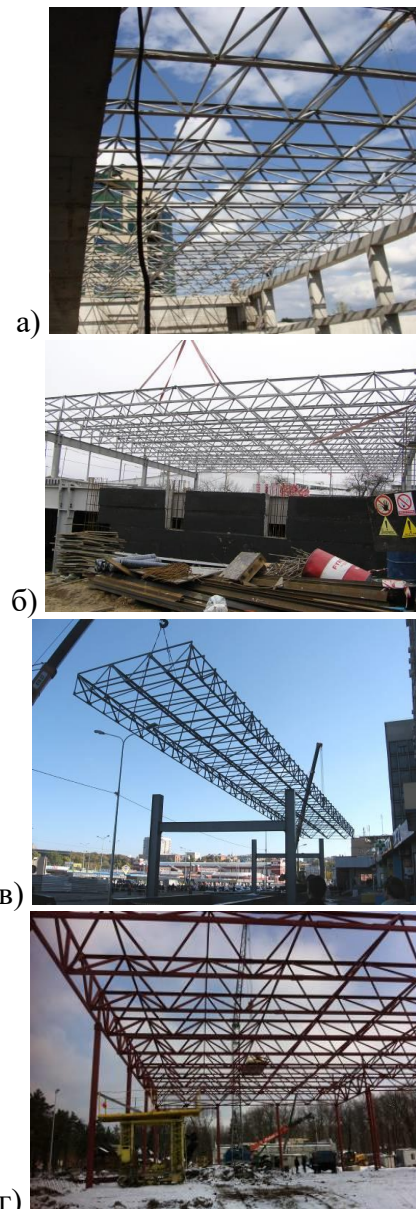


Рис. 1. Примеры применения системы СТИСК

Основой большинства инженерных решений в строительстве является рациональное использование материала. Что в

полной степени относится и к металлическим конструкциям [1].

Эффективность варианта проектирования базируется на следующих основных принципах:

- Создание конструкций обеспечивающих наибольшую концентрацию материала, т.е. фактически совмещение функций элементами;
- Преобладание простых напряженно деформированных состояний (растяжение-сжатие);
- Унификация конструктивных решений;
- Обеспечение жесткости систем;
- Простота изготовления, монтажа и транспортировки.

Строительные конструкции, зачастую, ограничены начальным набором параметров, которые определяют их расчетную схему и характер работы. Прямой численный анализ с помощью метода конечных элементов, позволяет варьируя данным набором отыскивать более эффективные сочетания параметров, сохраняя при этом исходные особенности той или иной системы: характер соединения элементов, условия закрепления на опорах, действующие нагрузки, надежность [2].

Поэтому, очень важно уже на этапе проектирования назначать основные размеры, исходя из того, что они будут соответствовать рациональному расходу материала. Достигнуто это может быть благодаря решению задач структурно-параметрической оптимизации [3].

Так, в ранее проведенных исследованиях [4, 5] уже рассматривалось пассивное управление параметрами складчатого покрытия системы СТиСК. Предполагается, что дальнейшего улучшения конструктива покрытий можно добиться, путем совмещения функций отдельных элементов и управлением положением опор. Это должно привести к перераспределению усилий в конструкции, и как следствие - пространственной работе. Что в свою очередь, снизит удельный расход металла, по сравнению с складчатым покрытием [6, 7]

Объектом исследования является покрытие конструктивной системы СТиСК.

Предмет исследования: рационализация параметров складчатого покрытия.

Стоит отметить, что выбор материала для подобных конструкций регламентируется в [8] и влияние физических характеристик на конечный расход металла, не является предметом данного исследования.

Анализ существующих конструктивных покрытий системы СТиСК

Система СТиСК предполагает сборку конструкции на строительной площадке из блоков или модульных элементов заводской готовности. Модульным элементом в данном случае выступает плоская ферма (рис. 2), пояса которой выполнены из равнополочных уголков, повернутых под 45°. Две фермы, соединенные под углом 45°, образуют базовую структурную составляющую (рис. 3), из которой в свою очередь монтируется конструкция необходимого размера, с высокой степенью надежности [9].

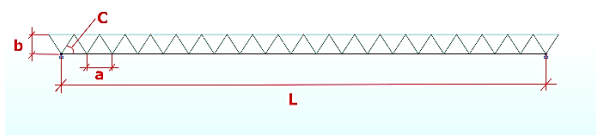


Рис. 2 Модульный элемент. а – шаг узлов в ферме, b – высота фермы на опоре, с – угол наклона стержней в ферме и L – пролет фермы.

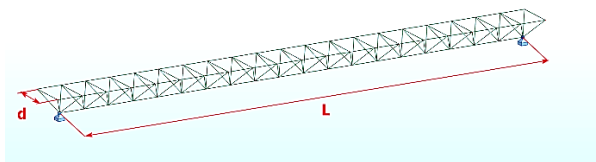


Рис. 3 Общий вид базовой структурной составляющей. d – расстояние между фермами по верхним поясам.

В большинстве рассматриваемых случаев складчатые конструкции системы СТиСК выполняли функции перекрытия. Поэтому, для устройства кровли и подшивки потолка, по верхним и нижним поясам, в поперечном направлении размещались прогоны (см. рис.1) [10].

Строительная высота принималась равной 1/20-1/25 длины пролета. Уменьшение высоты конструкции, не используемой на прямую, снижает стоимость эксплуатации здания. Поэтому, особый интерес представляют конструкции с минимально возможной высотой [11].

Для дальнейшего рассмотрения было принято:

- минимальное значение строительной высоты равной $1/25$;
- угол наклона стержней в ферме принимался близким к оптимальному $52^\circ-56^\circ$ [5];
- пролет 18м.

Покрытия системы СТиСК до сих пор использовались преимущественно как складчатые тонкостенные конструкции, опертые по двум параллельным сторонам. Для рационализации конструкций возможным путем является совмещение функций ограждающих элементов (прогонов) по верхним и нижним поясам с функциями поясов.

Рационализация параметров складчатого покрытия

Структуры зарекомендовали себя весьма эффективными конструкциями. Это обуславливается в первую очередь эффектом перераспределения усилий в двух взаимно перпендикулярных направлениях от действий вертикальной нагрузки. Что в конечном итоге значительно снижает усилия по сравнению с балочной схемой работы и является основой высокой статической эффективности [6, 7].

Для изменения схемы работы складчатой конструкции в сторону пространственной структуры необходимо в первую очередь изменить схему опирания.

Основными схемами опирания структурных плит являются (рис. 4):

- контурные (1, 2, 3);
- внутриконтурные (1а, 2а, 3а);
- смешанные (1б, 2б, 3б).

Из-за особенностей построения складчатого покрытия системы СТиСК, конструкция обладает различными свойствами в двух направлениях. Данный факт, может вызвать неравномерное распределения усилий при пространственной работе. Поэтому иррегулярные схемы опирания не попали в область рассмотрения. К перечисленным условиям опирания, можно добавить, многопролетное опирание.

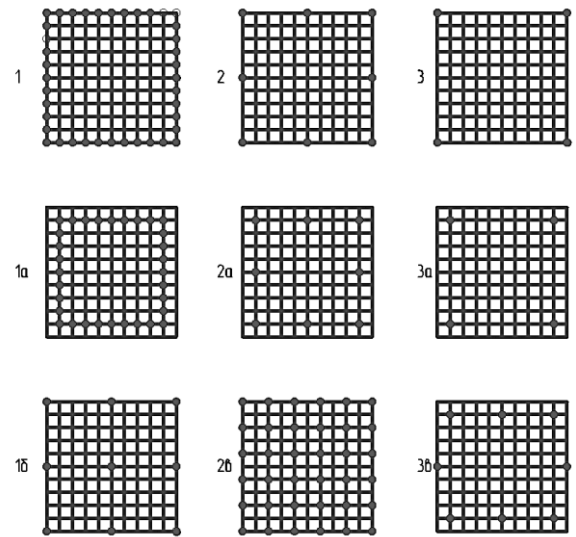


Рис. 4. Основные схемы опирания структур.

Введение дополнительных консольных участков может уменьшить напряжение в поясах конструкции, за счет эффекта свесов. Но в данном случае, первичной задачей являлось изучение возможности перераспределения усилий и задействование прогонов в работе всей конструкции в качестве несущих элементов. Поэтому данные варианты не принимались во внимание.

Свободное опирание по контуру.

Были рассмотрены следующие варианты контурного опирания покрытия:

- 4 опоры по углам;
- шаг опор $1/4$ от длины пролета вдоль 4-х сторон;
- шаг опор $1/5$ от длины пролета вдоль 4-х сторон;
- сплошное опирание по периметру.

При этом рассматривались две принципиальные конфигурации в плане: прямоугольник (с соотношениями сторон $1:1,5$) и квадрат, величина пролета в которых составляла 18м.

Анализ результатов проводился в программном комплексе Autodesk Robot Structural Analysis. Результаты расчетов для пространственной и балочной схемы работы, при нагрузке 675 кг/м^2 приведены в табл. 1.

Необходимо оговорить, что в таблице приведены максимальные значения усилий в поясах, без учета приопорных зон. Сече-

ния поясов и прогонов были приняты одинаковыми, а сечение решетки типовое во всей конструкции.

Таблица 1 - Усилия в элементах покрытия.

Тип опор		Квадратная структура		Прямоугольная (1,5:1)	
		А	В	А	В
Все узлы	ВП	214	261,95	520,83	239,01
	НП	-79,78	-97,44	-188,3	-85,25
4 опоры	ВП	948,11	854,51	1129,14	1109,12
	НП	-1031,71	-936,74	-695,24	-792,82
шаг 1/4	ВП	270,36	295,62	531,94	240,18
	НП	-255,1	-278,35	-270,98	-126,98
шаг 1/5	ВП	234,23	279,11	537,56	235,97
	НП	-231,6	-284,48	-215,8	-105,12
Складка	ВП	7,81	594,29	7,81	594,29
	НП	-25,91	-231,38	-25,91	-231,38

ВП – верхний пояс. НП – нижний пояс. А- направление перпендикулярное основному пролету. В – направление параллельно основному пролету.

Из таблицы следует, что при работе складчатого покрытия прогоны фактически не участвуют в работе конструкции. При изменении расчетной схемы близкой к структуре, второе направление начинает полноценно воспринимать вертикальную нагрузку, разгружая при этом направление параллельное основному пролету примерно на 50%. В схемах с соотношением сторон в плане 1:1, наблюдается заметно лучший эффект перераспределения усилий, что также косвенно подтверждается в [12].

При этом, одним из самых оптимальных вариантов размещения опор, из приведенных, является контурное опирание с шагом опор близким к 1/4 от пролета. Это подтверждается предварительными оценками расхода материала, а также пособиями по проектированию структурных конструкций [5]. Характер распределения усилий показан на рис. 4, 5.

По результатам расчетов, приведенных в табл. 1, а также диаграмм усилий (рис 5,6), видно, что в направлениях А и В, в поясах присутствует разница в усилиях. Она вызвана в первую очередь, различной геометрией в двух взаимно перпендикулярных сторонах. Полагается, что за счет изменением жесткостей прогонов и поясов можно добиться улучшения распределения усилий, что в конечном итоге снизит расход металла [13, 14].

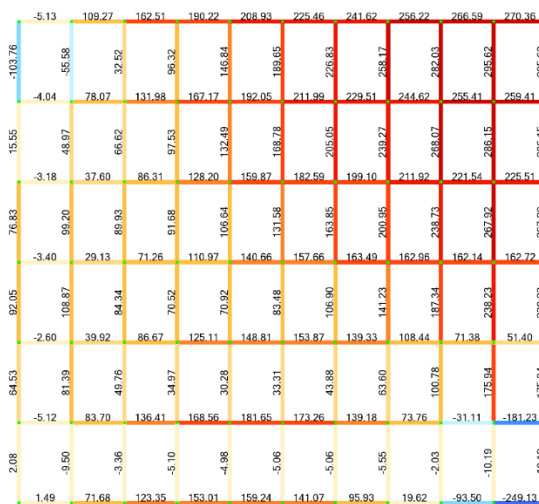


Рис. 5. Фрагмент диаграммы усилий (кН) в ВП покрытия. Шаг опор 1/4. Соотношение сторон 1:1.

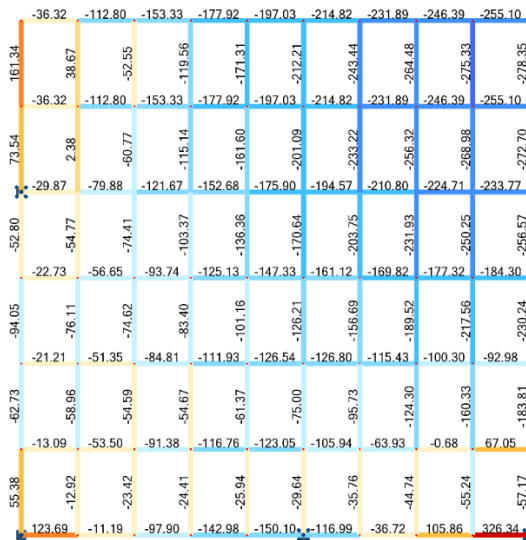


Рис. 6. Фрагмент диаграммы усилий (кН) в НП покрытия. Шаг опор 1/4. Соотношение сторон 1:1.

В табл. 2, приведены результаты расчетов с увеличенной жесткостью одного из направлений для верхнего пояса. Жесткость изменялась и с помощью изменения сечения уголков, и с помощью раздвижки уголков. При этом анализирую диаграммы усилий (рис. 7) в элементах структуры заметно, что дистрибуция стала более равномерной. Данное обстоятельство предопределяет более рациональное использование материала, при достаточной степени унификации.

Соотношение сторон А:В	1/1		1/1,5		
	1/1	1,1/1	1/1	2/1	2,2/1
А	266,59	260	531,94	503,51	455,43
В	295,62	273	240,18	310,87	437,36
А	L100x7	L100x7	L100x7	L20x10	L20x10
В	L100x7	L100x8	L100x7	L100x8	L100x8

Таблица 2 - Усилия в верхнем поясе покрытия при различных соотношениях жесткостей.

Соотношение сторон A:B	1/1		1/1,5		
Соотношение жесткостей A:B	1/1	1,1/1	1/1	2/1	2,2/1
A	266,59	260	531,94	503,51	455,43
B	295,62	273	240,18	310,87	437,36
A	L100×7	L100×7	L100×7	120×10	120×10
B	L100×7	L100×8	L100×7	L100×8	L100×8

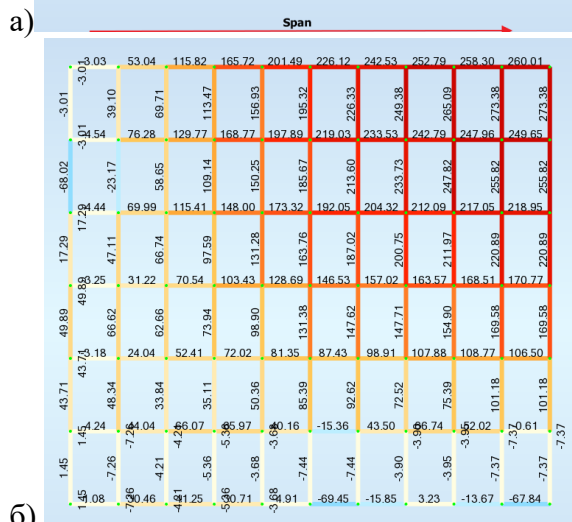


Рис. 7. Пример изменения напряженно-деформированного состояния. Фрагменты диаграммы усилий в верхних поясах покрытия системы СТiСК. Соотношение сторон 1:1.

- а) соотношение жесткостей 1/1
- б) соотношения жесткостей 1.1/1

Выводы. Благодаря совмещению функций элементов в складчатом покрытии системы СТiСК удалось добиться изменения напряженно-деформированного состояния и работы складчатого покрытия

в двух направлениях. Это позволяет сохранить основные преимущества конструктива, такие как: надежность, простота монтажа и высокая степень заводской готовности. При этом существенно уменьшив расход металла. По предварительным оценкам, экономия металла за счет эффекта перераспределения усилий составит порядка 24%.

Так же бы, было выявлено, что оптимальной формой является покрытие с соотношением сторон в плане близким к квадрату, и шагом опор $\frac{1}{4}$ пролета. При этом, начальные различия геометрических параметров в направлении вдоль пролета и перпендикулярно ему, могут быть частично упразднены за счет изменения соотношения жесткостей в этих направлениях. Это приводит к более равномерному распределению усилий в поясах и позволяет достичь высокой степени унификации поперечных сечений элементов.

Все вышеупомянутые улучшения требуют верификации путем проектирования складчатых покрытий и более детальной оценки удельного расхода металла. Так же необходимо разработать ряд конструктивных решений узлов, обеспечивающих практическую реализацию решений, представленных в статье.

ЛИТЕРАТУРА:

1. Трофимович В.В., Пермяков В.А. Оптимизация металлических конструкций. – К.: Вища школа, Головне вид-во, 1983. – 200 с.
2. Alashker, Y., El-Tawil, S., & Sadek, F. (2010). Progressive collapse resistance of steel - concrete composite floors. Journal of Structural Engineering, 136(10), 1187-1196.
3. Пелешко І. Д., Юрченко В. В. Оптимальное проектирование металлических конструкций на современном этапе (обзор работ) //Металлические конструкции. – 2009. – Т. 15. – №. 1. – С. 13-21.
4. Surzhan Y., Rapina K., Rapina T. Parameters rationalization for flat double-layer grid spatial structure (STiSK system) //MATEC Web of Conferences. – EDP Sciences, 2017. – Т. 116. – С. 02033
5. Шмуклер, В. С., Бережная, Е. В., Герасименко, В. В., Исмаил, В., & Калмыков, О. А. (2010). Металлобетонное перекрытие с рациональными параметрами. Вестник Харьковского национального автомобильно-дорожного университета, (49).

6. Рекомендации по проектированию структурных конструкций, ЦНИИСК им. Кучеренко, М. 1984.
7. Тимошенко С. П., Войновский-Кригер С. Пластинки и оболочки. – 1966.
8. ДБН В. 2.6 163: 2010. Конструкції будівель і споруд. Сталеві конструкції. Норми проектування, виготовлення і монтажу //На заміну СНиП II. – 2011. – Т. 23. – №. 81. – С. 3-8.
9. DING, Y., LIN, W., & LI, Z. X. (2007). Non-stationary Random Seismic Analysis of Long-span Spatial Structures under Multi-support and Multi-dimensional Earthquake Excitations [J]. Engineering Mechanics, 3, 97-101.
10. Беленя Е.И. Металлические конструкции, издание 6-е. Москва, Стройиздат, 1986г.
11. Kneifel J. Life-cycle carbon and cost analysis of energy efficiency measures in new commercial buildings //Energy and Buildings. – 2010. – Т. 42. – №. 3. – С. 333-340.
12. Вайнберг Д.В., Вайнберг Е.Д. Расчет пластин (издание второе, переработанное и дополненное). Киев: Издательство «Будівельник» – 1970. – 430 с.
13. Шмуклер В. С., Климов Ю. А., Бурак Н. П. Каркасные системы облегченного типа. – 2008.
14. Энгель Х. Несущие системы. – М.: АСТ: Астрель, 2007. – 344 с.

Суржан Є.О., Ващенко Ю.І. АНАЛІЗ ЕФЕКТУ ПЕРЕРОЗПОДІЛУ ВНУТРІШНІХ ЗУСИЛЬ У СКЛАДЧАТОМ ПОКРИТТІ СИСТЕМИ СТІСК.

Виконана раціоналізація покриття системи СТІСК прямим чисельним методом. У результаті, завдяки поєднанню функцій елементів і оптимальному розташуванню опор, згідно із попередніми оцінками вдалось зменшити витрати металу. При цьому системі СТІСК вдалось зберегти усі позитивні риси. Оцінювався вплив форми конструкції на її напружено-деформований стан. У статті також частково торкаються теми управління конструкціями покриття.

Ключові слова: великопрольотні покриття, складчасті тонкостінні конструкції, структури, раціоналізація, пасивне керування конструкціями.

Surzhan Y., Vashchenko Y. INTERNAL FORCES REDISTRIBUTION EFFECT ANALYSIS OF STISK SYSTEM FOLDED STRUCTURE.

The structural slab rationalization of the STISK system by a straightforward numerical method has been accomplished. Combination of elements functions and the optimal arrangement of the supports reduce consumption of the metal. The STISK system retained all its inherent positive qualities after optimization. Influence of the slab shape on a stress distribution was estimated. The article deals with the passive parameters control of structural slabs as well.

Key words: long-span structural slabs, folded thin-walled structures, structures, rationalization, passive control.

УДК 624.943

Топоркова К.С.

*Харківський національний університет міського господарства ім. О. М. Бекетова,
(вул. Маршала Бажанова, 13, Харків, 61000, Україна; e-mail: tes290692@gmail.com)*

ЕФЕКТИВНЕ СТАЛЕЗАЛІЗОБЕТОННЕ ПЕРЕКРИТТЯ

Розроблено ефективне сталезалізобетонне перекриття із застосуванням попередньо-напружених залізобетонних багатопустотних плит перекриття безопалубочного стендового формування. Розглядаються принципи формування та конструктивні особливості запропонованого перекриття. Визначені результати моделювання напружено-деформованого стану сталезалізобетонного диску перекриття. Наведені приклади зведених об'єктів із застосуванням запропонованого перекриття.

Ключові слова: сталезалізобетонний диск перекриття, попередньо-напружені плити безопалубочного формування, напружено-деформований стан диску перекриття.

Постановка проблеми.

На сучасному етапі розвитку технологій розрахунку і проектування перекриттів, пріоритетним напрямком стає пошук нових, та удосконалення існуючих методів реалізації конструкцій. Інтенсивний зріст

нових конструктивних та технологічних розробок відкриває безмежні можливості для проектування та зведення об'єктів, що реалізовані одним із сучасних методів будівництва, однак, кожен із існуючих методів має значну кількість недоліків.

НАУКОВИЙ ВІСНИК БУДІВНИЦТВА, Т. 89, №3, 2017