

УДК.624.014:624.074.4

Салахутдинов М.А. – аспирант

E-mail: lider-kazann@yandex.ru

Кузнецов И.Л. – доктор технических наук, профессор

E-mail: kuz377@mail.ru

Казанский государственный архитектурно-строительный университет

Адрес организации: 420043, Россия, г. Казань, ул. Зелёная, д. 1

### Повышение эффективности раскладки профилированного настила в покрытиях многопролетных зданий

#### Аннотация

В статье рассматриваются вопросы повышения эффективности применения профилированного стального настила в покрытиях многопролетных зданий. Предлагается двухконсольная укладка профилированного настила с оптимальной величиной консоли. Приводятся результаты экспериментальных и численных исследований дисковой жесткости настила с различной величиной нахлеста консольных участков. Разработана конечно-элементная модель, которая может быть использована в реальных расчетах дисковой жесткости настилов при его консольной укладке и произвольных размеров блока покрытия.

**Ключевые слова:** профилированный настил, оптимальная двухконсольная раскладка настила, экспериментальные, численные исследования дисковой жесткости.

В работах [1, 2, 3, 4] раскрываются вопросы повышения эффективности строительства многопролетных зданий, торгово-развлекательных центров, логистических комплексов с применением легких металлических конструкций. Такими вопросами, обеспечивающими повышение эффективности рассматриваемых зданий, являются разработка новых конструктивных форм [1, 2], оптимизация их параметров [3] и рациональное использование стального профилированного настила [4]. В настоящей статье рассматриваются вопросы повышения эффективности применения стального профилированного настила.

Эффективность применения стального профилированного настила решается с позиций разработки новых способов его раскладки и обеспечения дисковой жесткости. В статье предлагается вместо обычной многопролетной раскладки применять консольную, в частности, двухконсольную раскладку настила, схема которой приведена на рис. 1.

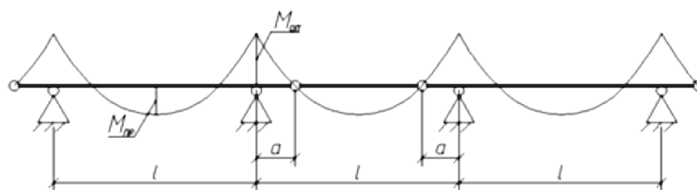


Рис. 1. Схема двухконсольной раскладки настила с эпурой изгибающих моментов

Учитывая, что профилированный настил имеет не симметричное сечение, предложено в целях оптимального распределения усилий и снижения его массы величину консоли находить из условия равенства напряжений в опорном ( $\sigma_1 = \frac{M_{on}}{W_1}$ ) и пролетном ( $\sigma_2 = \frac{M_{np}}{W_2}$ ) сечениях:

$$a = \frac{l \cdot (\lambda - \sqrt{\lambda^2 - \lambda})}{4},$$

где  $l$  – основной пролет настила;  $\lambda = \left(\frac{W_2}{W_1} + 1\right)$  – коэффициент, выражающий отношение моментов сопротивления несимметричного по высоте профилированного настила при сжатых узких полках ( $W_1$ ) и при сжатых широких полках ( $W_2$ ).

Раскладка настила по предлагаемой схеме показывает, например, что при настиле Н75-750-0.8 и с консолью  $a=0,144l$  обеспечивается экономия стали до 33 % в сравнении с многопролетной раскладкой. При этом достигается равенство опорных реакций в сравнении с аналогом, в котором опорные реакции отличаются до 10 %, что отражается на расходе стали на несущие конструкции.

При раскладке настила по предложенной двухконсольной схеме возникают вопросы дисковой жесткости настила, которая имеет большое значение в обеспечении пространственной жесткости каркаса и снижении расхода стали на связи. Для изучения этого вопроса проведены экспериментальные и численные исследования.

Проведение экспериментальных исследований выполнялось на специальной установке, включающей в себя стальную раму 1, собранную из четырех швеллеров № 12 (рис. 2). В узлах соединения швеллеров между собой установлены шарниры 2. Один швеллер жестко прикреплен к силовому полу, а параллельный ему швеллер установлен на катковые опоры 7. К швеллеру, установленному на катковые опоры 7, подсоединен гидроцилиндр 5. Для исключения горизонтальных перемещений гидроцилиндра 5 дополнительно установлен упор 4, жестко прикрепленный к силовому полу. Гидроцилиндр 5 подключен к насосной станции 6, которая снабжена манометром с ценой деления 38,47 кг. На стальную раму укладывается стальной профилированный настил марки Н153-840-1.5 и закрепляется по периметру самосверлящими винтами 6,3x25 мм, а между собой комбинированными заклепками диаметром 5 мм, установленными с шагом 300 мм. На выступающей части нижней полки профилированного настила по направлению действия гидроцилиндра устанавливается прогибомер дистанционного типа с ценой деления 0,1 мм. Для определения величины раскрытия соединения листов настила в зоне нахлеста на верхние полки профилированного настила устанавливаются индикаторы часового типа с ценой деления 0,01 мм. При приложении нагрузки к собранному фрагменту покрытия размером 2,5x3 м регистрировалась величина прикладываемого сосредоточенного усилия, перемещение блока в месте приложения нагрузки и величина поперечных деформаций соединения листов настила в зоне нахлеста. Принципиальная схема рамы приведена на рис. 2. А общий вид собранной экспериментальной установки показан на рис. 3.

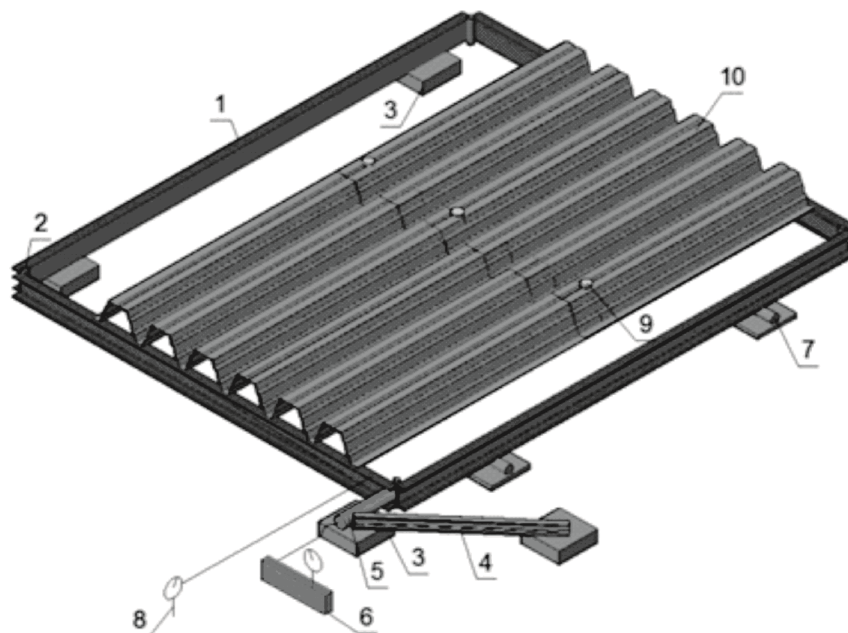


Рис. 2. Схема испытательной установки: 1 – металлическая рама из четырех швеллеров; 2 – шарниры; 3 – жесткое крепление к силовому полу; 4 – упор; 5 – гидравлический цилиндр; 6 – насосная станция; 7 – катковые опоры; 8 – прогибомер дистанционного типа; 9 – индикатор часового типа; 10 – профилированный настил Н153-840-1.5



Рис. 3. Общий вид экспериментальной установки с профилированным настилом

Нагружение выполнялось ступенями с шагом в 400 кг и выдержкой по 15-20 мин. Испытания проводились в несколько этапов при различной раскладке настила. Вначале был испытан блок размерами 2,5х3 м с листами без нахлеста, затем испытывались варианты с нахлестами 200, 300, 400 мм в середине блока. Результаты испытания приведены на рис. 4-5.

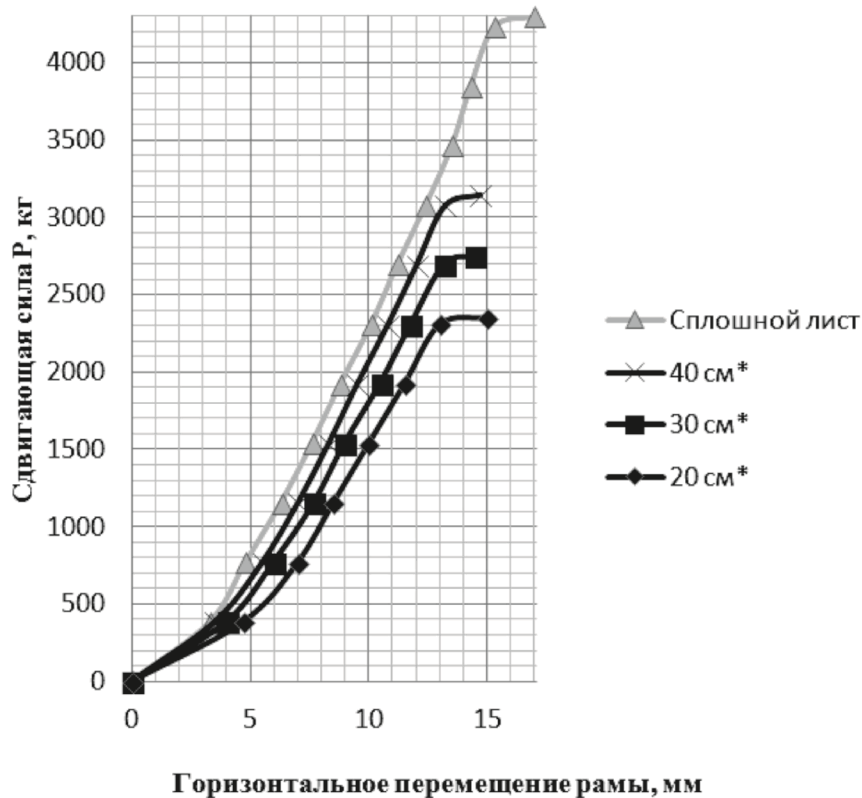


Рис. 4. Графики зависимости горизонтальных перемещений рамы от сдвигающей силы при различной раскладке настила: \* – размеры нахлеста листа в середине блока

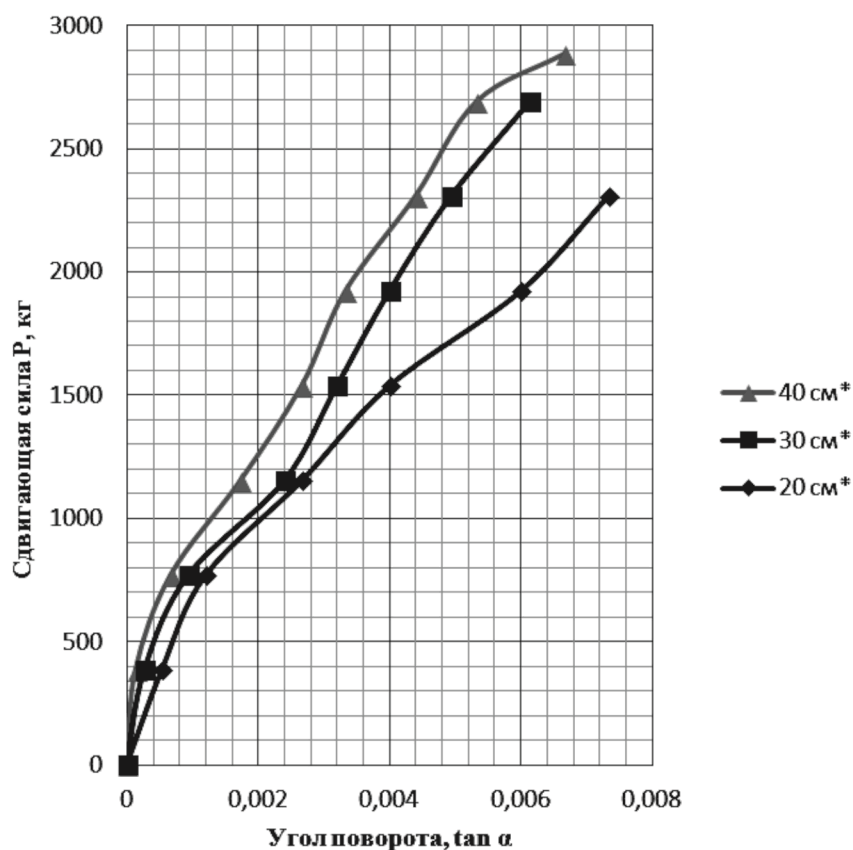


Рис. 5. График зависимости угла поворота листов настила в зоне нахлеста от сдвигающей силы:  
\* – размеры нахлеста листа в середине блока

Численные исследования заключались в отработке конечно-элементной модели, позволяющей, используя программный комплекс «Ansys», определять фактическое напряженно-деформированное состояние диска жесткости профилированного настила при различной величине нахлеста консольных участков. Профилированный настил марки Н153-840-1.5 и опорная конструкция из прокатного швеллера № 12 моделируются объемно-конечными элементами. Крепление стального настила к опорной раме и между собой в зоне нахлеста осуществляется самосверлящими винтами диаметром 6,3 мм, моделированными объемно-конечными элементами. Контакт поверхностей настила с рамой и между собой моделировался по типу «frictional» с коэффициентом трения в пределах от 0,3 до 0. Податливость саморезов моделировалась контактом типа «bonded» с коэффициентом податливости в пределах от 1 до 0. Саморезы устанавливаются по периметру, а также в середине нахлеста в каждой волне. Вдоль длинной стороны к раме прикладывается горизонтальная нагрузка. В результате расчета вычисляются общие перемещения рамы и эквивалентные напряжения. Расчеты проводятся для блока со сплошным настилом и блока с настилом с величиной нахлеста 20 см, 30 см, 40 см. Деформированная схема настила и результаты расчетов на ПК «Ansys» приведены на рис. 6-7. Значения перемещений настила от сдвигающей силы при различной величине нахлеста и коэффициенте трения 0,03 и коэффициенте податливости 0,01 приведены на рис. 8.

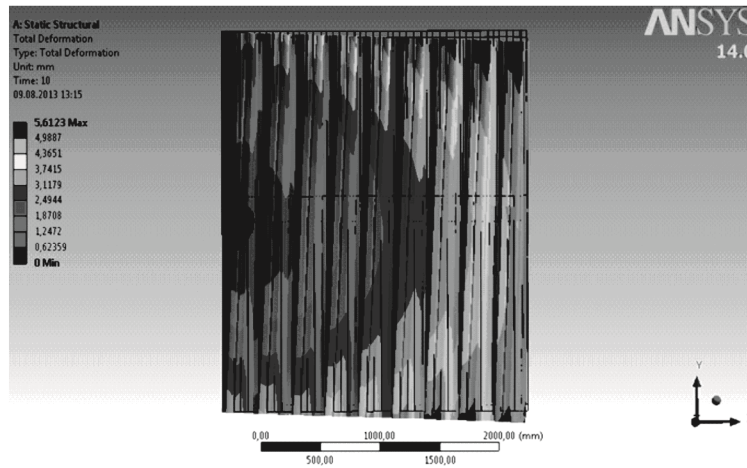


Рис. 6. Общая деформированная схема настила (вид сверху)

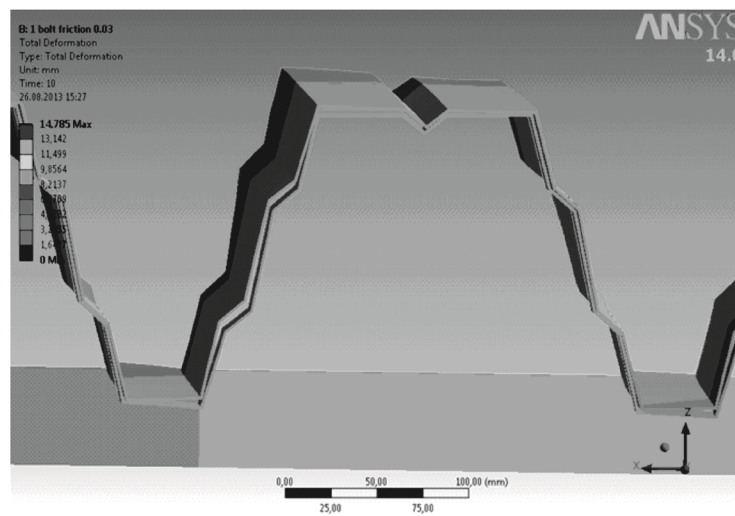


Рис. 7. Деформированная схема участка настила (сечение в зоне нахлеста)

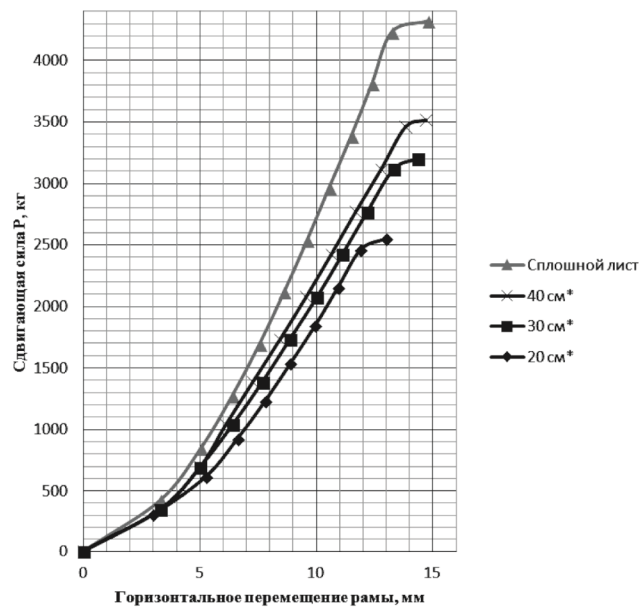


Рис. 8. Графики зависимости горизонтальных перемещений рамы от сдвигающей силы при различной раскладке настила: \* – размеры нахлеста листа в середине блока

Сравнение экспериментальных горизонтальных перемещений (рис. 4) с данными, полученными в результате компьютерного моделирования, показали хорошую сходимость (не более 5 %), если в расчете использовать коэффициент трения 0,03 и коэффициент податливости 0,01. Дополнительные расчеты дисковой жесткости при различных размерах блоков и двухконсольных схем показали хорошие результаты.

#### **Выводы:**

1. Проведенные исследования показывают, что консольная укладка профилированного настила позволяет получить значительную экономию стали до 33 %.

2. Экспериментом установлено, что наличие консольных участков и нахлеста настила приводит к снижению дисковой жесткости и для практики можно рекомендовать нахлест  $1,8-2,3h$ , где  $h$  – высота гофра настила.

3. Рекомендованная конечно-элементная модель, реализуемая в ПК «Ansys» при коэффициентах трения 0,03 и податливости 0,01, позволяет достаточно точно моделировать напряженно-деформированное состояние и может быть использована в реальных расчетах дисковой жесткости настилов при его консольной укладке и произвольных размеров блока покрытия.

#### **Список литературы**

1. Кузнецов И.Л., Салахутдинов М.А., Гимранов Л.Р. Новые конструктивные решения стальных каркасов легких многопролетных зданий // Известия КГАСУ, 2011, № 1 (15). – С. 88-92.
2. Салахутдинов М.А., Кузнецов И.Л. Оптимизация параметров нового конструктивного решения стального каркаса многопролетного здания // Известия КГАСУ, 2012, № 2 (20). – С. 94-98.
3. Стальной каркас одноэтажного многопролетного здания: пат. 2476647 Рос. Федерация. № 2011119389/03; заявл. 20.11.2012; опубл. 27.02.2013, Бюл. № 6. – 3 с.
4. Гимранов Л.Р. Пространственная жесткость одноэтажных многопролетных легких зданий с применением профилированного настила с увеличенной высотой гофра... дисс. канд. техн. наук. – Казань, 2010. – 171 с.

**Salakhoutdinov M.A.** – post-graduate student

E-mail: lider-kazann@yandex.ru

**Kuznetsov I.L.** – doctor of technical sciences, professor

E-mail: kuz377@mail.ru

**Kazan State University of Architecture and Engineering**

The organization address: 420043, Russia, Kazan, Zelenaya st., 1

#### **Improving the efficiency of the layout profiled sheeting in the covers of multi-span buildings**

#### **Resume**

At present, in construction of buildings of light steel structures corrugated steel decks are widely used as a supporting and protecting element of coating. With realization of the building of profiled steel deck its efficiency is largely determined by the scheme of laying. Developed measures to improve efficiency of the profiled steel sheeting in the coatings of light single-story multi-span buildings. The paper proposes to use console layout, in particular, the dual console layout of flooring, which leads to cost on profiled steel decking up to 33 %. The deck layout for the proposed dual console arrangement raises the questions of disc stiffness deck, which is important in ensuring the spatial rigidity of the frame. To study this question experimental and numerical researches were carried out. It was established experimentally that the console areas and overlap deck existence reduces the disk stiffness and for the practical use the overlap of  $1,8-2,3 h$  is recommended, where  $h$  is the height of the corrugation of deck. Based on numerical researches finite-element model on PC «Ansys» was developed with coefficients of friction of

0,03 and 0,01 pliability, which allows to model the stress-strain state and can be used in the real calculations of disk stiffness of deck at his console laying and arbitrary block sizes of cover.

**Keywords:** steel deck, flooring optimal dual console layout, experimental, numerical researches of disk stiffness.

### References

1. Kuznetsov I.L., Salakhutdinov M.A., Gimranov L.R. New structural solutions of steel frames of light multispans buildings // News of the KSUAE, 2011, № 1 (15). – P. 88-92.
2. Salakhutdinov M.A., Kuznetsov I.L. Optimization of the parameters of a new structural solution of steel frame of multispans building // News of the KSUAE, 2012, № 2 (20). – P. 94-98.
3. One-story steel frame building multispans: the patent 2476647 Russian Federation. № 2011119389/03; It is declared 20.11.2012; it is published 27.02.2013. The bullet in № 6. – 3 p.
4. Gimranov L.R. The spatial rigidity of multi-span single-storey buildings with a light application of profiled sheeting with increased height of corrugation: diss. Candidate. tehn. Science. – Kazan, 2010. – 171 p.