

11. Лубянов И.П., Нороха Р.М., Боголюбов М.М., Дыга А.Г. Вопросы технической гидробиологии и пути их решения в связи с защитой водоснабжения электростанций и заводов от биологического обрастания. В сб. "Вопросы гидробиологии". Изд-во "Наука", 1965.
12. Михеева Ф. М., Флорианэвич Г. М., Колотыркин Я. М., Фролов Ф. Я. /Новый метод коррозионно-электрохимических исследований на металлах с непрерывно обновляемой поверхностью. //Защита металлов. 1987. Т. 23. №6. С. 915-921.
13. Тищенко Г.П., Алексеева В.А., Тищенко И.Г. Экологические аспекты коррозии М.: Химическая промышленность. 1992. - 68 с.
14. Дрейссена, Dreissenapolyomorpha (Pall.) (Bivalvia, Dreissenidae). Систематика, экология и практическое значение. М.: Наука, 1994. 206 с.
15. Li Y., Ning C. Latest research progress of marine microbiological corrosion and biofouling, and new approaches of marine anti-corrosion and anti-fouling // Bioactive Materials. 2019. V. 4. P. 189-195.

© А. В. Москвичева, Е. В. Федуллова, А. Ю. Гильгенберг, О. В. Коновалов, Г. Л. Гиззатова

Ссылка для цитирования:

А. В. Москвичева, Е. В. Федуллова, А. Ю. Гильгенберг, О. В. Коновалов, Г. Л. Гиззатова Разработка мероприятий по снижению коррозии оборудования водохозяйственного комплекса // Инженерно-строительный вестник Прикаспия : научно-технический журнал / Астраханский государственный архитектурно-строительный университет. Астрахань : ГАОУ АО ВО «АГАСУ», 2021. № 4 (38). С. 36–40.

УДК 69.01

DOI 10.52684/2312-3702-2021-38-4-40-46

АНАЛИЗ НАПРЯЖЕННО-ДЕФОРМИРОВАННОГО СОСТОЯНИЯ ГОФРОБАЛОК, ПРИМЕНЯЕМЫХ В СТРОИТЕЛЬСТВЕ

Е. В. Никонова

Национальный исследовательский московский государственный строительный университет (НИУ МГСУ), Россия, г. Москва

Применение гофробалок не является новой технологией в строительстве. Данные балки применялись в нашей стране ранее и по сей день применяются за рубежом и получили название Sin-балка. Гофробалка – конструкция, которая состоит из поясов и металлической стенки, изогнутой (гофрированной). Конструкции из гофробалки применяются при строительстве в качестве балок перекрытия, балок покрытия в промышленных зданий и т. д. В статье рассматриваются варианты напряженно-деформированного состояния гофробалок. В качестве гофробалок взяты три балки идентичные по своим размерам с нормальным горячекатаным двутавром профиля 30Б1, и одна сварная балка идентичная по параметрам с нормальным горячекатаным двутавром профиля 30Б1. Производится сравнение всех вариантов по трем основным параметрам напряженности, деформация, смещение. Цель работы состоит в исследовании достоинств и недостатков, применяемых гофробалок по сравнению с горячекатаным двутавром профиля 30Б1. Приведена сравнительная таблица напряженно-деформированного состояния гофробалок.

Ключевые слова: напряженно-деформирование состояние, гофробалка, метод конечных элементов, программный комплекс Ansys, сравнение, достоинство, недостатки, Sin-балка, проектирование, двутавр, балка.

ANALYSIS OF THE STRESS-STRAIN STATE OF CORRUGATED ROLLERS USED IN CONSTRUCTION

E. V. Nikonova

Moscow State University of Civil Engineering (MGSU) National Research University, Russia, Moscow

The use of corrugated rollers is not a new technology in construction, these beams were used earlier in our country and are still used abroad and are called Sin-beam. A corrugator is a structure that consists of belts and a metal wall that is curved (corrugated). Corrugated steel structures are used in construction as floor beams, covering beams in industrial buildings, etc. The article discusses the variants of the stress-strain state of corrugated rollers. Three beams identical in size with a normal hot-rolled I-beam of profile 30B1, and one welded beam identical in parameters with a normal hot-rolled I-beam of profile 30B1 are accepted as corrugators. A comparison of all options is made according to three main parameters: stress, deformation, displacement. The purpose of the work is to study the advantages and disadvantages of the corrugated rollers used in comparison with the hot-rolled I-beam profile 30B1. A comparative table of the stress-strain state of corrugated rollers is given.

Keywords: stress-strain state, corrugator, finite element method, Ansys software package, comparison, advantages, disadvantages, Sin-beam, design, I-beam, beam.

В строительстве стальные балки с гофрированной стенкой использовались еще в 30-х годах прошлого столетия, но их применение не получило широкое распространение в основном из-за низкого уровня сварочных работ, а также по причине отсутствия оборудования для производства балок на заводах, изготавливающих металлические конструкции. В Европе стальные гофрированные балки начали применяться с 60-х годов прошлого столетия, в Японии – с 80-х годов прошлого столетия при строительстве автомобильных мостов (рис. 1) [14, 15].



Рис. 1. Мосты с применением гофробалок

Конструкции из гофробалки используются при строительстве в качестве балок перекрытия, покрытия промышленных зданий и т. д. [2, 8].

Гофробалка (sin-beam от латинского sinus – изгиб) представляет собой конструкцию, которая состоит из двух полок с волнообразной стенкой (рис. 2).

Верхний и нижний пояса выполняются из стали толщиной от 6 до 30 мм, ширина полок принимается до 400 мм. Стенка гофрированная, толщиной до 8 мм. Высота принимаемых гофробалок различная в зависимости от области применения [10, 12].

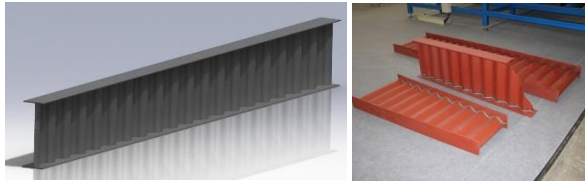


Рис. 2. Общий вид гофробалки

К преимуществам гофробалок можно отнести:

- гофробалка за счет гофрированной стенки более эффективно воспринимает изгибающий момент;
- гофробалка имеет меньшую материалоемкость при сравнении с обычными балками;
- возможность перекрывать большие проемы до 40 м из-за своего малого веса;
- вертикальный размер гофробалки (при перекрытии больших пролетов применяемая классическая ферма, как правило, имеет высоту 2,4 м, гофробалка – 1,5 м).

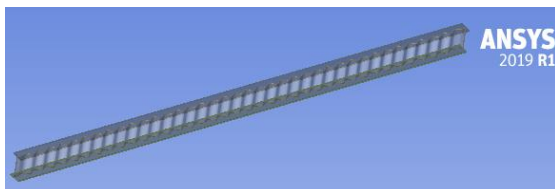


Рис. 3. Общий вид синусоидальной гофрированной балки

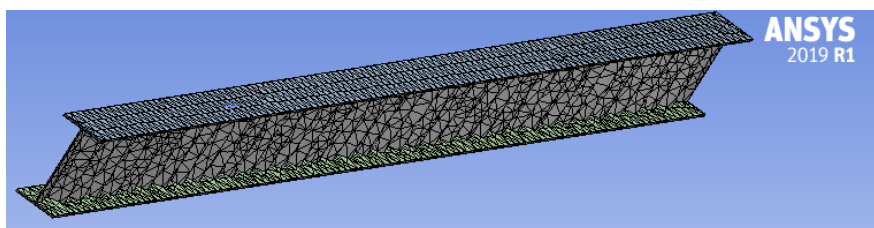
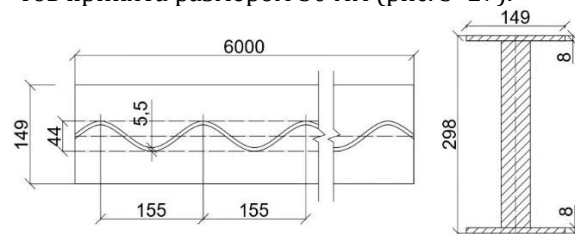


Рис. 4. Общий вид сетки конечных элементов

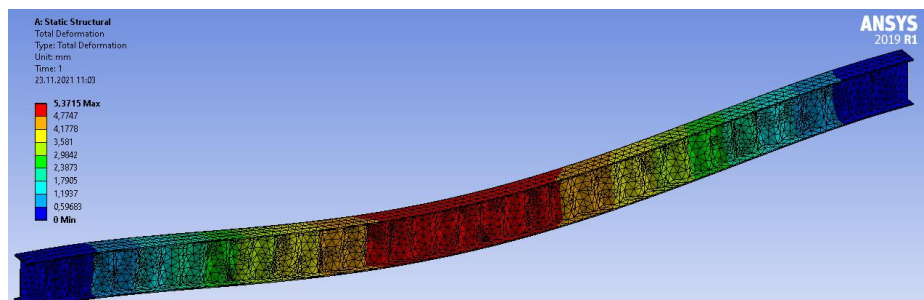


Рис. 5. Total deformation (максимальное смещение мм)

Согласно нормам проектирования стальных конструкций, при изготовлении гофробалок пояса проектируются из горячекатаной стали марки не ниже С255, для стенки используют холоднокатаную тонколистовую сталь СтЗсп [9].

Однако для более точной оценки эффективности преимуществ гофробалок необходимо выполнить расчет напряженно-деформированного состояния (НДС) гофробалок [8, 10].

При расчете двутавровой балки большую часть изгибающего момента на себя воспринимают пояса, при этом стенка, как правило, служит для связи между поясами и восприятия поперечной силы [13]. При небольшой толщине стенки условия прочности балки по касательным напряжениям выполняются, но для обеспечения местной устойчивости необходимо увеличить толщину стенки.

Расчет гофробалки можно отнести к определению тонкостенного стержня. Проектирование таких балок можно проводить на основании численного метода расчета тонкостенных стержней согласно теории профессора В. З. Власова [4].

Расчет моделей гофробалок производится в программном комплексе Ansys, который основан на применении метода конечных элементов (МКЭ) [9, 11, 12].

Расчетные гофробалки моделировались одной длины, материал – сталь марки С345. Заданная одинаковая нагрузка на все стальные балки приложена к верхнему поясу, закрепление идентично для всех балок. Сетка конечных элементов принята размером 50 мм (рис. 3–27).

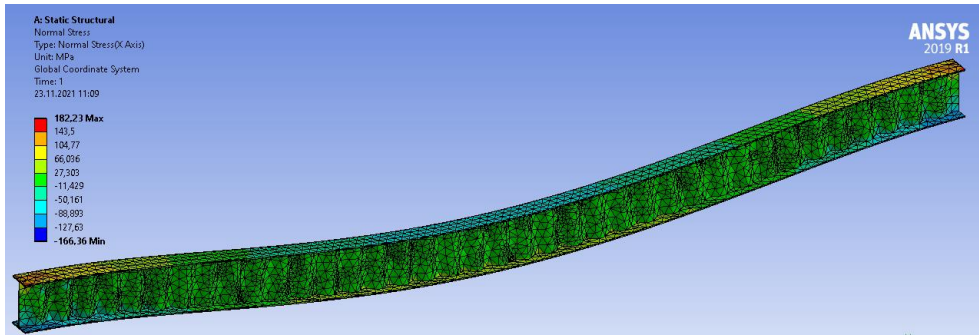


Рис. 6. Strain (максимальная деформация)

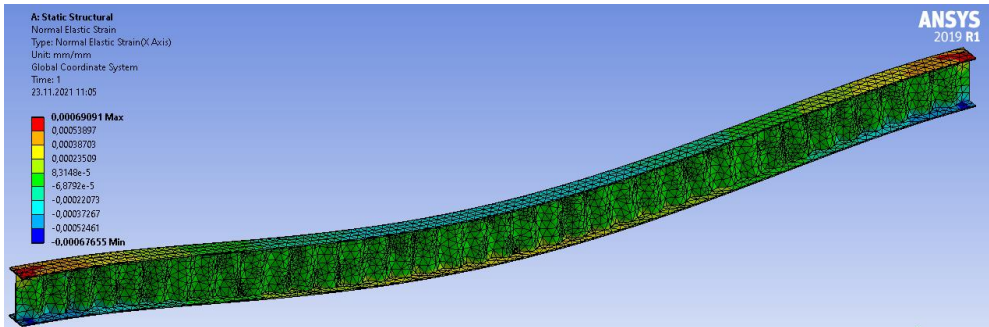


Рис. 7. Stress (максимальное напряжение)

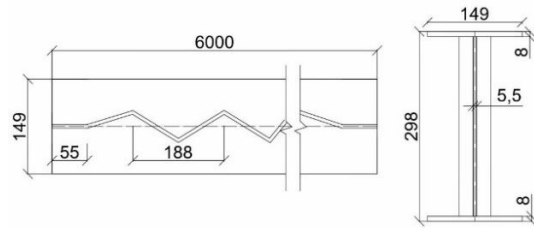
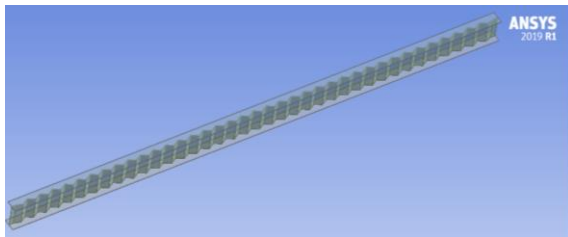


Рис. 8. Общий вид треугольной гофрированной балки

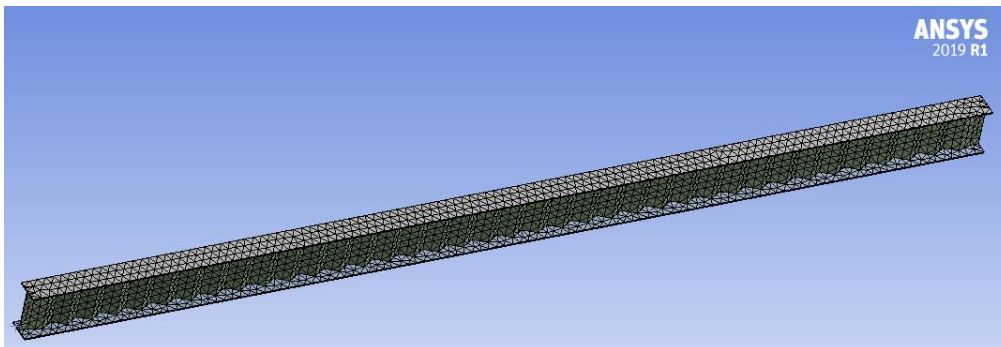


Рис. 9. Общий вид сетки конечных элементов

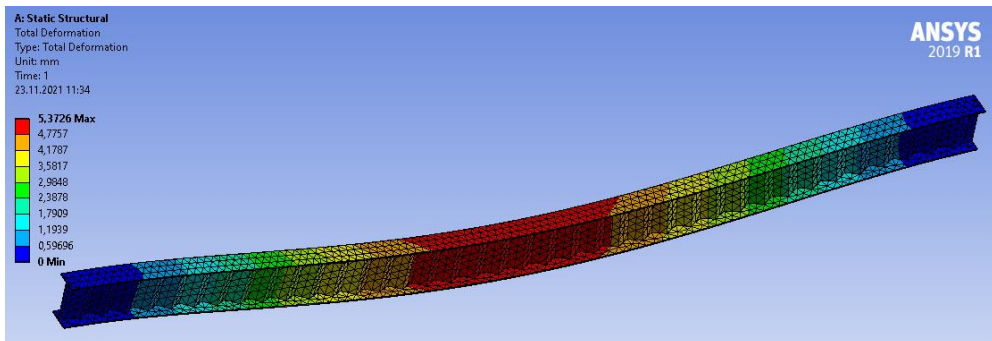


Рис. 10. Total deformation (максимальное смещение мм)

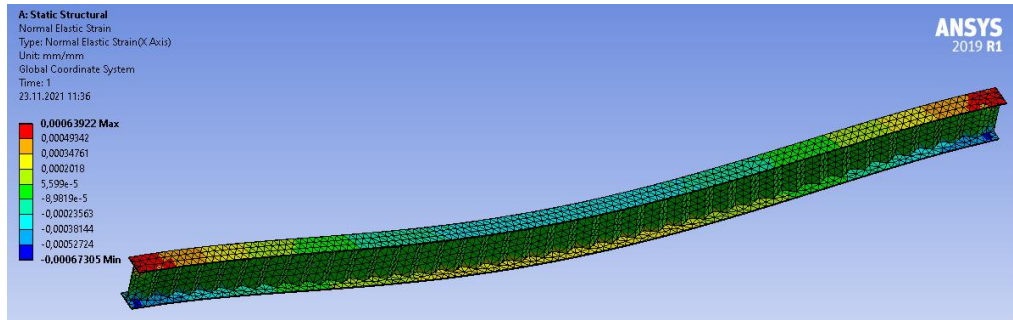


Рис. 11. Strain (максимальная деформация)

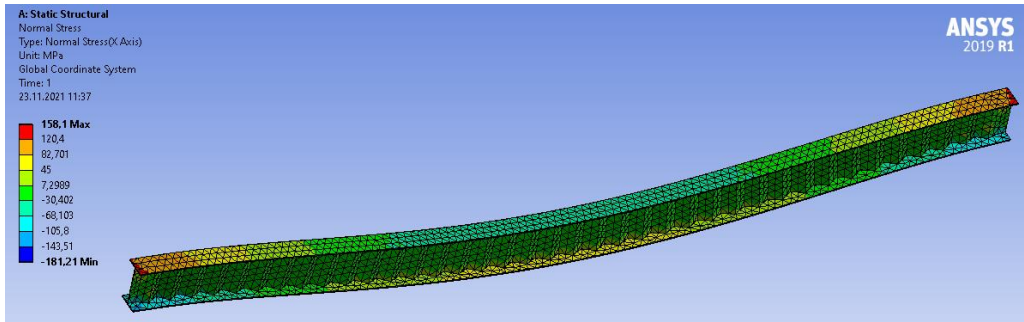


Рис. 12. Stress (максимальное напряжение)

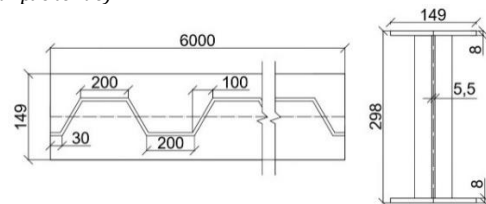
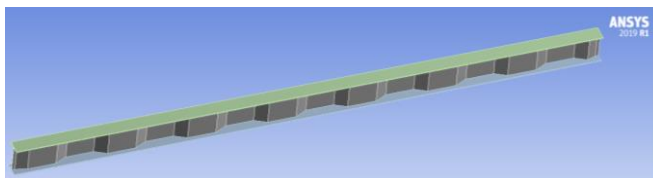


Рис. 13. Общий вид трапециевидной гофрированной балки

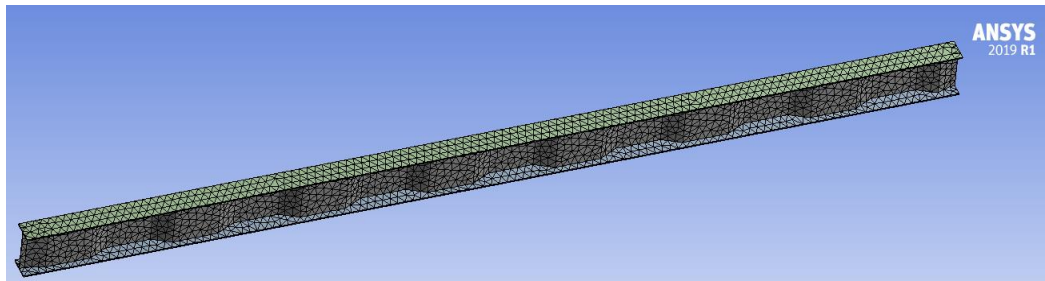


Рис. 14. Общий вид сетки конечных элементов

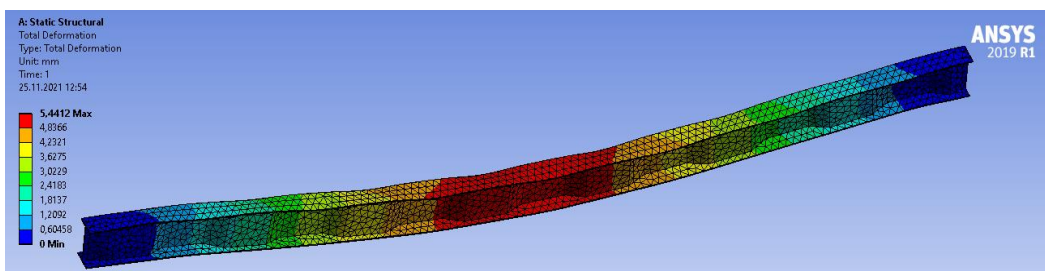


Рис. 15. Total deformation (максимальное смещение мм)

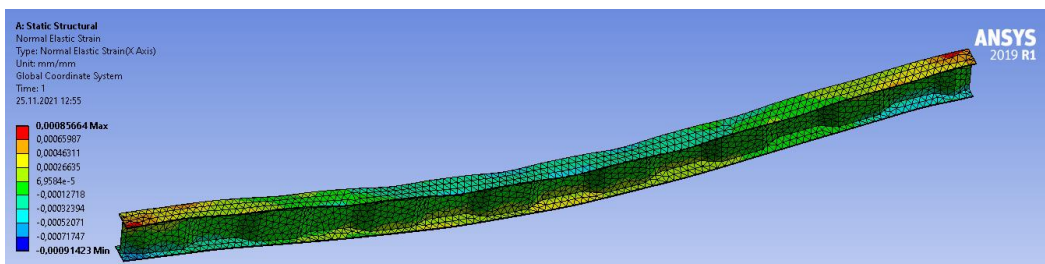


Рис. 16. Strain (максимальная деформация)

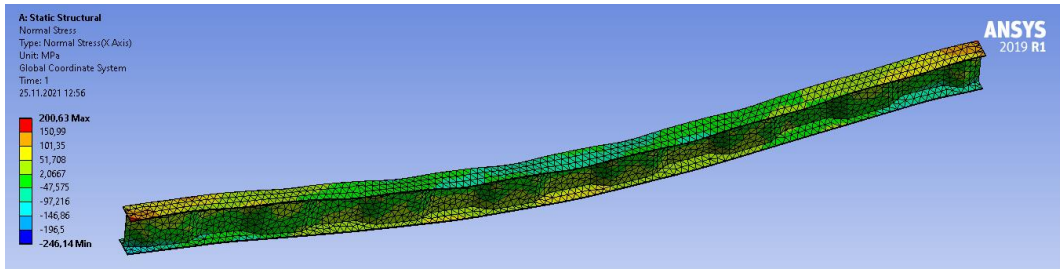


Рис. 17. Stress (максимальное напряжение)

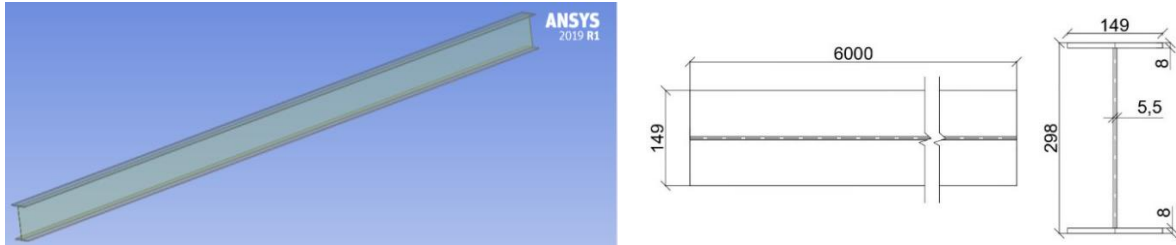


Рис. 18. Общий вид сварной балки

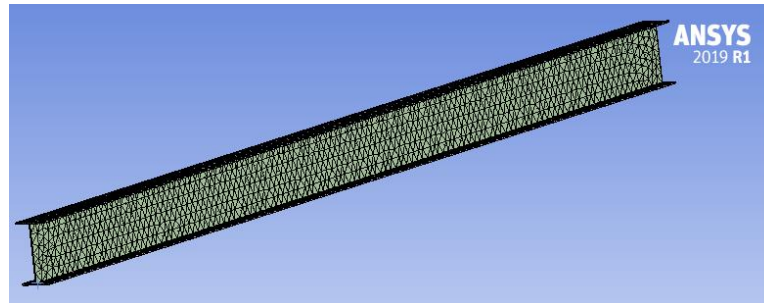


Рис. 19. Общий вид сетки конечных элементов

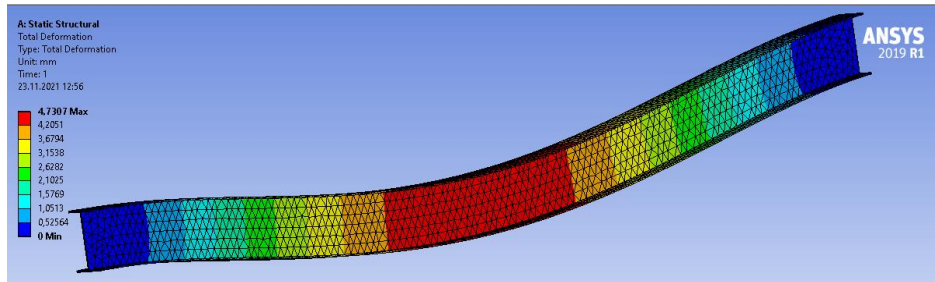


Рис. 20. Total deformation (максимальное смещение мм)

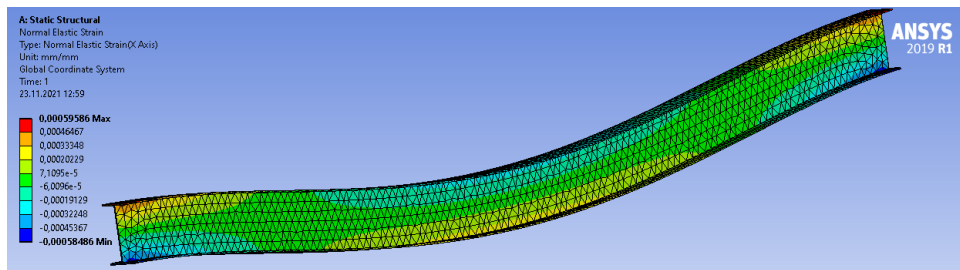


Рис. 21. Strain (максимальная деформация)

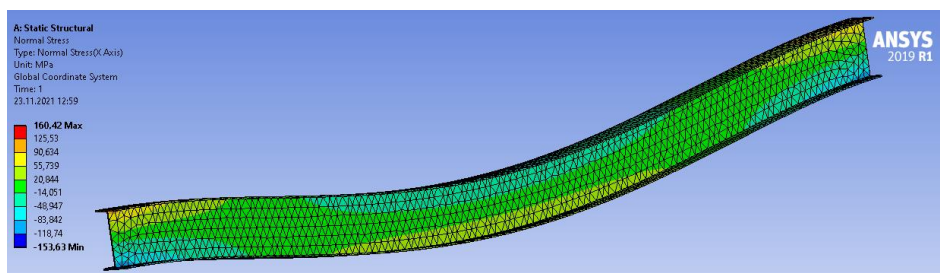


Рис. 22. Stress (максимальное напряжение)

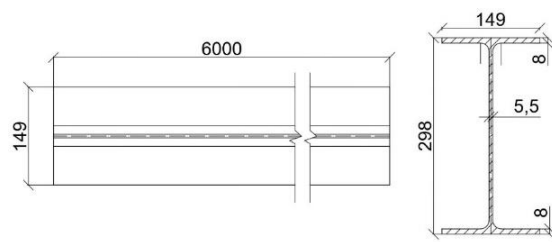
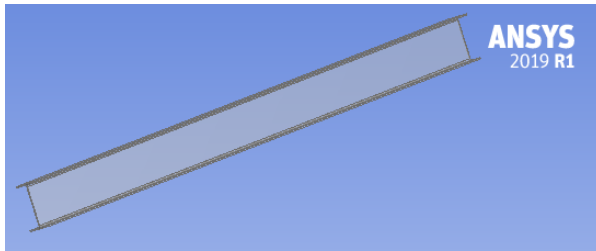


Рис. 23. Общий вид двутавра профиля 30Б1

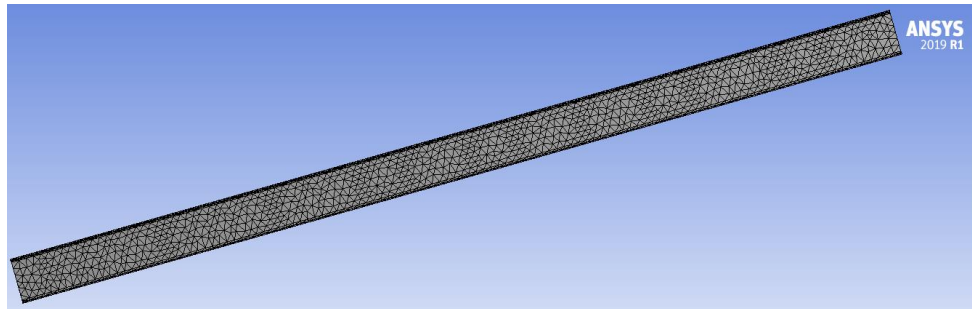


Рис. 24. Общий вид сетки конечных элементов

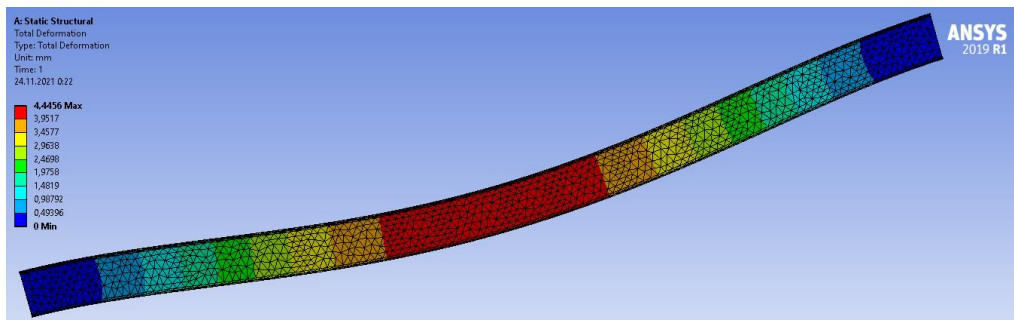


Рис. 25. Total deformation (максимальное смещение мм)

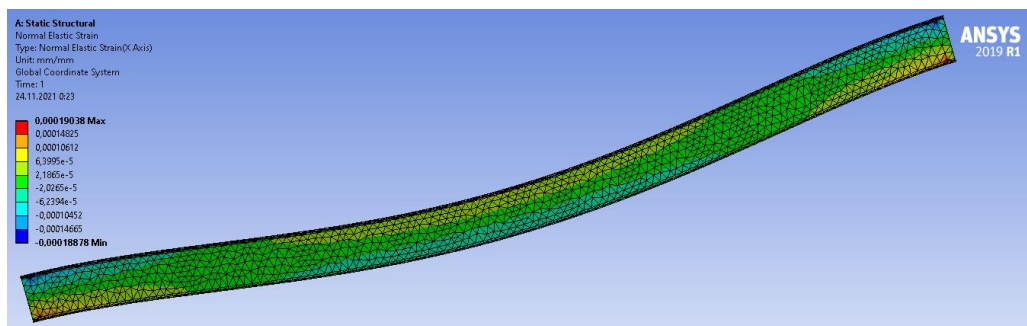


Рис. 26. Strain (максимальная деформация)

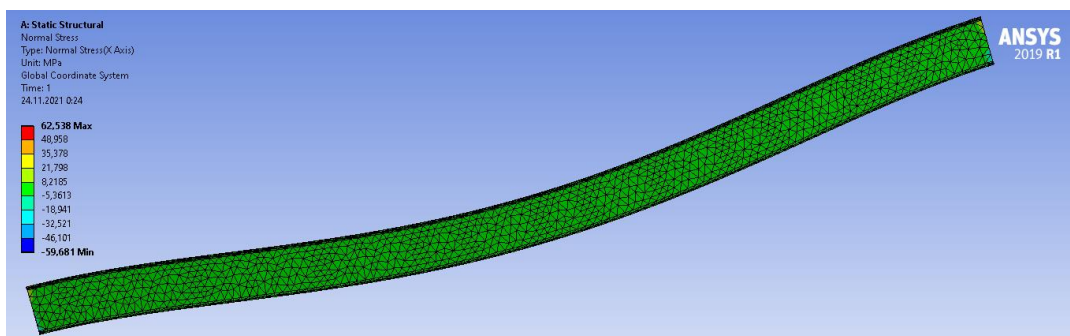


Рис. 27. Stress (максимальное напряжение)

Результаты расчета в программном комплексе Ansys показывают, что общая форма деформаций расчетных гофробалок идентична во

всех вариантах. Полученные результаты расчета приведены в таблице 1.

Таблица 1

Результаты расчета в программном комплексе Ansys

Наименование балки	Total deformation (максимальное смещение мм)	Strain (максимальная деформация)	Stress (максимальное напряжение)	Вес конструкции (т)	Отклонение, %
Синусоидальная гофрированная балка	5,3715	0,00069091	182,23	0,19747	-2,58
Треугольная гофрированная балка	5,3726	0,00063922	158,1	0,19588	-2,36
Трапециевидная гофрированная балка	5,4412	0,00085644	200,63	0,18784	-2,97
Сварная балка двутаврового сечения	4,7307	0,00059586	160,42	0,18534	-2,25
Горячекатаный двутавр профиля 30Б1	4,4456	0,00019038	62,538	0,19217	0,0

При сравнении полученных результатов можно сделать следующие выводы:

1. Наиболее эффективной при одинаковых параметрах (размер, марка применяемой стали, величина приложенной нагрузки) является горячекатаная стальная двутавровая балка 30Б1.
2. Согласно таблице полученных результатов, остальные четыре варианта балок не сильно отличаются от принятого наилучшего решения,

среднее отклонение по искомым параметрам составляет порядка 2,5 %.

3. Наиболее плохо под воздействием нагрузки повела себя трапециевидная гофрированная балка, верхняя полка балки потеряла свою форму.
4. Расчет гофробалок наиболее эффективно проводить в программных комплексах, основанных на методах конечных элементов (МКЭ).

Список литературы

1. Агапов В.П. Метод конечных элементов в статике, динамике и устойчивости пространственных тонкостенных конструкций. М.: АСВ, 2000. 152 с.
2. Ажермачев Г.А. Балки с волнистыми стенками // Промышленное строительство, 1963, № 4. С. 54–56.
3. Бирюлев В.В., Остриков Г.М., Максимов Ю.С., Барановская С.Г. Местное напряженное состояние гофрированной стенки двутавровой балки при локальной нагрузке // Известие вузов. Строительство и архитектура. 1989. № 11. С. 13–15.
4. Власов В.З. Тонкостенные упругие стержни. Физматгиздат, 1961. С. 568.
5. Клованич С.Ф. Метод конечных элементов в нелинейных задачах инженерной механики. Запорожье, 2009. 400 с.
6. Кудрявцев С.В. Расчет двутавровой балки с гофрированной стенкой на изгиб в своей плоскости под действием статических нагрузок: Ч. 1. Методика расчета. Екатеринбург, 2007. 17 с.
7. Лазнюк М.В. Численное моделирование балок с тонкими гофрированными стенками // Будевильник. 36-я науч. конф., К., 2003. С. 64–68.
8. Максимов Ю.С., Остриков Г.М. Стальные балки с тонкой гофрированной стенкой – эффективный вид несущих конструкций производственных зданий // Промышленное строительство. 1984. № 4. С. 10–11.
9. Остриков Г.М., Максимов Ю.С., Долинский В.В. Исследование несущей способности стальных двутавровых балок с вертикально гофрированной стенкой // Строительная механика и расчет сооружений, 1983. № 1. С. 68–70.
10. Проектирование металлических конструкций / Под ред. В.В. Бирюлева, Стройиздат, 1990. 432 с.
11. Сагдеева Ю.А., Копысов С.П., Новыков А.К. Введение в метод конечных элементов. Ижевск, 2011. 44 с.
12. Файнштейн А.А. Стальные балки минимального веса. / Изд-во Политехнический Университет. 2007. 95 с. 21. Фокин В.Г. Метод конечных элементов в механике деформируемого твердого тела. Самара, 2010. 131 с.
13. Убайдуллоев М.Н. Повышение несущей способности эксплуатируемых сооружений // Строительство уникальных зданий и сооружений. 2013. №4 (9). С.15.
14. Zhang. W, Y. Li, Q. Zhou, [et. al.] (2000) Optimization of the structure of an H-beam with either a flat or acorru-gated web. Part 3 Development and research on H-beams with wholly corrugated webs, J. Mater. Process. Technol. Vol.101. Issue 1 2000 Pp. 119–123.24.
15. Driver RG, Abbas HH, Sause R. (2006) Shear behavior of corrugated web bridge girder. Journal of Structural Engineering. 2006 Vol. 132 Issue 2 Pp. 195-203.

© **Е. В. Никонова**

Ссылка для цитирования:

Никонова Е. В. Анализ напряженно-деформированного состояния гофробалок, применяемых в строительстве // Инженерно-строительный вестник Прикаспия : научно-технический журнал / Астраханский государственный архитектурно-строительный университет. Астрахань : ГАOU АО ВО «АГАСУ», 2021. № 4 (38). С. 40–46.