

МІНІСТЕРСТВО ОСВІТИ І НАУКИ УКРАЇНИ
Національний університет кораблебудування імені адмірала Макарова
Кораблебудівний навчально-науковий інститут

Кафедра будівельної механіки та
конструкції корпусу корабля

“Допущений до захисту”

Завідувач кафедри БМ та ККК

д. т. н. професор Коростильов Л.І.

« 24 » грудня 2024 р.

КВАЛІФІКАЦІЙНА РОБОТА

на здобуття ступеня вищої освіти «магістр»

на тему: «Дослідження відмінностей напружено-деформованого стану
полотна хвилястого гофра у порівнянні з коробчастим під дією поперечного
навантаження»/ «Research on the differences in the stress-strain state of the wavy
corrugated web compared to the boxed under normal load»

Виконав: студент 6116 м групи

Калінін Г.М.

Керівник роботи:

старший викладач

Клименков С.Ю.

Миколаїв 2024

МІНІСТЕРСТВО ОСВІТИ І НАУКИ УКРАЇНИ

Національний університет кораблебудування імені адмірала Макарова

Навчально науковий інститут (факультет) _____ Кораблебудівний _____

Кафедра _____ будівельної механіки та конструкції корпусу корабля _____

Спеціальність _____ 135 Суднобудування _____

Освітня програма _____ Конструювання та міцність корпусу суден і плавучих споруд _____

«ЗАТВЕРДЖУЮ»

Гарант освітньої програми



д.т.н., проф. Коростильов Л.І.

« 24 » грудня 2024 року

ЗАВДАННЯ НА КВАЛІФІКАЦІЙНУ РОБОТУ на здобуття ступеня вищої освіти «магістр»

студенту _____ Калінін Геннадій Миколайович _____
(прізвище, ім'я, по батькові)

1. Тема роботи «Дослідження відмінностей напружено-деформованого стану полотна хвилястого гофра у порівнянні з коробчастим під дією поперечного навантаження»/ «Research on the differences in the stress-strain state of the wavy corrugated web compared to the boxed under normal load»

Керівник роботи _____ Клименков С.Ю. _____,
(прізвище, ім'я, по батькові, науковий ступінь, вчене звання)

Затверджені наказом ректора № _____ від “ _____ ” _____ 20 _____ року

2. Строк подання студентом роботи _____ 26.12.2024 _____

3. Вихідні дані до роботи: _____ матеріали технічного проекту танкера (15966) _____

4. Перелік питань, що належать до розробки (найменування розділів):

4.1. Аналіз та систематизація особливостей конструкції міцних гофрованих перегородок корпусу судна

4.2. Розрахунок міцності гофрованої перегородки танкера проекту 15966 під дію поперечного навантаження

4.3. Вибір геометричних характеристик полотна гофрованої перегородки з коробчастими гофрами

4.4. Вибір геометричних характеристик полотна гофрованої перегородки з хвилястими гофрами

4.5. Проектування плоскої перегородки з вертикальними стояками і порівняння її ваги та міцності з гофрованими

5. Перелік презентаційних матеріалів:

5.1. Презентація магістерської роботи в форматі PowerPoint.

6. Консультанти розділів роботи

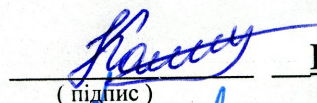
Розділ	ПіБ консультанта	Підпис, дата	
		завдання видав	завдання прийняв
1	Клименков С.Ю.	02.09.2024	30.09.2024
2	Клименков С.Ю.	30.09.2024	28.10.2024
3	Клименков С.Ю.	28.10.2024	18.11.2024
4	Клименков С.Ю.	18.11.2024	02.12.2024
5	Клименков С.Ю.	02.12.2024	16.12.2024

7. Дата видачі завдання 02.09.2024

КАЛЕНДАРНИЙ ПЛАН

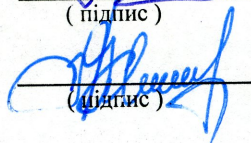
№ з/п	Назва етапів дипломного проекту	Строк виконання етапів проекту	Примітка
1	Аналіз та систематизація особливостей конструкції міцних гофрованих перегородок корпусу судна	30.09.2024	
2	Розрахунок міцності гофрованої перегородки танкера проекту 15966 під дією поперечного навантаження	28.10.2024	
3	Вибір геометричних характеристик полотна гофрованої перегородки з коробчастими гофрами	18.11.2024	
4	Вибір геометричних характеристик полотна гофрованої перегородки з хвилястими гофрами	02.12.2024	
5	Проектування плоскої перегородки з вертикальними стояками і порівняння її ваги і міцності з гофрованими	16.12.2024	
6	Оформлення пояснювальної записки	23.12.2024	

Студент


(підпис)

Калінін Г.М.
(прізвище та ініціали)

Керівник роботи


(підпис)

Клименков С.Ю.
(прізвище та ініціали)

АНОТАЦІЯ

Об'єкт дослідження – полотно гофрованої перегородки нафтоналивного судна.

Мета досліджень – розробити рекомендації з вибору оптимальних параметрів геометрії гофрованих перегородок корпусу судна.

Методика досліджень – аналітична, чисельна.

Проект містить розрахунки та графічні роботи, виконані на основі існуючих методик і нормативних документів.

У роботі були досліджені особливості конструкції гофрованих перегородок морських суден. Виконані розрахунки місцевої міцності гофрованої перегородки при зміні геометричних параметрів. Виконано оцінку впливу геометричних параметрів на вагу перегородки з урахуванням міцнісних характеристик корпусу судна. Розроблені рекомендації щодо оптимального вибору геометрії перегородки для мінімізації ваги.

Ключові слова: КОРПУС, ГОФРОВАНА ПЕРЕГОРОДКА, МІЦНІСТЬ, ГЕОМЕТРИЧНІ ПАРАМЕТРИ

ABSTRACT

The object of study is corrugated bulkhead plating of oil tanker.

The purpose of the research is recommendations for choosing the optimal geometrical parameters of corrugated bulkhead of ship's hull developing.

Research methodology - analytical, numerical.

The project contains calculations and graphical work performed on the basis of existing methodologies and regulations.

The work investigated the design features of corrugated bulkheads of sea vessels. Calculations of the local strength of the corrugated bulkhead depend on changing geometric parameters were performed. The impact of geometric parameters on the weight of the bulkhead was assessed taking into account the strength characteristics of the ship's hull. Recommendations for the optimal choice of bulkhead geometry to minimize weight were developed.

Keywords: HULL, CORRUGATED BULKHEAD, STRENGTH, GEOMETRICAL PARAMETERS

					135.6116м.03.МР.ПЗ	Аркуш
Зміни	Аркуш	№ документа	Підпис	Дата		

ЗМІСТ

ВСТУП	4
РОЗДІЛ 1. АНАЛІЗ ТА СИСТЕМАТИЗАЦІЯ ОСОБЛИВОСТЕЙ КОНСТРУКЦІЇ МІЦНИХ ГОФРОВАНИХ ПЕРЕГОРОДОК КОРПУСУ СУДНА	7
РОЗДІЛ 2. РОЗРАХУНОК МІЦНОСТІ ГОФРОВАНОЇ ОБШИВИ ПЕРЕГОРОДКИ ТАНКЕРА ПРОЕКТУ 15966 ПІД ДІЄЮ ПОПЕРЕЧНОГО НАВАНТАЖЕННЯ	12
РОЗДІЛ 3. ВИБІР ГЕОМЕТРИЧНИХ ХАРАКТЕРИСТИК ПОЛОТНА ГОФРОВАНОЇ ПЕРЕГОРОДКИ З КОРОБЧАСТИМИ ГОФРАМИ	39
РОЗДІЛ 4. ВИБІР ГЕОМЕТРИЧНИХ ХАРАКТЕРИСТИК ПОЛОТНА ГОФРОВАНОЇ ПЕРЕГОРОДКИ З ХВИЛЯСТИМИ ГОФРАМИ	54
РОЗДІЛ 5. ПРОЕКТУВАННЯ ПЛОСКОЇ ПЕРЕГОРОДКИ З ВЕРТИКАЛЬНИМИ СТОЯКАМИ І ПОРІВНЯННЯ ЇЇ ВАГИ ТА МІЦНОСТІ З ГОФРОВАНИМИ	78
ВИСНОВКИ	92
СПИСОК ВИКОРИСТАНИХ ДЖЕРЕЛ	93

					135.6116м.03.МР.ПЗ	Аркуш
Зміни	Аркуш	№ документа	Підпис	Дата		

ВСТУП

Для забезпечення непотоплюваності корпус суден по довжині розділяється на відсіки поперечними міцними водонепроникними перегородками. Також для зменшення вільної поверхні рідини у частково заповнених танках при перевезенні нафти, або інших подібних вантажів, відсіки можуть розділятися перегородками по довжині судна.

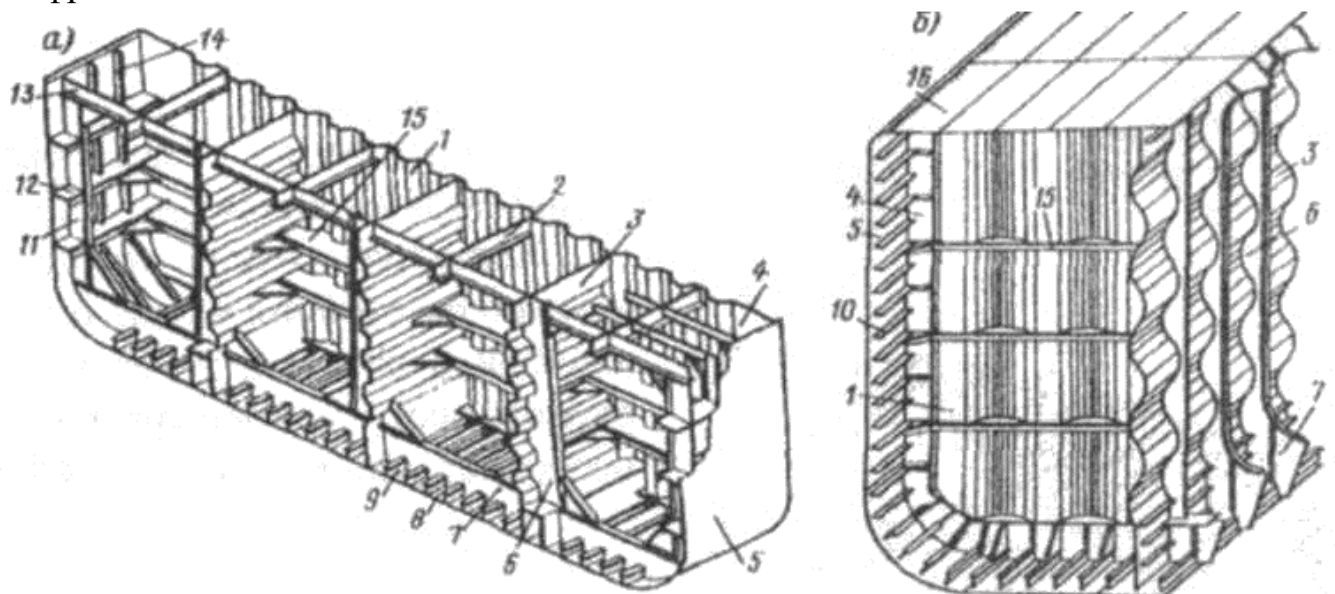
Міцність так званих «плоских» перегородок забезпечується за рахунок зварювання листів обшиви з підкріплюючим набором, розташованим зазвичай у 2-х взаємно перпендикулярних напрямках – вертикальними ребрами жорсткості і горизонтальними шельфами. Міцність нормується призначенням мінімальних товщин обшиви і забезпеченням мінімальних моментів опору елементів конструкції.

Останнім часом широкого розповсюдження набули гофровані перегородки як з вертикальним так і з горизонтальним розташуванням гофрів [1]. Найбільш повним і об'ємним дослідженням гофрованих перегородок стала праця колективу авторів [5]. Відмічається, що до основних переваг таких конструкцій належить зменшення трудомісткості виготовлення за рахунок зменшення зварювальних робіт до 15%, зменшення маси самих перегородок за рахунок відмови від використання основних елементів їх набору до 20% маси, а також зменшенню експлуатаційних витрат за рахунок спрощення очищення танків і підтримання їх працездатності. Таким чином використання міцних гофрованих перегородок є цілком обґрунтованим, особливо в конструкціях танкерів а також суден для перевезення вантажів змішаного типу.



					135.6116м.03.МР.ПЗ	Аркуш
Зміни	Аркуш	№ документа	Підпис	Дата		

За конструктивним виконанням гофровані перегородки бувають двох типів – коробчасті або хвилясті. Використання обох типів є цілком припустиме у будь-яких конструкціях і залежить від надання певної переваги на особисту думку конструктора та в більшій мірі від можливостей виробництва (наявності або відсутності тих чи інших матриць, штампів, потужності обладнання). В обох випадках на міцність таких конструкцій впливають значно більше геометричних особливостей виготовлення – радіуси заокруглення елементів, висота та шаг, кут нахилу бокових стінок для коробчастих, або центральний кут та радіус для хвилястих гофрів. Але безумовно важливішим фактором є товщина полотна гофрованої обшиви.



Конструкція корпусу: а) з коробчастими гофрами; б) з хвилястими гофрами:

- 1 – поперечна перегородка з вертикальними гофрами;
- 2 – карлінгс;
- 3 – повздовжні перегородки з горизонтальними гофрами;
- 4 – бічна пласка ділянка гофрованої обшиви;
- 5 – обшива борту;
- 6 – рамна стійка;
- 7 – флор;
- 8 – обшива днища;
- 9 – повздовжнє ребро жорсткості;
- 10 – ребро жорсткості борту;
- 11 – рамний шпангоут;
- 12 – бортовий стрінгер;
- 13 – бімс;
- 14 – шпангоут;
- 15 – шельф;
- 16 – палуба.

В рекомендаціях класифікаційних товариств останнім часом з'являються вимоги до мінімальної товщини гофрованих перегородок, обмеження по куту нахилу бокової стінки гофрів та деяких інших конструктивних елементів, проте в кожному конкретному випадку, для окремих конструктивних виконань, правила вимагають обґрунтування прийнятих рішень перевірочними розрахунками діючих напружень, зокрема методами МСЕ.

З огляду на це важливим і доцільним здається підхід, який би дав змогу дещо уніфікувати такі конструкції, розробити рекомендації до їх проектування і можливо встановити оптимальні форми і співвідношення геометричних параметрів для різних типів гофрованих перегородок.

Метою роботи є встановлення оптимальної з точки зору матеріалоємності форми гофрованої перегородки танкера пр. 15966 при забезпеченні вимог Регістра Судноплавства України.

Для забезпечення поставленої мети потрібно вирішити низку завдань: дослідити вплив різних геометричних параметрів на вагову функцію, створити тривимірні моделі існуючої перегородки, перегородок зі зміненою геометрією, з заміною коробчастих гофрів на хвилясті і, також, з заміною гофрованого полотна на плоске, з підкріплюючими ребрами, розрахувати міцність для всіх варіантів і порівняти вагу.

Отже, об'єктом досліджень в роботі є міцні гофровані перегородки нафтоналивного судна, а предметом досліджень – міцність таких перегородок при різних варіантах виконань і вплив на вагу основних геометричних параметрів.

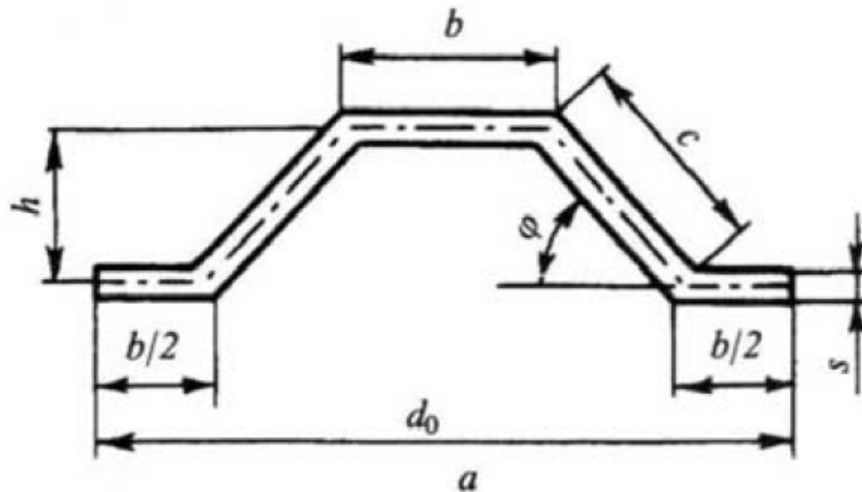
					135.6116м.03.МР.ПЗ	Аркуш
Зміни	Аркуш	№ документа	Підпис	Дата		

					135.6116м.03.МР.ПЗ.01				
Зм.	Арк.	№ докум.	Підпис	Дата					
					Аналіз та систематизація особливостей конструкторської міцних гофрованих перегородок корпусу судна	Літ	Аркуш	Аркушів	
Студент	Калінін Г.М.	<i>Г.М. Калінін</i>	30.09						
Консульт.	Клименков С.Ю.	<i>С.Ю. Клименков</i>	30.09						
Руковод.	Клименков С.Ю.	<i>С.Ю. Клименков</i>	30.09			НУК			
Зав. Кафедр.	Коростильов Л.І.	<i>Л.І. Коростильов</i>	30.09						

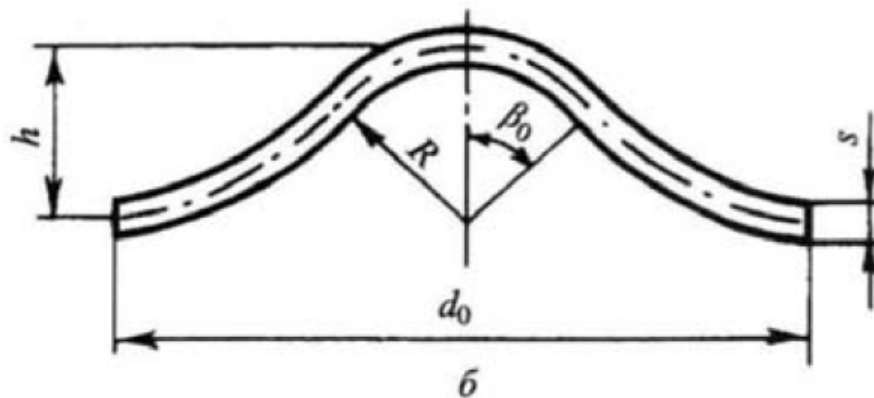
РОЗДІЛ 1. АНАЛІЗ ТА СИСТЕМАТИЗАЦІЯ ОСОБЛИВОСТЕЙ КОНСТРУКЦІЇ МІЦНИХ ГОФРОВАНИХ ПЕРЕГОРОДОК КОРПУСУ СУДНА

Відповідно до Правил [7] геометрію гофрованого полотна визначають декілька параметрів, залежно від типу:

- коробчастий гофр:



- хвилястий гофр:



s – товщина полотна гофрованої обшиви;

h – висота гофри;

d_0 – нерозгорнута ширина гофри;

b, c – ширина граней гофри;

R – радіус гофри;

β_0 – пів кута розхилу гофри;

φ – кут нахилу бічної стінки гофри

Зміни	Аркуш	№ документа	Підпис	Дата

135.6116м.03.МР.ПЗ.01

Аркуш

Визначаємо основні геометричні характеристики гофри:

- коробчастий гофр:

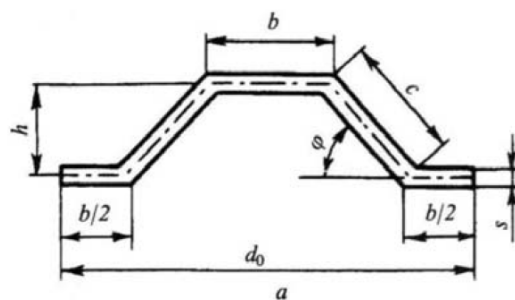
$$h = c \cdot \sin \varphi$$

Площа поперечного перерізу

$$F = 2s(b + c)$$

Момент опору площі поперечного перерізу

$$W = hs \left(b + \frac{c}{3} \right)$$



- хвилястий гофр:

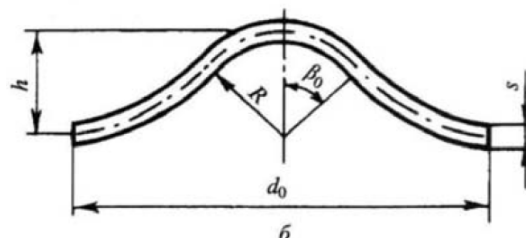
$$h = 2R(1 - \cos \beta)$$

Площа поперечного перерізу

$$F = 2s(R \cdot 2\beta)$$

Момент інерції площі поперечного перерізу

$$W = 2s \cdot R^2 \left(\frac{\beta + 2\beta \cdot \cos^2 \beta - \frac{3 \sin 2\beta}{2}}{1 - \cos \beta} \right)$$



Міцність конструкції при дії поперечного навантаження сягає максимуму при найбільшій величині моменту опору. Водночас вагова функція а, відповідно і площа перерізу, повинна сягати свого мінімуму. Отже задача зводиться до розшукування максимуму функції відношення моменту опору гофри до площі перерізу. Таку задачу можна вирішувати як аналітично, диференціюючи вагову функцію по відповідних параметрах, так і графічно, уявивши цю функцію від декількох змінних у вигляді поверхні або розраховавши її значення у вигляді таблиці.

Побудуємо наочне зображення такої функції в області найбільш прийнятних значень, для випадків коробчастих і хвилястих гофрів. Для побудови графіків функції скористуємося математичним пакетом MathCAD 14.1.

Зміни	Аркуш	№ документа	Підпис	Дата

135.6116м.03.МР.ПЗ.01

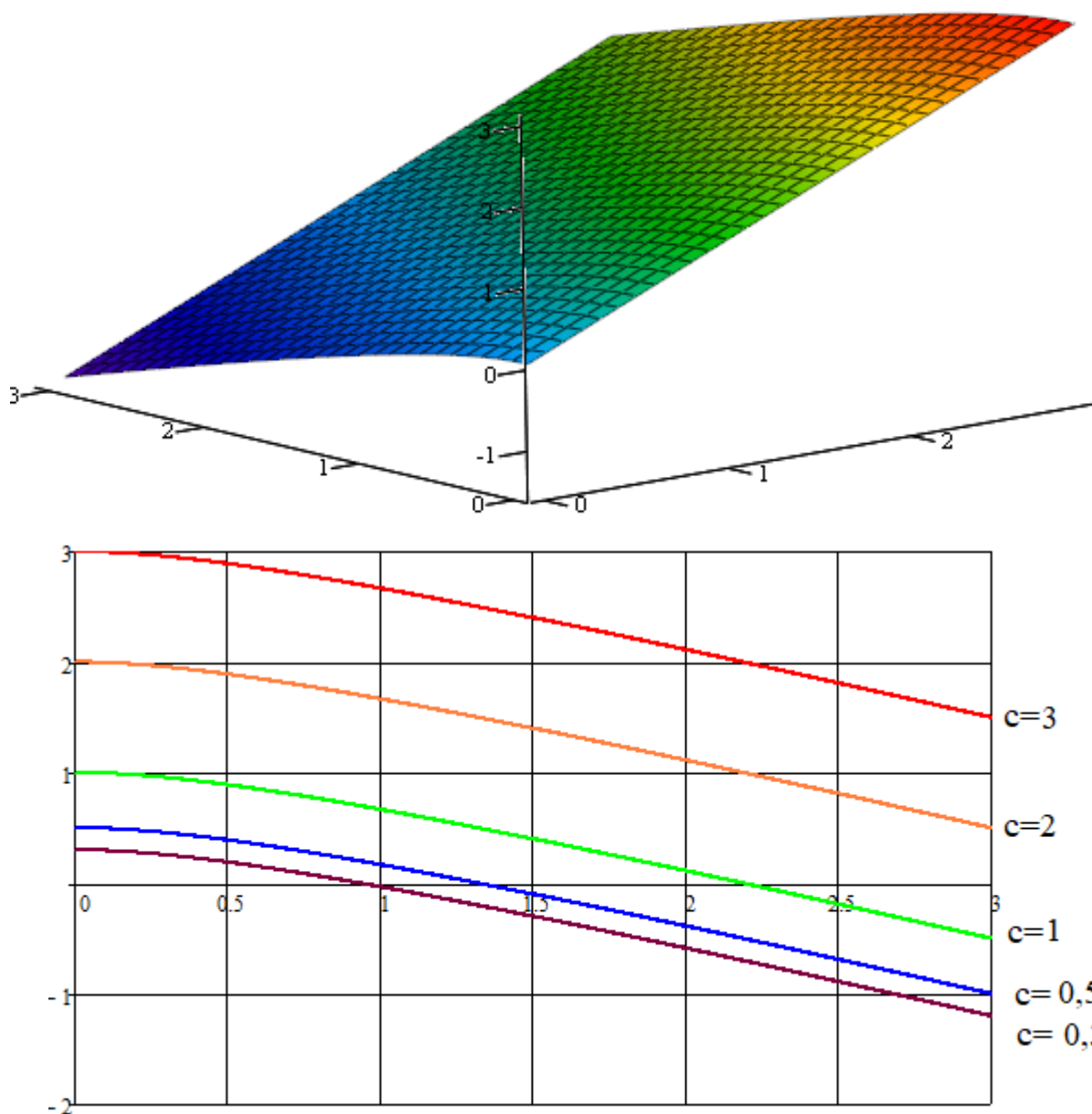
Аркуш

Коробчастий гофр.

$$\frac{W}{F} = \frac{hs \left(b + \frac{c}{3} \right)}{2s(b+c)} = \frac{h}{2} \left[1 - \frac{2c}{3b(b+c)} \right] = \left[c - \frac{2\gamma^2}{3(1+\gamma)} \right] \frac{\sin \varphi}{2}.$$

Очевидно, що ця функція набуває максимуму при $\varphi = \frac{\pi}{2}$, коли вираз у дужках максимальний.

Будуємо графік для області реальних величин $c \in [0...3]$ $\gamma \in [0...3]$ і $\varphi = \frac{\pi}{2}$:



Як бачимо $\frac{W}{F}$ збільшується при збільшенні c і при $\gamma=0$ має максимум.

Зміни	Аркуш	№ документа	Підпис	Дата

135.6116м.03.МР.ПЗ.01

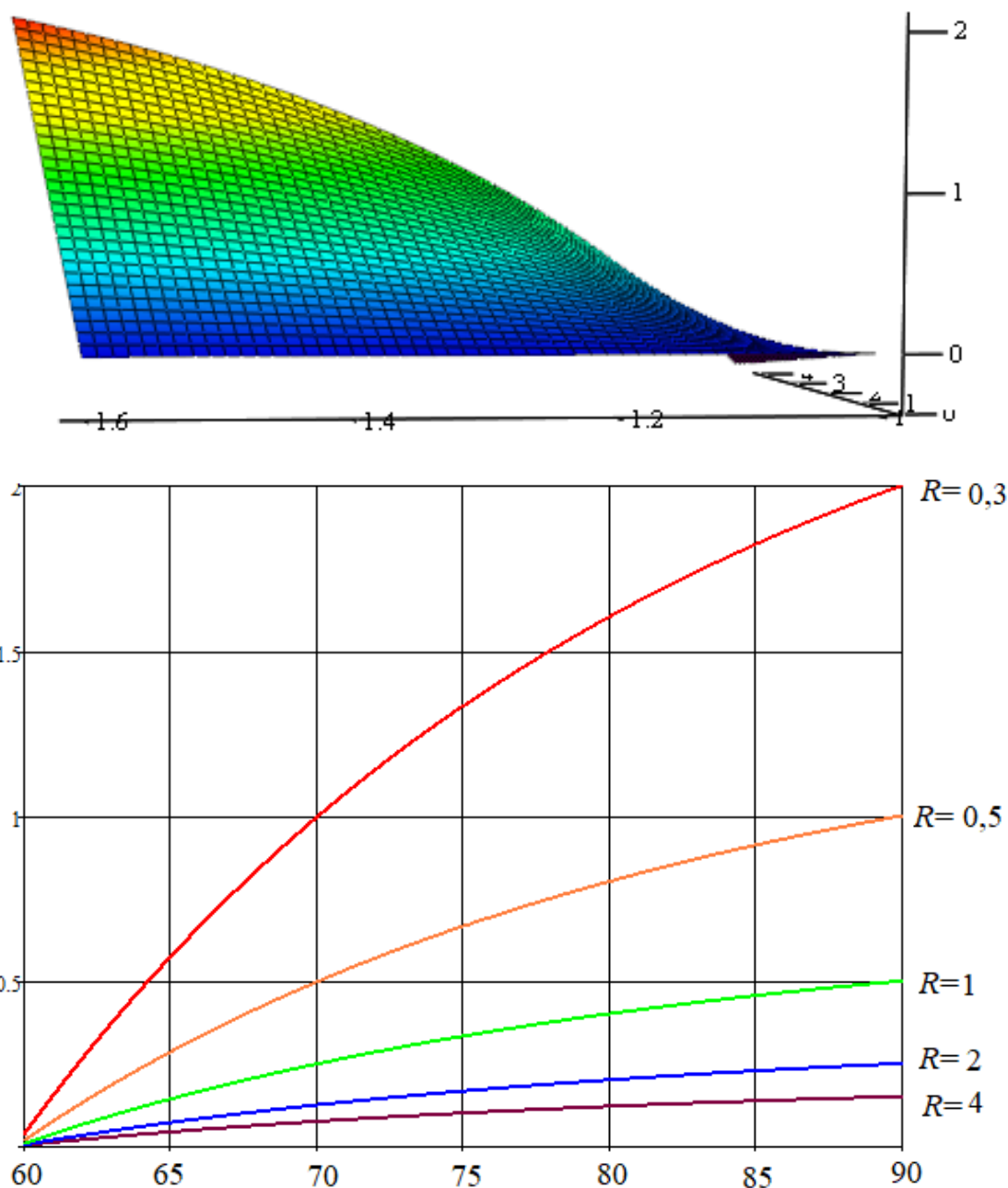
Аркуш

Хвилястий гофр.

$$\frac{W}{F} = \frac{2I}{hF} = \frac{2s \cdot R^2}{2s(R \cdot 2\beta)} \left(\frac{\beta + 2\beta \cdot \cos^2 \beta - \frac{3\sin 2\beta}{2}}{1 - \cos \beta} \right) = \frac{R}{2} \left[\frac{1 + 2 \cdot \cos^2 \beta - \frac{3\sin 2\beta}{2\beta}}{1 - \cos \beta} \right].$$

Вагова функція для хвилястого гофра залежить тільки від двох параметрів.

Приймаємо $R \in [0...3] \text{ м}$, $\beta \in \left[\frac{\pi}{3} \dots \frac{\pi}{2} \right] \text{ рад}$, і будуємо графік.



Функція має максимум при $\beta \rightarrow 90$ а також $R \rightarrow 0$, що відповідає випадку плоскої обшиви.

Зміни	Аркуш	№ документа	Підпис	Дата

135.6116м.03.МР.ПЗ.01

Аркуш

Таким чином можна дістати висновок, що вагова функція не має безумовних екстремумів. Як у випадку коробчастих та і у випадку хвилястих гофрів функція дістає максимуму якщо кути φ або β наближаються до $\frac{\pi}{2}$.

З другого боку функція зростає при збільшенні висоти гофри і пов'язаних з нею параметрів. В зв'язку з цим використання коробчастих гофрів має певну перевагу, так як збільшує частку матеріалу, розташовану якнайдалі від середньої (нульової або нейтральної) лінії перерізу.

Побудована вагова функція на відміну від розрахованої в [8] містить безпосередньо величини моменту опору та площі, охоплює діапазон реальних значень параметрів і є більш наочною для сприйняття.

У якості рекомендацій до вибору гофрованих профілів та їх елементів можна стверджувати, що у випадку дії поперечного до площини перегородки навантаження, найбільш доцільно використовувати коробчасті гофри з кутом нахилу бокової грані близько 90° .

Оптимальна ширина грані. Ширина гофри може бути визначена з умови міцності на згин грані гофри як пластини при нормальному навантаженні

$$\sigma_p = \frac{M_p}{s^2} \leq [\sigma],$$

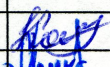
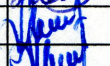
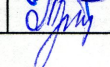
де $M_p = k \cdot p \cdot b^2$ - розрахунковий згинальний момент на рівні другого дна;

p – максимальний тиск на перегородку; b – ширина грані гофри; k – коефіцієнт, залежний від умов спирання і відношення довжини і ширини грані; у випадку вільного спирання максимальний коефіцієнт $k_{\max} = 1,5 \cdot k_{\min} = 0,125$ (у випадку жорсткого затиснення мінімальний коефіцієнт $k_{\min} = 0,0833$).

$$b \leq 4s \sqrt{\frac{[\sigma]}{2p}}.$$

Також у разі дії значних мембранних зусиль, грані гофри повинні задовольняти вимогам стійкості [5].

					135.6116м.03.МР.ПЗ.01	Аркуш
Зміни	Аркуш	№ документа	Підпис	Дата		

					135.6116м.03.МР.ПЗ.02			
Зм.	Арк.	№ докум.	Підпис	Дата				
					Розрахунок міцності гофрованої обшиви танкера проекту 15966 під дією поперечного навантаження	Літ	Аркуш	Аркушів
Студент	Калінін Г.М.		28.10					
Консульт.	Клименков С.Ю.		28.10			НУК		
Руковод.	Клименков С.Ю.		28.10					
Зав. Кафедр.	Коростильов Л.І.		28.10					

РОЗДІЛ 2. РОЗРАХУНОК МІЦНОСТІ ГОФРОВАНОЇ ОБШИВИ ПЕРЕГОРОДКИТАНКЕРА ПРОЕКТУ 15966 ПІД ДІЄЮ ПОПЕРЕЧНОГО НАВАНТАЖЕННЯ

Перевіримо геометричні параметри гофрів відповідно до Правил для поперечної перегородки танкера типового проекту 15966. Вихідними даними для розрахунку є $L=165$ м – довжина судна; $B=25,3$ м – ширина судна; $l_{\text{тр}}=15,9$ м – довжина трюму (танку); $b_{\text{тр}}=11,4$ м – ширина трюму (танку); $h_{\text{тр}}=16,8$ м – висота трюму (танку); $v_s=14$ уз – розрахункова швидкість судна на хвилюванні; $\rho_v=1,025$ т/м³ – щільність морської води; $\rho_n=0,8$ т/м³ – щільність рідини у вантажному відсіку.

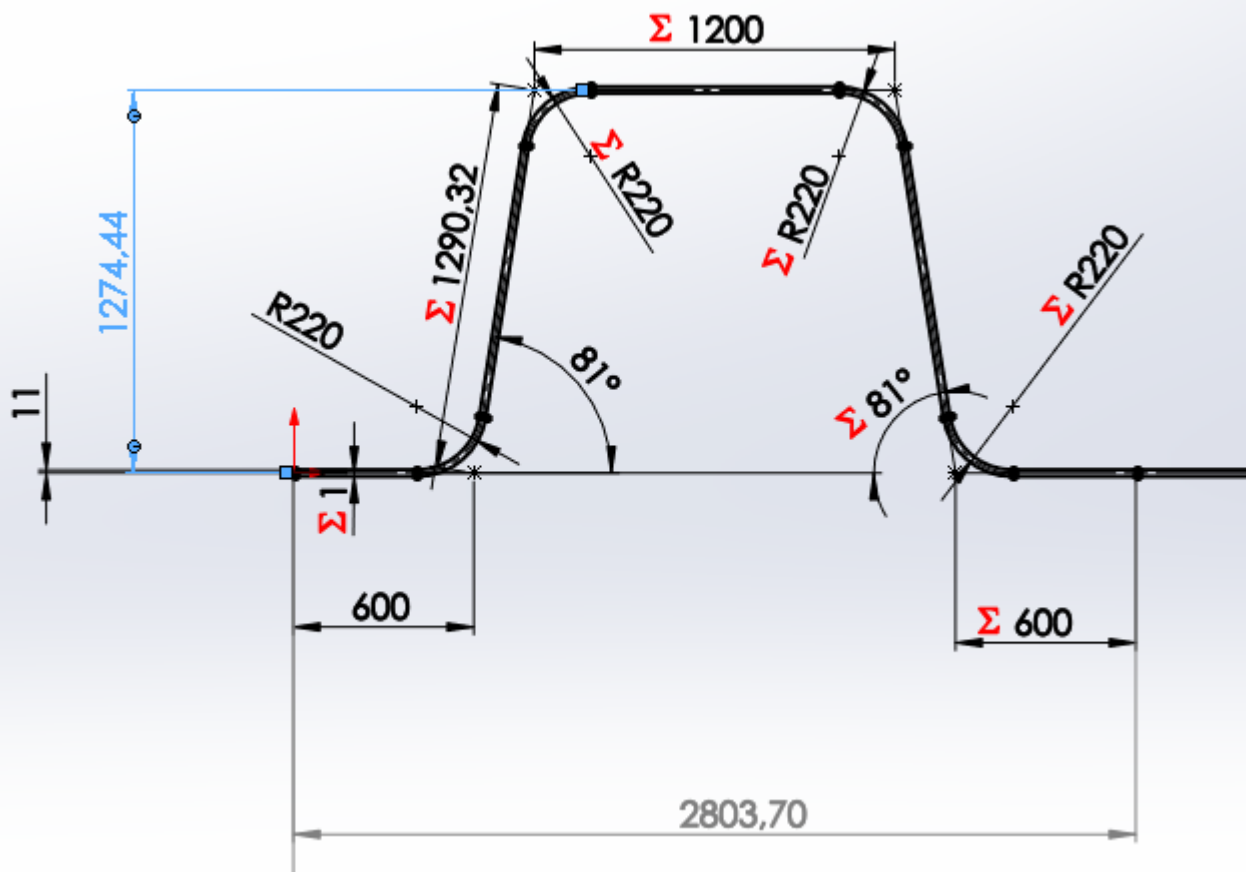


Рисунок 2.1 – ескіз поперечного перерізу гофри виконаний в SolidWORKS за робочими кресленнями пр. 15966.

Перевіримо товщину обшиви на відповідність вимогам [7]. Згідно п. 1.6.4.4 товщина листів гофрованої перегородки повинна бути не меншою за

$$s = m \cdot a \cdot k \sqrt{\frac{p}{k_{\sigma} \sigma_n}} + \Delta s.$$

$a = 1,2$ – ширина більшої з граней гофра b або c , м;

$$k = 1,2 - 0,5 \cdot \frac{a}{a_1} = 1,2 - 0,5 \cdot \frac{1,2}{16,8} = 1,16 \lesssim 1, \text{ приймаємо } k = 1;$$

$m = 15,8$ – коефіцієнт згинального моменту (для перегородок танків);

$$p = \alpha \cdot z_n = 7,5 \cdot 16,8 = 126 \text{ кПа} – \text{ тиск на рівні II дна, визначений за 2.7.3.1;}$$

$z_n = 16,8$ м – відстань, виміряна в діаметральній площині, від точки прикладання розрахункового навантаження до її верхнього рівня, м; верхнім рівнем навантаження є: палуба перегородок – для водонепроникних перегородок;

$k_{\sigma} = 0,9$ – коефіцієнт допустимих напружень для поперечних перегородок;

$\sigma_n = 235 \text{ МПа}$ – розрахункова нормативна границя плинності матеріалу за нормальними напруженнями (для категорії В).

Запаси на знос і корозію Δs , мм, приймаються для конструкцій, планований строк служби яких перевищує 12 років, та визначаються за формулою:

$$\Delta s = u(T - 12) = 0,2(25 - 12) = 2,6 \text{ мм}$$

$T = 25$ – планований строк служби конструкції, роки;

$u = 0,2$ мм/рік – середньорічне зменшення товщини елементів конструкцій корпусу для перегородок вантажних танків суден II групи (наливні судна, судна для навалювальних вантажів, комбіновані судна та аналогічні їм за умовами експлуатації.)

$$s = 15,8 \cdot 1,2 \cdot 1 \sqrt{\frac{126}{0,9 \cdot 235}} + 2,6 = 17,23 \text{ мм.}$$

Реальна товщина $s = 22 \text{ мм}$ більша за мінімальну.

					135.6116м.03.МР.ПЗ.02	Аркуш
Зміни	Аркуш	№ документа	Підпис	Дата		

Дійсний момент опору гофри коробчастої форми визначається за формулою:

$$W = s \cdot h \cdot \left(b + \frac{c}{3}\right) = 2.2 \cdot 127.4 \cdot \left(120 + \frac{129}{3}\right) = 45\,686 \text{ см}^3.$$

Дійсний момент опору майже вдвічі більший за необхідний.

Отже, реальна конструкція перегородки танкера проекту 15966 відповідає вимогам [7].

Розрахунок місцевої міцності полотна перегородки ведемо в програмному комплексі SolidWORK 2020, блок Simulation.

Полотно жорстко зафіксовано по лініях з'єднання з палубою і настилом другого дна, що відповідає умовам жорсткого затиснення, і плоскою частиною зафіксоване на поздовжній перегородці і борті, що майже відповідає умовам вільного спирання.

Поперечне навантаження приймаємо у вигляді гідростатичного тиску, розподіленого за законом трикутника, 0 – на рівні верхньої палуби, 16.8 кПа на рівні другого дна, що відповідає заповненню вантажного відсіку водою до рівня верхньої палуби.

Для порівняння напружених станів використовуємо максимальне зведене напруження, розраховане за теорією питомої потенціальної енергії деформації формозміни (IV теорія міцності).

Теоретична маса полотна перегородки без урахування зварних швів 54 975 кг (об'єм металу 6,97 м³)

					135.6116м.03.МР.ПЗ.02	Аркуш
Зміни	Аркуш	№ документа	Підпис	Дата		

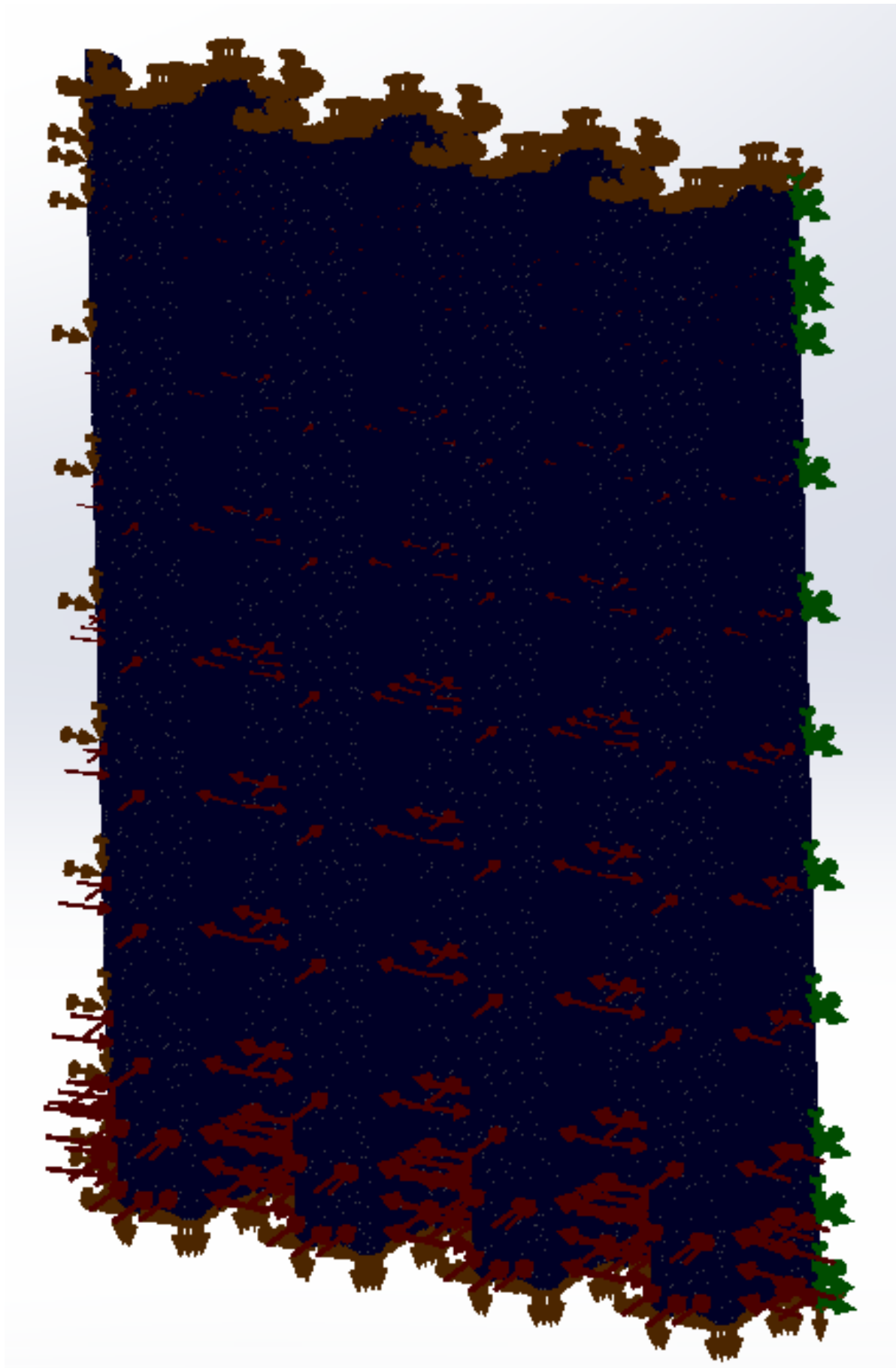


Рисунок 2.2 - Розрахункова схема перегородки з розбивкою на скінчені елементи

					135.6116м.03.МР.ПЗ.02	Аркуш
Зміни	Аркуш	№ документа	Підпис	Дата		

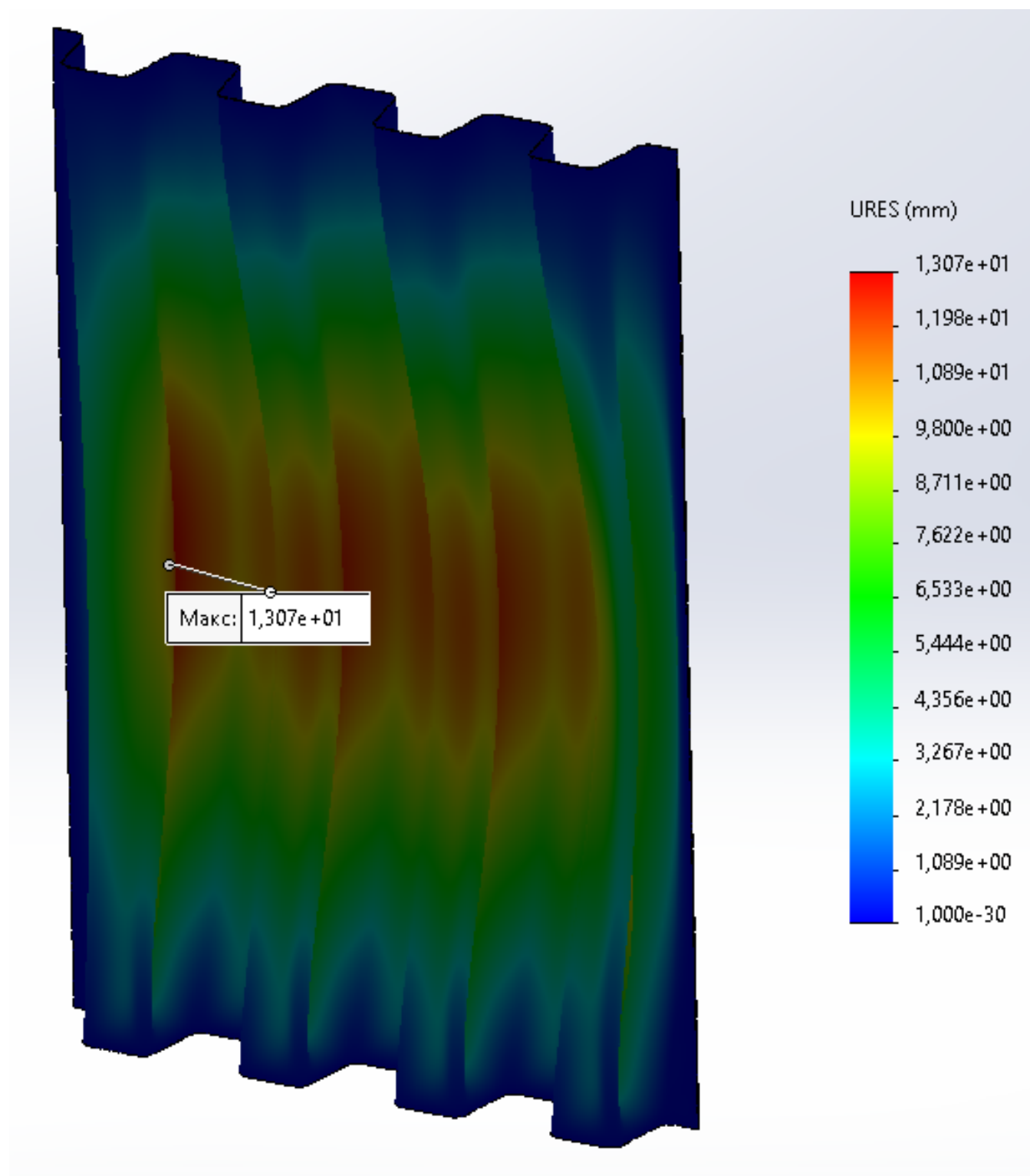


Рисунок 2.4 - Епюра результуючих зміщень реальної перегородки танкера пр.15966 (202640 скінчених елементи)

					135.6116м.03.МР.ПЗ.02	Аркуш
Зміни	Аркуш	№ документа	Підпис	Дата		

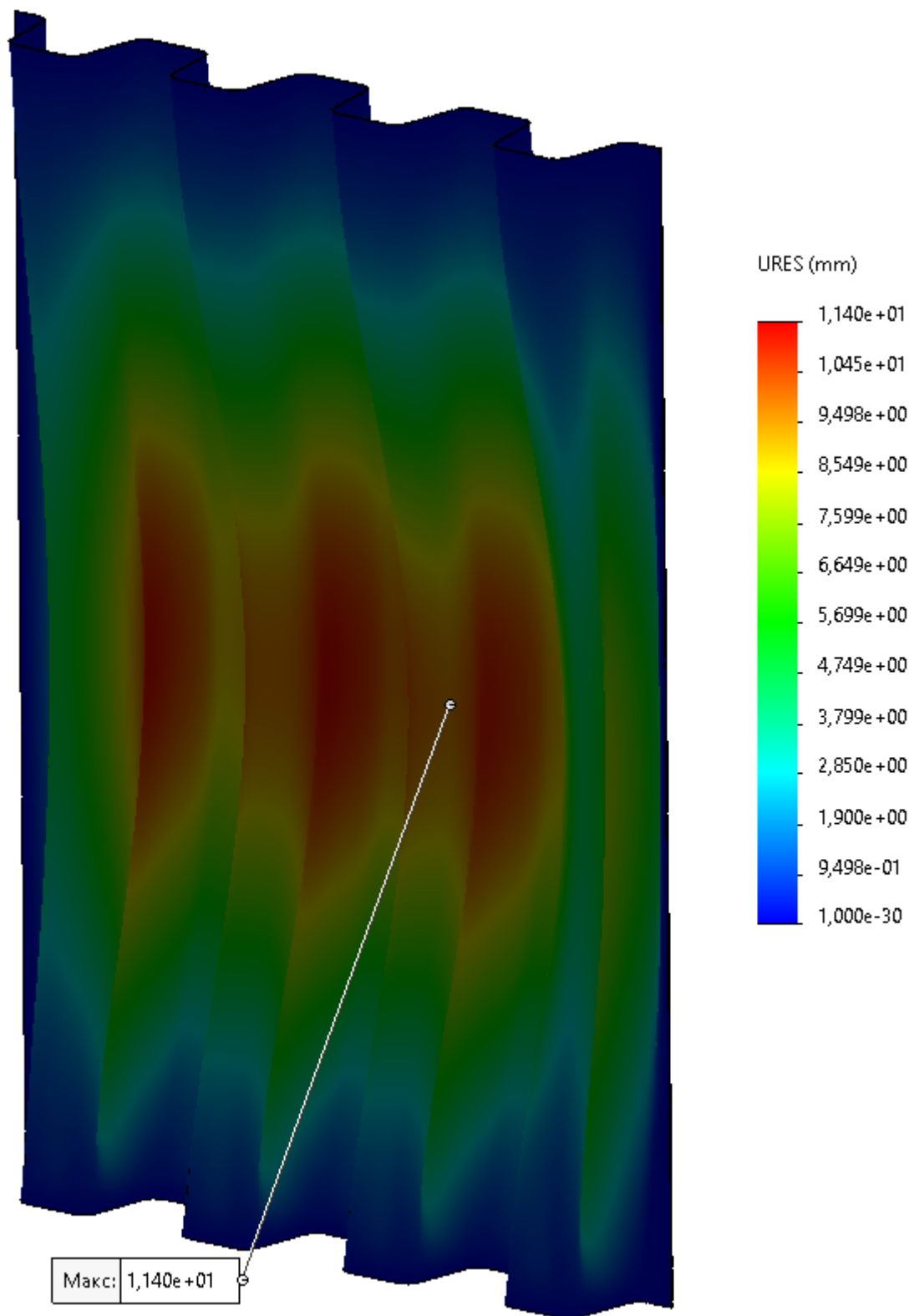


Рисунок 2.4 - Епюра результируючих зміщень реальної перегородки танкера пр.15966 (107432 скінчених елементи)

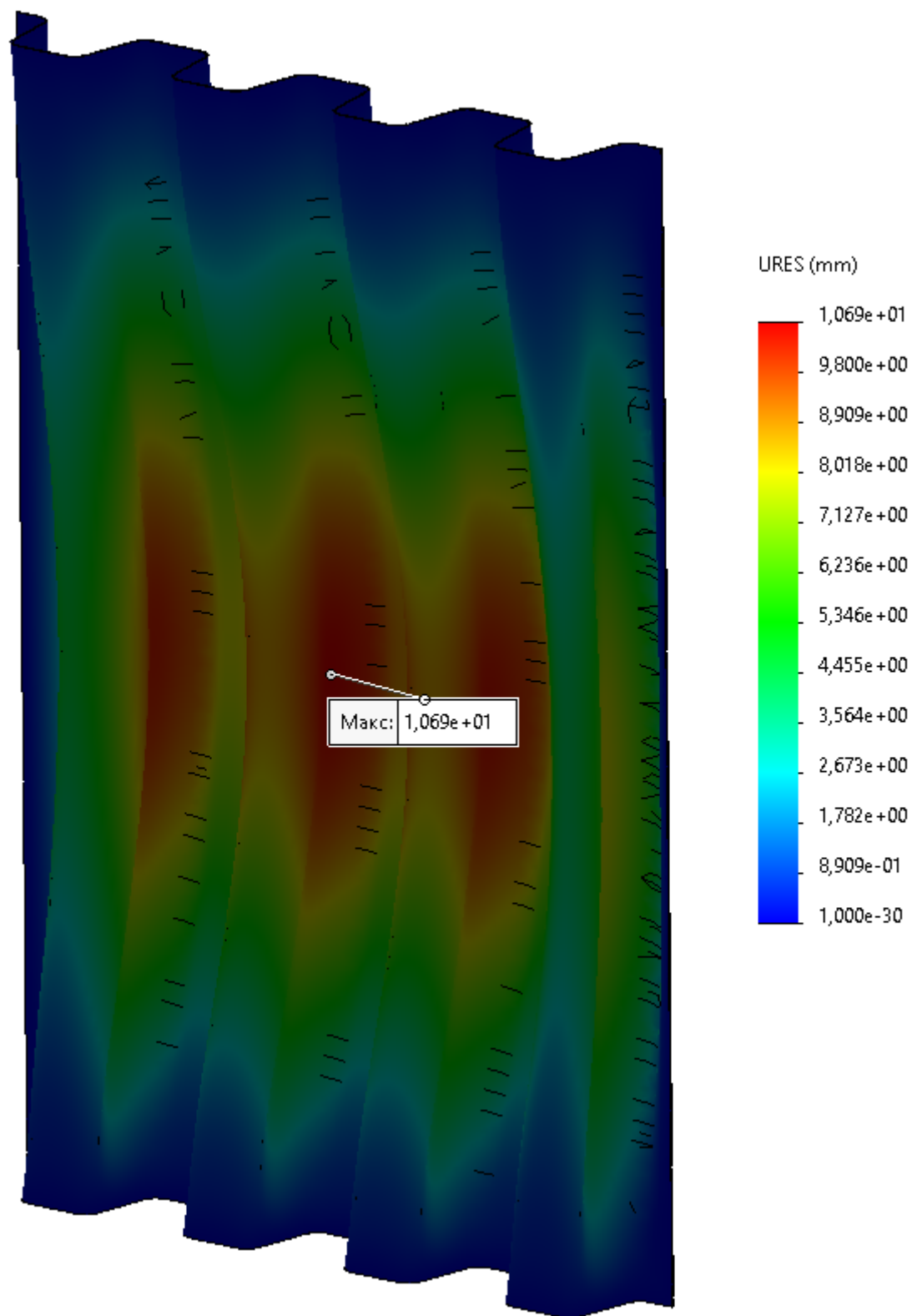


Рисунок 2.5 - Епюра результируючих зміщень реальної перегородки танкера пр.15966 (78132 скінчених елементи)

					135.6116м.03.МР.ПЗ.02	Аркуш
Зміни	Аркуш	№ документа	Підпис	Дата		

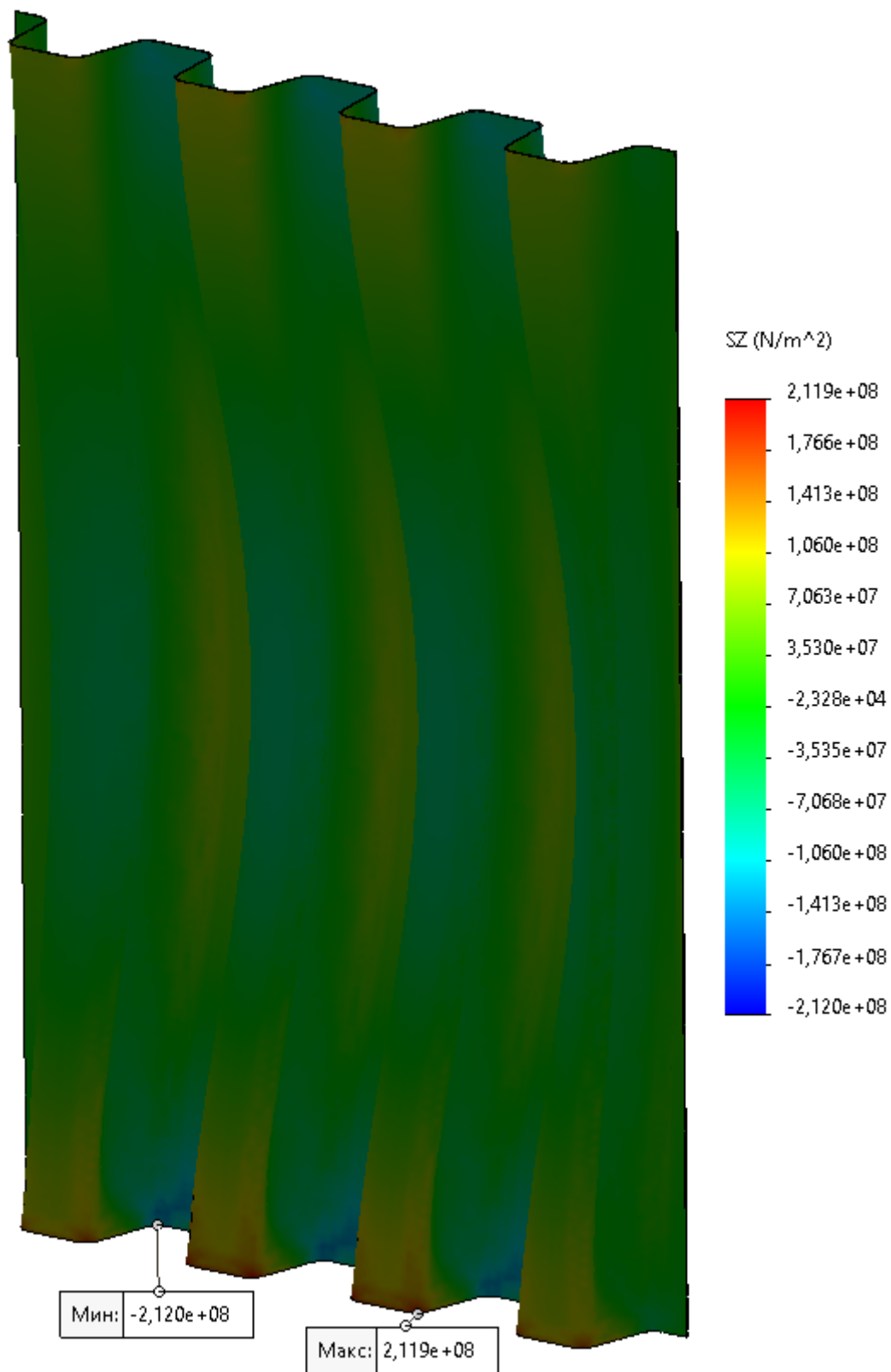


Рисунок 2.6 - Епюра поздовжніх нормальних напружень реальної перегородки танкера пр.15966 (202640 скінчених елементи)

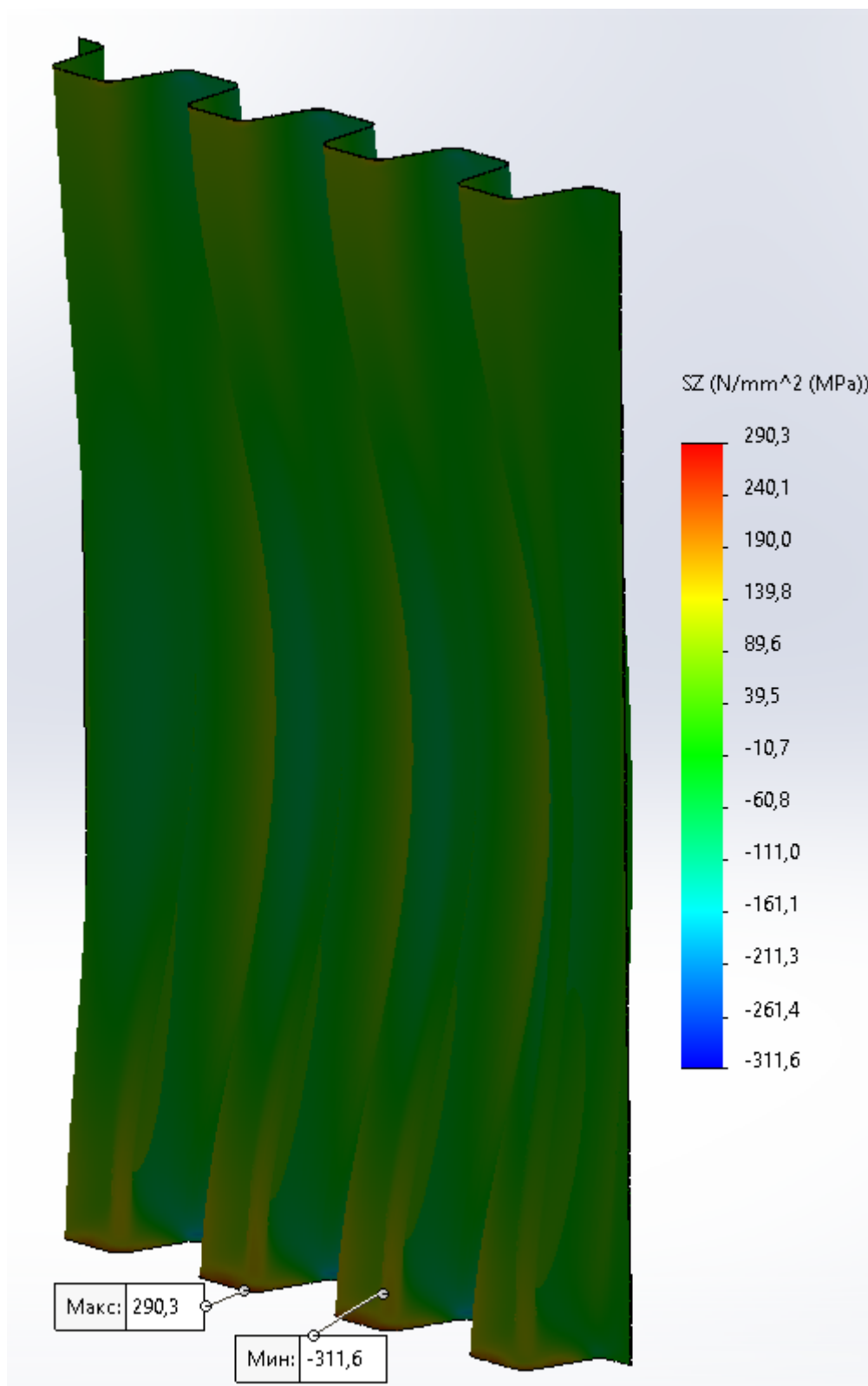


Рисунок 2.7 - Епюра результуючих зміщень реальної перегородки танкера пр.15966 (107432 скінчених елементи)

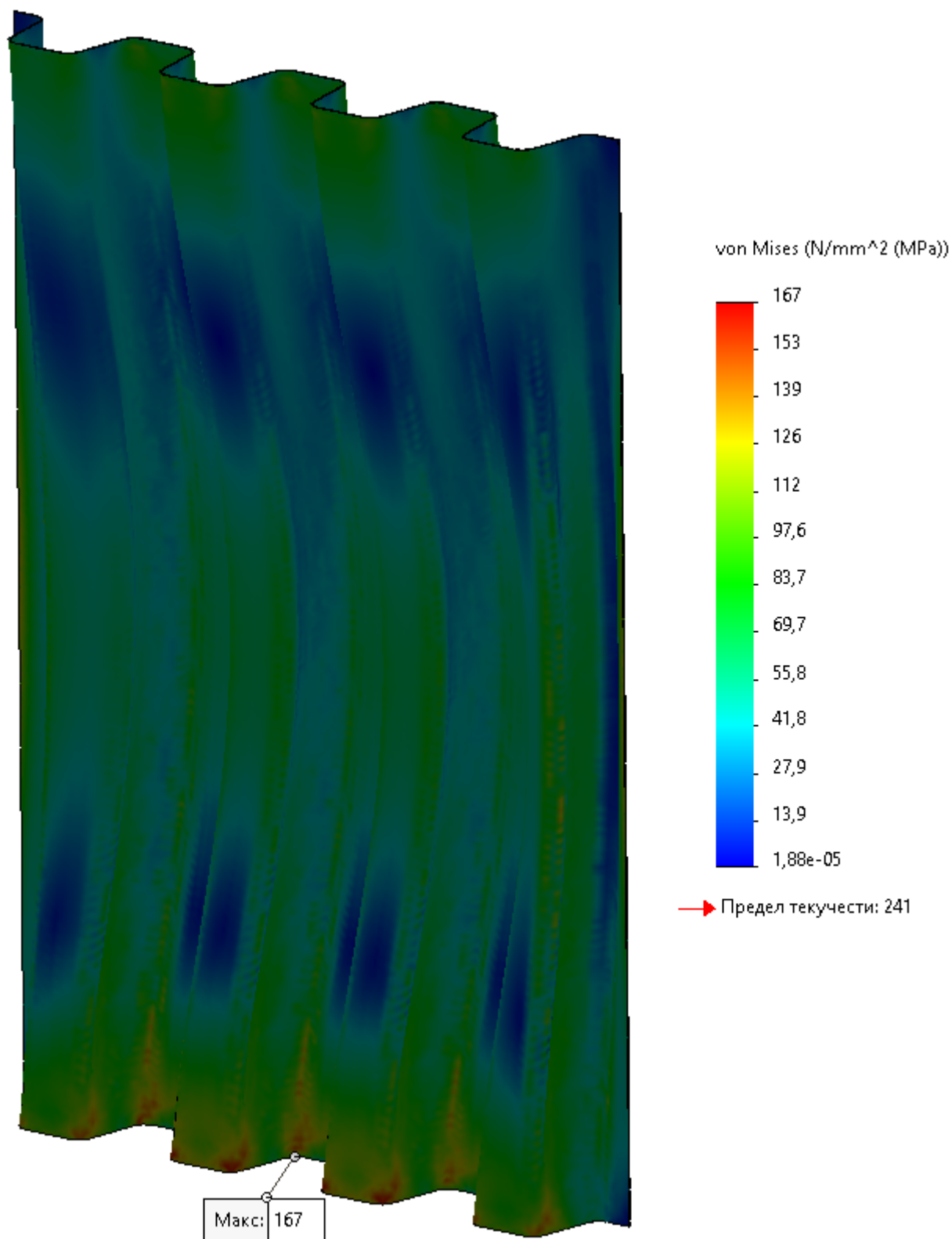


Рисунок 2.9 - Епюра еквівалентних напружень реальної перегородки танкера пр.15966 (107557скінчених елементи)

					135.6116м.03.МР.ПЗ.02	Аркуш
Зміни	Аркуш	№ документа	Підпис	Дата		

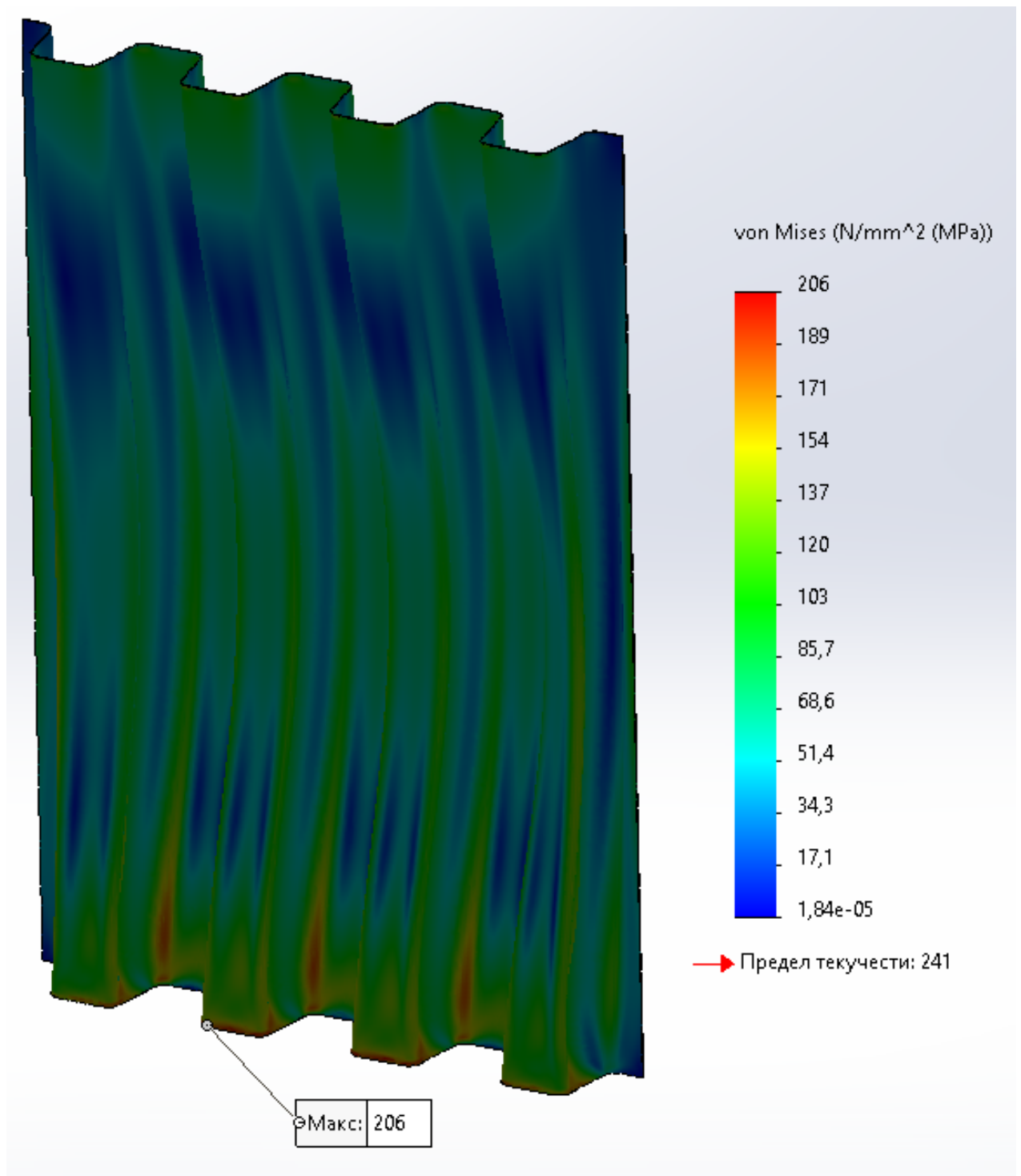


Рисунок 2.8 - Епюра еквівалентних напружень реальної перегородки танкера пр.15966 (202640 скінчених елементи)

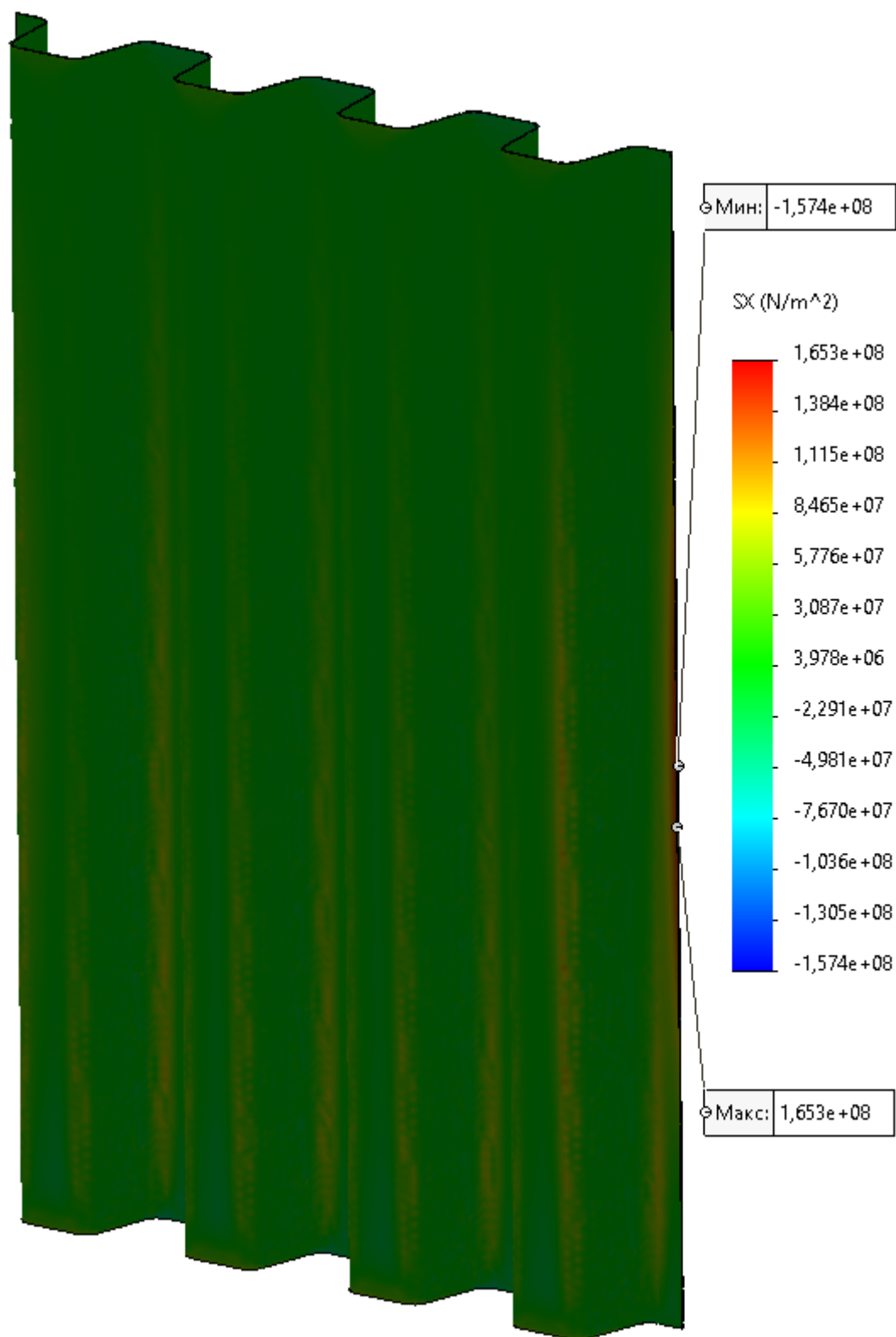


Рисунок 2.10 – Напруження від мембранних зусиль не перевищують 170 МПа

Проведемо розрахунки при зміні геометричних параметрів перегородки:

$s \pm 1 \text{ мм}, \varphi \pm 5^\circ$.

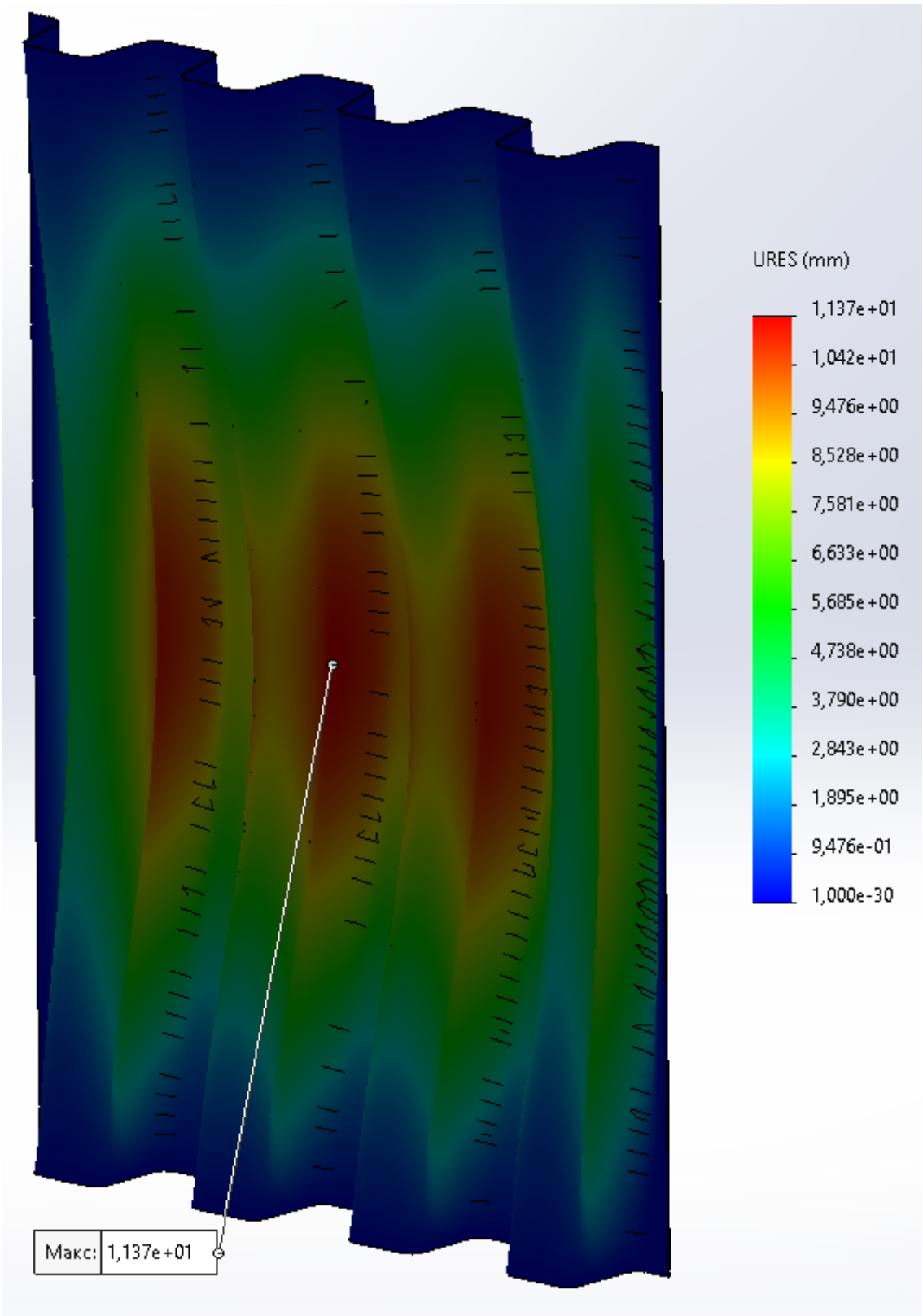


Рисунок 2.11 - Епюра результуючих зміщень при зменшенні товщини до $s=21$ мм.

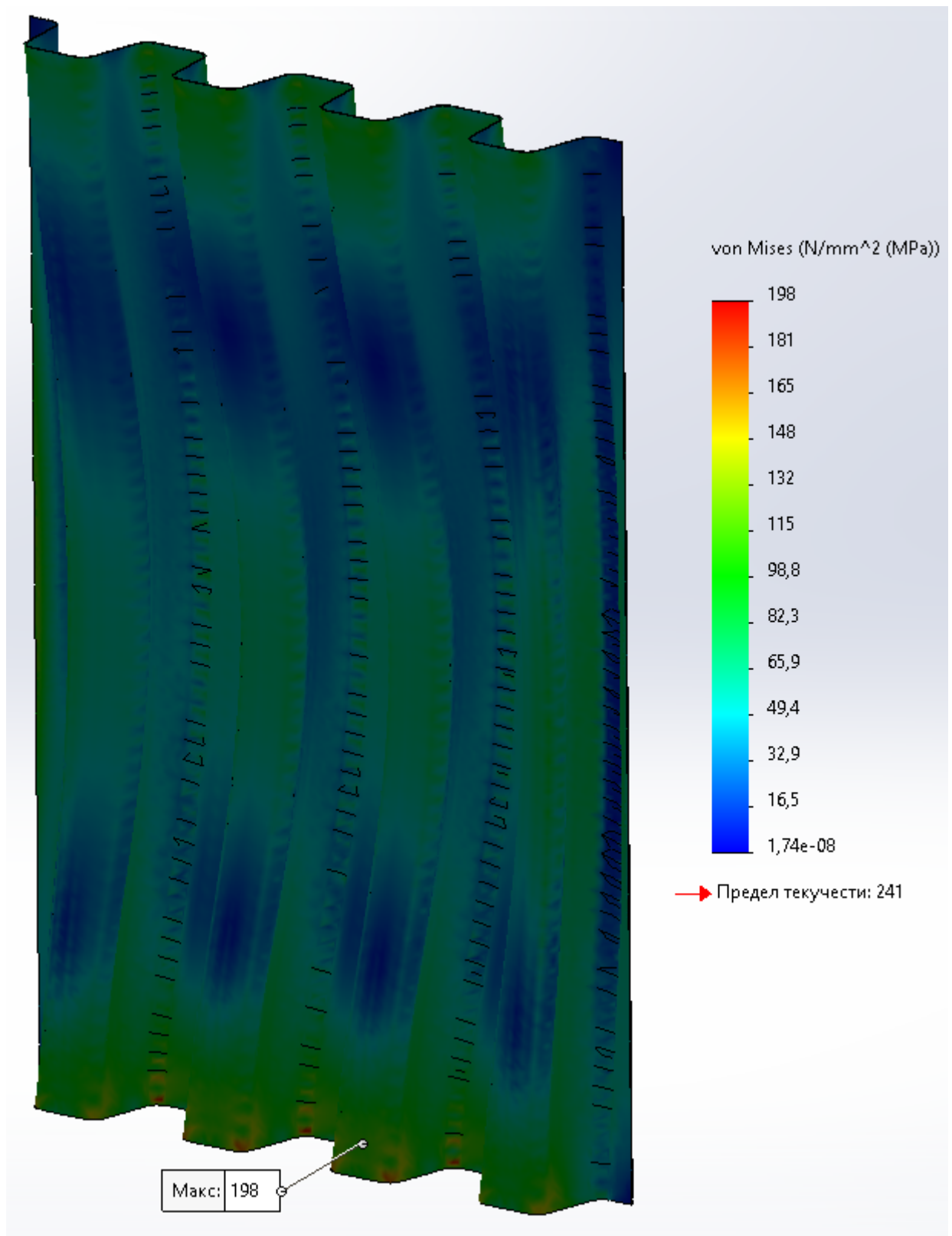


Рисунок 2.12 - Епюра еквівалентних напружень при зменшенні товщини до $s=21$ мм.

Зміни	Аркуш	№ документа	Підпис	Дата

135.6116м.03.МР.ПЗ.02

Аркуш

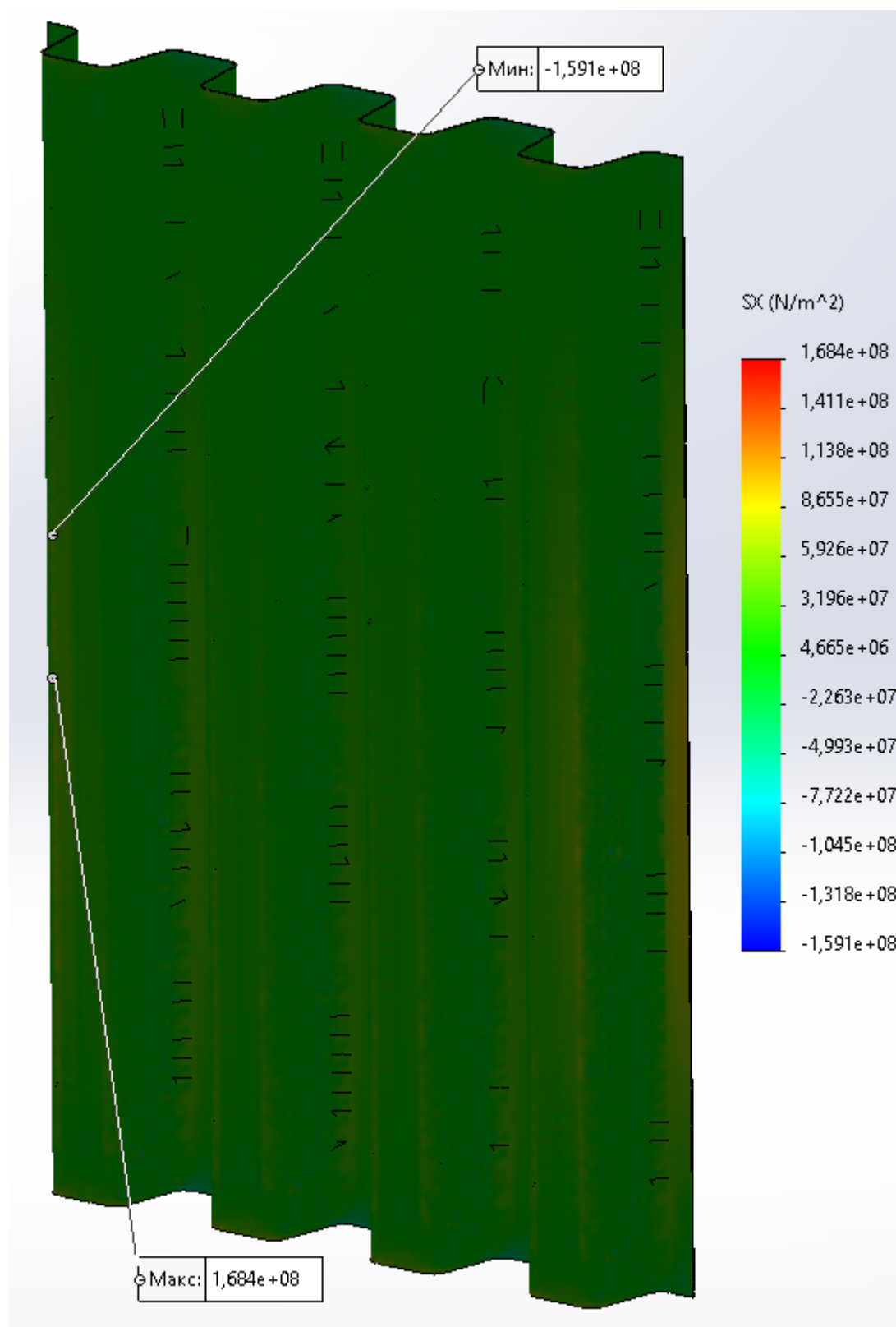


Рисунок 2.12 - Епюра нормальних напружень при зменшенні товщини до $s=21$ мм.

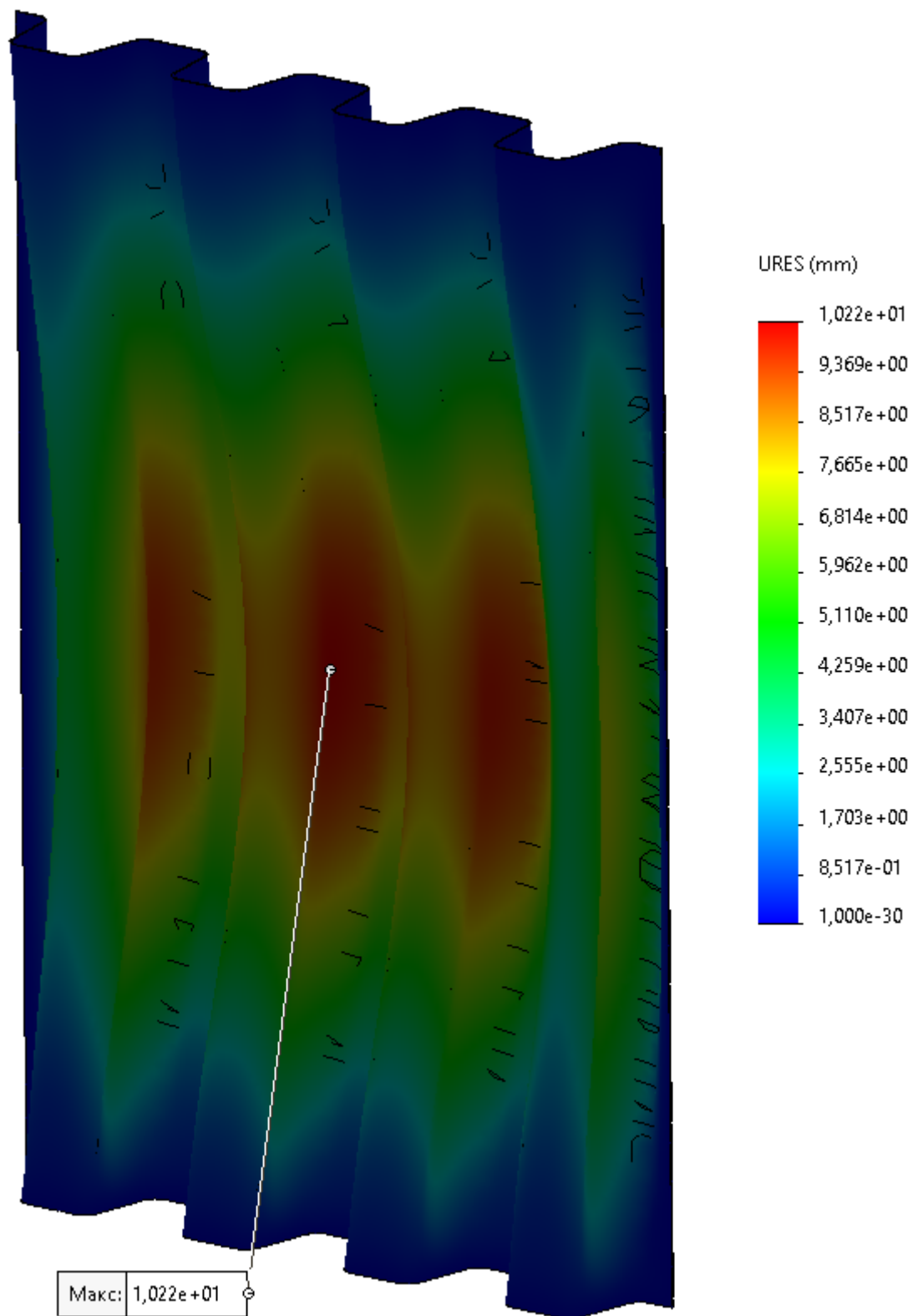


Рисунок 2.14 - Епюра результуючих зміщень при збільшенні товщини до $s=23$ мм.

Зміни	Аркуш	№ документа	Підпис	Дата

135.6116м.03.МР.ПЗ.02

Аркуш

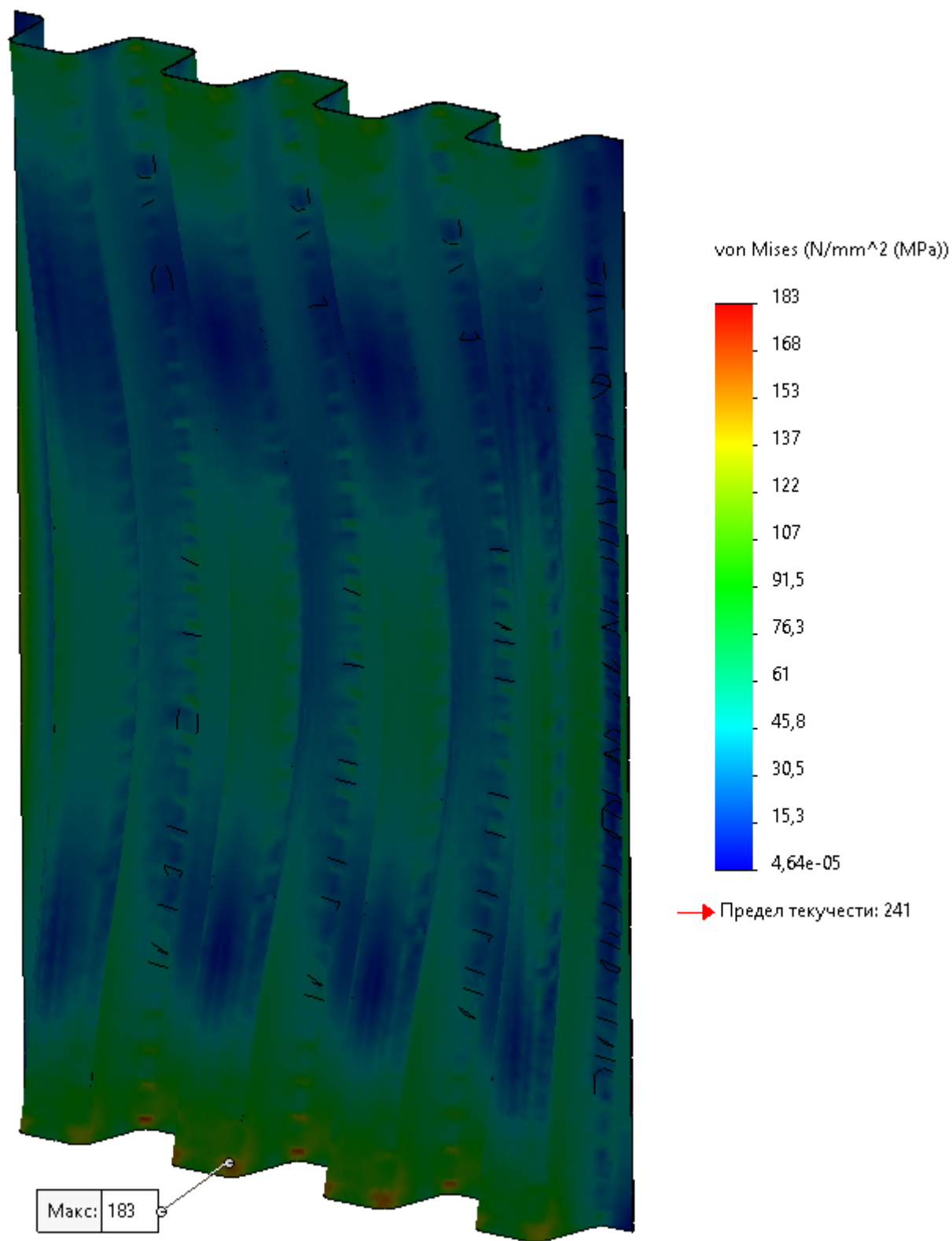


Рисунок 2.15 - Епюра еквівалентних напружень при збільшенні товщини до $s=23$ мм.

Зміни	Аркуш	№ документа	Підпис	Дата

135.6116м.03.МР.ПЗ.02

Аркуш

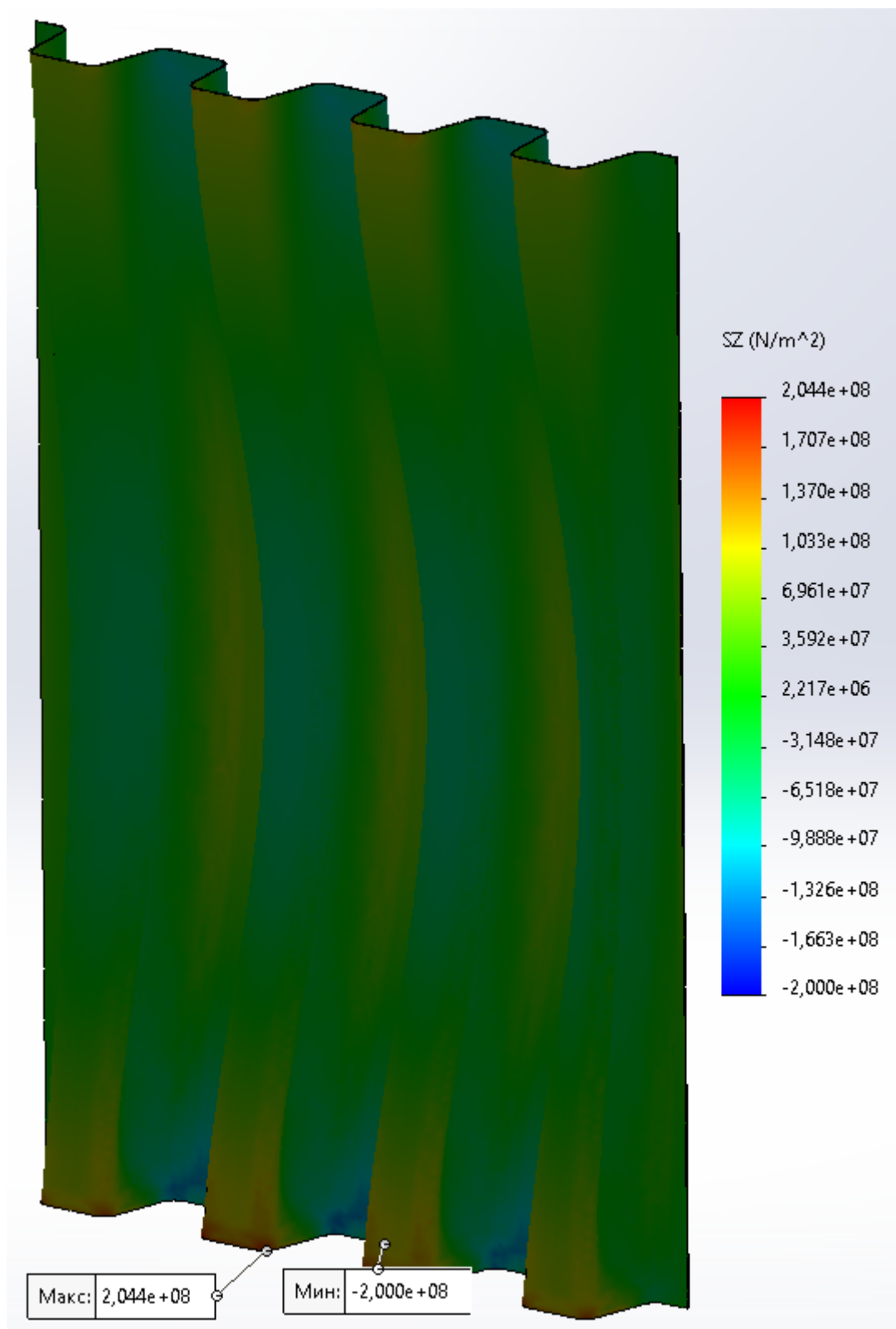


Рисунок 2.16 - Епюра нормальних напружень при збільшенні товщини до $s=23$ мм.

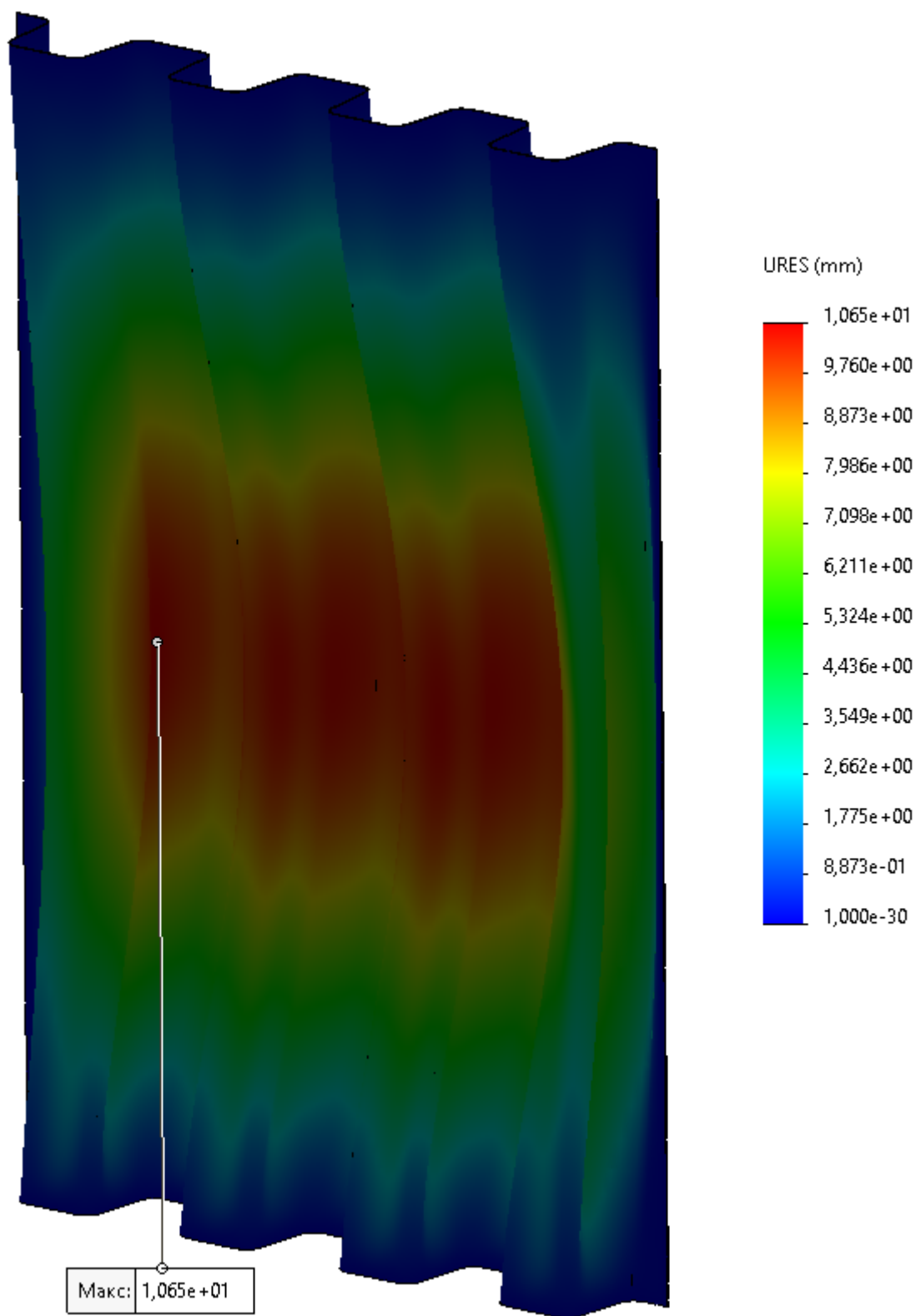


Рисунок 2.17 - Епюра зміщень при збільшенні кута до $\varphi = 85^0$, $s = 22 \ 55,9\text{т}$

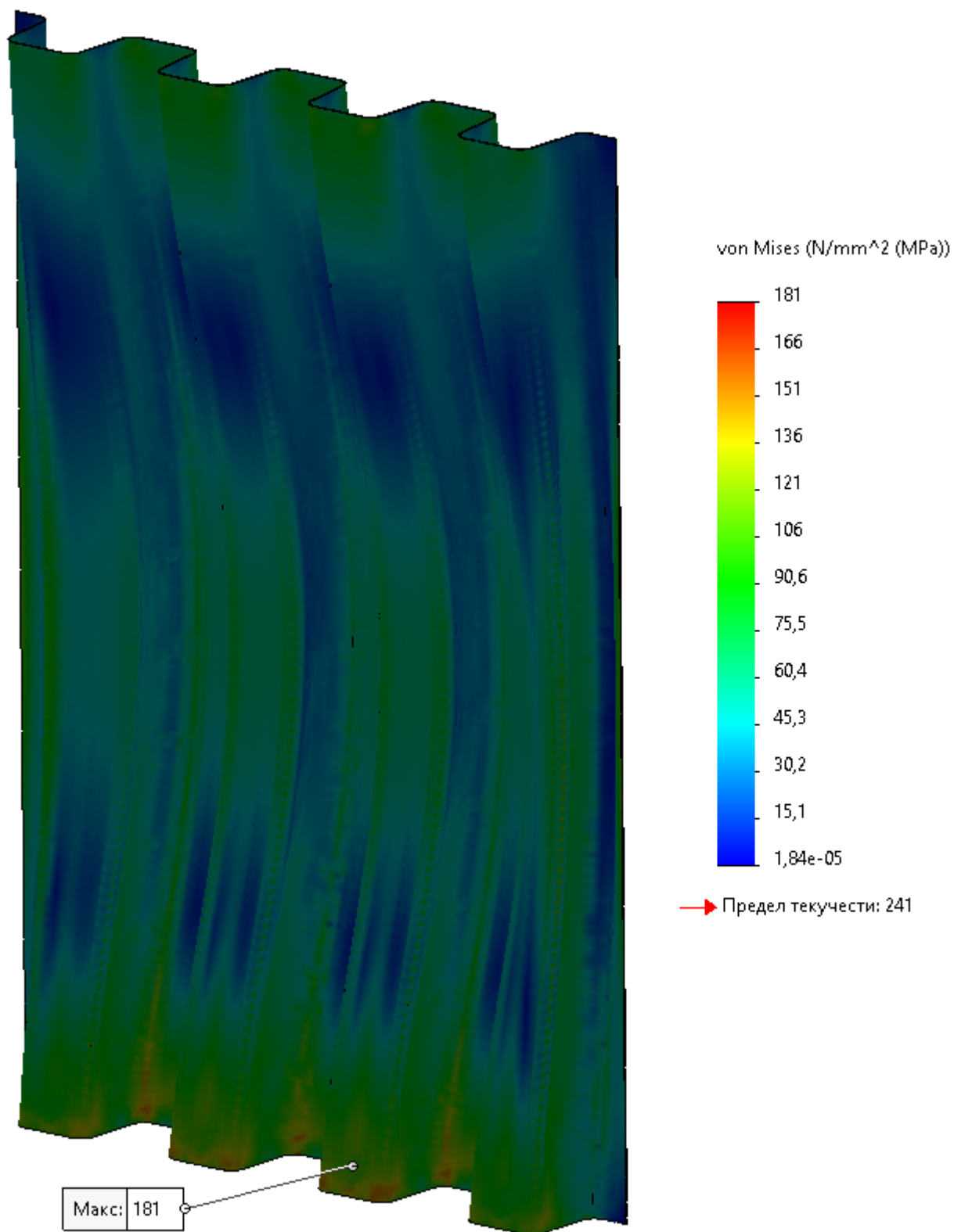


Рисунок 2.18 - Епюра еквівалентних напружень при збільшенні кута до $\varphi = 85^0$

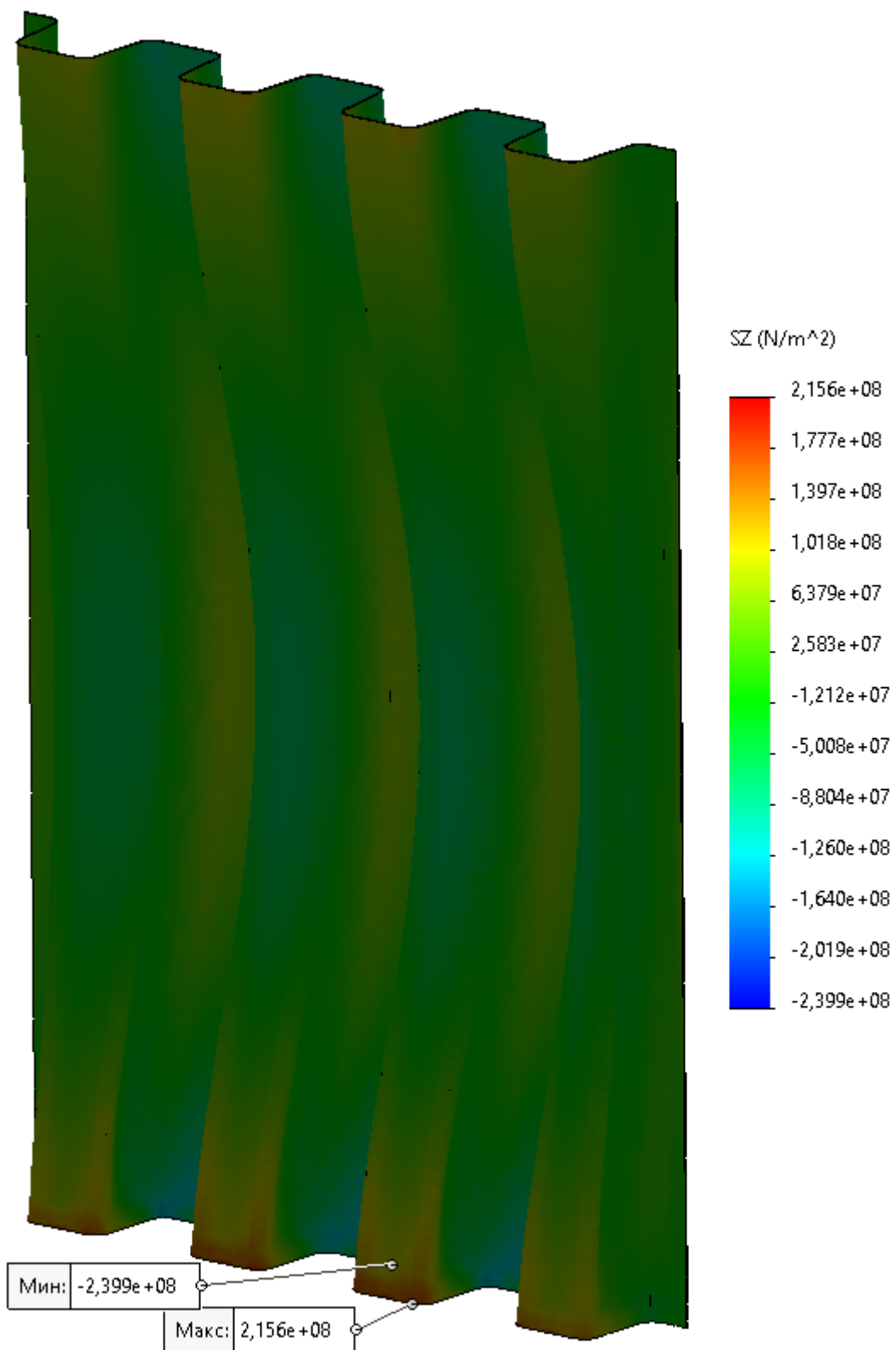


Рисунок 2.19 - Епюра нормальних напружень при збільшенні кута до $\varphi = 85^\circ$

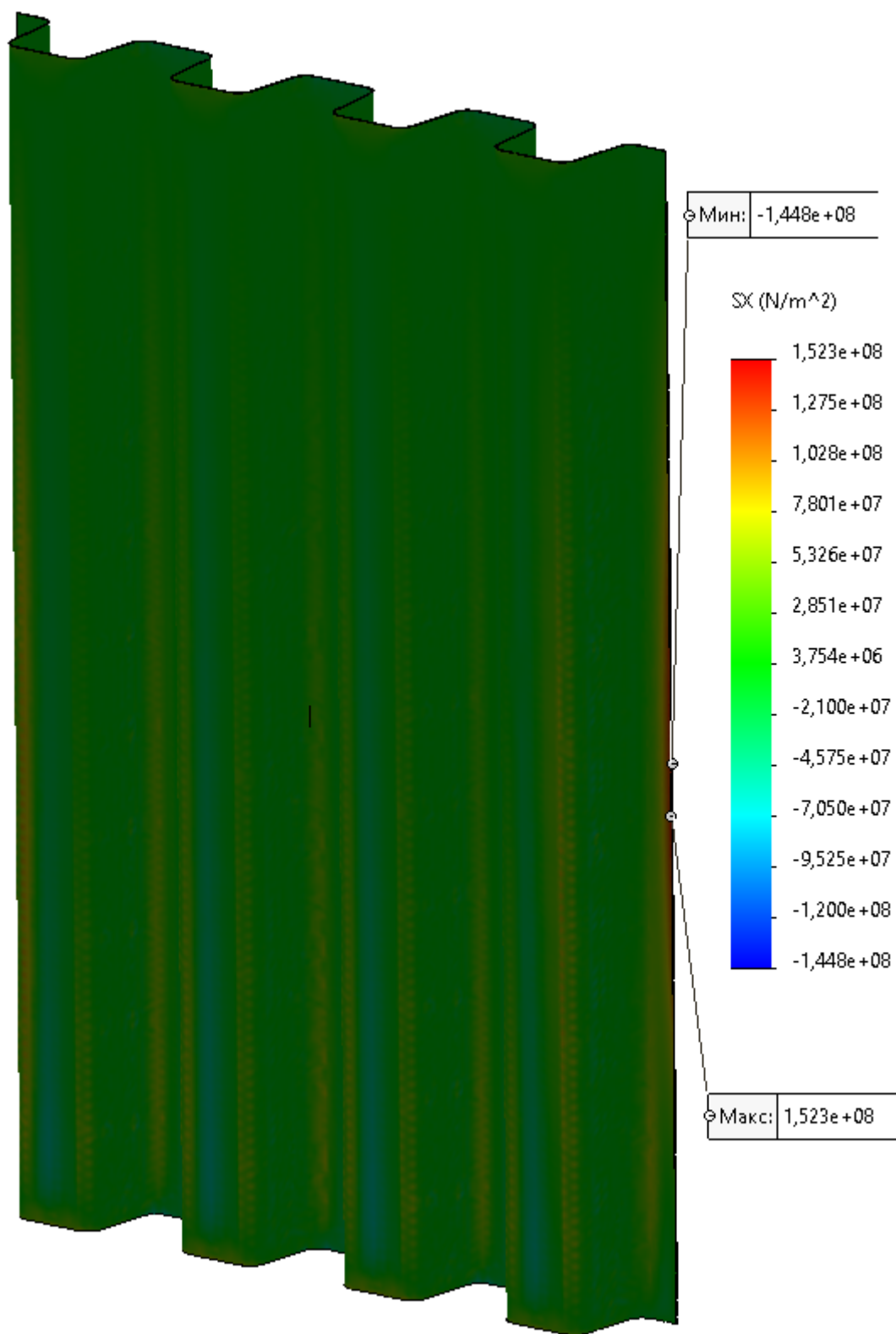


Рисунок 2.20 – Епюра напружень від мембранних зусиль при збільшенні кута до $\varphi = 85^\circ$

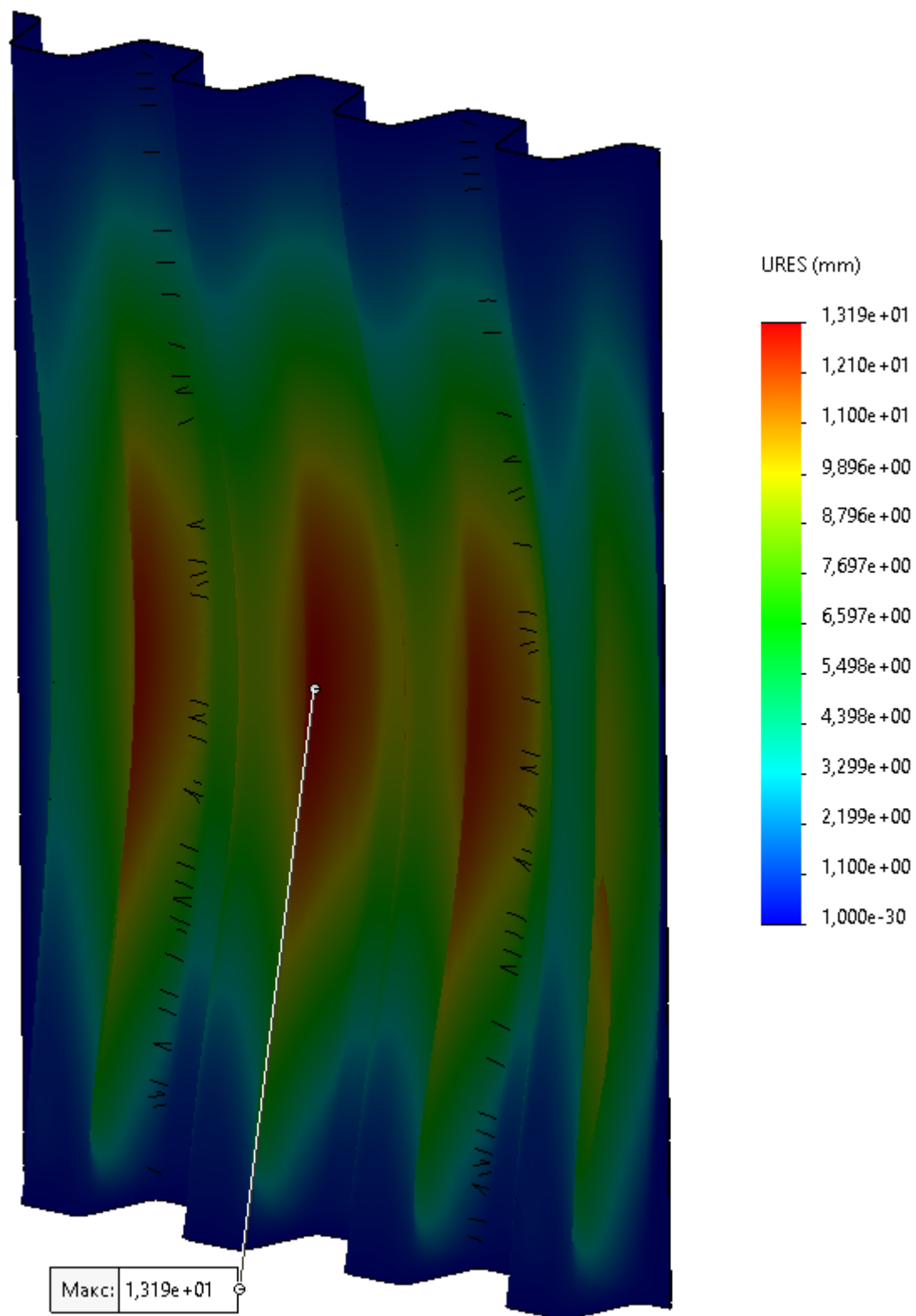


Рисунок 2.21 - Епюра зміщень при зменшенні кута до $\varphi = 75^\circ$, $s = 22 \div 52,9\text{т}$

					135.6116м.03.МР.ПЗ.02	Аркуш
Зміни	Аркуш	№ документа	Підпис	Дата		

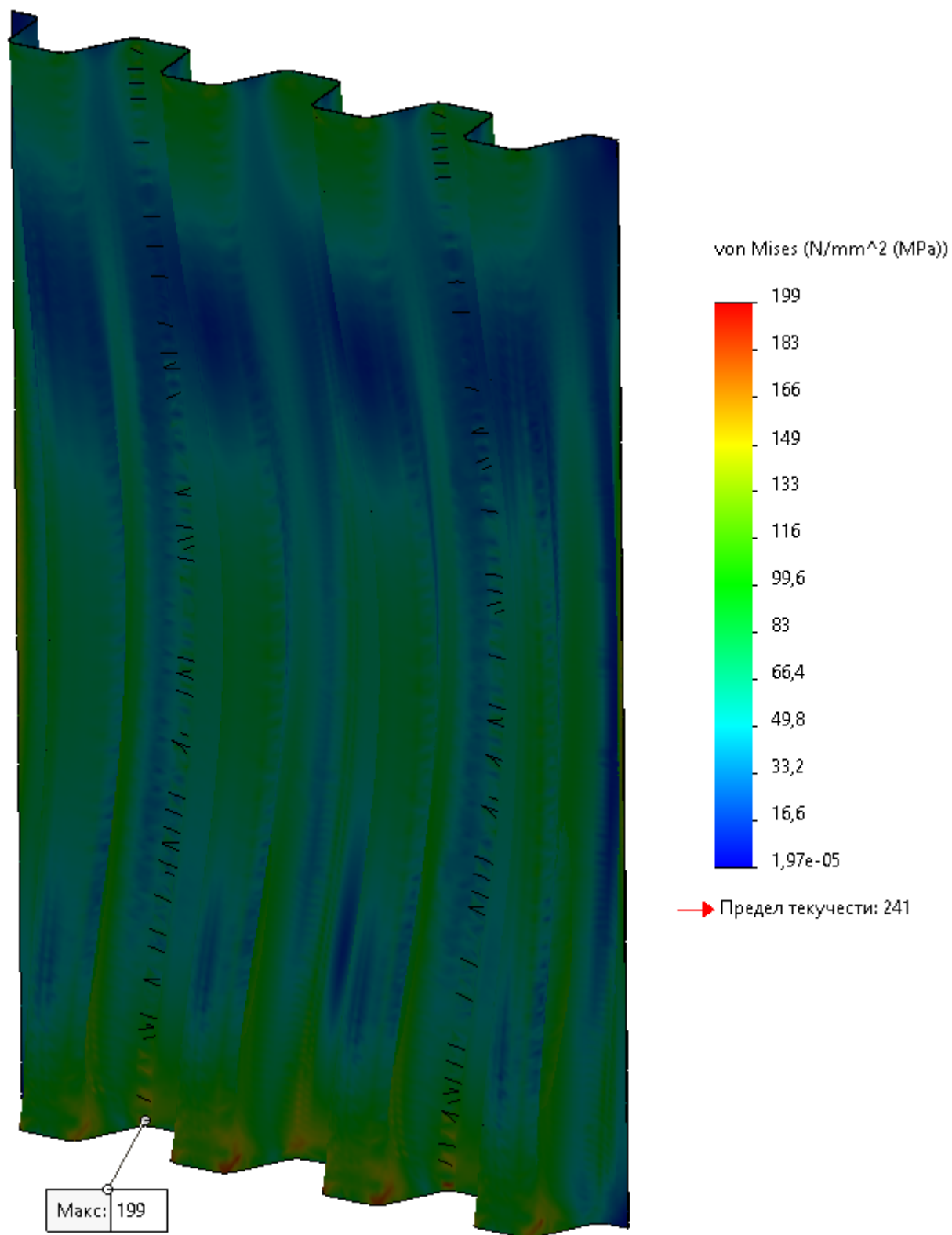


Рисунок 2.22 - Епюра еквівалентних напружень при збільшенні кута до $\varphi = 75^0$, $s = 22 \text{ } 52,9\text{т}$

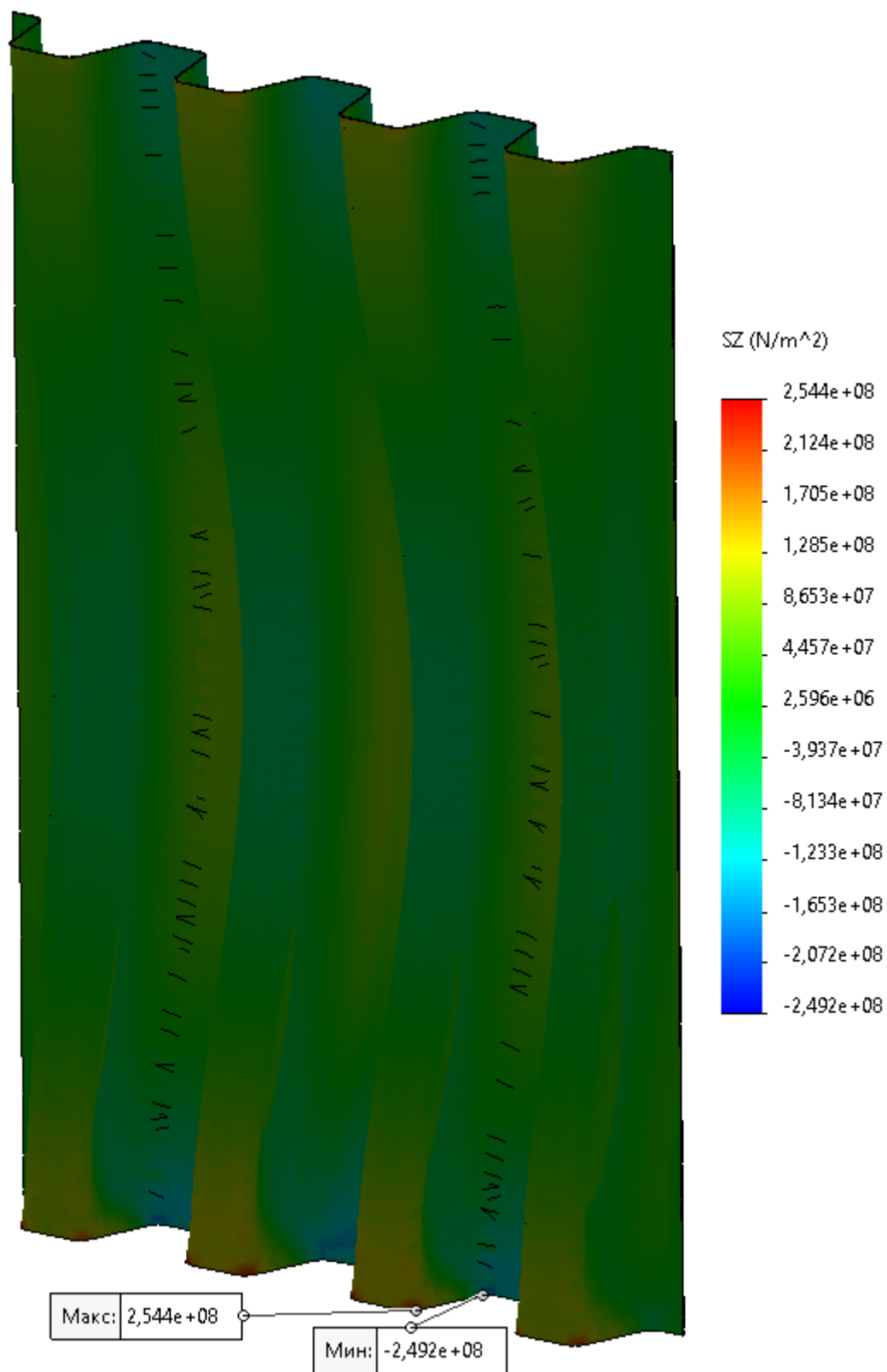


Рисунок 2.23 - Епюра нормальних напружень при зменшенні кута до $\varphi = 75^\circ$,
 $s = 22 \dots 52,9\text{т}$

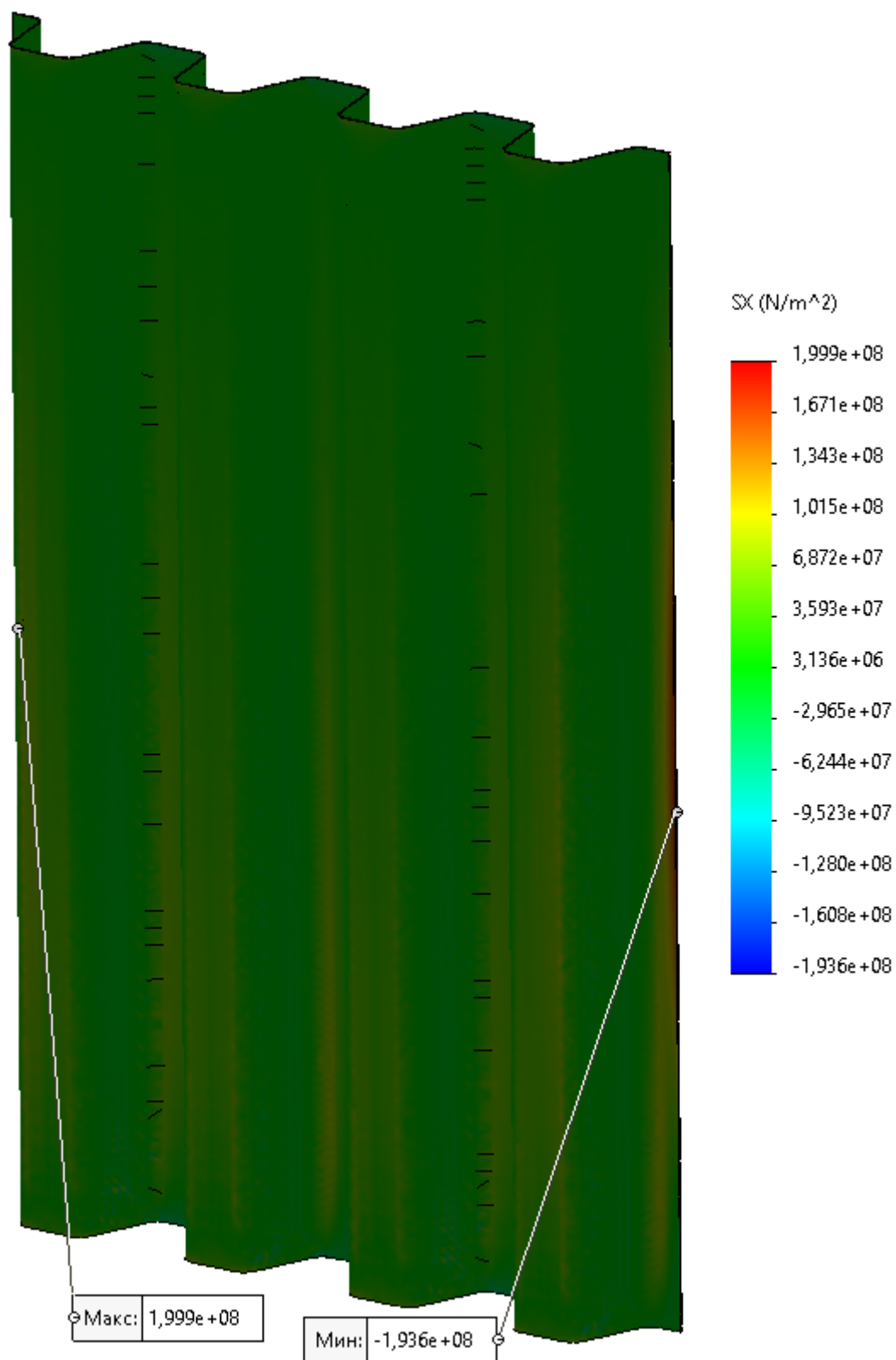


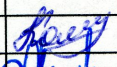
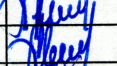
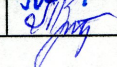
Рисунок 2.20 – Епюра напружень від мембранних зусиль при зменшенні кута до $\varphi = 75^0$, $s = 22 \dots 52,9$ т

Зведена таблиця впливу геометричних параметрів гофри на міцність перегородки

№	Товщина полотна s	Кут нахилу грані φ	Ширина гофри b	Нормальні напруження σ_z	Зведені напруження σ_{IV}	Теоретична маса m_T
1	22	81	1200	212	206	54,9
2	21	81	1200	199	160	
3	23	81	1200	204	168	
4	22	86	1200	215	181	55,9
5	22	75	1200	254	199	52,9

Розрахунки перегородки за МСЕ показали достатню міцність конструкції. При зміні параметрів у незначних відхиленнях від початкових напруження змінюються несуттєво, залишаєсь у межах допустимих значень. При цьому так само несуттєво змінюється несуттєво (близько 2%).

135.6116м.03.МР.ПЗ.03

					135.6116м.03.МР.ПЗ.03		
Зм.	Арк.	№ докум.	Підпис	Дата	Вибір геометричних характеристик полотна гофрованої перегородки с коробчастими гофрами		
Студент		Калінін Г.М.		18.11			
Консульт.		Клименков С.Ю.		18.11			
Руковод.		Клименков С.Ю.		18.11			
Зав. Кафедр.		Коростильов Л.І.		18.11	Літ Аркуш Аркушів НУК		

РОЗДІЛ 3. ВИБІР ГЕОМЕТРИЧНИХ ХАРАКТЕРИСТИК ПОЛОТНА ГОФРОВАНОЇ ПЕРЕГОРОДКИ З КОРОБЧАСТИМИ ГОФРАМИ

Користуючись наведеними в [7] формулами а також рекомендаціями [5] і виводами глави 1, розрахуємо геометричні параметри для перегородки танкера з використанням коробчастих гофрів і перевіримо її міцність.

Шаг стояків перегородки (а у випадку гофрованої обшиви – крок гофрів) не повинен перебільшувати Товщина листів гофрованої перегородки повинна бути не меншою за

$$s = m \cdot a \cdot k \sqrt{\frac{p}{k_{\sigma} \sigma_n}} + \Delta s = 15,8 \cdot 1,2 \cdot 1 \sqrt{\frac{126}{0,9 \cdot 235}} + 2,6 = 17,23 \text{ мм.}$$

Приймаємо $s = 18 \text{ мм.}$

При цьому повинно бути витримане співвідношення

$$\frac{b}{s} \leq 0,06 \sqrt{\eta}, \quad b \leq 0,06 s = 0,06 \cdot 18 = 1,08 \text{ м.}$$

де: η – коефіцієнт використання механічних властивостей сталі, що визначається за табл. 1.1.4.3;

R_{eH}	235	315	355	≥ 390
η	1,0	0,78	0,72	0,68
σ_n	235	301	326	346

З іншого боку можна визначити ширину грані як вільно обпертої на жорсткий контур пластини

$$b \leq 4s \sqrt{\frac{[\sigma]}{2p}} = 4 \cdot 18 \sqrt{\frac{0,9 \cdot 235 \cdot 10^6}{2 \cdot 168000}} = 1800 \text{ мм.}$$

Приймаємо $b = 1,0 \text{ м.}$

					135.6116м.03.МР.ПЗ.03	Аркуш
Зміни	Аркуш	№ документа	Підпис	Дата		

Мінімальний момент опору, розрахований в Розділі 2:

$$W = \frac{Ql \cdot 10^{-3}}{m \cdot k_{\sigma} \cdot \sigma_n} = \frac{5936 \cdot 16,80 \cdot 10^3}{15,8 \cdot 0,9 \cdot 235} = 29843 \text{ см}^3.$$

Момент опору перегородки з прийнятими геометричними параметрами

$$W = s \cdot h \cdot \left(b + \frac{c}{3} \right) = 1,8 \cdot 100 \cdot \left(100 + \frac{100}{3} \right) = 24\,000 \text{ см}^3.$$

Дійсний момент опору менший за необхідний.

Приймаємо $s = 20$ мм.

$$\frac{b}{s} \leq 0,06\sqrt{\eta}, \quad b \leq 0,06s = 0,06 \cdot 20 = 1,2 \text{ м.}$$

$$W = s \cdot h \cdot \left(b + \frac{c}{3} \right) = 2,0 \cdot 120 \cdot \left(120 + \frac{120}{3} \right) = 38\,400 \text{ см}^3.$$

Відтепер спроектована конструкція перегородки відповідає усім вимогам [7].

Приймаємо остаточно наступні геометричні параметри полотна перегородки:

$s = 20$ мм – товщина обшиви;

$b = 1200$ мм – ширина грані;

$\gamma = 1$ – відношення ширин граней;

$\varphi = 90^\circ$ – кут нахилу граней;

$d = 2,4$ м – крок гофрів;

$H_{mp} = 16,8$ м – загальна висота полотна;

$B_{mp} = 11,2$ м – загальна ширина полотна.

Розрахунок місцевої міцності полотна перегородки ведемо в програмному комплексі SolidWORK 2020, блок Simulation.

Полотно жорстко зафіксовано по лініях з'єднання з палубою і настилом другого дна, що відповідає умовам жорсткого затиснення, і плоскою частиною зафіксоване на поздовжній перегородці і борті, що майже відповідає умовам вільного спираю. Поперечне навантаження приймаємо у вигляді гідростатичного тиску, розподіленого за законом трикутника, 0 – на рівні верхньої палуби, 16.8 кПа на рівні другого дна, що відповідає заповненню вантажного відсіку водою до рівня верхньої палуби.

					135.6116м.03.МР.ПЗ.03	Аркуш
Зміни	Аркуш	№ документа	Підпис	Дата		

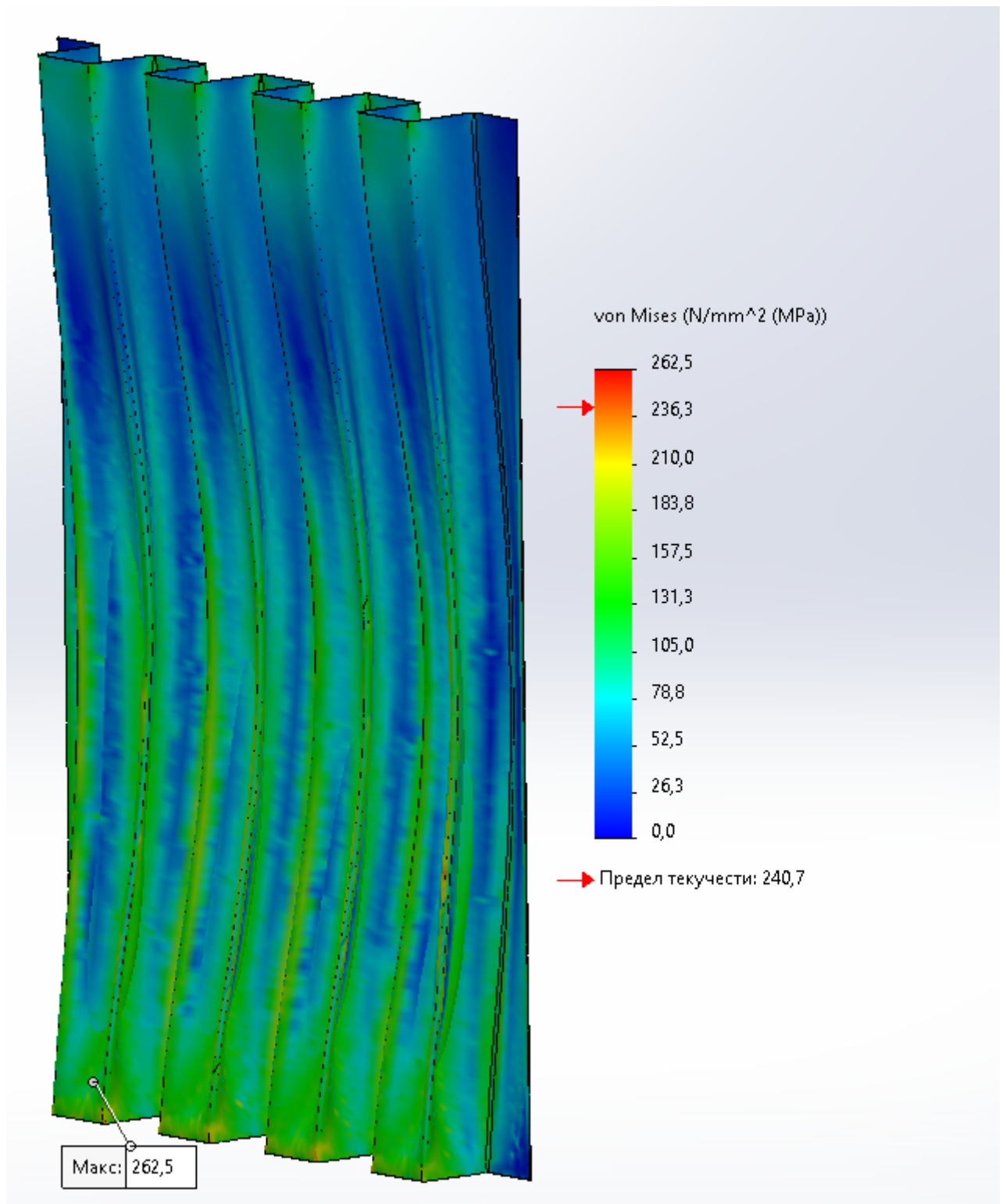


Рисунок 3.1 – Зведені напруження у площині перегородки за IV теорією
($\varphi = 90^0$, $b = c = 1200$ мм, теоретична вага 44,9 т (5,71 м³)).

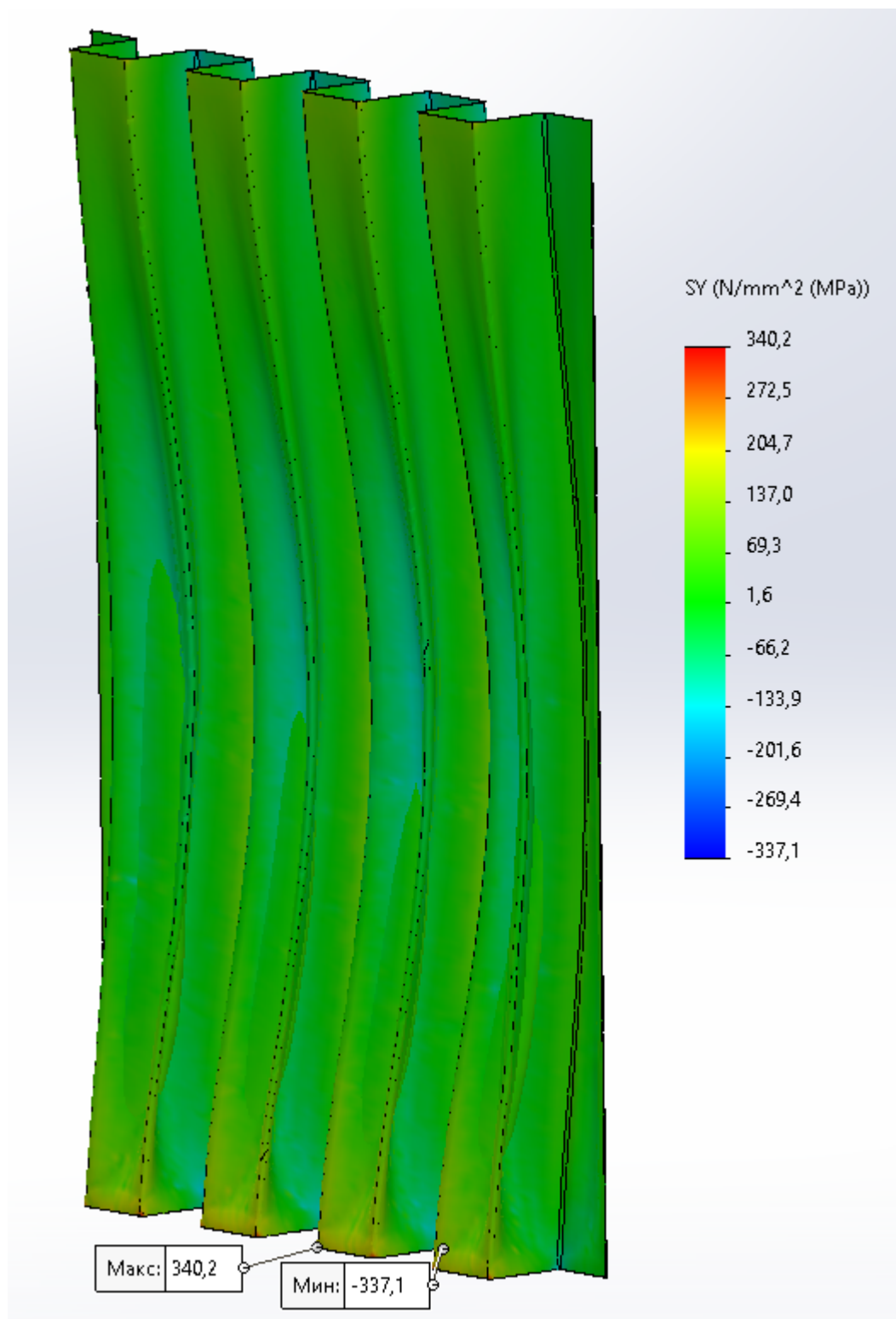


Рисунок 3.2 – Нормальні напруження у горизонтальних перерізах перегородки
($\varphi = 90^0$, $b = c = 1200$ мм, теоретична вага 44,9 т (5,71 м³)).

Зміни	Аркуш	№ документа	Підпис	Дата

135.6116м.03.МР.ПЗ.03

Аркуш

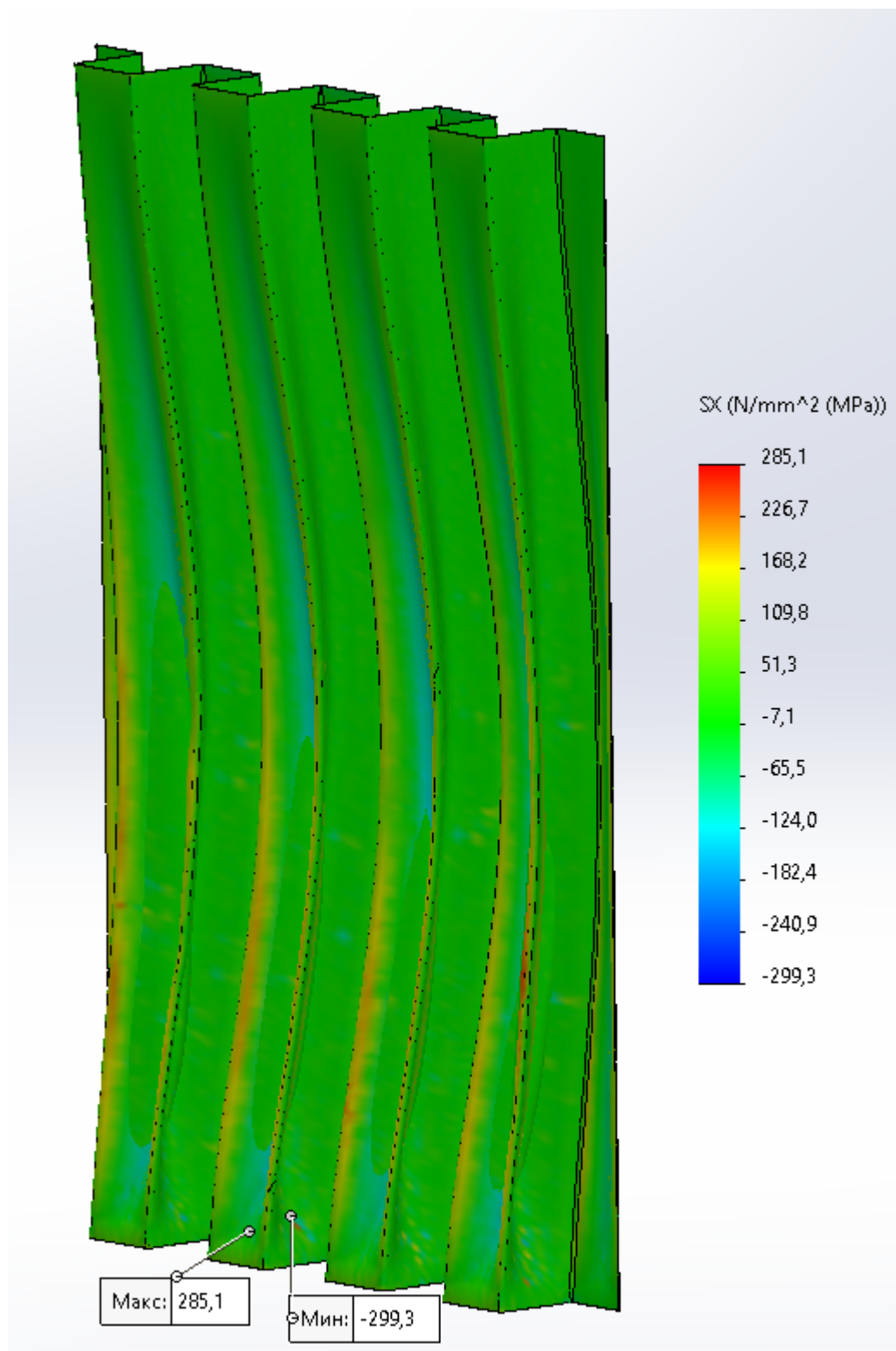


Рисунок 3.3 – Нормальні напруження у вертикальних перерізах перегородки
 $(\varphi = 90^0, b = c = 1200 \text{ мм}, \text{теоретична вага } 44,9 \text{ т } (5,71 \text{ м}^3))$.

					135.6116м.03.МР.ПЗ.03	Аркуш
Зміни	Аркуш	№ документа	Підпис	Дата		

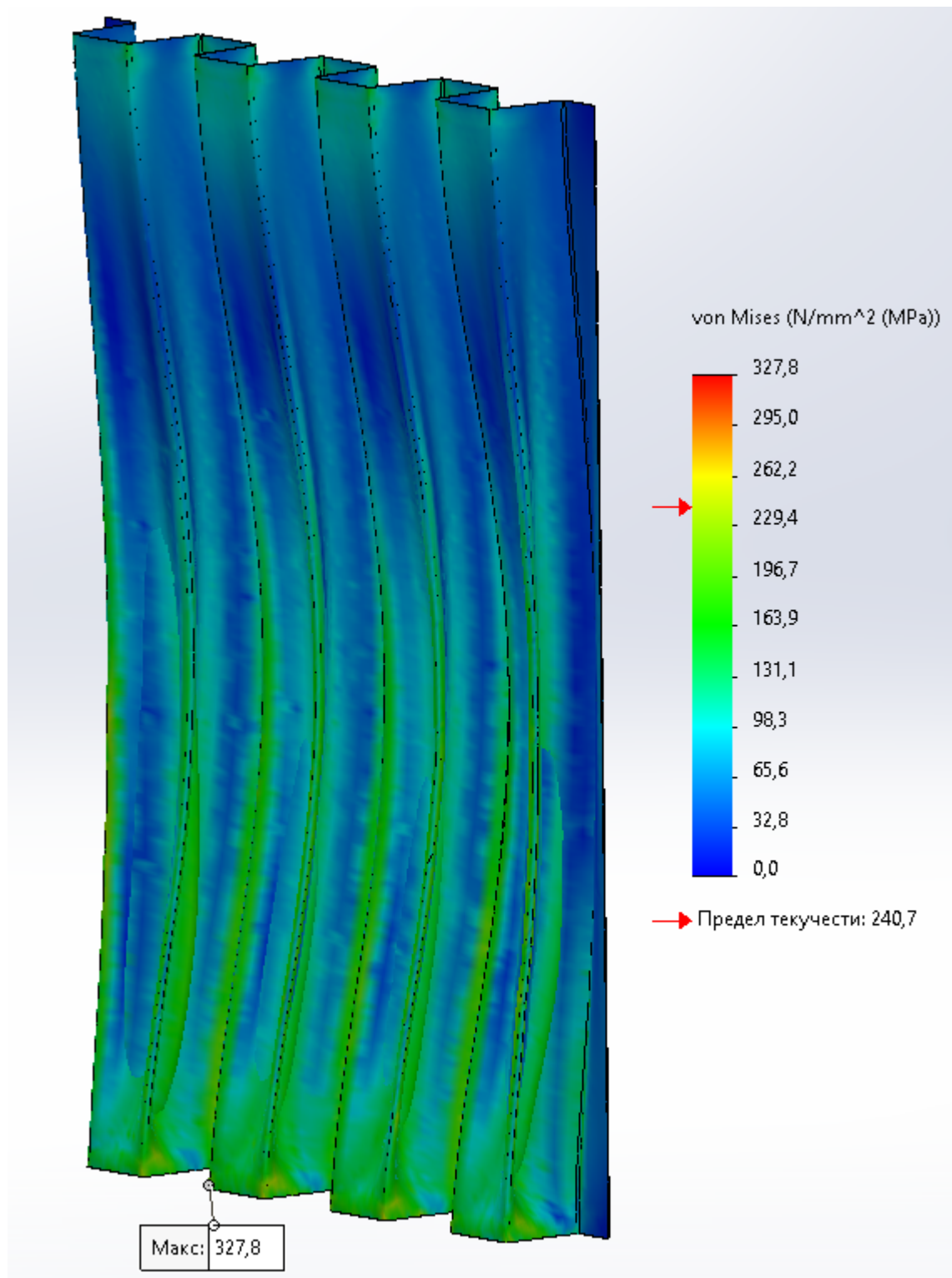


Рисунок 3.4 – Зведені напруження у площині перегородки за IV теорією

($\varphi = 86^0$, $b = 1200$ мм, $c = 1210$ мм, теоретична вага 43,5 т (5,54 м³))

Зміни	Аркуш	№ документа	Підпис	Дата

135.6116м.03.МР.ПЗ.03

Аркуш

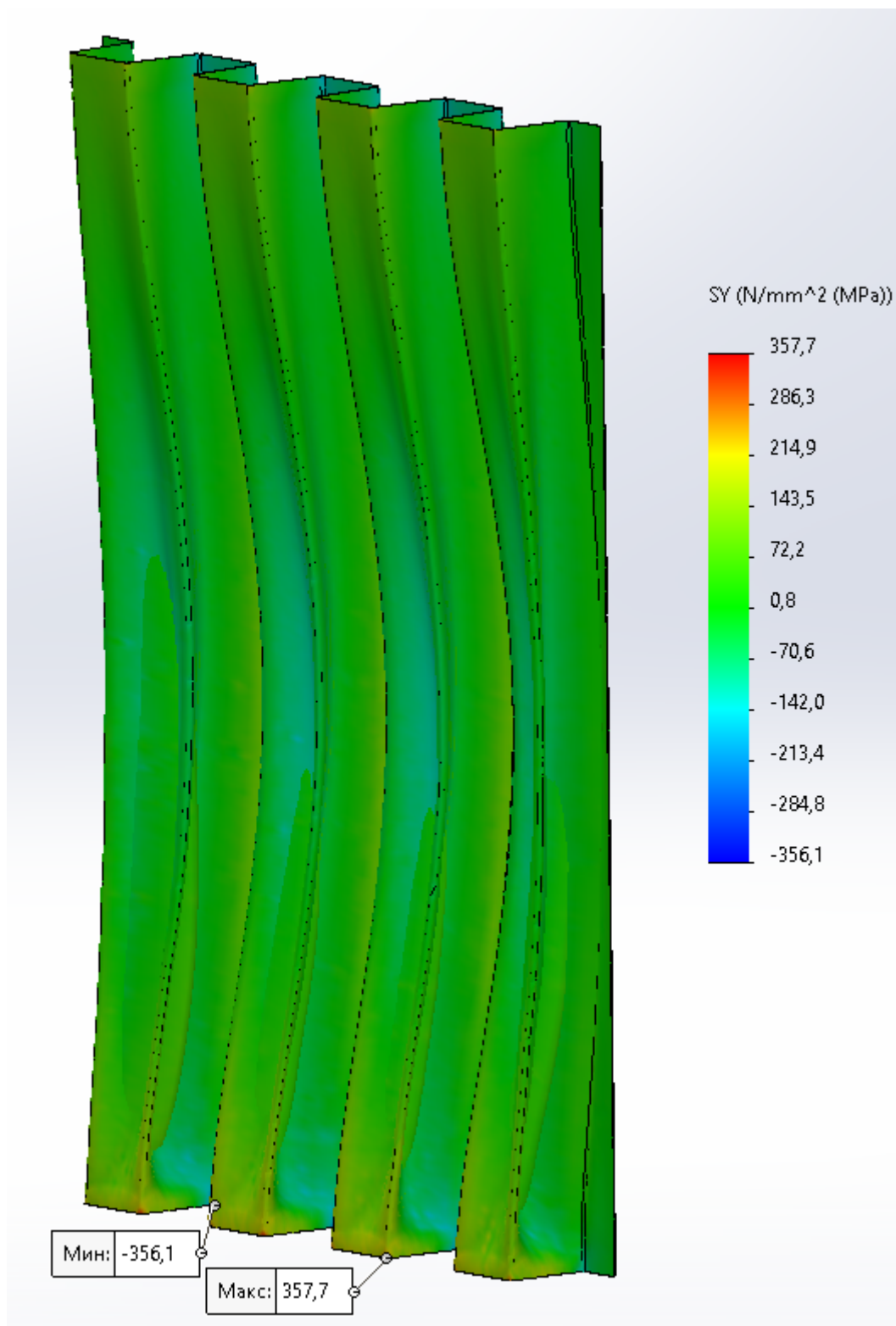


Рисунок 3.5 – Нормальні напруження у горизонтальних перерізах перегородки
($\varphi = 86^0$, $b = 1200$ мм, $c = 1210$ мм, теоретична вага 43,5 т (5,54 м³))

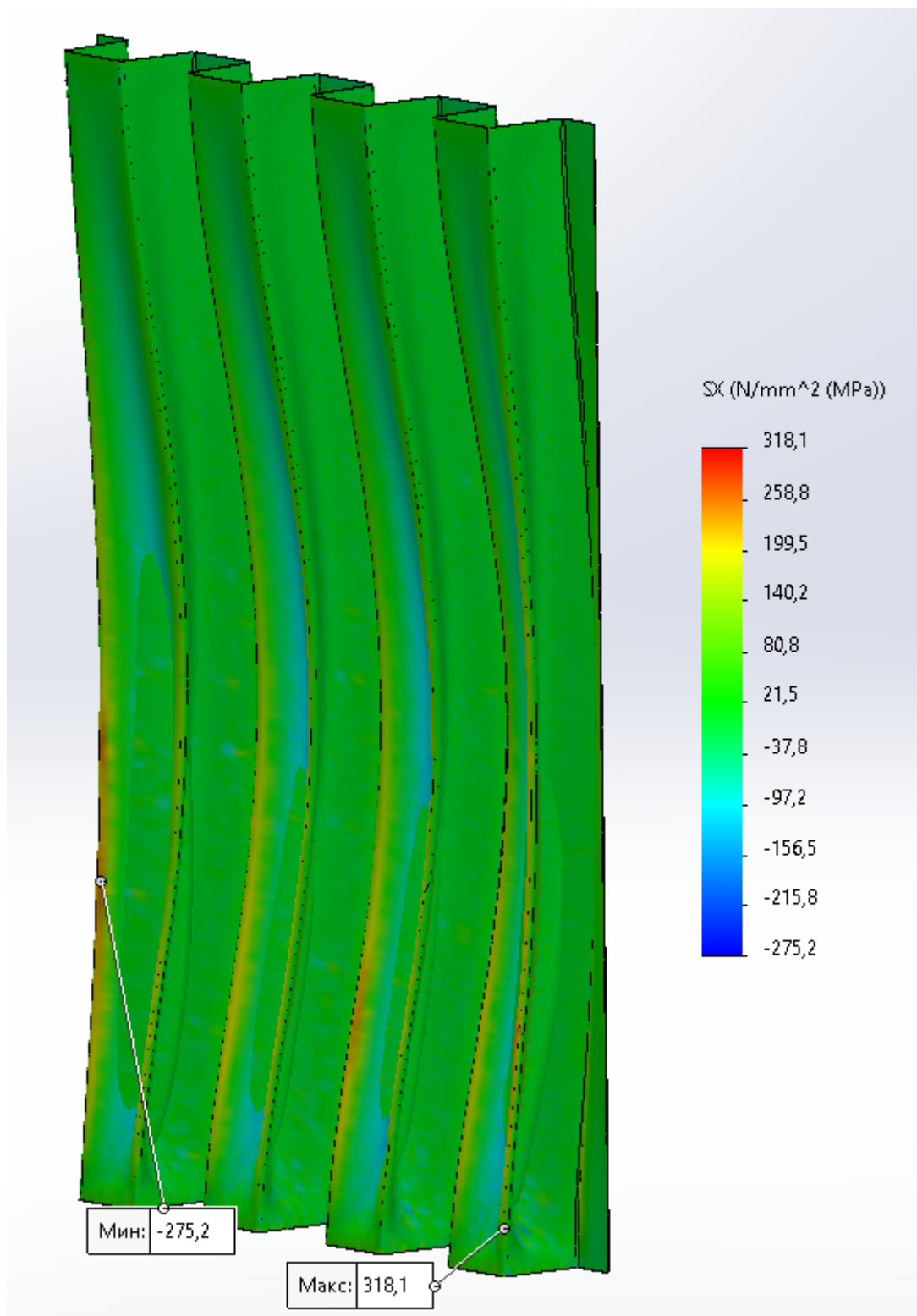


Рисунок 3.6 – Нормальні напруження у вертикальних перерізах перегородки
($\varphi = 86^0$, $b = 1200$, $c = 1210$ мм, теоретична вага 43,5 т (5,54 м³).

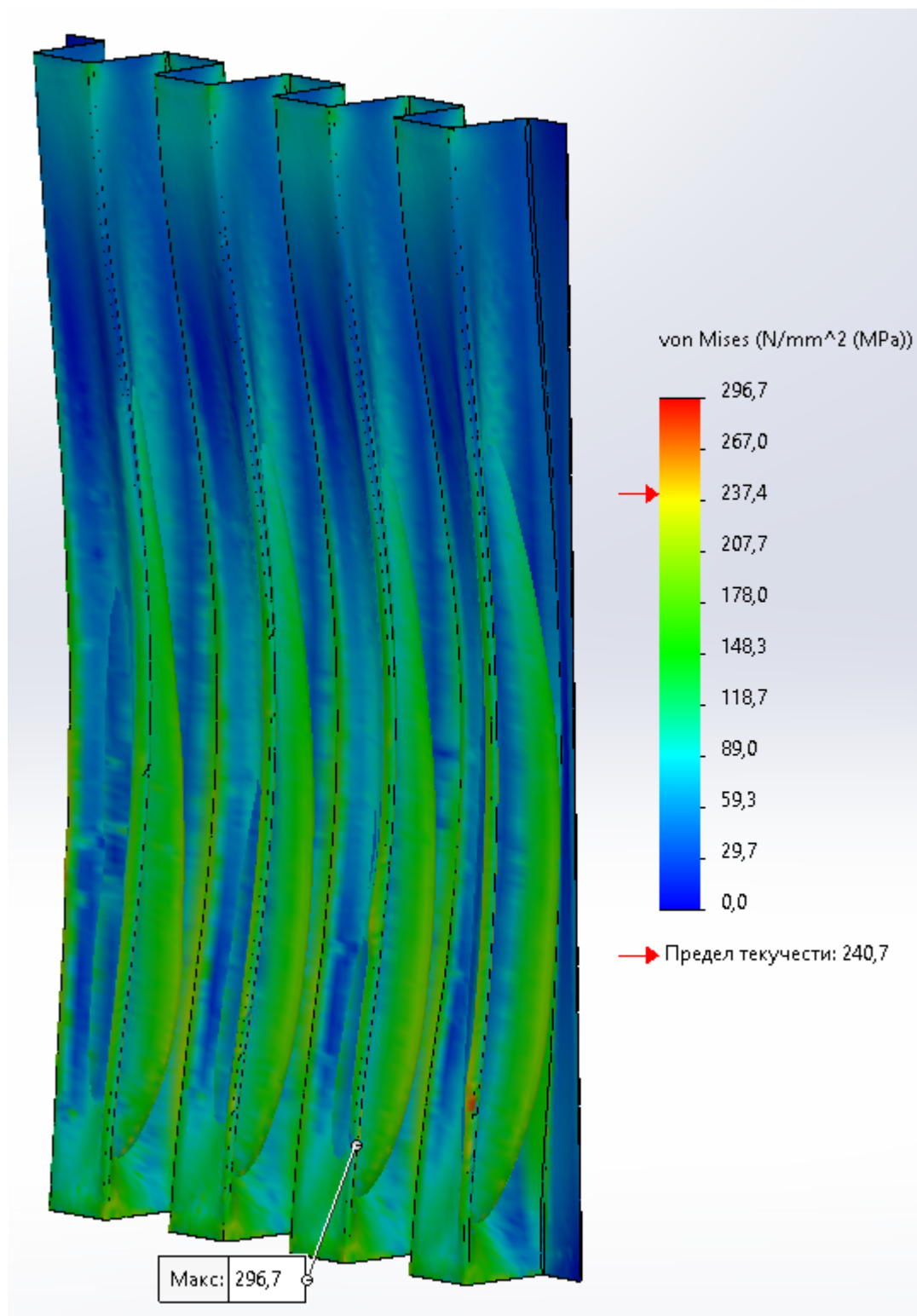


Рисунок 3.7 – Зведені напруження у площині перегородки за IV теорією
 ($\varphi = 88^0$, $b = 1200$, $c = 1300$ мм, теоретична вага 45,8 т (5,82 м³).

Зміни	Аркуш	№ документа	Підпис	Дата

135.6116м.03.МР.ПЗ.03

Аркуш

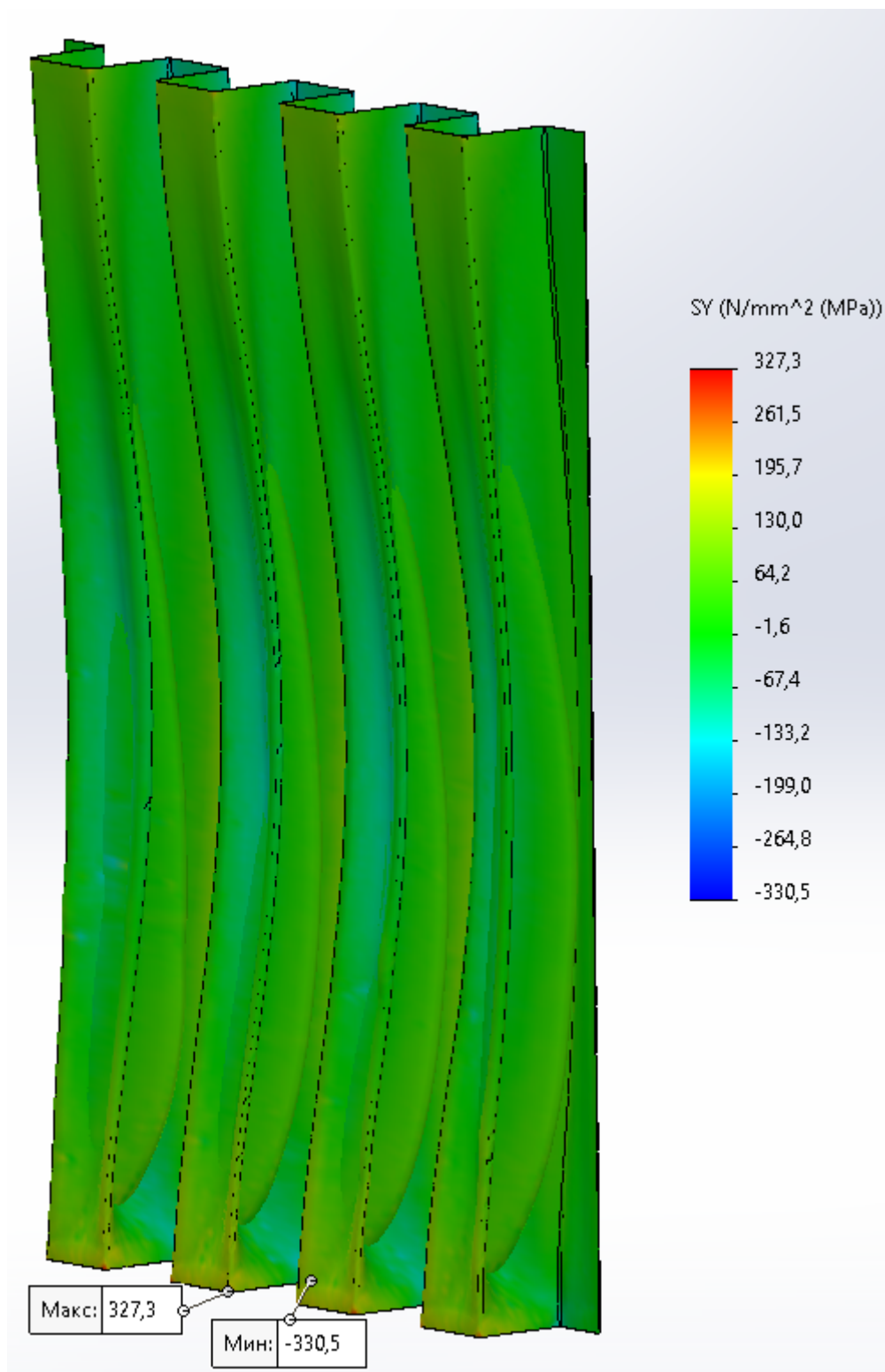


Рисунок 3.8 – Нормальні напруження у горизонтальних перерізах перегородки ($\varphi = 88^0$, $b = 1200$, $c = 1300$ мм, теоретична вага 45,8 т (5,82 м³).

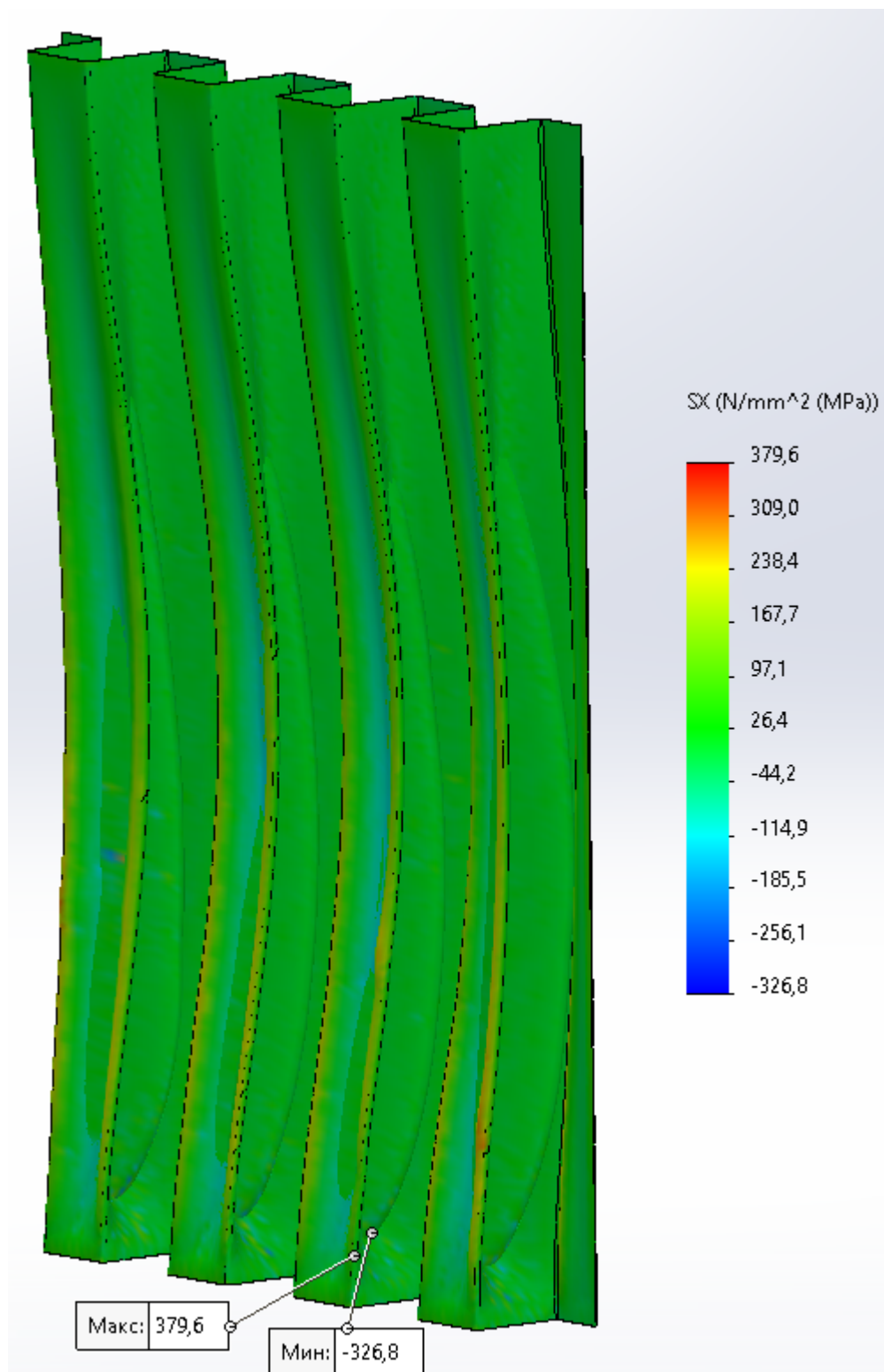


Рисунок 3.9 – Нормальні напруження у вертикальних перерізах перегородки
 $(\varphi = 88^{\circ}, b = 1200, c = 1300 \text{ мм}, \text{теоретична вага } 45,8 \text{ т } (5,82 \text{ м}^3))$.

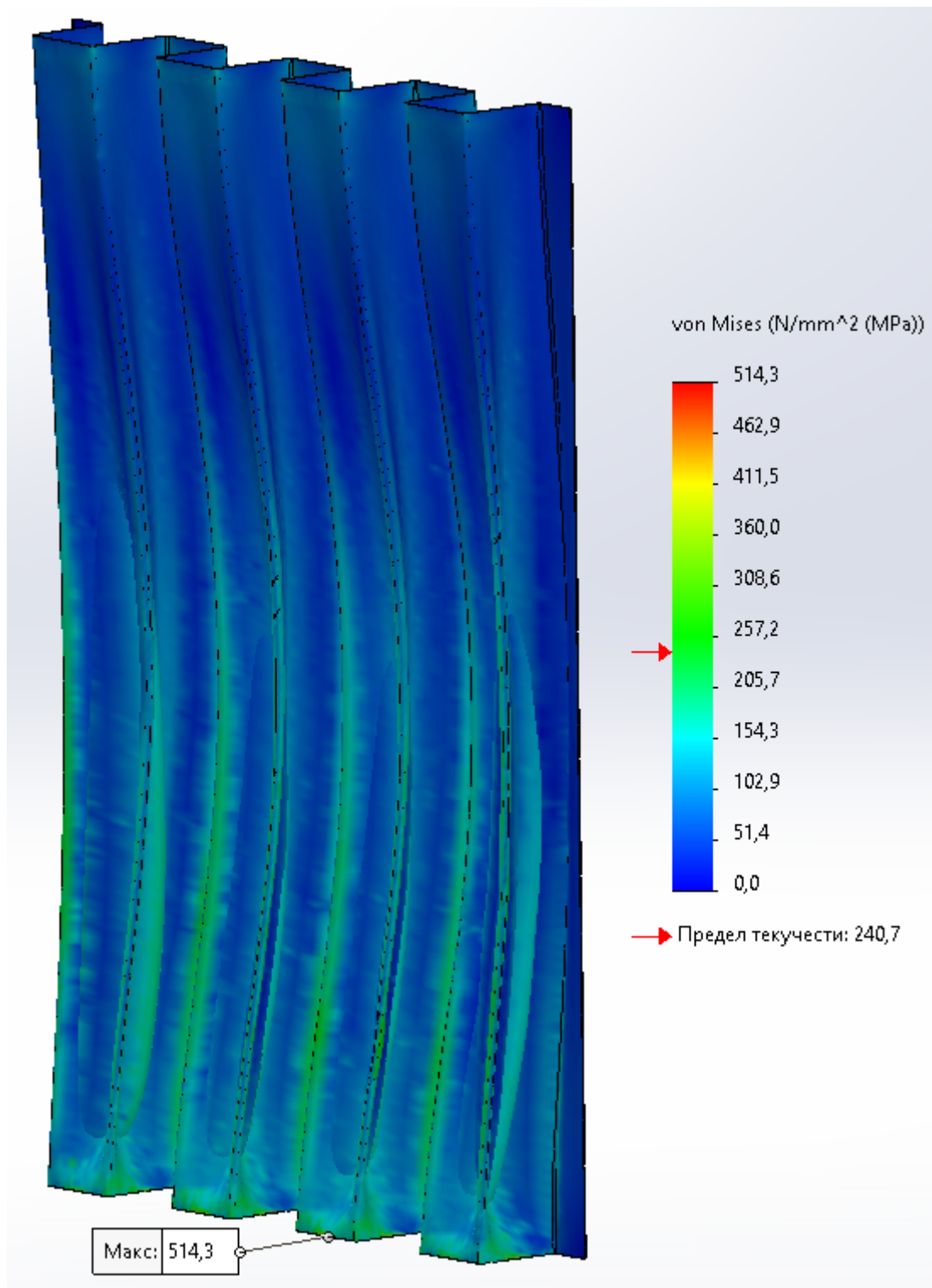


Рисунок 3.10– Зведені напруження у площині перегородки за IV теорією
 $(\varphi = 89^0, b = c = 1280 \text{ мм}, \text{теоретична вага } 45,8 \text{ т } (5,83 \text{ м}^3))$.

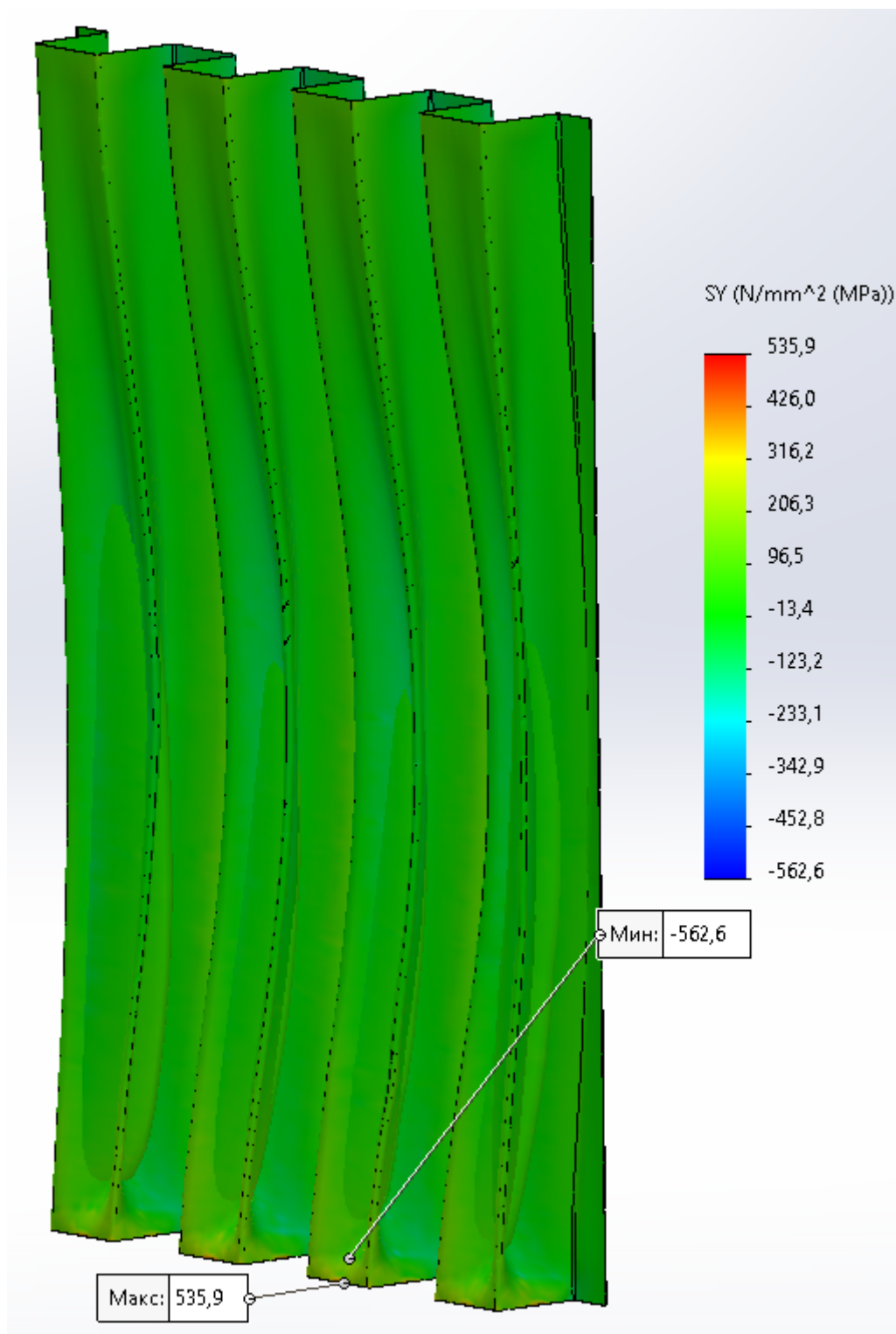


Рисунок 3.11 – Нормальні напруження у горизонтальних перерізах перегородки
 ($\varphi = 89^0$, $b = c = 1280$ мм, теоретична вага 45,8 т (5,83 м³)).

Зміни	Аркуш	№ документа	Підпис	Дата

135.6116м.03.МР.ПЗ.03

Аркуш

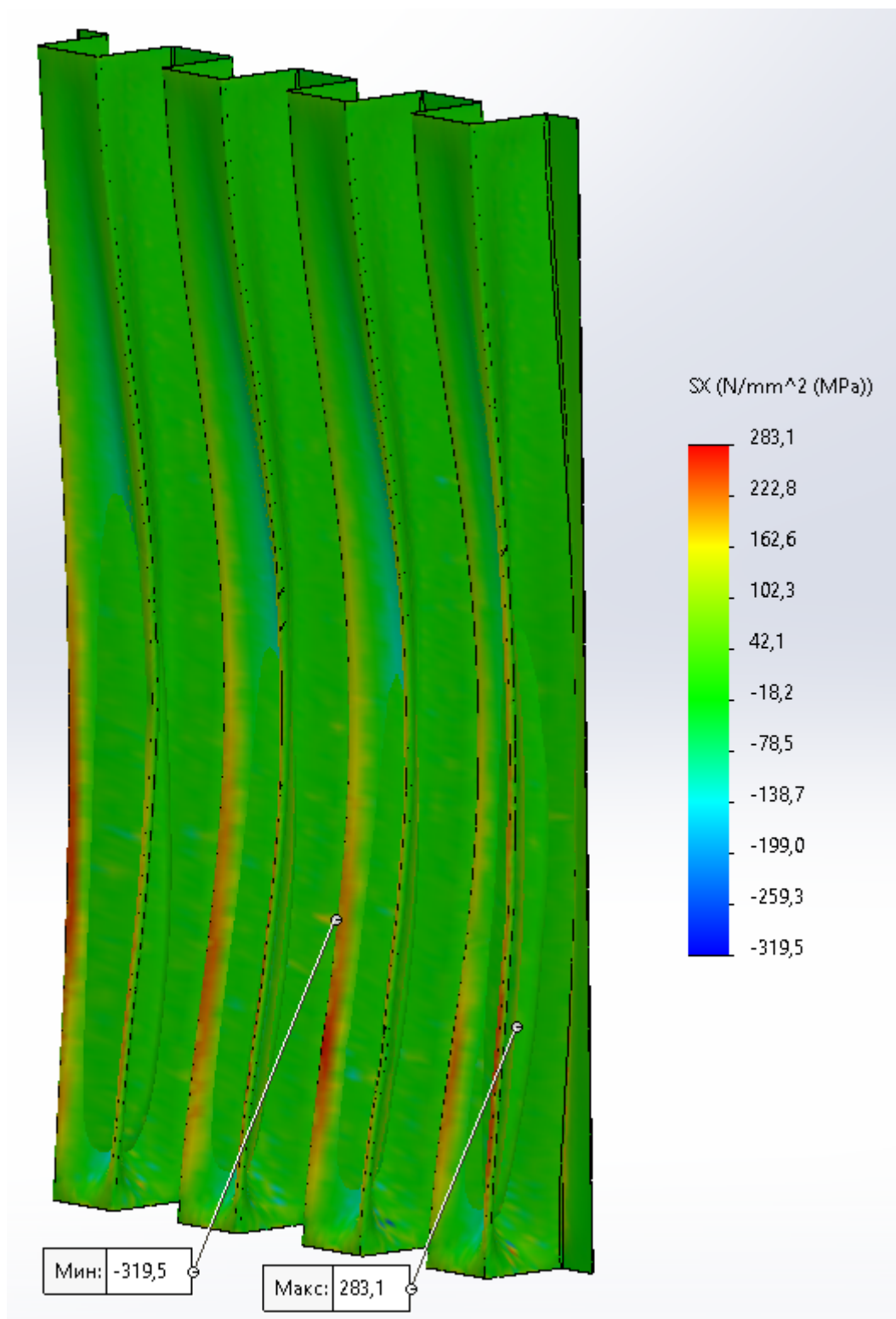


Рисунок 3.12 – Нормальні напруження у вертикальних перерізах перегородки
 $(\varphi = 89^0, b = c = 1280 \text{ мм}, \text{теоретична вага } 45,8 \text{ т } (5,83 \text{ м}^3))$.

Зведена таблиця впливу геометричних параметрів гофри на міцність перегородки

№	Товщина полотна s	Кут нахилу грані φ	Ширина гофри b	Нормальні напруження σ_z	Зведені напруження σ_{IV}	Теоретична маса m_T
1	20	86	1200	356	327	43,5(5,54м³)
2	20	88	1200	330	296	45,8(5,82м³)
3	20	90	1200	340	260	44,9(5,71м³)
4	20	89	1280	540	515	45,8(5,83 м³)

Розрахунки виявили перенавантаження 8% навіть за умови відповідності нормам РСУ. Маса конструкції при цьому менша від реальної конструкції на 5т(10%) При зміні параметрів перевантаження зростають. Маса змінюється несуттєво (близько 2%).

					135.6116м.03.МР.ПЗ.04			
Зм.	Арк.	№ докум.	Підпис	Дата				
Студент	Калінін Г.М.	<i>Калінін</i>	<i>2.12</i>		Вибір геометричних характеристик полотна гофрованої перегородки с хвилястими гофрами	Літ	Аркуш	Аркушів
Консульт.	Клименков С.Ю.	<i>Клименков</i>	<i>2.12</i>					
Руковод.	Клименков С.Ю.	<i>Клименков</i>	<i>2.12</i>			НУК		
Зав. Кафедр.	Коростильов Л.І.	<i>Коростильов</i>	<i>2.12</i>					

РОЗДІЛ 4. ВИБІР ГЕОМЕТРИЧНИХ ХАРАКТЕРИСТИК ПОЛОТНА ГОФРОВАНОЇ ПЕРЕГОРОДКИ З ХВИЛЯСТИМИ ГОФРАМИ

Товщина хвилястих гофрів s , мм, повинна бути не менше визначеної за формулою:

$$s = 22 \cdot \beta \cdot R \sqrt{\frac{p}{k_{\sigma} \sigma_n}} + \Delta s \text{ мм.}$$

де β - половина кута розхилу гофри, рад.;

R - радіус гофри, м;

$p = \alpha \cdot z_n = 7,5 \cdot 16,8 = 126 \text{ кПа}$ – тиск на рівні II дна, визначений за 2.7.3.1;

$z_n = 16,8 \text{ м}$ – відстань, виміряна в діаметральній площині, від точки прикладання розрахункового навантаження до її верхнього рівня, м; верхнім рівнем навантаження є: палуба перегородок – для водонепроникних перегородок;

$k_{\sigma} = 0,9$ – коефіцієнт допустимих напружень для поперечних перегородок;

$\sigma_n = 235 \text{ МПа}$ – розрахункова нормативна границя плинності матеріалу за нормальними напруженнями (для категорії В).

Запаси на знос і корозію Δs , мм, приймаються для конструкцій, планований строк служби яких перевищує 12 років, та визначаються за формулою:

$$\Delta s = u(T - 12) = 0,2(25 - 12) = 2,6 \text{ мм}$$

$T = 25$ – планований строк служби конструкції, роки;

$u = 0,2 \text{ мм/рік}$ – середньорічне зменшення товщини елементів конструкцій корпусу для перегородок вантажних танків суден II групи (наливні судна, судна для навалювальних вантажів, комбіновані судна та аналогічні їм за умовами експлуатації.)

$$s = 22 \cdot \frac{\pi}{2} \cdot 0,7 \sqrt{\frac{126}{0,9 \cdot 235}} + 2,6 = 21,3 \text{ мм.}$$

Приймаємо $s = 22 \text{ мм}$.

					135.6116м.03.МР.ПЗ.04	Аркуш
Зміни	Аркуш	№ документа	Підпис	Дата		

При цьому повинно бути витримане співвідношення

$$\frac{R}{s} \leq \frac{17}{R_{eH}}, \quad \frac{0,7}{22} = 0,032 < \frac{17}{235} = 0,072 - \text{виконується.}$$

Момент опору повинний бути не меншим за:

$$W = \frac{Ql \cdot 10^{-3}}{m \cdot k_{\sigma} \cdot \sigma_n} = \frac{5936 \cdot 16,80 \cdot 10^3}{15,8 \cdot 0,9 \cdot 235} = 29843 \text{ см}^3,$$

де: $Q = p \cdot d_0 \cdot l = 126 \cdot 2,8 \cdot 16,8 = 5927 \text{ кН}$ – поперечне навантаження на гофр.

До мінімального моменту опору додається поправка ΔW на знос і корозію, яка враховує Δs :

$$W = W + \Delta W$$

$$\Delta W = \gamma \cdot \Delta s \cdot R^2, \text{ де } \gamma = 2 \frac{\beta + 2\beta \cos^2 \beta - 1,5 \sin 2\beta}{1 - \cos \beta}.$$

$$\Delta W = 2 \frac{\frac{\pi}{2} + 2 \frac{\pi}{2} \cos^2 \frac{\pi}{2} - 1,5 \sin 2 \frac{\pi}{2}}{1 - \cos \frac{\pi}{2}} \cdot 0,26 \cdot 70^2 = 12\,000 \text{ см}^3,$$

$$W = 29843 + 12000 \approx 41850 \text{ см}^3.$$

Дійсний момент опору гофри

$$W = \gamma \cdot s \cdot R^2 = 3\pi \cdot 2,2 \cdot 70^2 = 101\,600 \text{ см}^3.$$

Дійсний момент опору більший за необхідний, умови [7] виконані.

Приймаємо остаточно наступні геометричні параметри полотна перегородки:

$s = 22 \text{ мм}$ – товщина обшиви;

$R = 700 \text{ мм}$ – радіус гофри;

$\beta = 90^\circ$ – половина кута розхилу гофри;

$d = 2,4 \text{ м}$ – крок гофрів (нерозгорнута ширина);

$H_{mp} = 16,8 \text{ м}$ – загальна висота полотна;

$B_{mp} = 11,2 \text{ м}$ – загальна ширина полотна.

Розрахунок місцевої міцності полотна перегородки ведемо в програмному комплексі SolidWORK 2020, блок Simulation, подібно до описаного в розділі 3.

					135.6116м.03.МР.ПЗ.04	Аркуш
Зміни	Аркуш	№ документа	Підпис	Дата		

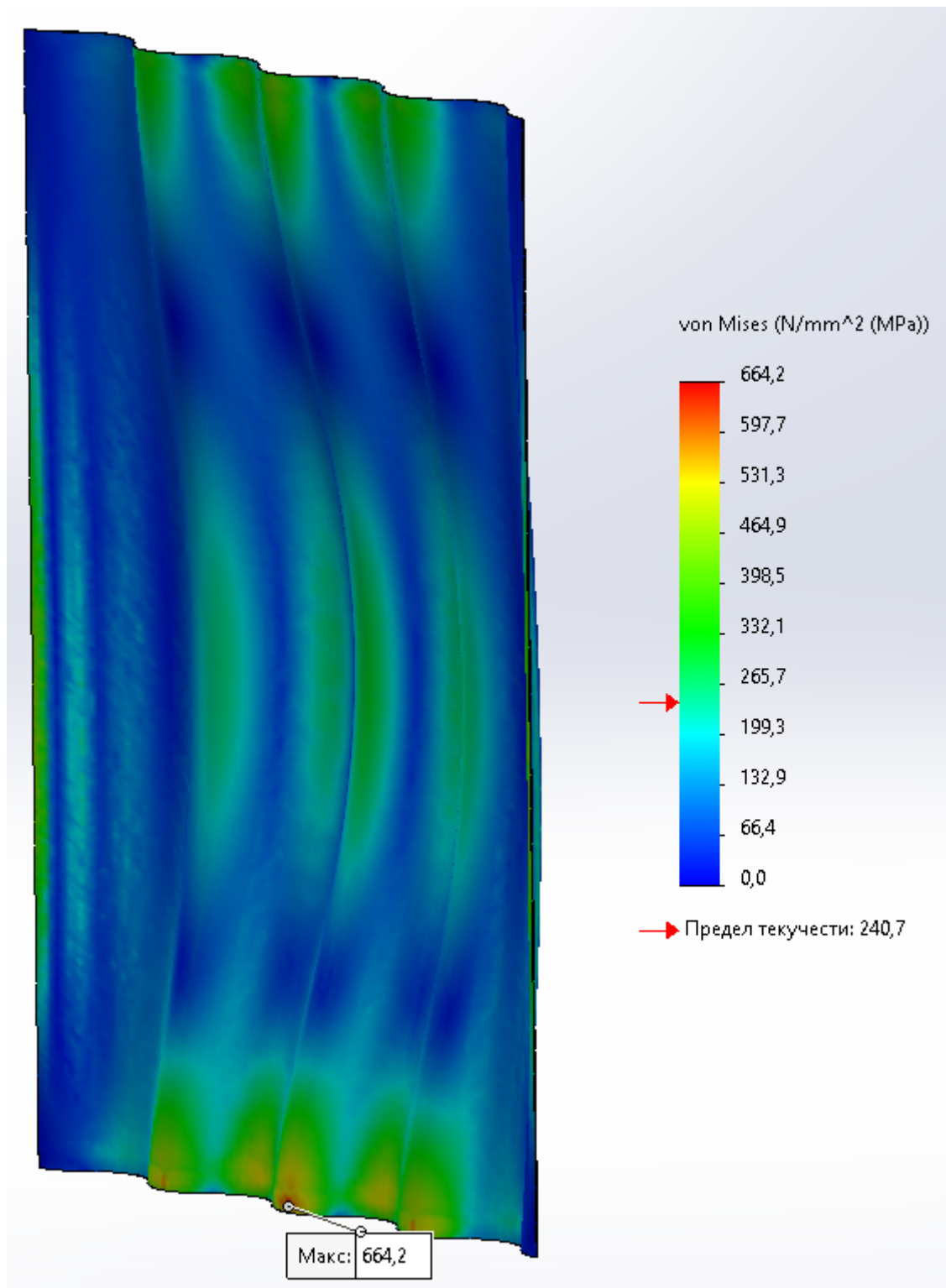


Рисунок 4.1 – Зведені напруження у площині перегородки за IV теорією
 $(\beta = 45^0, R = 1000 \text{ мм, теоретична вага } 33,2 \text{ т } (4,23 \text{ м}^3))$.

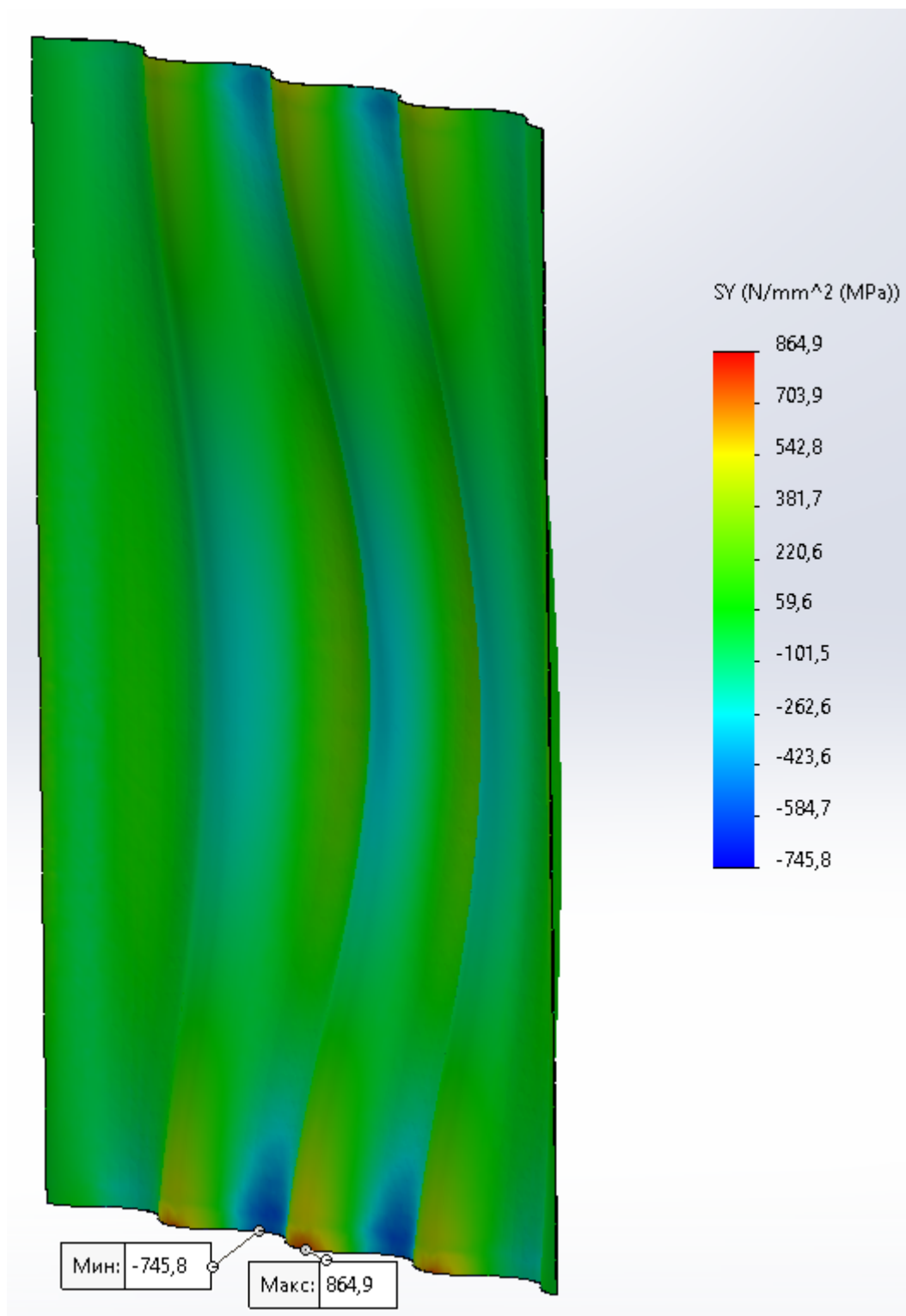


Рисунок 4.2 – Нормальні напруження у горизонтальних перерізах перегородки ($\beta = 45^\circ$, $R = 1000$ мм, теоретична вага 33,2 т (4,23 м³).

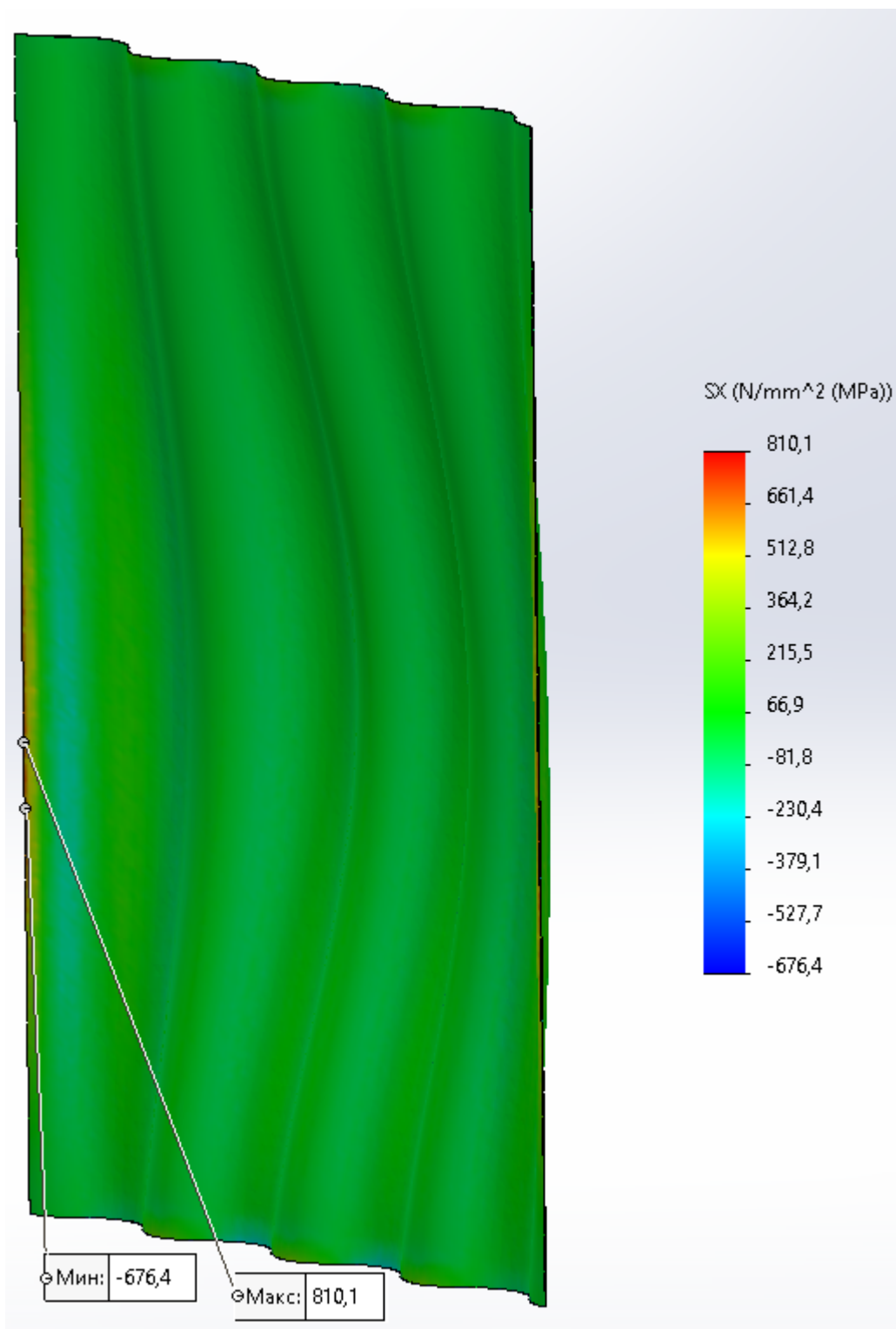


Рисунок 4.3 – Нормальні напруження у вертикальних перерізах перегородки
 $(\beta = 45^{\circ}, R = 1000 \text{ мм}, \text{теоретична вага } 33,2 \text{ т } (4,23 \text{ м}^3))$.

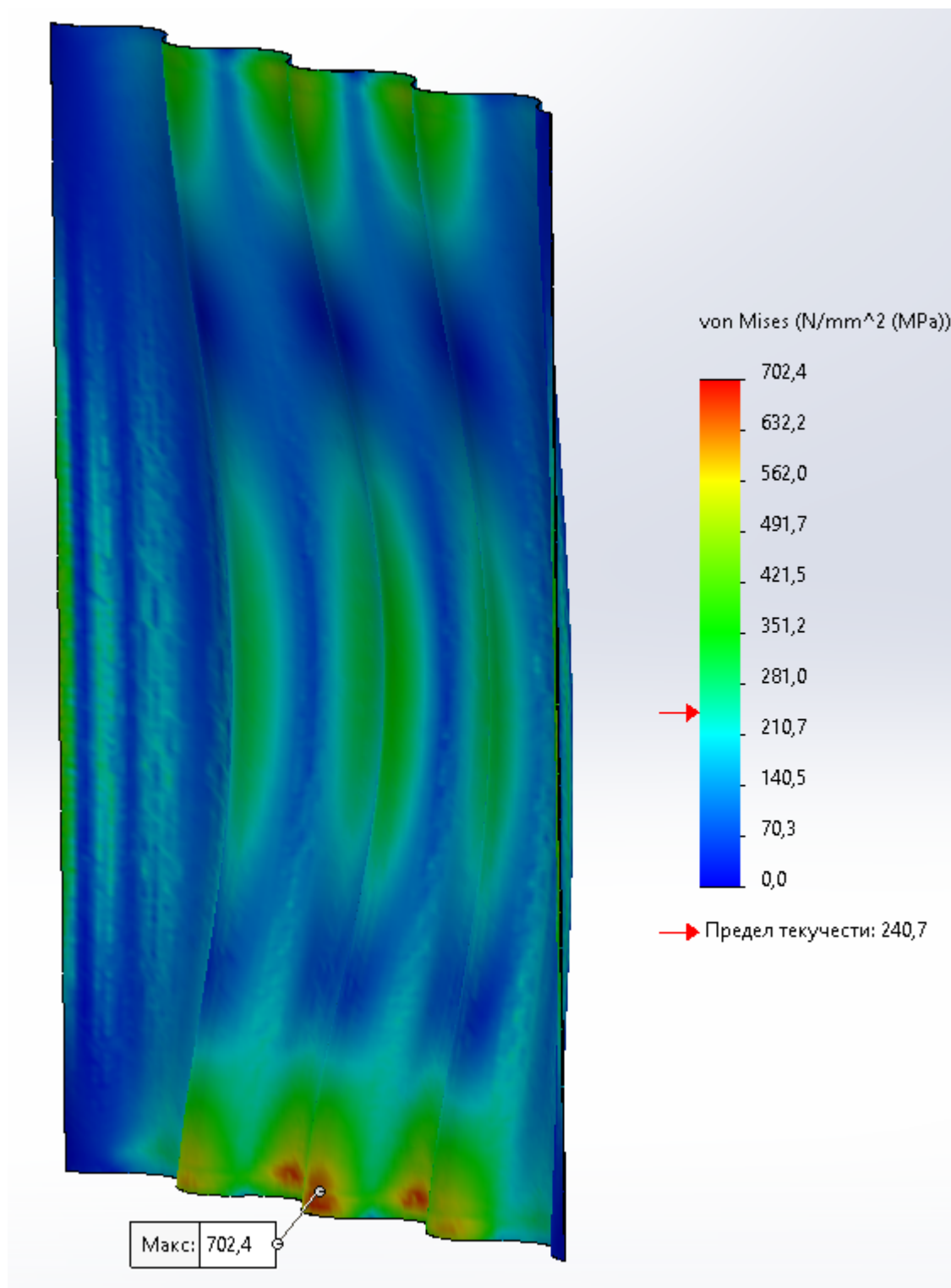


Рисунок 4.4 – Зведені напруження у площині перегородки за IV теорією
 $(\beta = 55^{\circ}, R = 890 \text{ мм}, \text{теоретична вага } 34,9 \text{ т (4,44 м}^3\text{)}).$

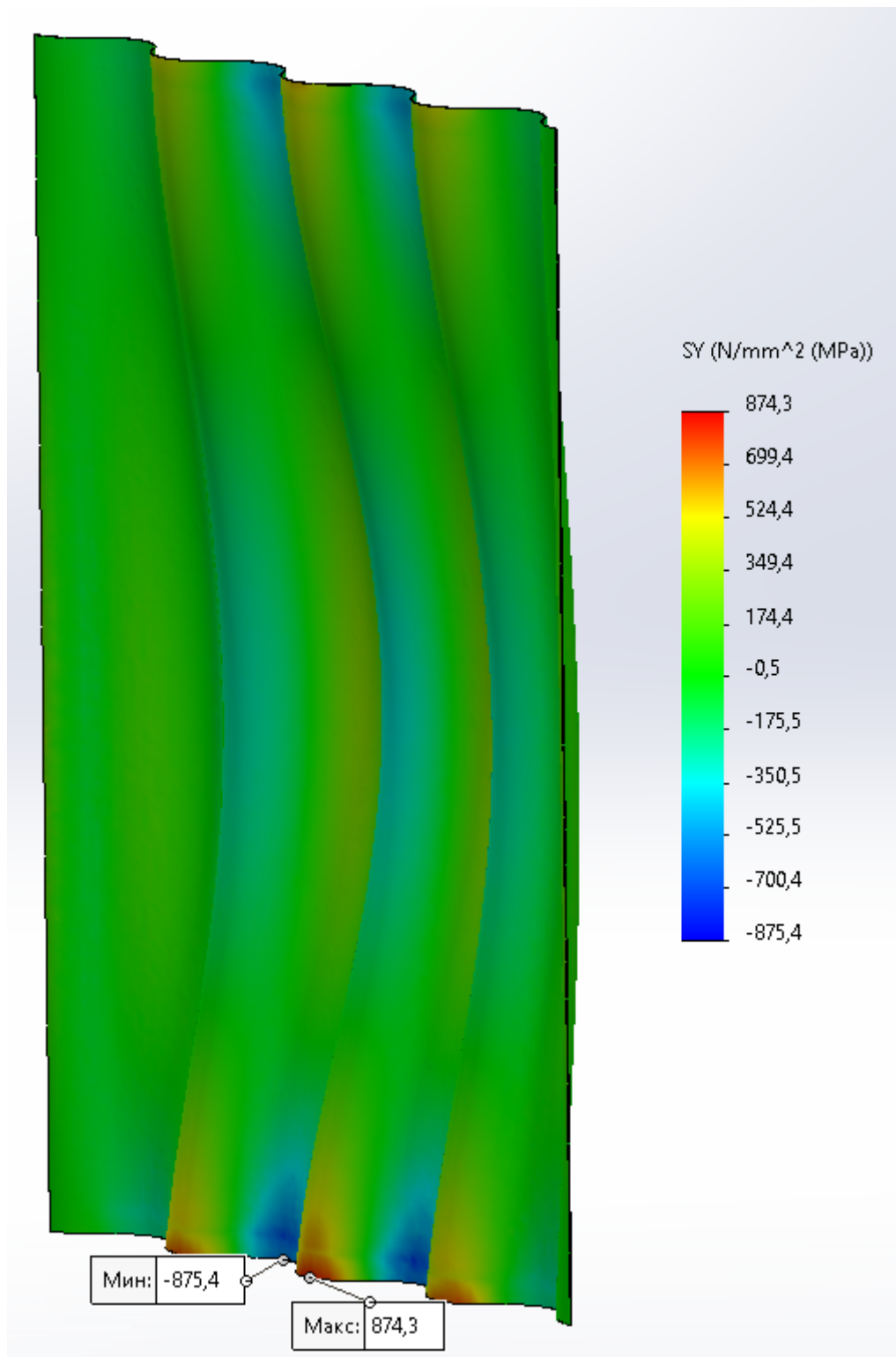


Рисунок 4.5 – Нормальні напруження у горизонтальних перерізах перегородки
 ($\beta = 55^0$, $R = 890$ мм, теоретична вага 34,9 т (4,44 м³)).

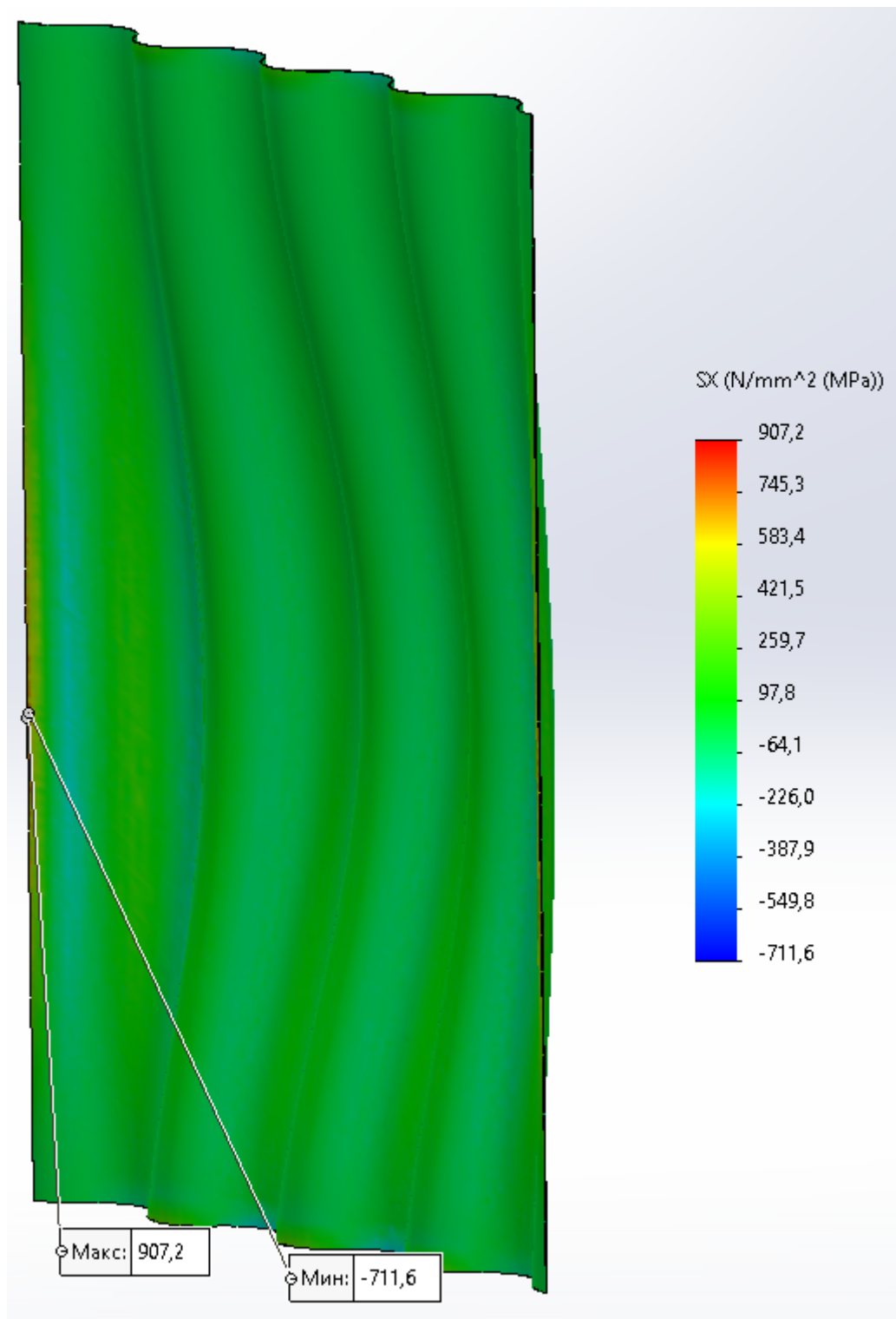


Рисунок 4.6 – Нормальні напруження у вертикальних перерізах перегородки ($\beta = 55^\circ$, $R = 890$ мм, теоретична вага 34,9 т (4,44 м³)).

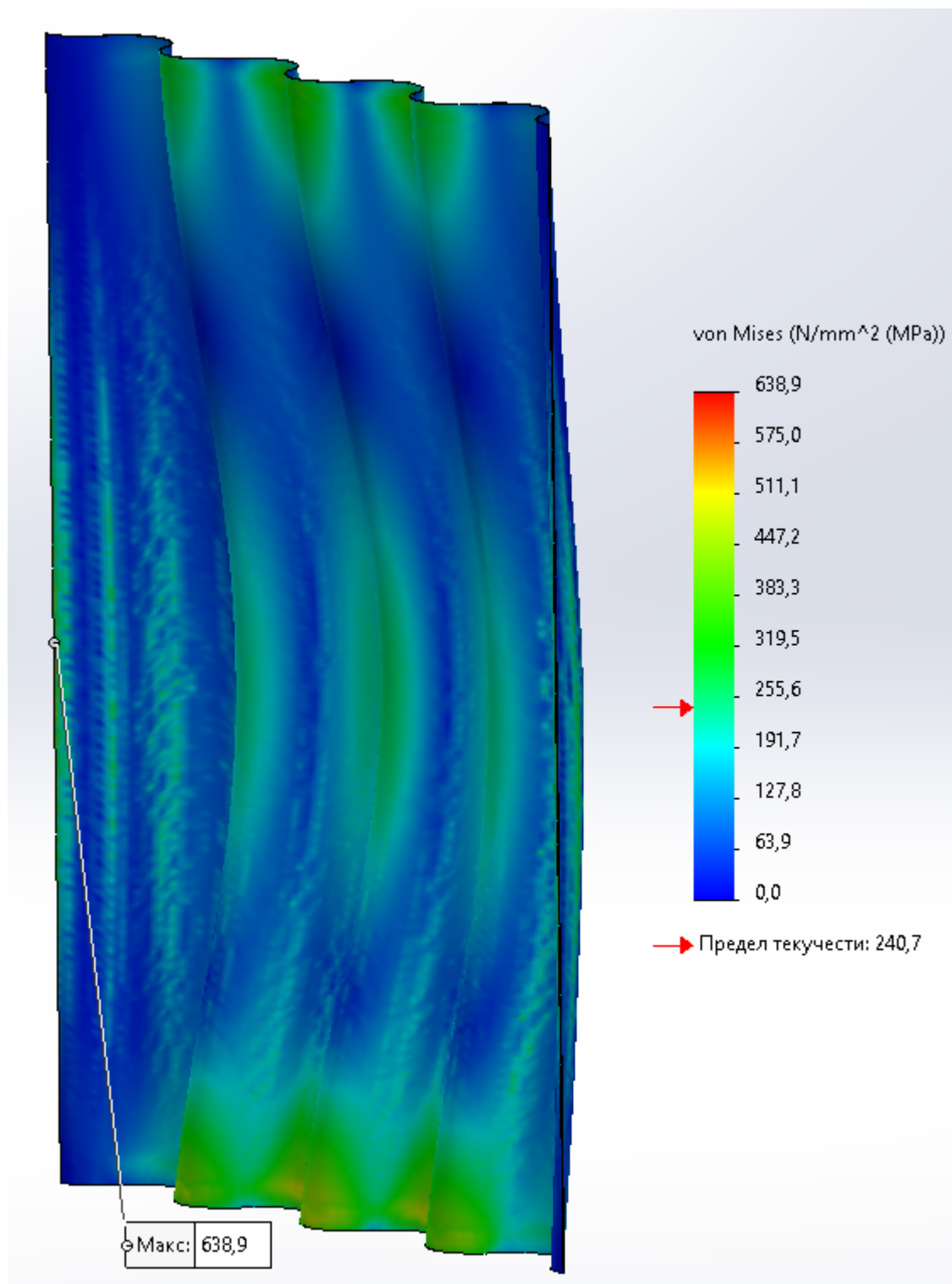


Рисунок 4.7 – Зведені напруження у площині перегородки за IV теорією
 $(\beta = 67^\circ, R = 760 \text{ мм}, \text{теоретична вага } 38, \text{ т } (4,874 \text{ м}^3))$.

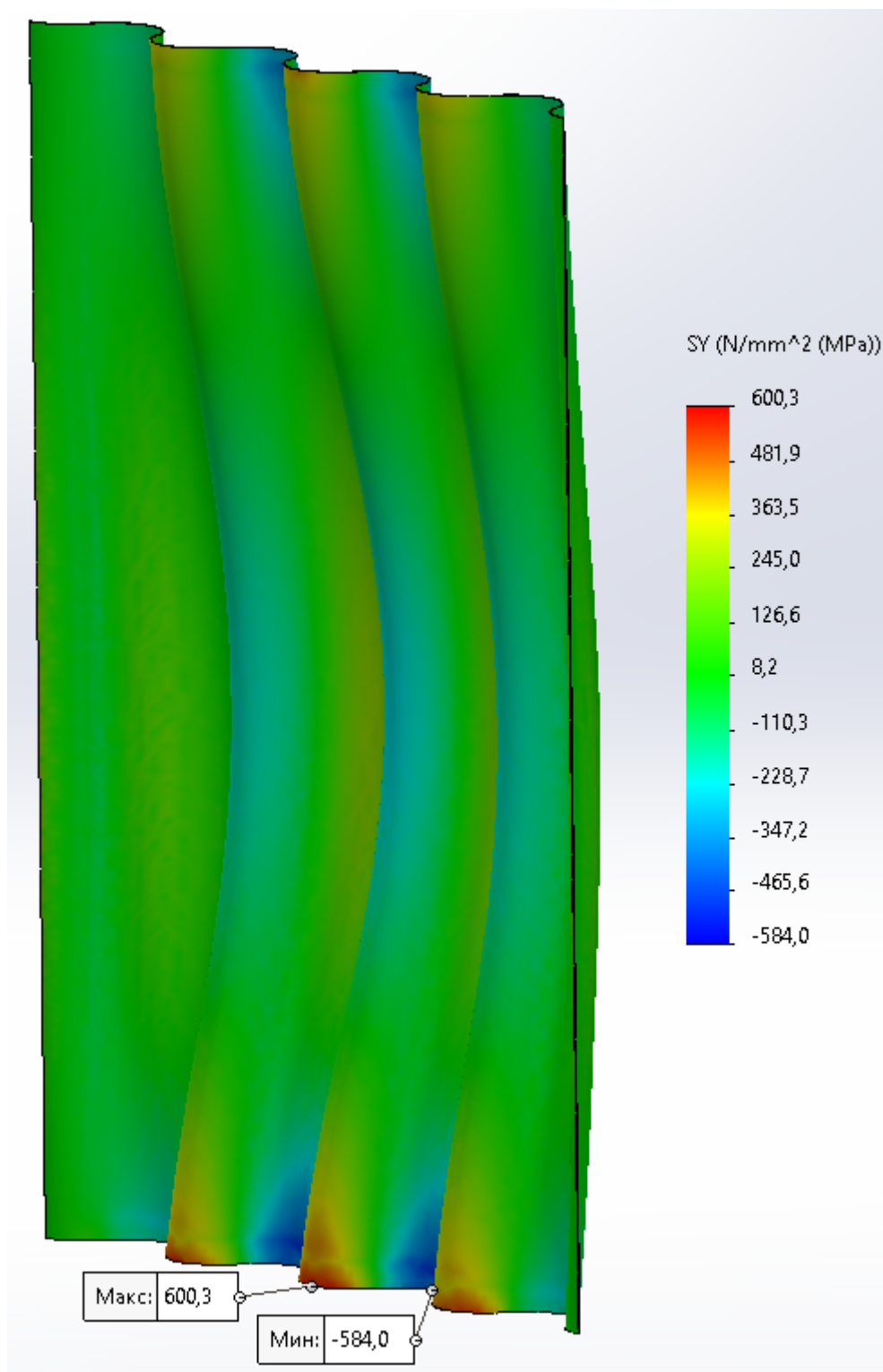


Рисунок 4.8 – Нормальні напруження у горизонтальних перерізах перегородки ($\beta = 67^\circ$, $R = 760$ мм, теоретична вага 38, т (4,874 м³)).

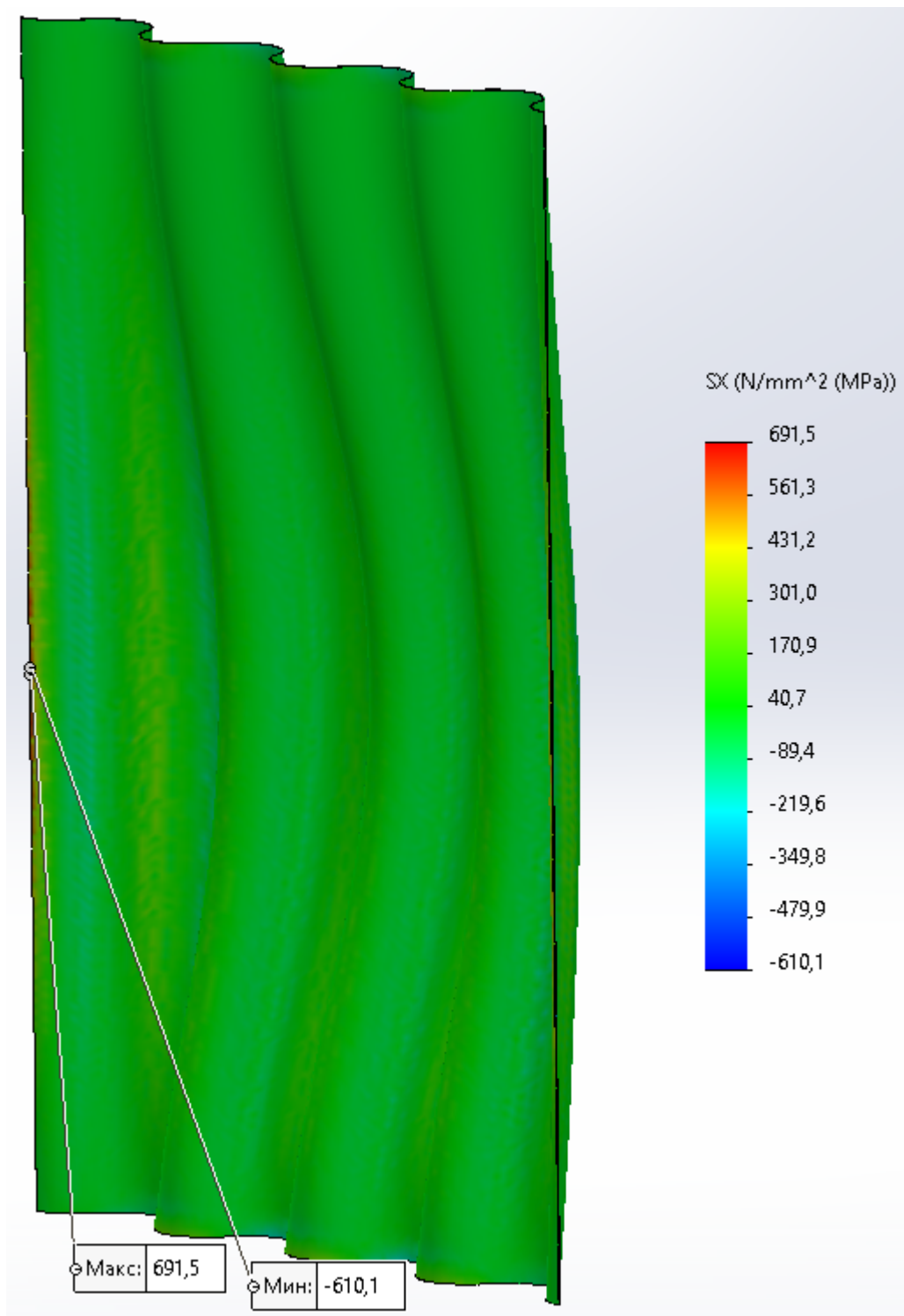


Рисунок 4.9 – Нормальні напруження у вертикальних перерізах перегородки
 $(\beta = 67^{\circ}, R = 760 \text{ мм}, \text{теоретична вага } 38, \text{ т } (4,874 \text{ м}^3))$.

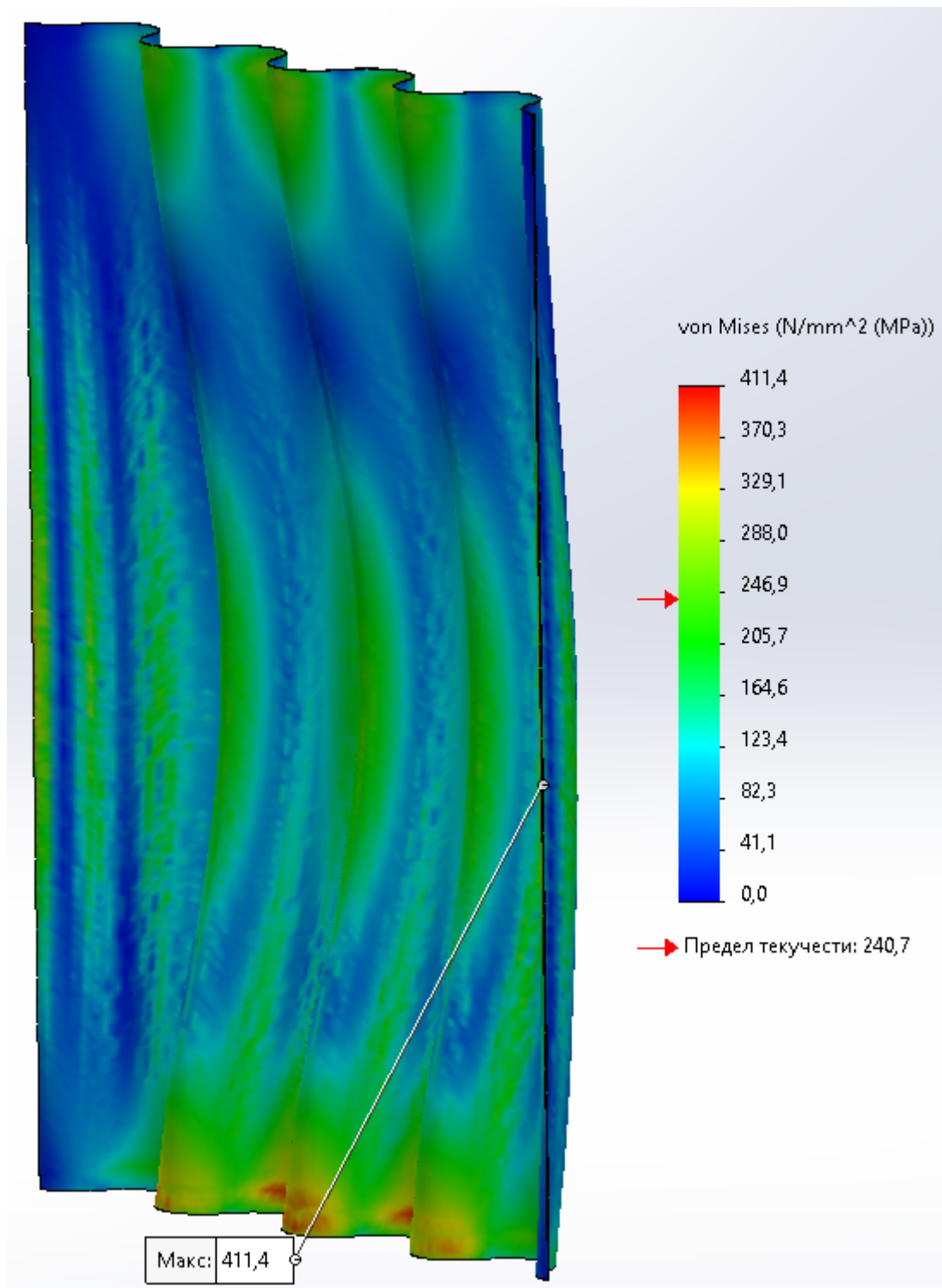


Рисунок 4.10 – Зведені напруження у площині перегородки за IV теорією
 $(\beta = 75^{\circ}, R = 720 \text{ мм}, \text{теоретична вага } 40,4 \text{ т } (5,14 \text{ м}^3))$.

Зміни	Аркуш	№ документа	Підпис	Дата

135.6116м.03.МР.ПЗ.04

Аркуш

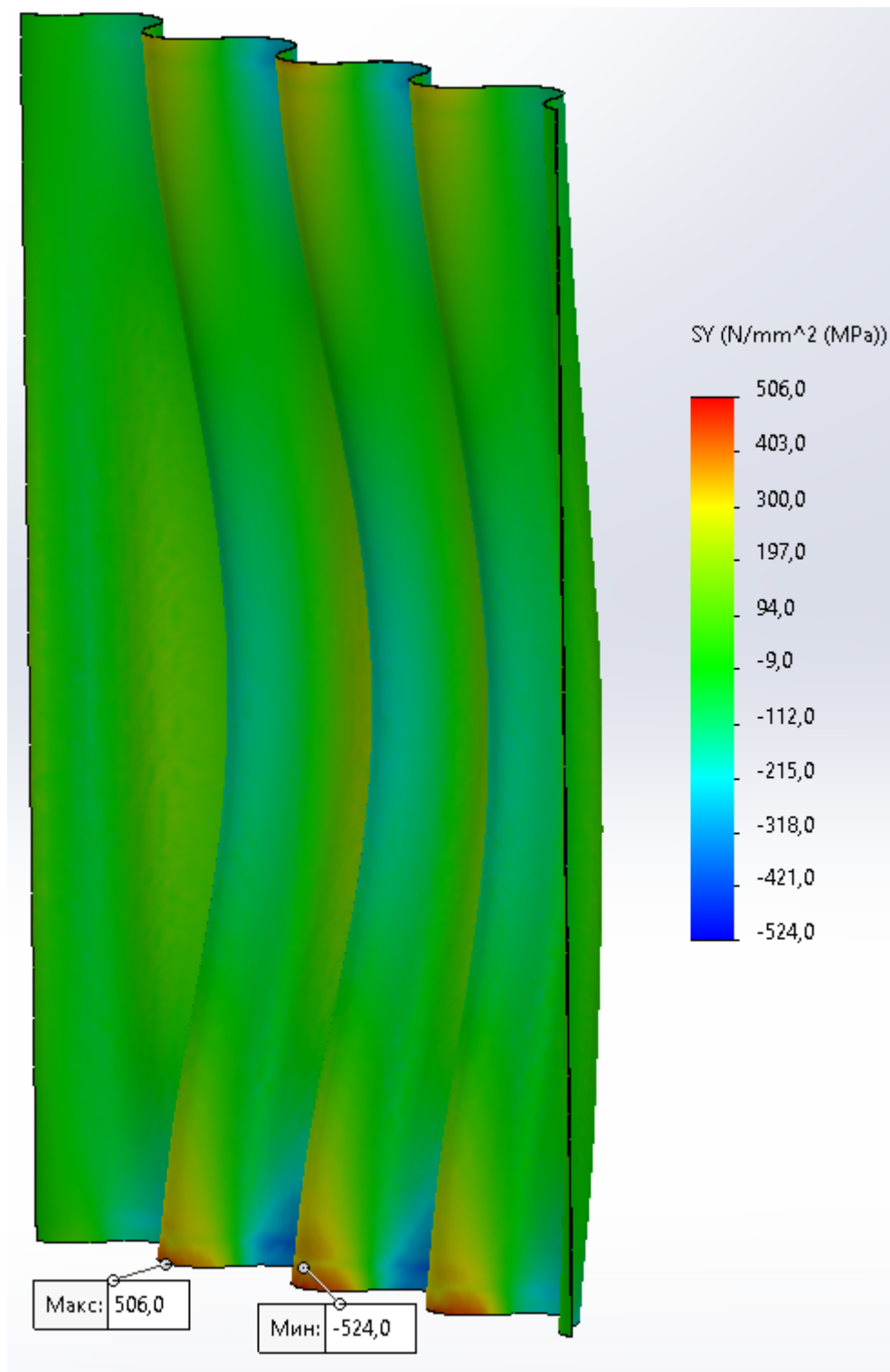


Рисунок 4.11 – Нормальні напруження у горизонтальних перерізах перегородки ($\beta = 75^\circ$, $R = 720$ мм, теоретична вага 40,4т (5,14 м³).

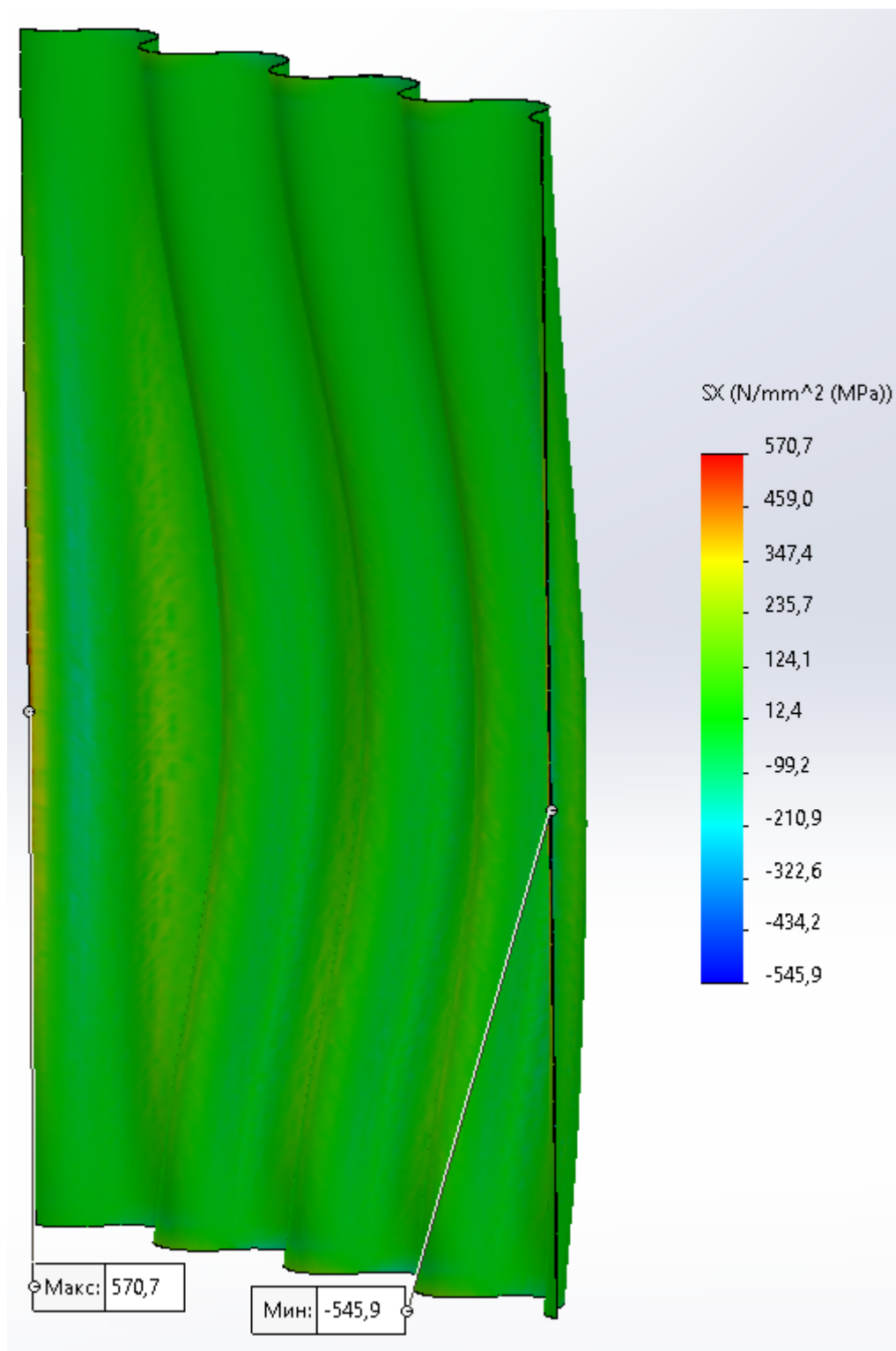


Рисунок 4.12 – Нормальні напруження у вертикальних перерізах перегородки
 ($\beta = 75^\circ$, $R = 720$ мм, теоретична вага 40,4т (5,14 м³).

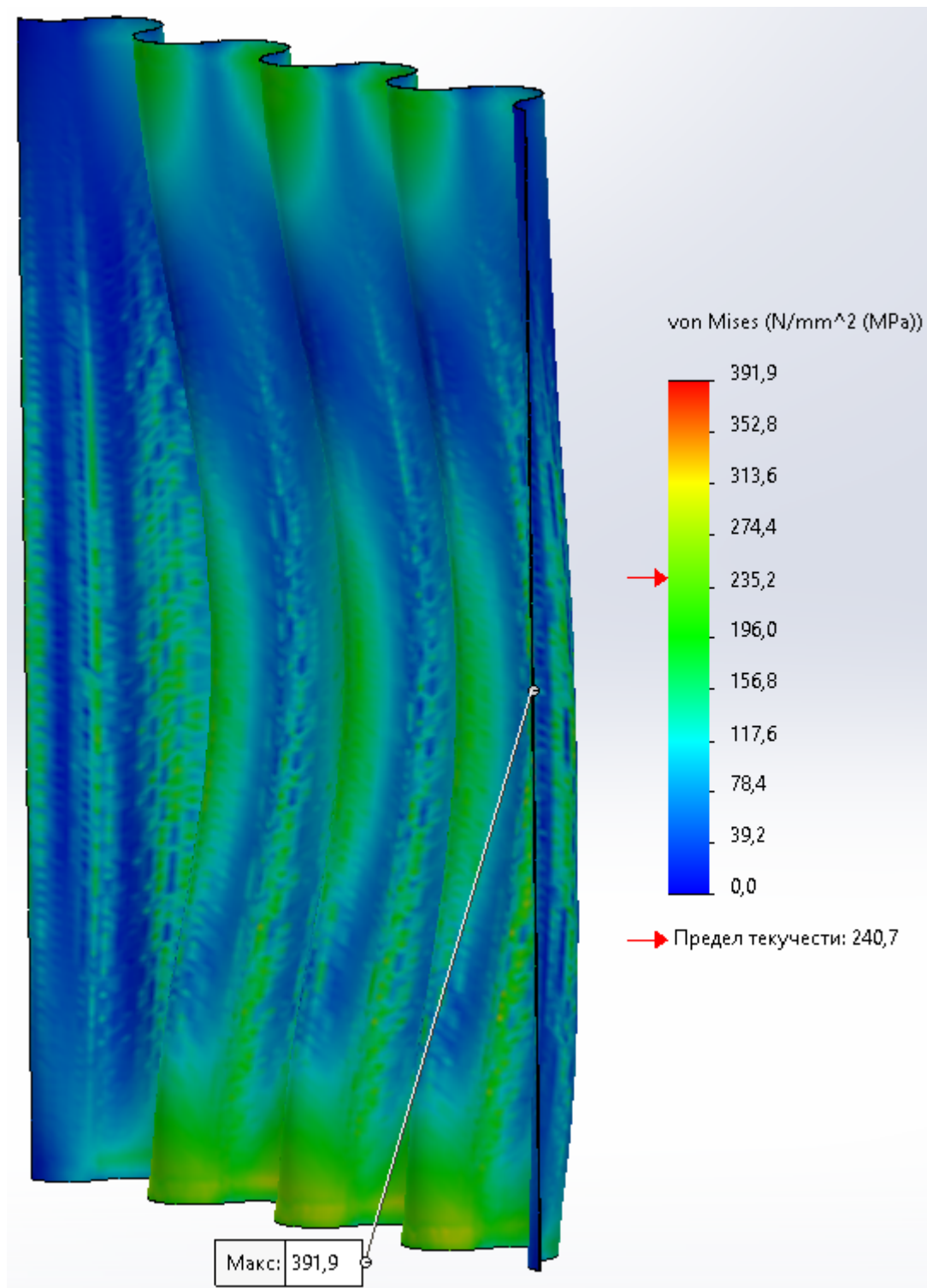


Рисунок 4.13 – Зведені напруження у площині перегородки за IV теорією
 $(\beta = 85^\circ, R = 700 \text{ мм}, \text{теоретична вага } 44,5 \text{ т } (5,66 \text{ м}^3))$.

Зміни	Аркуш	№ документа	Підпис	Дата

135.6116м.03.МР.ПЗ.04

Аркуш

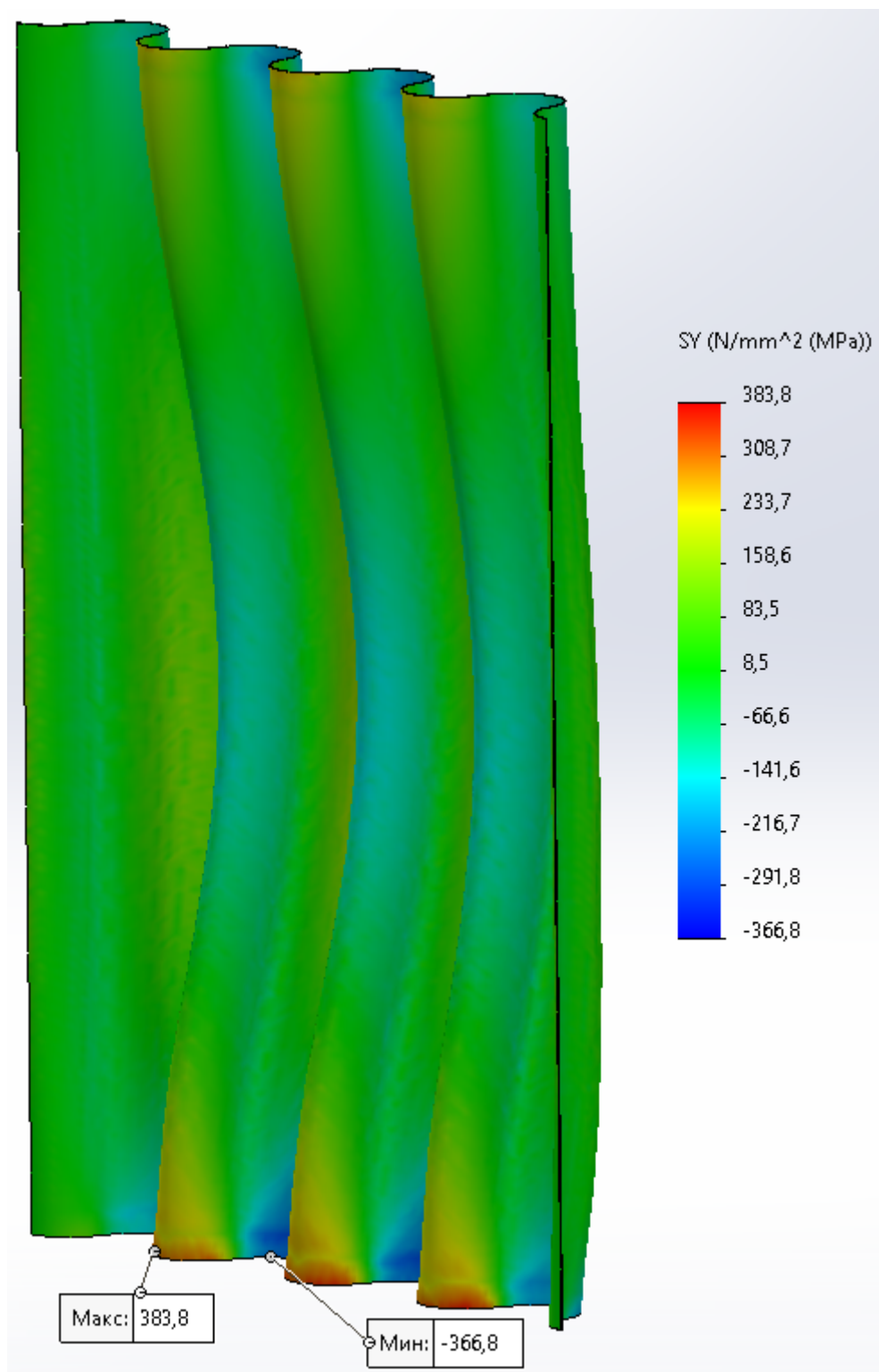


Рисунок 4.14 – Нормальні напруження у горизонтальних перерізах
 $(\beta = 85^\circ, R = 700 \text{ мм}, \text{теоретична вага } 44,5 \text{ т } (5,66 \text{ м}^3))$.

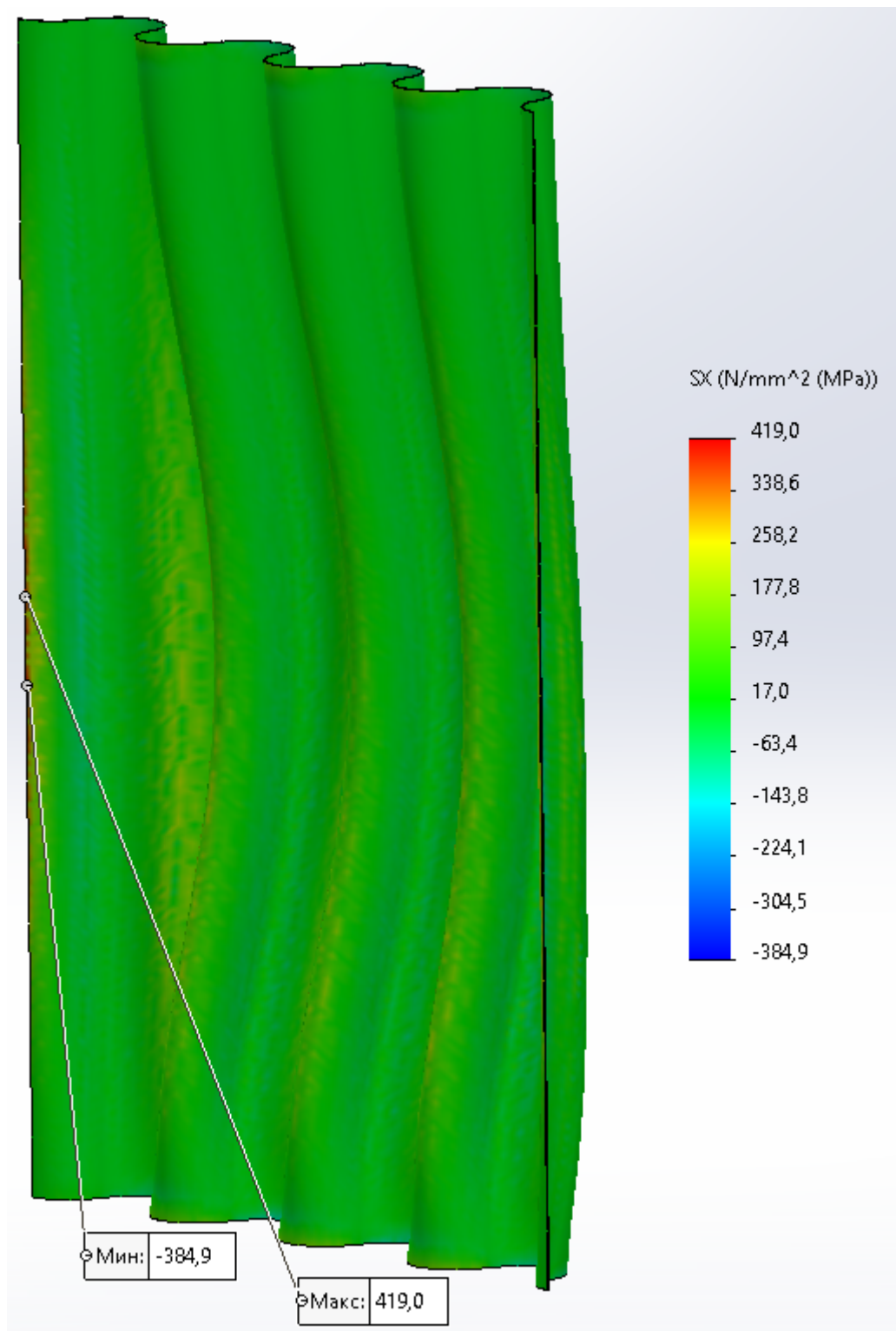


Рисунок 4.15 – Нормальні напруження у вертикальних перерізах перегородки
 $(\beta = 85^{\circ}, R = 700 \text{ мм}, \text{теоретична вага } 44,5 \text{ т } (5,66 \text{ м}^3))$.

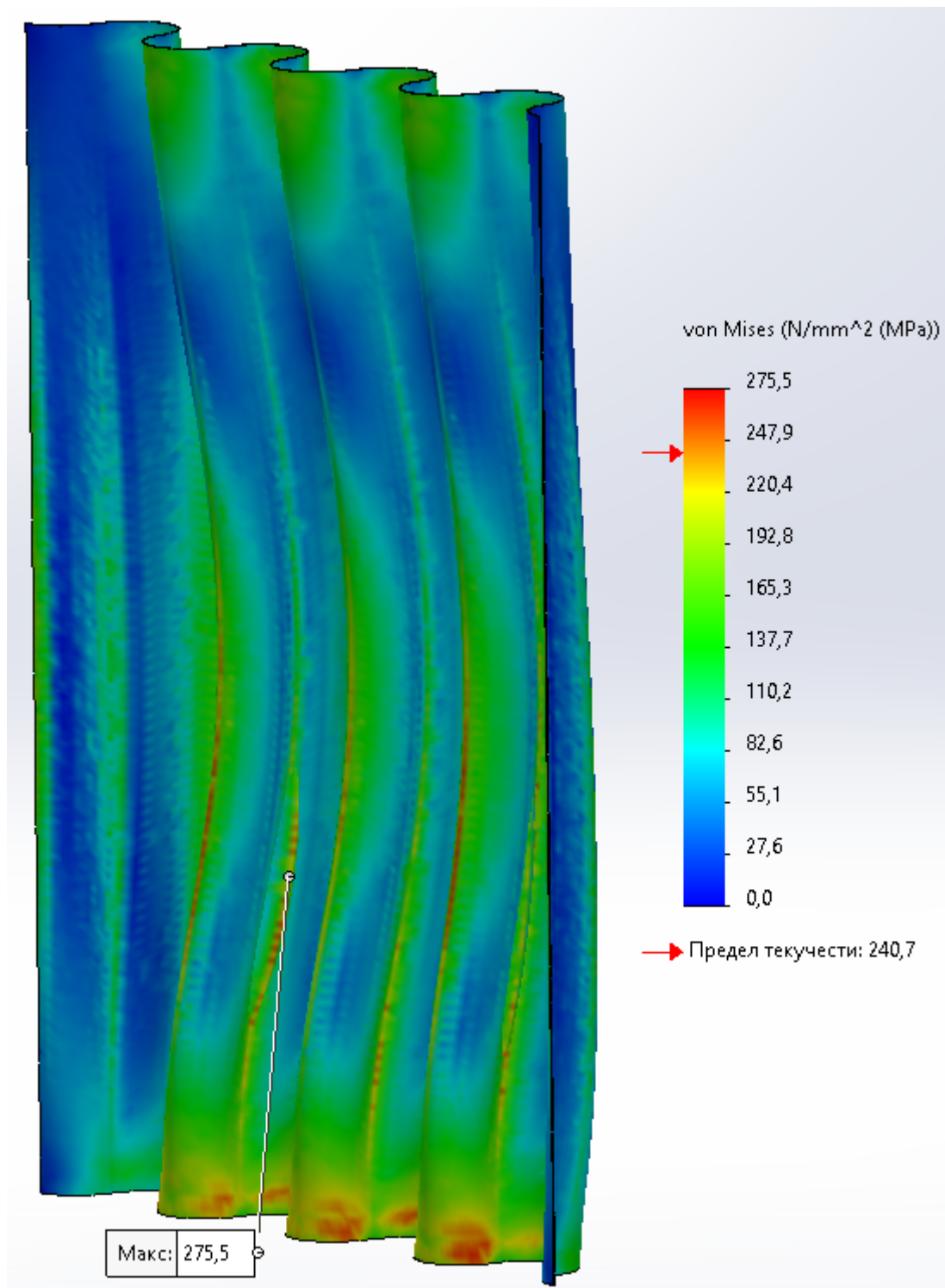


Рисунок 4.16 – Зведені напруження у площині перегородки за IV теорією
 $(\beta = 90^0, R = 700\text{ мм, теоретична вага } 47,1\text{ т } (6,00\text{ м}^3))$.

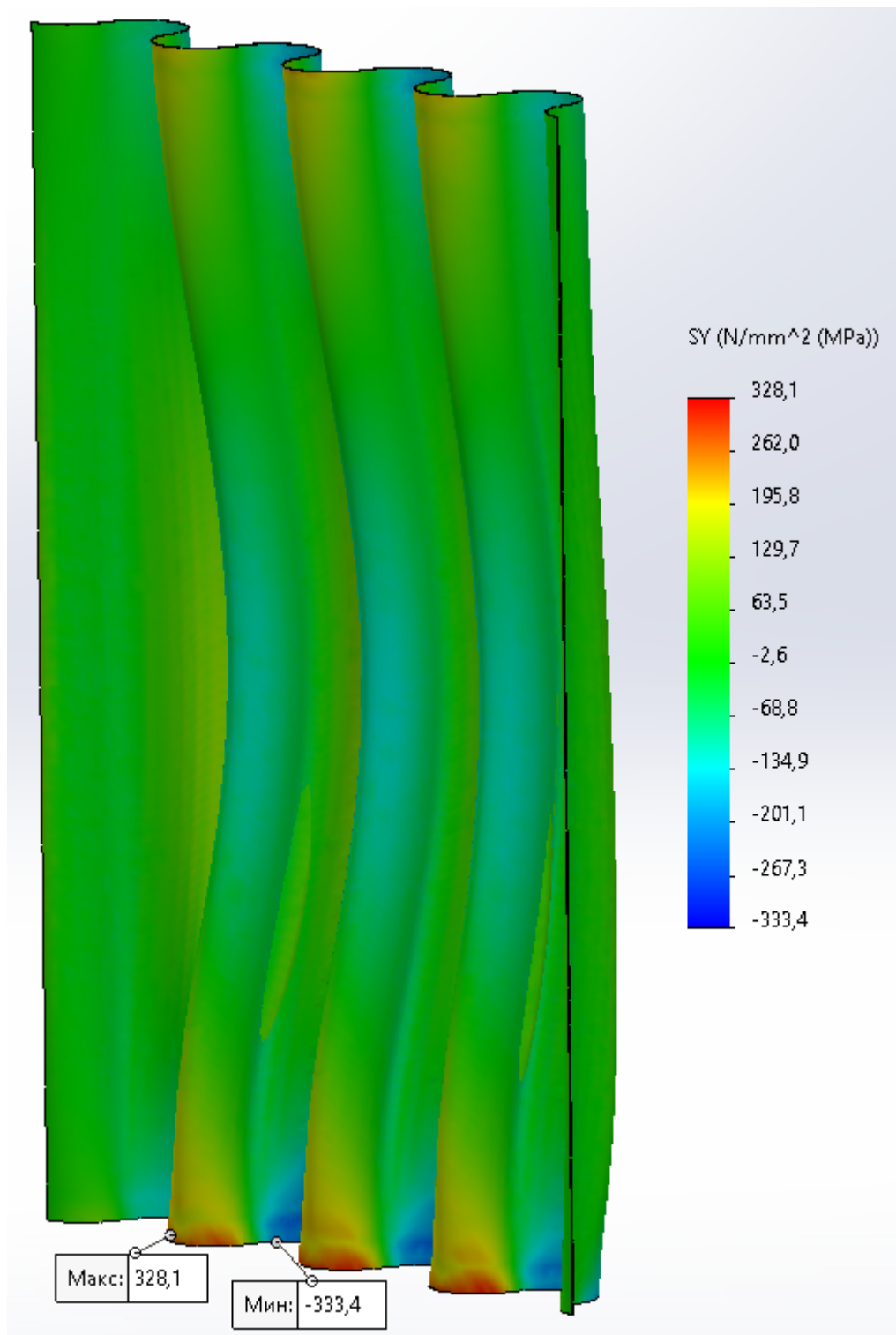


Рисунок 4.17 – Нормальні напруження у горизонтальних перерізах
 $(\beta = 90^\circ, R = 700 \text{ мм, теоретична вага } 47,1 \text{ т } (6,00 \text{ м}^3))$.

Зміни	Аркуш	№ документа	Підпис	Дата

135.6116м.03.МР.ПЗ.04

Аркуш

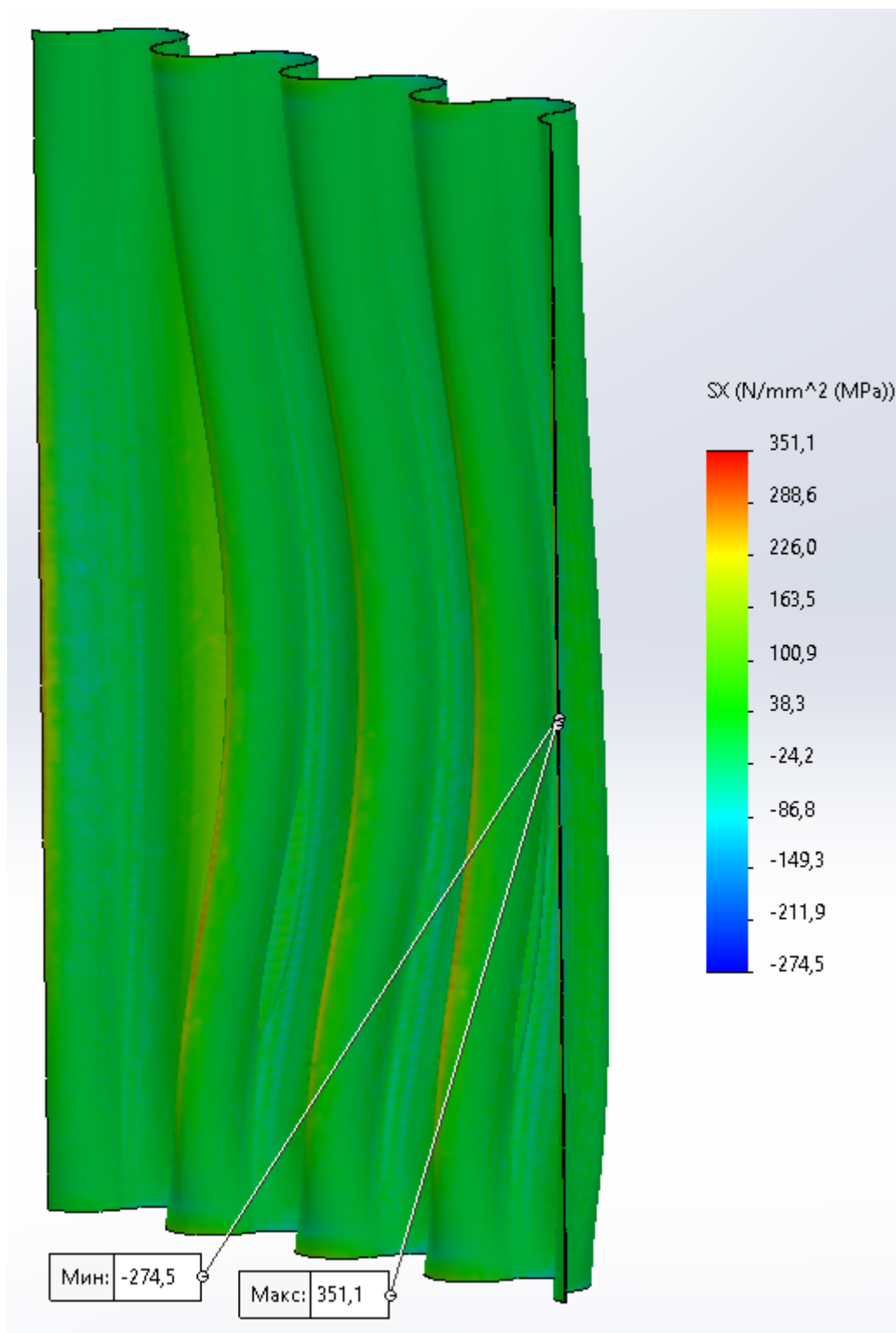


Рисунок 4.18 – Нормальні напруження у вертикальних перерізах перегородки ($\beta = 90^\circ$, $R = 700$ мм, теоретична вага 47,1т (6,00 м³).

Зміни	Аркуш	№ документа	Підпис	Дата

135.6116м.03.МР.ПЗ.04

Аркуш

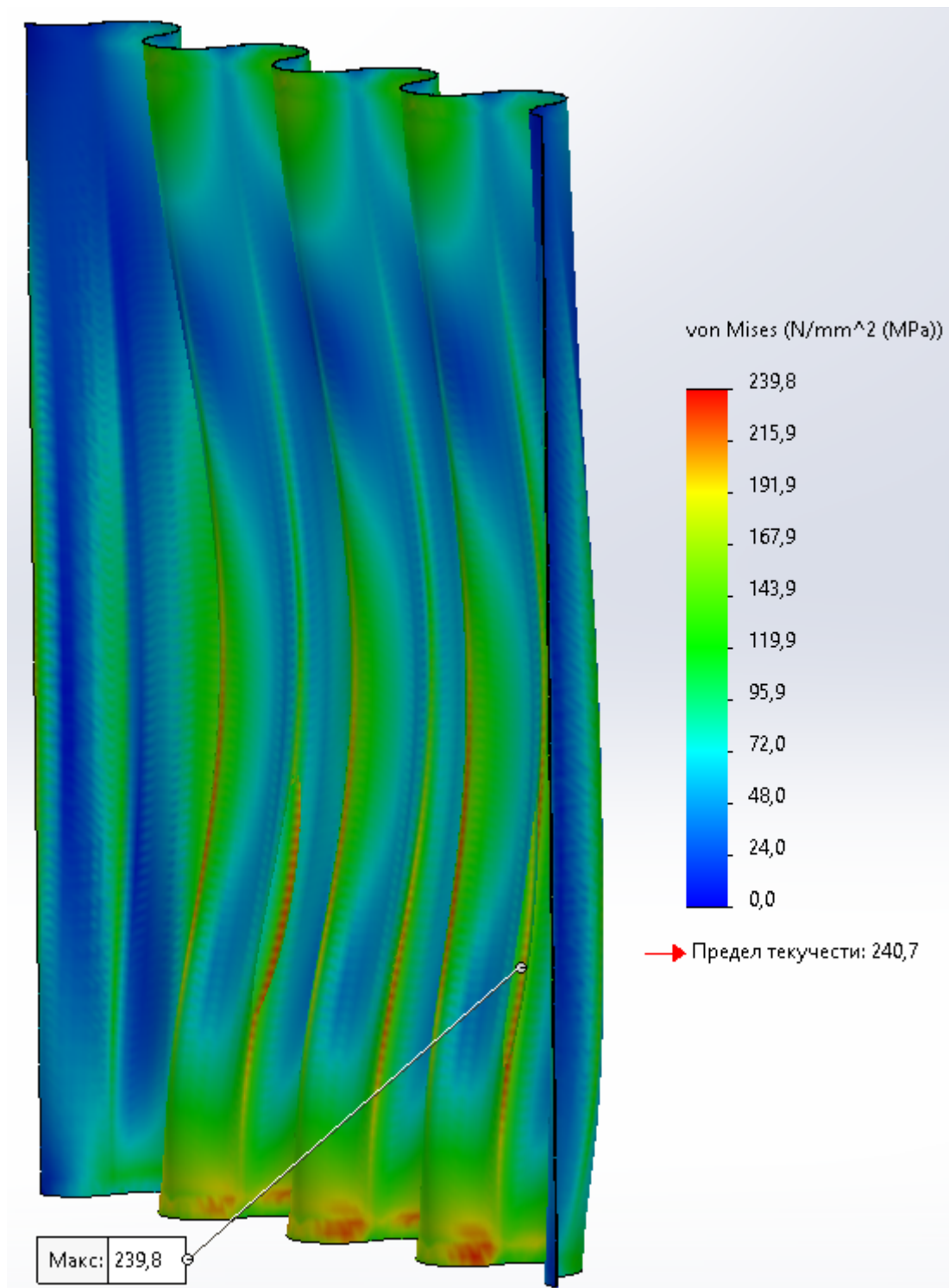


Рисунок 4.19 – Зведені напруження у площині перегородки за IV теорією
 $(\beta = 90^0, s = 24 \text{ мм, теоретична вага } 56,7 \text{ т } (7,22 \text{ м}^3))$.

Зміни	Аркуш	№ документа	Підпис	Дата

135.6116м.03.МР.ПЗ.04

Аркуш

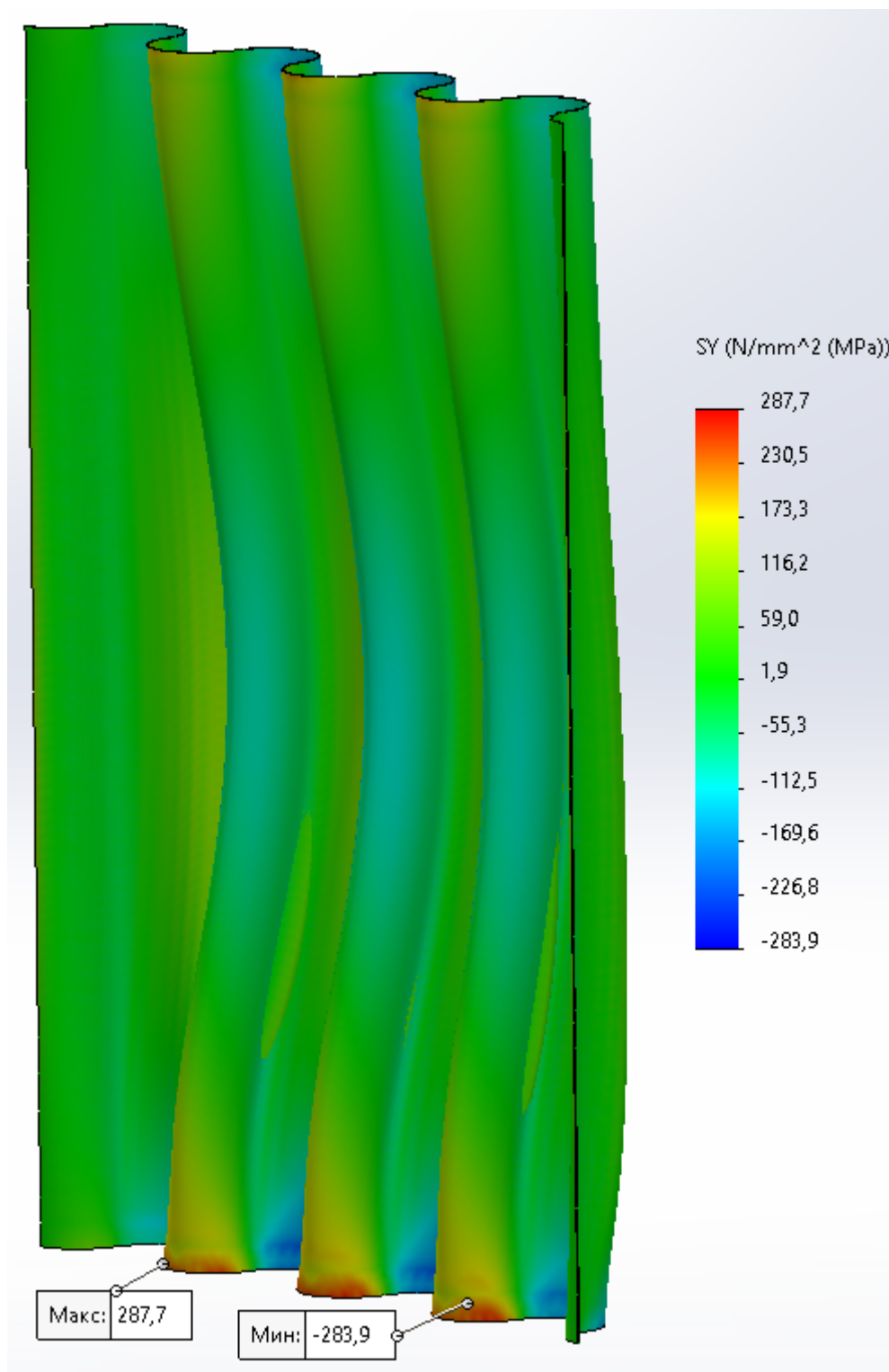


Рисунок 4.20 – Нормальні напруження у горизонтальних перерізах
($\beta = 90^0$, $s = 24$ мм, теоретична вага 56,7 т (7,22 м³)).

Зміни	Аркуш	№ документа	Підпис	Дата

135.6116м.03.МР.ПЗ.04

Аркуш

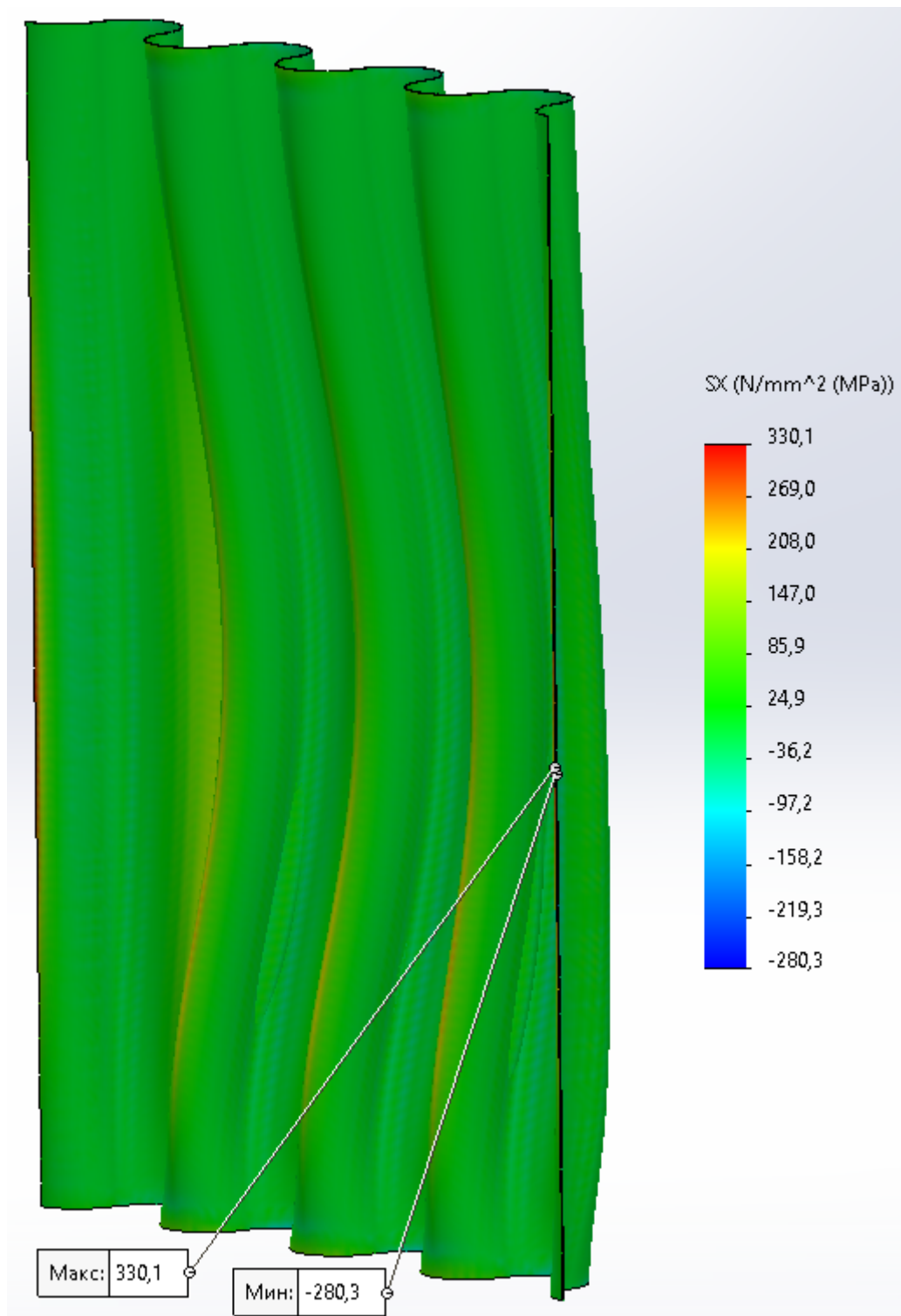


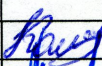
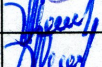
Рисунок 4.21 – Нормальні напруження у вертикальних перерізах перегородки
 $(\beta = 90^\circ, s = 24 \text{ мм, теоретична вага } 56,7 \text{ т } (7,22 \text{ м}^3))$.

Зведена таблиця впливу геометричних параметрів гофри на міцність перегородки

№	Товщина полотна s	Кут нахилу грані β	Радіус гофри R	Нормальні напруження σ_z	Зведені напруження σ_{IV}	Теоретична маса m_T
1	22	90	700	328	275	47,1(6,00м ³)
2	24	90	700	287	240	56,8(7,22м ³)
3	22	45	1000	864	664	33,2(4,23м ³)
4	22	55	890	874	702	39,4(4,44 м ³)
5	22	67	760	600	639	38,(4,87 м ³)
6	22	75	720	506	411	40,4(5,14 м ³)
7	22	85	700	383	391	40,4(5,14 м ³)
8	22	75	720	506	411	40,4(5,14 м ³)

Розрахунки виявили перенавантаження 10% при виборі параметрів за нормами РСУ. При збільшенні товщини стінки до 24 мм (на 9%) еквівалентні напруження зменшились до границі плинності. Маса конструкції при цьому зросла на 9,7т(20%)

					135.6116м.03.МР.ПЗ.04	Аркуш
Зміни	Аркуш	№ документа	Підпис	Дата		

					135.6116м.03.МР.ПЗ.05							
Зм.	Арк.	№ докум.	Підпис	Дата	Проектування плоскої перегородки з вертикальними стояками і порівняння її ваги та міцності з гофрованими				Літ	Аркуш	Аркушів	
Студент	Калінін Г.М.		16.12									
Консульт.	Клименков С.Ю.		16.12									
Руковод.	Клименков С.Ю.		16.12									
Зав. Кафедр.	Коростильов Л.І.		16.12									
					НУК							

РОЗДІЛ 5. ПРОЕКТУВАННЯ ПЛОСКОЇ ПЕРЕГОРОДКИ З ВЕРТИКАЛЬНИМИ СТОЯКАМИ І ПОРІВНЯННЯ ЇЇ ВАГИ ТА МІЦНОСТІ З ГОФРОВАНИМИ

Ширина приєднаного пояска a_n , м, балок основного набору дорівнює меншій з величин, що визначаються за формулами:

$$a_n = \frac{l}{6};$$

$$a_n = \frac{a_1 + a_2}{2},$$

де: a_1, a_2 – відстань розгляданої балки набору від найближчих балок того ж напрямку, розташованих з обох боків від розгляданої балки, м.

$$\frac{l}{6} = \frac{16,8}{6} = 2,8 \text{ м, приймаємо } a_n = 1,2 \text{ м.}$$

Для вільно обпертих по кінцях рамних балок довжина зведеного прогону $l_{np} = l$, для жорстко закріплених балок $l_{np} = 0,6l$.

Момент опору балки, що розглядається, см^3 , без врахування запасу на знос визначається за формулою:

$$W = \frac{Ql \cdot 10^{-3}}{m \cdot k_{\sigma} \cdot \sigma_n} = \frac{2540 \cdot 0,6 \cdot 16,80 \cdot 10^3}{12 \cdot 0,9 \cdot 235} = 10080 \text{ см}^3.$$

де: $Q = p \cdot a_{np} \cdot l = 126 \cdot 1,2 \cdot 16,8 = 2540 \text{ кН}$ – поперечне навантаження на ребро.

Момент опору повинен бути збільшений на величину ΔW яка відповідає збільшенню товщини стінки на Δs , що враховує коригування на знос і корозію.

Площа поперечного перерізу стінки балки основного і рамного набору з урахуванням вирізів f_c , см^2 , повинна бути не менше:

$$f_c = \frac{10N_{\max}}{k_{\tau} \tau_n} + 0,1h\Delta s,$$

					135.6116м.03.МР.ПЗ.05	Аркуш
Зміни	Аркуш	№ документа	Підпис	Дата		

де: $N_{\max}$, k_{τ} – максимальне значення перерізуючої сили і коефіцієнт допустимих дотичних напружень, які визначені у відповідних підрозділах Правил [7];

h – загальна висота профілю балки, см;

$\tau_n = 0,57\sigma_n$ – див. 1.1.4.3[7];

$\Delta s = 2,6$ мм – запас на знос і корозію (визначено нижче).

$$N_{\max} = \frac{p \cdot a_{np} \cdot l_{np}}{3} = \frac{168 \cdot 1,2 \cdot 0,6 \cdot 16,8}{3} = 2032 \text{ кН.}$$

$$f_c = \frac{10 \cdot 2032}{0,75 \cdot 0,57 \cdot 235} + 0,1 \cdot 100 \cdot 2,6 = 229 \text{ см}^2,$$

$$f_c = h \times s = 100 \times 2,4 = 240 > 229 \text{ см}^2,$$

$$\text{або } f_c = h \times s = 120 \times 2,0 = 240 > 229 \text{ см}^2,$$

$$\text{або } f_c = h \times s = 130 \times 1,8 = 234 > 229 \text{ см}^2.$$

Висота стінки повинна бути не менше 100 см при товщині настилу 24 мм, або 120 см при товщині 20 мм, або 130 см при товщині 18 мм.

Товщина настилу або обшивки s , мм, завантажених поперечним навантаженням, повинна бути не менше

$$s = m \cdot a \cdot k \sqrt{\frac{p}{k_{\sigma} \sigma_n}} + \Delta s,$$

де $a = 1,2$ – відстань між стояками, м;

$$k = 1,2 - 0,5 \cdot \frac{a}{a_1} = 1,2 - 0,5 \cdot \frac{1,2}{16,8} = 1,16 \leq 1, \text{ приймаємо } k = 1;$$

$m = 15,8$ – коефіцієнт згинального моменту (для перегородок танків);

$p = \alpha \cdot z_n = 7,5 \cdot 16,8 = 126$ кПа – тиск на рівні II дна, визначений за 2.7.3.1;

$z_n = 16,8$ м – відстань, виміряна в діаметральній площині, від точки прикладання розрахункового навантаження до її верхнього рівня, м; верхнім рівнем навантаження є: палуба перегородок – для водонепроникних перегородок;

$k_{\sigma} = 0,9$ – коефіцієнт допустимих напружень для поперечних перегородок;

$\sigma_n = 235$ МПа – розрахункова нормативна границя плинності матеріалу за нормальними напруженнями (для категорії В).

					135.6116м.03.МР.ПЗ.05	Аркуш
Зміни	Аркуш	№ документа	Підпис	Дата		

Запаси на знос і корозію Δs , мм, приймаються для конструкцій, планований строк служби яких перевищує 12 років, та визначаються за формулою:

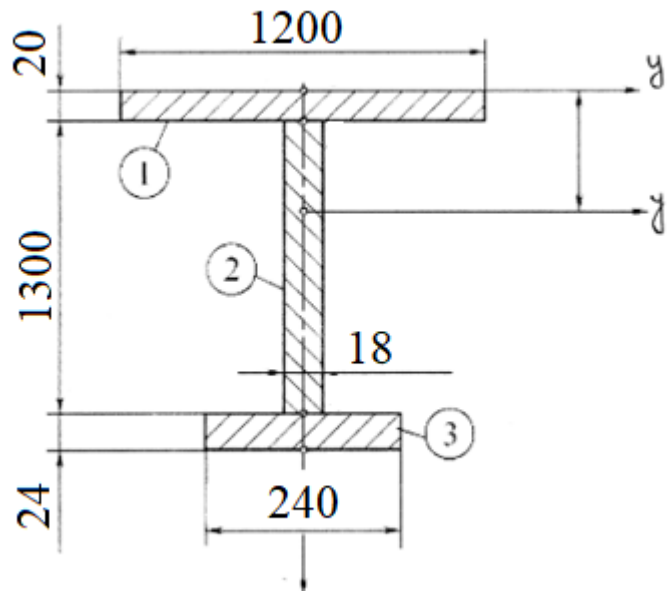
$$\Delta s = u(T - 12) = 0,2(25 - 12) = 2,6 \text{ мм}$$

$T = 25$ – планований строк служби конструкції, роки;

$u = 0,2$ мм/рік – середньорічне зменшення товщини елементів конструкцій корпусу для перегородок вантажних танків суден II групи (наливні судна, судна для навалювальних вантажів, комбіновані судна та аналогічні їм за умовами експлуатації.)

$$s = 15,8 \cdot 1,2 \cdot 1 \sqrt{\frac{126}{0,9 \cdot 235}} + 2,6 = 17,23 \text{ мм.}$$

Розраховуємо момент опору стояка з урахуванням приєднаного пояса



№ в'язі	Розміри, мм			Площа F_i , см ²	Відстань від y' z_i см	$F_i \cdot z_i$ см ³	$F_i \cdot z_i^2$ см ⁴	$i_{e.l}$ см ⁴
1	20	x	1200	240	1,0	240	240	80
2	18	x	1300	234	67,0	15678	1050426	329550
3	24	x	240	58	133,2	7672	1021953	28
				Σ_1 532		Σ_2 23590	Σ_3 2402277	

Момент інерції

$$I = \Sigma_3 - \frac{\Sigma_2^2}{\Sigma_1} = 2402277 - \frac{23590^2}{532} = 1356247 \text{ см}^4.$$

Момент опору

$$W = \frac{2I}{h} = \frac{2 \cdot 1356247}{130} = 10433 \text{ см}^3.$$

Розрахований момент опору вищий за мінімальний. Конструкція стояка відповідає вимогам [7].

Приймаємо остаточно наступні геометричні параметри полотна перегородки:

$s = 20$ мм – товщина обшиви;

$h = 1300$ мм – висота стінки стояка;

$t = 18$ мм – товщина стінки стояка;

$t' \times b' = 24 \times 240$ мм – товщина і ширина вільного пояса стояка;

$d = 1,2$ м – відстань між стояками;

$H_{mp} = 16,8$ м – загальна висота полотна;

$B_{mp} = 11,2$ м – загальна ширина полотна.

Розрахунок місцевої міцності полотна перегородки ведемо в програмному комплексі SolidWORK 2020, блок Simulation.

Полотно жорстко зафіксовано по лініях з'єднання з палубою і настилом другого дна, що відповідає умовам жорсткого затиснення, і плоскою частиною зафіксоване на поздовжній перегородці і борті, що майже відповідає умовам вільного спирання. Поперечне навантаження приймаємо у вигляді гідростатичного тиску, розподіленого за законом трикутника, 0 – на рівні верхньої палуби, 16.8 кПа на рівні другого дна, що відповідає заповненню вантажного відсіку водою до рівня верхньої палуби.

Матеріал полотна і стояків – вуглецева сталь категорії В, границя плинності 240 МПа, модуль пружності при розтяганні $2 \cdot 10^5$ МПа, коефіцієнт Пуассона 0,3, щільність 7885 кг/м³.

					135.6116м.03.МР.ПЗ.05	Аркуш
Зміни	Аркуш	№ документа	Підпис	Дата		

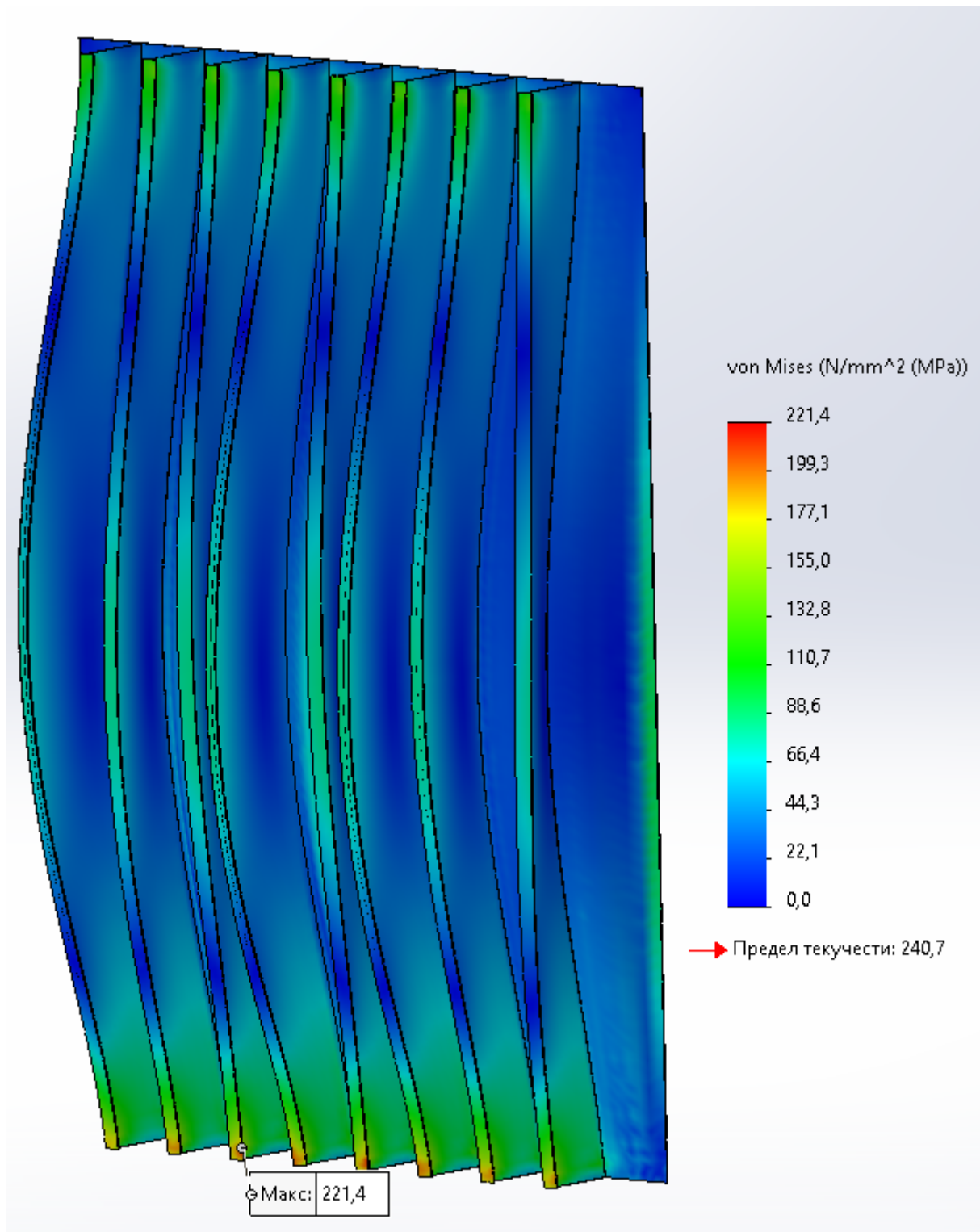


Рисунок 5.1 – Зведені напруження у площині перегородки за IV теорією
 $(b = 1200, h = 1300, s = 20 \text{ мм}, \text{теоретична вага } 59,9 \text{ т } (7,60 \text{ м}^3))$.

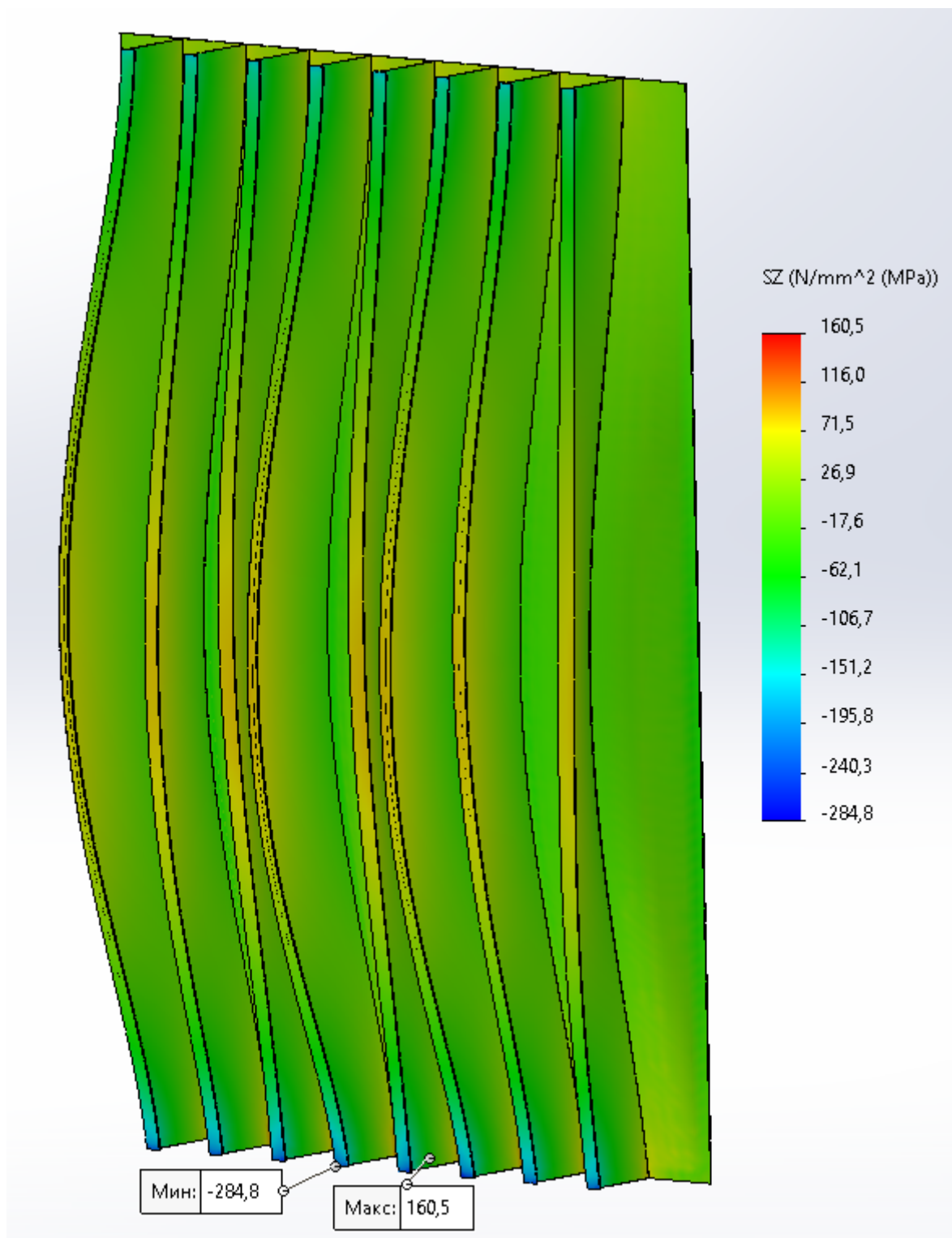


Рисунок 5.2 – Нормальні напруження у горизонтальних перерізах
 ($b = 1200$, $h = 1300$ $s = 20$ мм, теоретична вага 59,9т (7,60 м³).

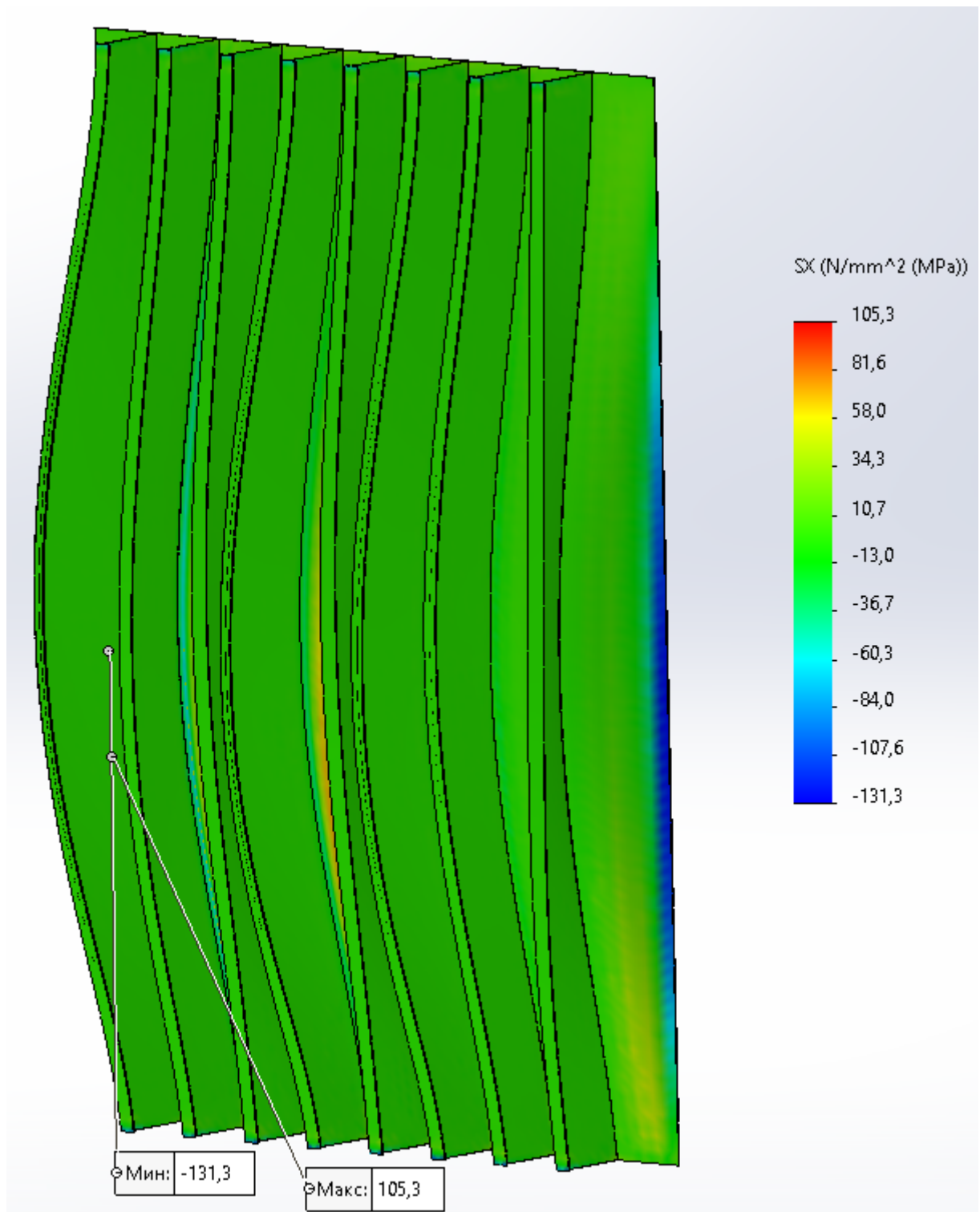


Рисунок 5.3 – Нормальні напруження у вертикальних перерізах перегородки
 $(b = 1200, h = 1300, s = 20 \text{ мм}, \text{теоретична вага } 59,9 \text{ т } (7,60 \text{ м}^3))$.

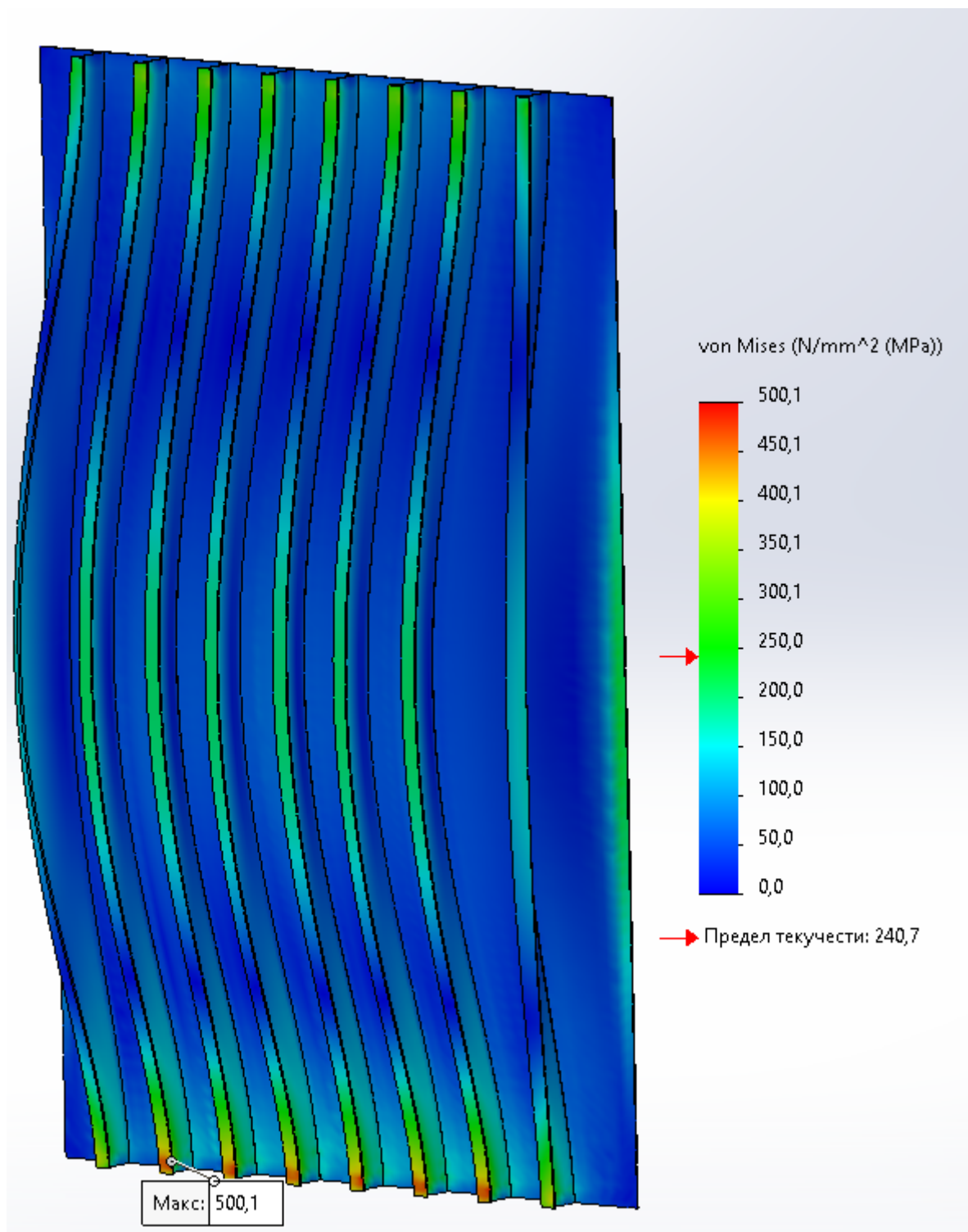


Рисунок 5.4 – Зведені напруження у площині перегородки за IV теорією
($b = 1200$, $h = 600$ $s = 20$ мм, теоретична вага 52,1т (6,61 м³).

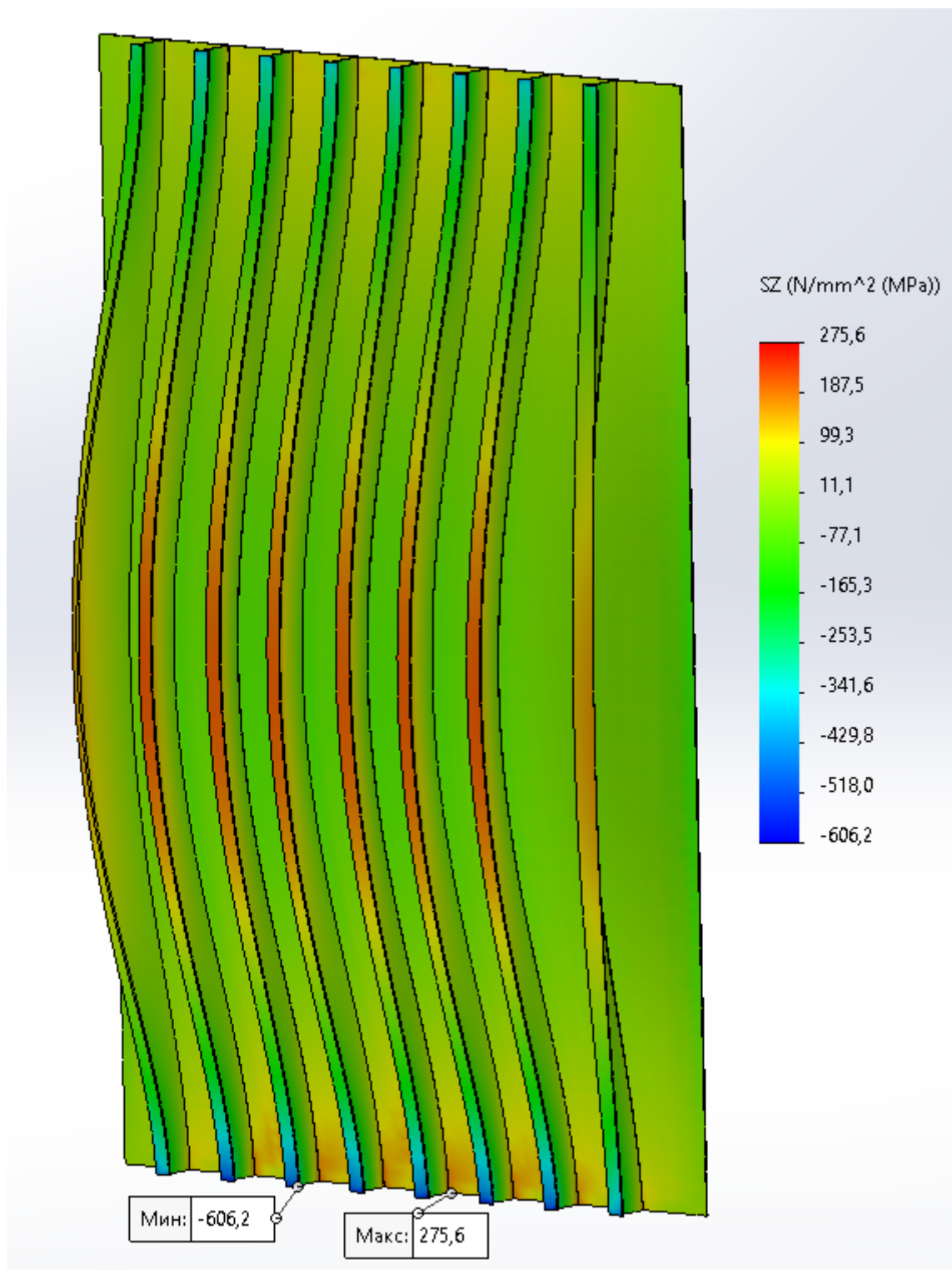


Рисунок 5.5 – Нормальні напруження у горизонтальних перерізах
 ($b = 1200$, $h = 600$ $s = 20$ мм, теоретична вага 52,1т (6,61 м³).

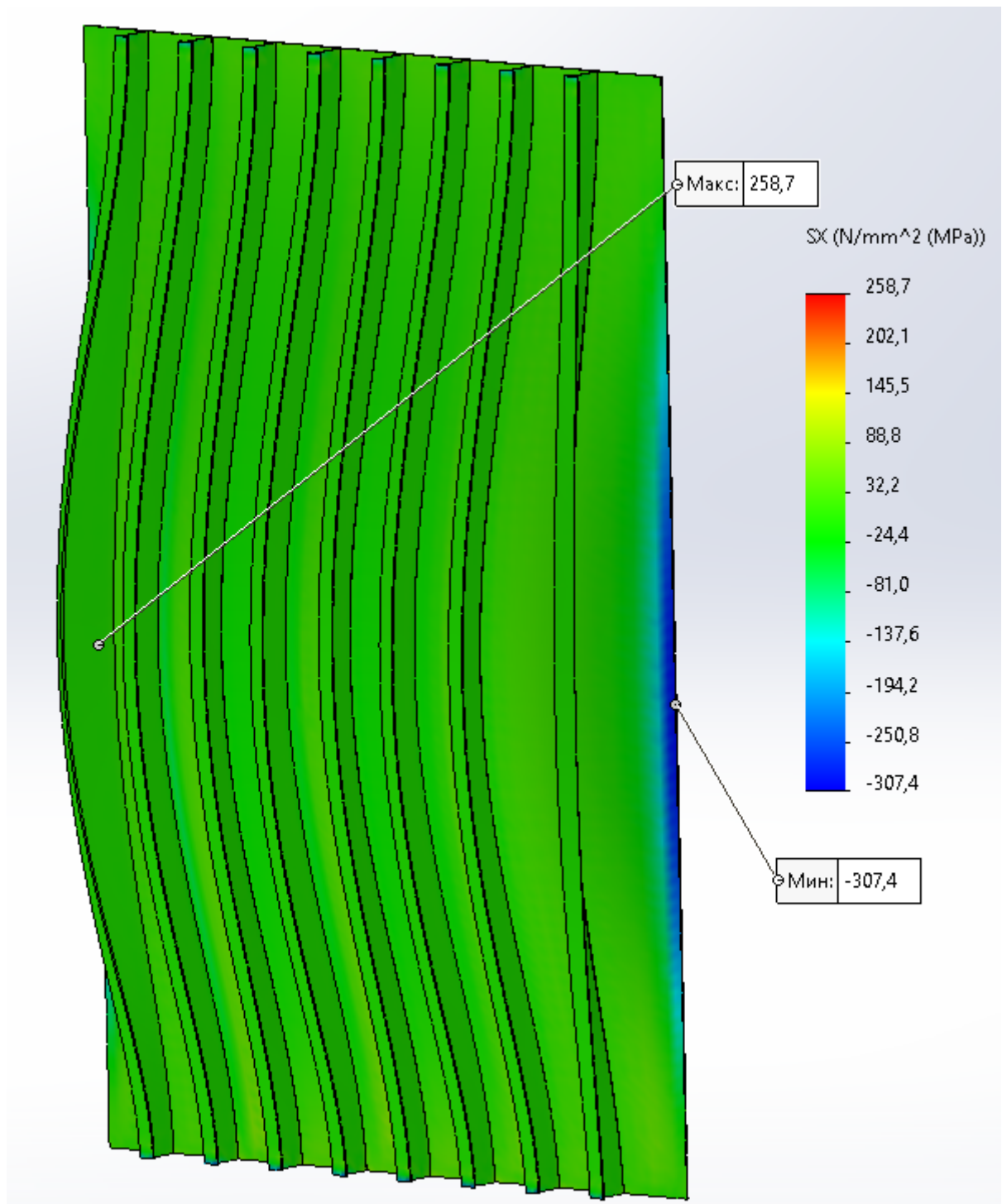


Рисунок 5.6 – Нормальні напруження у вертикальних перерізах перегородки
 $(b = 1200, h = 600, s = 20 \text{ мм}, \text{теоретична вага } 52,1 \text{ т } (6,61 \text{ м}^3))$.

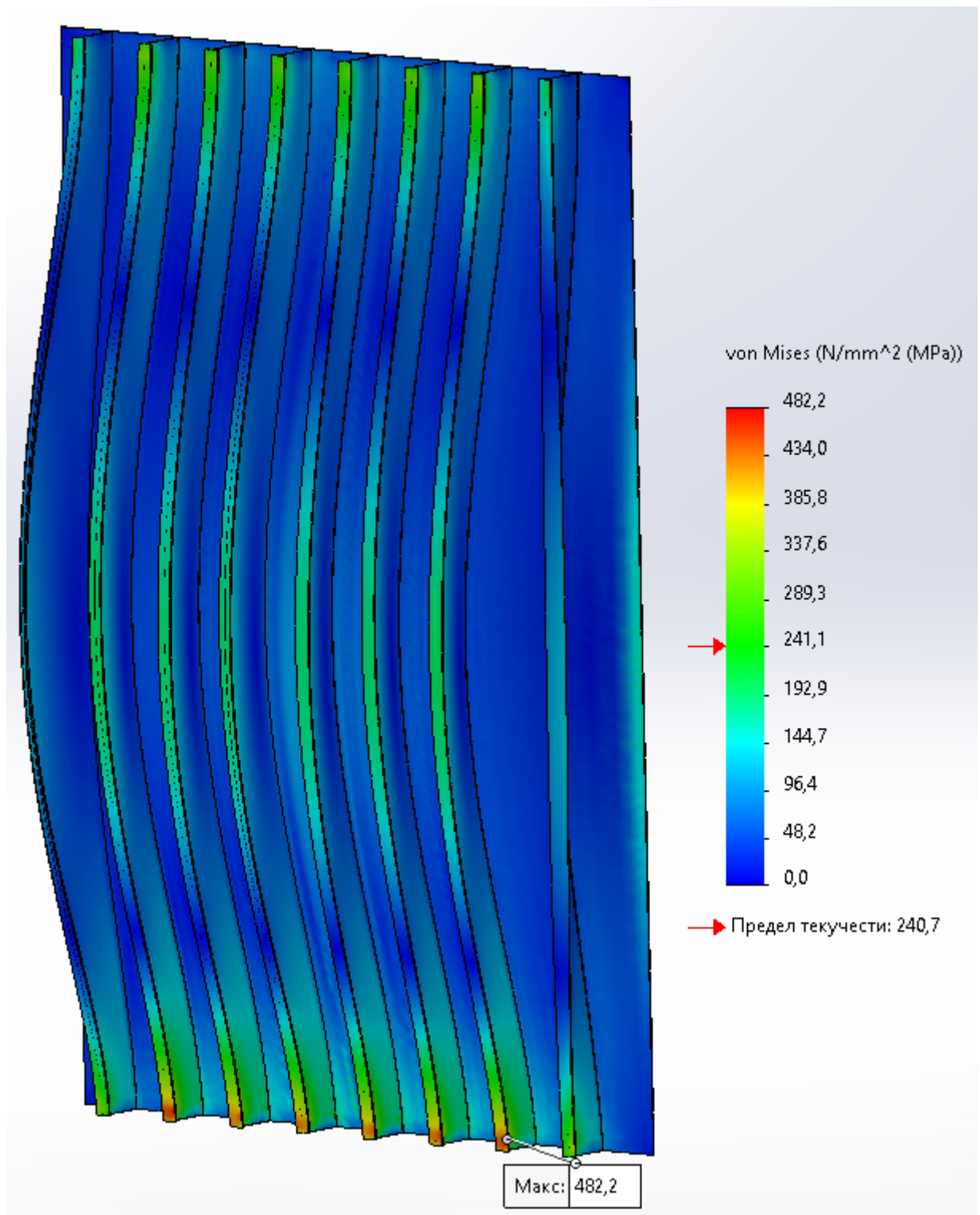


Рисунок 5.7– Зведені напруження у площині перегородки за IV теорією
 $(b = 1300, h = 800, s = 18 \text{ мм}, \text{теоретична вага } 46,1 \text{ т } (5,83 \text{ м}^3))$.

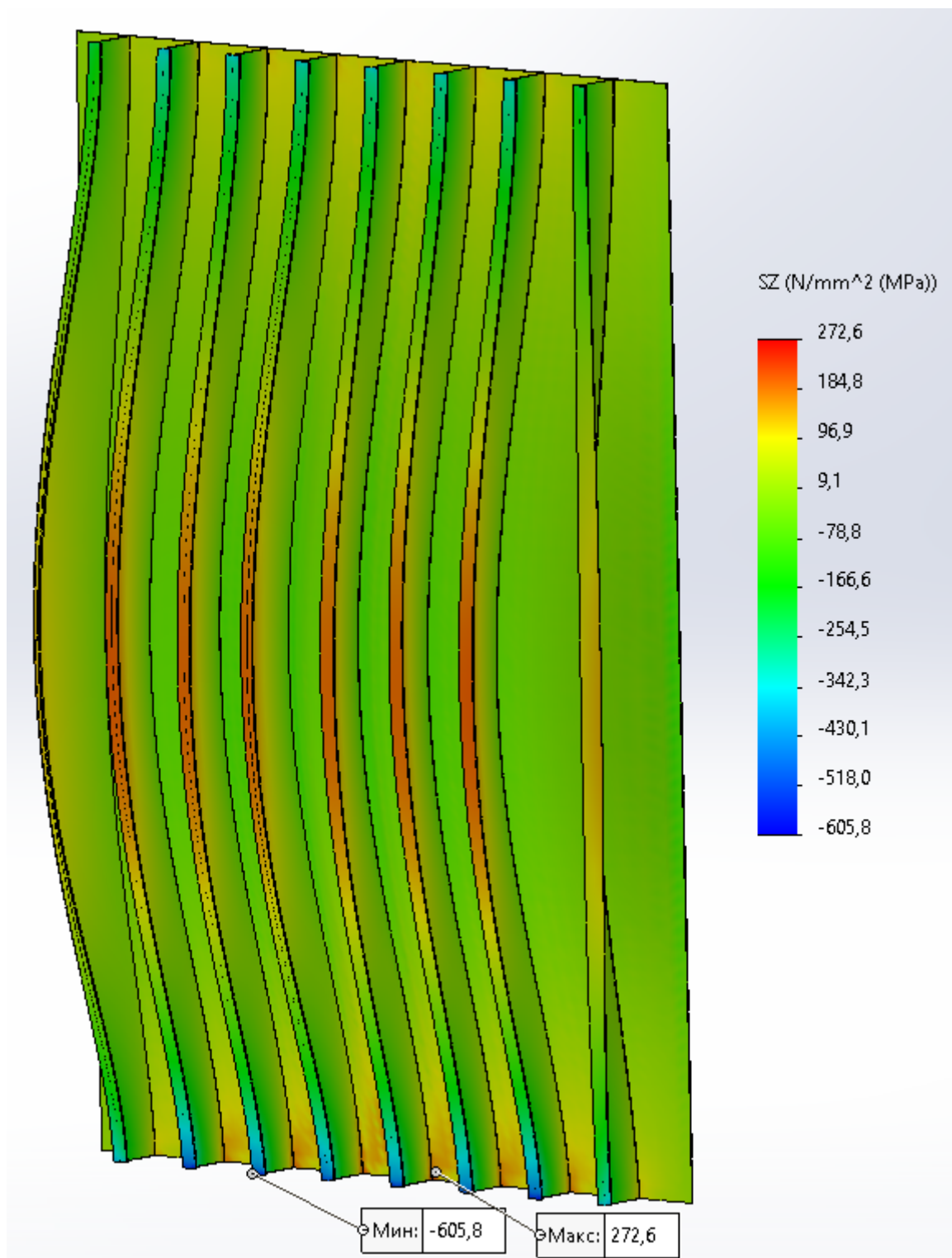


Рисунок 5.8 – Нормальні напруження у горизонтальних перерізах
 ($b = 1300$, $h = 800$ $s = 18$ мм, теоретична вага 46,1т (5,83 м³).

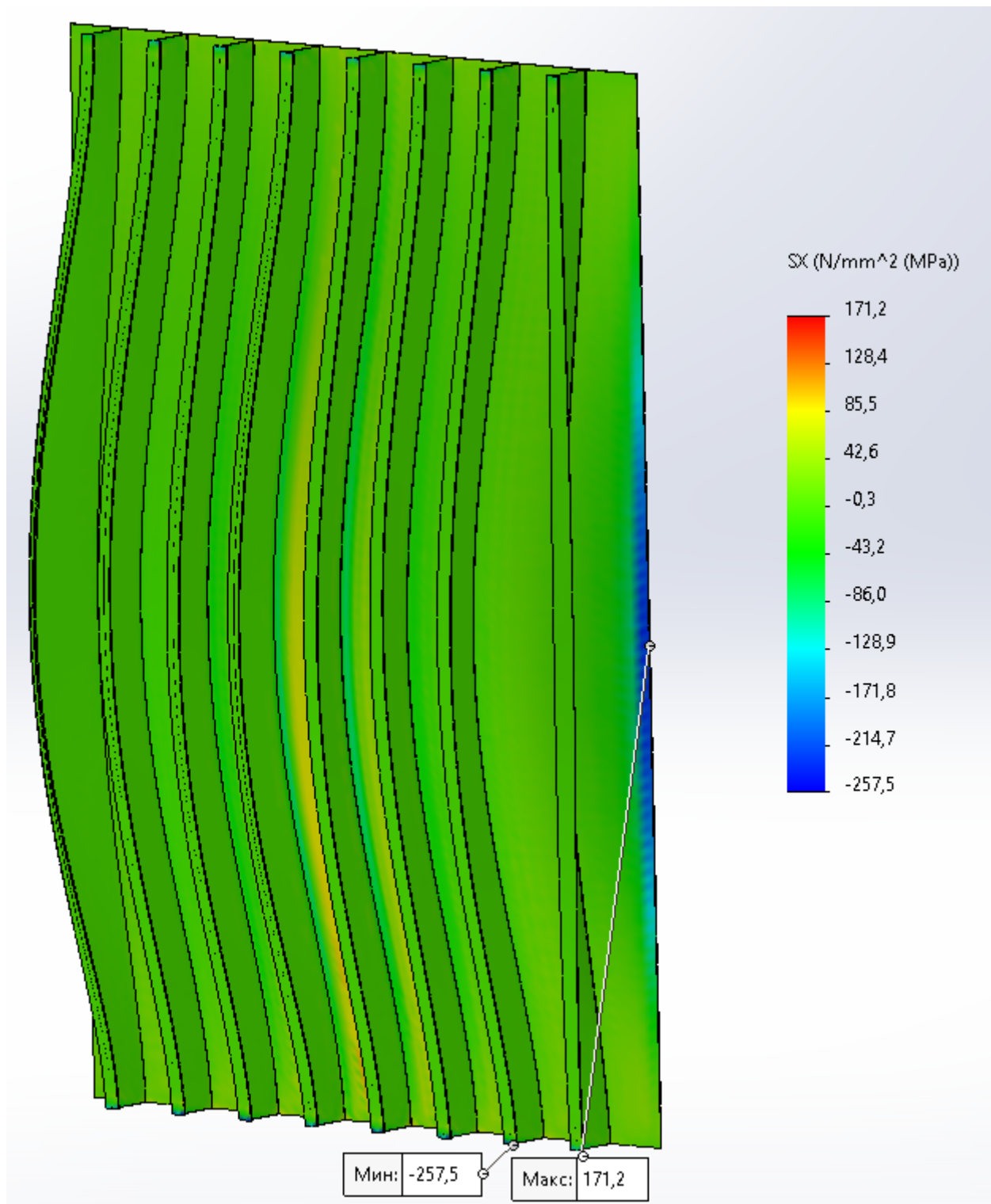


Рисунок 5.9 – Нормальні напруження у вертикальних перерізах перегородки ($b = 1300$, $h = 800$ $s = 18$ мм, теоретична вага 46,1т (5,83 м³).

Зведена таблиця впливу геометричних параметрів стояків на міцність перегородки

№	Товщина полотна s	Висота стілки балк h	Шаг стояків b	Нормальні напруження σ_z	Зведені напруження σ_{IV}	Теоретична маса m_T
1	20	1300	1200	160	221	59,9(6,61м ³)
2	20	600	1200	275	500	56,8(7,22м ³)
3	18	800	1300	272	482	46,1(5,83м ³)

Розрахунки показали достатню міцність конструкції при проектуванні за нормами РСУ. При зменшенні параметрів, таких як товщина обшиви або висота стояка міцність виявляється недостатньою. Маса конструкції при забезпеченні однакової міцності виявляється нижчою за масу перегородки з хвилястими гофрами на 2 % і більшою у порівнянні з перегородкою з коробчастими гофрами на 9%

ВИСНОВКИ

Як показав аналіз вагових функцій в обидвох випадках і для коробчастих і для хвилястих гофрів функція дістає максимуму якщо кути φ або β наближаються до 90° . З другого боку функція зростає при збільшенні висоти гофри і пов'язаних з нею параметрів. В зв'язку з цим використання коробчастих гофрів має певну перевагу, так як збільшує частку матеріалу, розташовану якнайдалі від середньої (нульової або нейтральної) лінії перерізу.

Розрахунки гофрованої перегородки танкера пр.15966 за МСЕ показали достатню міцність конструкції. При зміні параметрів у незначних відхиленнях від початкових напруження змінюються несуттєво, залишаючись у межах допустимих значень. При цьому так само несуттєво змінюється маса (близько 2%).

Розрахунки перегородки з коробчастими гофрами, розрахованої у відповідності до вимог РСУ, виявили перенавантаження 8%. Маса конструкції при цьому менша від реальної конструкції на 5т(10%). При варіюванні параметрів перевантаження зростають, а маса змінюється несуттєво (в границях 2%).

Розрахунки перегородки з хвилястими гофрами, спроектованої за правилами РСУ, виявили перенавантаження 10%. При збільшенні товщини стінки на 9% еквівалентні напруження зменшились до границі плинності. Маса конструкції при цьому зросла на 9,7т (20%).

При проектуванні перегородки з плоскою обшивкою і підкріплюючими її вертикальними стояками розрахунки показали достатню міцність конструкції за дотримання рекомендацій РСУ. При зменшенні товщини обшиви або висоти стінки стояка міцність виявляється недостатньою. Маса такої конструкції при забезпеченні однакової міцності виявляється більшою за масу перегородки з коробчастими гофрами на 9%, а у порівнянні з хвилястими гофрами навіть меншою на 2 %.

Таким чином, можна стверджувати, що у випадку дії поперечного до площини перегородки навантаження, найбільш доцільно використовувати коробчасті гофри з кутом нахилу бокової грані близько 90° .

					135.6116м.03.МР.ПЗ	Аркуш
Зміни	Аркуш	№ документа	Підпис	Дата		

СПИСОК ВИКОРИСТАНИХ ДЖЕРЕЛ

1. Барабанов Н.В. «Конструкция корпуса морских судов», - Л.: Судостроение, 1981 г.
2. Батовкин В.И. О совместной работе ребер жесткости и гофрированной обшивки судовых конструкций: дис. ... канд. техн. наук: 05.08.03 / Николаев. кораблестр. ин-т. им. адм. С.О. Макарова. Николаев, 1983. 180 с.
3. Коростылёв Л.И., Клименков С.Ю. О переменных нагрузках сварных переборок танкеров // 3б. наук. праць НУК. – Миколаїв: НУК, 2008. – № 6(423). – С. 60-65.
4. Коростылёв Л.И., Клименков С.Ю. Оптимизация геометрических параметров коробчатого гофра по условию прочности // Сучасні технології проектування, побудови, експлуатації і ремонту суден, морських засобів і інженерних споруд: Матеріали Всеукраїнської науково-технічної конференції з міжнародною участю. – Миколаїв: НУК, 2017. – С. 123-124.
5. Прочные судовые гофрированные переборки: монография/ Васильев А.Л. и др. Ленинград: Судостроение, 1964. 316 с.
6. Регистр СССР. Нормы прочности морских судов. – Л., 1991.– 92с.
7. Регістр судноплавства України. Правила класифікації та побудови морських суден: Т.2.– Київ, 2020.–789 с.
8. Суслов В.П., Кочанов Ю.П. Теоретические и экспериментальные исследования прочности гофрированных и плоских переборок морских судов и разработка рекомендаций по пересмотру РТМ. // НТО.– Николаев, НКИ, 1970, 168с.

					135.6116м.03.МР.ПЗ.01	Аркуш
Зміни	Аркуш	№ документа	Підпис	Дата		

9. Тряскин В.Н. Методология параметрического проектирования конструкций корпуса судна. *Труды Крыловского государственного научного центра*. Санкт-Петербург, 2018. вып. S2. С. 9–14.

					135.6116м.03.МР.ПЗ.01	Аркуш
Зміни	Аркуш	№ документа	Підпис	Дата		