

МІНІСТЕРСТВО ОСВІТИ І НАУКИ УКРАЇНИ
ЗАПОРІЗЬКИЙ НАЦІОНАЛЬНИЙ УНІВЕРСИТЕТ
ІНЖЕНЕРНИЙ НАВЧАЛЬНО-НАУКОВИЙ ІНСТИТУТ
імені Ю.М. ПОТЕБНІ
КАФЕДРА МІСЬКОГО БУДІВНИЦТВА І АРХІТЕКТУРИ
(повна назва кафедри)

Кваліфікаційна робота (проект)

магістр

(рівень вищої освіти)

на тему Ефективність застосування полімерних матеріалів у конструкціях будівель з легким каркасом

Виконав: студент 2 курсу, групи 8.1922-мбг
спеціальності 192 Будівництво та цивільна
інженерія

(код і назва спеціальності)

освітньої програми Міське будівництво та
господарство

(назва освітньої програми)

Мойшанов Д.В.

(ініціали та прізвище)

Керівник доц., к. арх, Сазонова О. Ю.

(посада, вчене звання, науковий ступінь, прізвище та ініціали)

Рецензент проф., д.т.н, Банах В.А.

(посада, вчене звання, науковий ступінь, прізвище та ініціали)

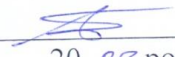
Запоріжжя
2023

МІНІСТЕРСТВО ОСВІТИ І НАУКИ УКРАЇНИ
ЗАПОРІЗЬКИЙ НАЦІОНАЛЬНИЙ УНІВЕРСИТЕТ

ІНЖЕНЕРНИЙ НАВЧАЛЬНО-НАУКОВИЙ ІНСТИТУТ
імені Ю.М. ПОТЕБНІ

Кафедра міського будівництва і архітектури
Рівень вищої освіти магістр
Спеціальність 192 Будівництво та цивільна інженерія
(код та назва)
Освітня програма Міське будівництво та господарство

ЗАТВЕРДЖУЮ

Завідувач кафедри 
« 01 » 08 20 23 року

ЗАВДАННЯ
НА КВАЛІФІКАЦІЙНУ РОБОТУ (ПРОЄКТ) СТУДЕНТОВІ (СТУДЕНТЦІ)

Мойшанов Денис Володимирович
(прізвище, ім'я, по батькові)

Тема роботи (проєкту) Ефективність застосування полімерних матеріалів у конструкціях будівель з легким каркасом

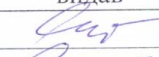





керівник роботи доц., к. арх., Сазонова О. Ю.
(прізвище, ім'я, по батькові, науковий ступінь, вчене звання)

затверджені наказом ЗНУ від « 09 » 10 2023 року № 1578-с

- 1 Строк подання студентом роботи 01.12.2023
- 2 Вихідні дані до роботи Актуальність обраного напрямку досліджень, значимість у сучасному житті, можливість розв'язання проблематики, перспективи впровадження майбутніх досягнень, мета роботи, завдання до виконання обраних досліджень, об'єкт досліджень, предмет досліджень, передбачувані методи виконання досліджень
- 3 Зміст розрахунково-пояснювальної записки (перелік питань, які потрібно розробити) Літературний огляд. Аналіз конструктивних схем швидкоспоруджуваних будівель. Аналіз видів склопластиків та полікарбонату, що застосовуються у будівництві, їх властивостей, роботу при короткочасних та тривалих навантаженнях.

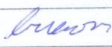
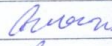

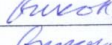
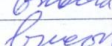
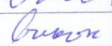

4 Перелік графічного матеріалу (з точним зазначенням обов'язкових креслень) Презентація із результатами аналітичних обґрунтувань наукової роботи, результати досліджень, результатами експериментальних досліджень, результати розрахунків із застосуванням сучасних інформаційних методів досліджень

5 Консультанти розділів роботи

Розділ	Прізвище, ініціали та посада консультанта	Підпис, дата	
		завдання видав	завдання прийняв
1	Сазонова О. Ю.		
2	Сазонова О. Ю.		
3	Сазонова О. Ю.		

6 Дата видачі завдання 01.09.2023

КАЛЕНДАРНИЙ ПЛАН

№ з/п	Назва етапів кваліфікаційної роботи	Строк виконання етапів роботи	Примітка
1	Літературний огляд	01.10	
2	Розділ 1	15.10	
3	Розділ 2	01.11	
4	Розділ 3	15.11	
5	Розробка графічної частини	20.11	
6	Оформлення роботи	25.11	
7	Попередній захист	01.12	

Студент


(підпис)

Мойшанов Д.В.

(ініціали та прізвище)

Керівник роботи (проєкту)


(підпис)

Сазонова О. Ю.

(ініціали та прізвище)

Нормоконтроль пройдено

Нормоконтролер


(підпис)

Гребенюк І.В.

(ініціали та прізвище)

АНОТАЦІЯ

Мойшанов Денис Володимирович. Ефективність застосування полімерних матеріалів у конструкціях будівель з легким каркасом.

Кваліфікаційна випускна робота для здобуття ступеня вищої освіти магістра за спеціальністю 192 - Будівництво та цивільна інженерія, науковий керівник О.Ю. Сазонова. Інженерний навчально-науковий інститут імені Ю.М. Потебні ЗНУ, кафедра міського будівництва і архітектури, 2023.

У роботі виконано аналіз конструкцій з фенолоформальдегідних склопластиків і монолітного полікарбонату, що працюють в умовах дії короткочасних і тривалих навантажень.

Ключові слова: СКЛОПЛАСТИК, ПОЛІКАРБОНАТ, ОПЕРАТОРНИЙ МОДУЛЬ, ПОВЗУЧИСТЬ, ПРУЖНІСТЬ, ЖОРСТКІСТЬ, ПРОГІБ, ЗУСИЛЛЯ, НАПРУЖЕННЯ, НАВАНТАЖЕННЯ.

ABSTRACT

Moishanov Denys Volodymyrovych. The effectiveness of the use of polymer materials in the construction of buildings with a light frame.

Qualifying graduation thesis for obtaining a master's degree of higher education in specialty 192 - Construction and civil engineering, supervisor O.U. Sazonova. Engineering Educational and Scientific Institute named after U.M. Potebny ZNU, Department of Urban Construction and Architecture, 2023.

The paper analyzes structures made of phenol-formaldehyde fiberglass and monolithic polycarbonate operating under short-term and long-term loads.

Keywords: GRP, POLYCARBONATE, OPERATOR UNIT, CREEP, ELASTICITY, RIGIDITY, DEFLECTION, FORCE, VOLTAGE, LOAD.

ЗМІСТ

	Вступ	6
Розділ 1	Суть проблеми і стан питання	8
1.1	Конструкції швидкоспоруджуваних будівель	8
1.2	Конструкції з полімерних матеріалів	10
1.3	Характеристика полімерних матеріалів	16
1.3.1	Склопластики	16
1.3.2	Полікарбонат	28
Розділ 2	Конструкції швидкоспоруджуваних будівель з полікарбонату	35
2.1	Механічні властивості полікарбонату	35
2.2	Розрахунок настилу з полікарбонату при дії короткочасного навантаження	37
2.3	Розрахунок настилу з полікарбонату при дії тривалого навантаження	54
2.4	Розрахунок швидкоспоруджуваної будівлі з дерев'яним каркасом і огорожуючими конструкціями з монолітного полікарбонату	69
Розділ 3	Конструкції швидкоспоруджуваних будівель із застосуванням склопластиків	73
3.1	Механічні властивості склопластиків	73
3.2	Основні властивості склопластиків на фенолоформальдегідних смолах. Основні положення розрахунку ребристих плит із склопластиків	75
3.2	Основні розрахункові положення	82
3.3	Розрахунок ребристої плити зі склопластику при короткочасній дії навантаження	81
3.4	Розрахунок ребристої плити із склопластика при тривалій дії навантаження	92
3.5	Розрахунок двошарнірної наскрізної арки зі склопластикових труб	103
	Основні висновки	109
	Список використаних джерел	111

ВСТУП

Актуальність теми. Використання конструкційних склопластиків і полікарбонату як матеріалу для несучих будівельних конструкцій швидкоспоруджуваних будівель знаходиться в стадії експериментальної перевірки, пошуку найбільш раціональних конструктивних форм, розробки методів їх розрахунку з урахуванням усіх особливостей деформування матеріалів, як при короткочасній, так і при тривалій дії навантаження.

У несучих будівельних конструкціях полімерні матеріали (зокрема, склопластик та полікарбонат) поки що застосовуються порівняно мало. Водночас висока питома міцність, корозійна стійкість, радіопрозорість, електрична опірність та інші цінні властивості обумовлюють необхідність їх використання у силових елементах будівель та споруд.

З розвитком виробництва склопластиків та полікарбонату виникають нові можливості створення ефективних будівельних конструкцій, деталей та виробів. Завдяки їх застосуванню знижується маса будівель та споруд, скорочується трудомісткість окремих робіт. Склопластики та полікарбонат, як і інші композиційні матеріали, мають ряд особливостей міцності: повзучість, різномодульність, низький модуль пружності, підвищену деформативність, анізотропність.

Для успішного впровадження склопластику та полікарбонату у виробництві будівельних конструкцій необхідна розробка методів розрахунку з урахуванням усіх особливостей деформування матеріалу під навантаженням.

Великі ресурси сировини як продуктів нафто- і газопереробної промисловості (синтетичні смоли) і природних матеріалів вироблення скляного волокна роблять склопластик дуже перспективним матеріалом. Висока міцність пластмас, що поєднується зі стійкістю впливу хімічних агентів та електрокорозії, дозволяє застосувати їх для будівництва різних будівель та інженерних споруд, що працюють в умовах, за яких конструкції з

традиційних матеріалів або швидко виходять з ладу, або вимагають значних експлуатаційних витрат.

Мета і завдання дослідження. Метою роботи є аналіз конструктивних схем швидкоспоруджуваних будівель зі склопластиків. Вибір найбільш раціональних полімерних матеріалів, для застосування їх у конструкціях швидкоспоруджуваних будівель.

Об'єкт дослідження. Конструкції з фенолоформальдегідних склопластиків та монолітного полікарбонату, що працюють в умовах дії короткочасних та тривалих навантажень.

Предмет дослідження. Основні властивості склопластиків.

Методи дослідження. Моделювання роботи конструкцій із фенолоформальдегідних склопластиків та монолітного полікарбонату із застосуванням комп'ютерних технологій.

Наукова новизна одержаних результатів. Проведено аналіз роботи конструкцій зі склопластику та полікарбонату при короткочасних та тривалих навантаженнях..

Практичне значення одержаних результатів. У роботі доведено досить високу несучу здатність і жорсткість конструкцій з монолітного полікарбонату та фенолоформальдегідних склопластиків.

Особистий вклад дослідника. Постановка мети і завдання дослідження. Збір і аналіз даних для проведення дослідження.

Апробація результатів роботи. Результати роботи докладалися на III Всеукраїнської науково-практичної конференції за участю молодих науковців «Актуальні питання сталого науково-технічного та соціально-економічного розвитку регіонів України» з доповіддю «Конструкції швидкоспоруджуваних будівель»[51].

Структура та обсяг магістерської роботи. Магістерська робота складається з вступу, трьох розділів, основних висновків, списку використаних джерел містить 115 сторінок, 56 рисунків, 15 таблиць, 51 список використаних джерел.

РОЗДІЛ 1

СУТЬ ПРОБЛЕМИ І СТАН ПИТАННЯ

1.1 Конструкції швидкосторуджуваних будівель

В даний час попит на дешеве будівництво будівель різного призначення дуже великий, що змушує забудовників шукати нові і нові шляхи швидкого і відносно дешевого будівництва, забезпечуючи при цьому високу якість будівництва. Найбільш широке поширення на сучасному етапі отримали швидкосторуджувані будівлі на основі міцного каркаса і легких захисних конструкцій. Термін служби таких будівель можна порівняти з будівлями з цегли та залізобетону, а вартість усіх робіт дешевша майже в половину. Область застосування швидкосторуджуваних будівель дуже широка: ангари, склади, теплиці, котельні, автосалони, торгові та виставкові комплекси, виробничі та адміністративні приміщення та багато іншого.

Основними елементами швидкосторуджуваних будівель є високоміцний каркас і огорожувальні конструкції стін і покрівлі. Головним несучим елементом швидкосторуджуваної будівлі є прямокутний високоміцний каркас з металевих або дерев'яних профілів. Каркас має вертикальні стійки та горизонтальні прогони для кріплення зовнішньої та внутрішньої обшивки, для встановлення вікон, дверей та внутрішніх перегородок. Металеві частини каркасу, як правило, обробляють антикорозійним покриттям, а дерев'яні – вогнезахисним складом.

Сьогодні велику популярність отримали будівлі, побудовані із застосуванням легких металевих конструкцій (ЛКМ). Їх активне застосування дозволяє швидко зводити будівлі різної форми, розміру і поверховості. При монтажі каркаса не застосовуються зварювальні роботи, що дозволяє зменшити час зборки і підвищити якість. Швидкосторуджувані будівлі, як і звичайні, зводяться на фундаменті, проте, на відміну від стандартних, не вимагають особливих будівельних матеріалів або глибокого, «вікового» фундаменту. Це пов'язано з тим, що металоконструкції, які

складають основу подібної будівлі, зроблені з міцного матеріалу і мають підвищену стійкість. В той же час, каркас з металоконструкцій легко монтується і демонтується - без особливих зусиль, будівельної техніки, робітників. І ще одна чеснота металоконструкцій, за допомогою яких відбувається будівництво швидкопоруджуваних будівель : вони зручні в транспортуванні, не вимагають особливих умов перевезення і вантаження-розвантаження.

Таким чином, швидкопоруджувані будівлі і металоконструкції - це нова епоха у будівництві.

На рисунку 1.1 представлені схеми швидкопоруджуваних будівель.




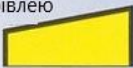


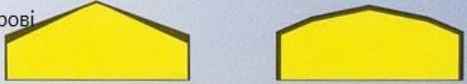
Типи будівель	*Допустимі будь-які проміжні розміри **Залежить від типу покрівлі АСТРОН, прольоту, та використовуваних аксесуарів	Проліт		Ухил покрівлі		Висота по водостічному жолобу		Відстань між осями ферм	
		(m)	(°)	(%)	(°)	(m)	(°)	(m)	(°)
AZM1 Будівля з вільним прольотом, колони двотаврові з висотою перетину, що змінюється 		15,00 - 30,00 30,00 - 60,00		2 - 33 10 - 33		4,20 - 9,00 4,20 - 12,00			
AZM2/3/4 Модульні будівлі з колонами із зварного двотаврового профілю зі змінною висотою перерізу 	M2 M3 M4	18,00 - 30,00 30,00 - 72,00 27,00 - 72,00 36,00 - 72,00		2 - 33 2 - 33 2 - 33 2 - 33		4,20 - 7,20 4,20 - 12,00 4,20 - 9,00 4,20 - 9,00			
AP Прибудови 		3,00 - 15,00		2 - 33		3,00 - 6,60			
AL Будівля з односхилим покрівлею та вільним прольотом, з колонами з двотавра 		6,00 - 12,00		2 - 10		3,00 - 6,60		5,00 - 12,00	
AE Будівля з вільним прольотом, колони з двотавра з паралельними бічними полицями 		10,00 - 20,00		2 - 33		3,30 - 6,60			
AS Будівля з великим вільним прольотом та двотавровими колонами зі змінною висотою перерізу 		42,00 - 72,00		20		5,40 - 9,00			
AT Зал для гри в теніс, двотаврові колони, покрівля двох - або багатосхилий 		37,60		33 50/17		4,2		змінне	

Рисунок 1.1 - Схеми швидкопоруджуваних будівель

1.2 Конструкції з полімерних матеріалів

Синтетичні полімерні матеріали стали застосовувати у будівництві зовсім нещодавно. Ще молодше будівельні конструкції, що виконуються переважно з пластмас, тому в перспективі конструкції з пластмас займуть помітне місце серед інших. Нині вони знаходять застосування в усіх областях будівництва.

У житловому будівництві та в будинках громадського призначення: готелях, критих ринках, їдальнях, виставкових павільйонах застосовують пластмасові конструкції як найбільш прийнятні з погляду експлуатаційних якостей та архітектурної виразності.

У промисловому і цивільному будівництві пластмаси використовують для світлових ліхтарів, світлопроникних ділянок покриттів і стін.

У сільськогосподарських та інших виробничих будинках великою проблемою є влаштування підлог, лотків, стічних труб, що мають достатню стійкість проти органічної та мінеральної кислотної агресії. В даний час запропоновано та в дослідному порядку здійснено багато різних конструкцій плиткових та монолітних підлог з полімерних матеріалів. Крім стійкості до агресії підлоги повинні мати ще й зносостійкість. Поєднання опору хімічної агресії та зносу властиве лише полімерним матеріалам [12].

Особливе місце займають звані пневматичні конструкції, основною частиною яких є полімерна оболонка, що підтримується надлишковим внутрішнім тиском повітря. Пневматичні конструкції застосовують замість лісів та опалубки при будівництві капітальних споруд, для зерносховищ та критих струмів, складів, виставкових залів та інших приміщень промислового, сільськогосподарського та громадського призначення [1].

На рисунках представлені конструкції з полімерних матеріалів.



Рисунок 1.2 - Теплиці із застосуванням, відповідно полікарбонату і склопластика



Рисунок 1.3 - Зупинка з полікарбонату



Рисунок 1.4 - Купол із застосуванням полікарбонату



Рисунок 1.5 - Перекриття з полікарбонату



Рисунок 1.6 - Перекриття з полікарбонату



Рисунок 1.7 - Автомобільний навіс з монолітним полікарбонатом



Рисунок 1.8 - Тенісний корт із склопластика



Рисунок 1.9 - Навіс із склопластика



Рисунок 1.10 - Тунель із склопластика



Рисунок 1.11 - Паркан із склопластика

1.3 Характеристика полімерних матеріалів

1.3.1. Склопластики

Склопластик – композиційний матеріал, що складається зі скляного наповнювача та синтетичного полімерного зв'язуючого [4]. Наповнювачем служать переважно скляні волокна як ниток, джгутів (роввингов), тканин, матів, рубаних волокон; сполучним - поліефірні, феноло-формальдегідні, епоксидні, кремнійорганічні смоли, полііміди, аліфатичні поліаміди, полікарбонати та ін.

Для склопластику характерне поєднання високих міцнісних, діелектричних властивостей, порівняно низької щільності та теплопровідності, високої атмосферо-, водо- та хімістійкості. Механічні властивості склопластику визначаються переважно характеристиками наповнювача та міцністю зв'язку його з зв'язуючим, а температури переробки та експлуатації – зв'язуючим [28]. Найбільшу міцність і жорсткість мають

склопластики, що містять орієнтовано розташовані безперервні волокна. Такі склопластики поділяються на односпрямовані та перехресні; у перших волокна розташовані взаємно паралельно, у других - під заданим кутом друг до друга, постійним чи змінним по виробу. Змінюючи орієнтацію волокон, можна у межах регулювати механічні властивості склопластиків [19].

Більшу ізотропію механічних властивостей мають склопластики з неорієнтованим розташуванням волокон: матеріали на основі рубаних волокон, нанесених на форму методом напилення одночасно зі сполучною, і на основі полотна (матів) [20].

Склопластик має низьку теплопровідність, міцність сталі, довговічність, біологічну і хімічну стійкість, є прекрасним діелектриком, не схильний до гниття. Може мати важкогорючість, а при пожежі не виділяє сильнодіючий газ діоксин на відміну від полівінілхлориду.

Склопластики виготовляються на поліефірних, фенолоформальдегідних та на епоксидних смолах. Поліефірні смоли застосовуються для отримання світлопроникних або фарбуються в різні кольори матеріалів. Склопластики інших смолах не прозорі, мають темно-коричневий колір [22].

Склопластики є хімічно стійкими матеріалами, тому їх слід застосовувати в першу чергу при будівництві підприємств хімічної і нафтопереробної промисловості, там, де для звичайних матеріалів потрібно антикорозійний захист [6].

Склопластики мають дуже невелику об'ємну вагу (1,4-1,9 т/м³), що у поєднанні з високою міцністю дає можливість виконувати з них дуже легкі конструкції.

Конструктивні елементи зі склопластиків та пінопластів у 10-20 разів легші за залізобетонні, тому склопластики слід застосовувати також для виготовлення збірних конструкцій будівель та споруд, що будуються у віддалених районах, що не мають місцевих будівельних матеріалів [29]. Економія транспортних витрат компенсує високу вартість матеріалу. Незвичайна легкість будівельних конструкцій зі склопластиків зумовлює

також можливість використання їх у сейсмостійкому будівництві (наприклад, як заповнення потужних монолітних каркасів) і в будівництві на просадних ґрунтах.

Склопластики досить морозостійкі і теплостійкі. Склопластики водонепроникні. Проте при тривалому зволоженні вони можуть поглинати водяні пари в різних кількостях (залежно від марки), у зв'язку з чим міцність їх зменшується. Падіння міцності від зволоження враховується при призначенні розрахункових опорів. Склопластики, як водонепроникні матеріали, не потребують гідроізоляції. Навпаки, дешеві сорти їх самі можуть використовуватися в покриттях будівель як покрівельний матеріал.

Механічна обробка склопластиків вимагає спеціального устаткування. При невеликому об'ємі робіт обрізка листів, свердління отворів, зачистка країв і інші подібні операції робляться в респіраторах за допомогою металорізального інструменту, який при цьому швидко відточується. Що виділяється при механічній обробці склопластика скляний пил дуже шкідливий. Механічна обробка склопластиків при серійному виробництві конструкцій повинна здійснюватися абразивним інструментом при видаленні пилу з робочого місця за допомогою відсмоктування.

Склопластики можуть склеюватися між собою і з іншими матеріалами. Для склеювання склопластика із склопластиком краще використати клеї, що отримуються на основі тих же синтетичних смол, які використовувалися при отриманні самого склопластика. Для склеювання застосовуються в основному епоксидні і фенолоформальдегідні клеї холодного і гарячого затвердіння і поліефірні клеї холодного затвердіння [34].

Склеювання є основним способом з'єднання склопластикових елементів. З'єднань тільки на заклепках і болтах (нагельного типу) слід уникати. При монтажі конструкцій рекомендується застосовувати комбінований тип з'єднань : нагелі поєднувати з клейовим швом холодного затвердіння.

Склопластик поліефірний неорієнтований виходить на основі матів із короткого скловолокна, штапельного або різаного із джгутів, розташованого в матеріалі дисперсно, не орієнтовано в якомусь напрямку.

Дисперсне розташування скловолокна вимагає великої витрати смоли (від 80 до 60% за вагою), що у свою чергу дає зменшення міцності та жорсткості матеріалу, що обумовлюються тут переважно міцністю та жорсткістю смоли, а не скловолокон. Завдяки великому процентному вмісту смоли склопластик щодо легкооб'ємної ваги його 1400 кг/м^3 .

Поліефірні смоли в порівнянні з фенолоформальдегідними, крім світлопроникності, мають ще цілу низку переваг. Вироби на їх основі можуть виходити склеюванням без тиску, за нормальної температури і без виділення побічних продуктів, тобто без усадки. Всі ці якості поліефірних смол та більш дешевий наповнювач – різане або штапельне скловолокно – зумовили переважне значення поліефірних склопластиків у порівнянні з іншими, незважаючи на їхню горючість. З метою підвищення вогнестійкості конструкцій при виготовленні склопластику для будівництва рекомендується застосовувати поліефірну смолу, що самозагасає марки 1ТН-1С [6]. Після винесення із зони вогню такий склопластик згасає через 30 секунд.

Використання поліефірного склопластика у будівництві досягає значних масштабів. За кордоном з нього виготовляють елементи різного роду просторових конструкцій : трубчастих, коробчатих, лоткових, форма яких компенсує відносно малу жорсткість самого матеріалу [7].

Склопластик ФСМ- 1 типу «глакрезит» виходить також з короткого скловолокна при його дисперсному розташуванні (ВТ 6-60). При цьому використовуються найбільш дешеві види смол (зазвичай фенолформальдегідні) і скла (лужні)[21].

При виготовленні склопластику «глакрезиту» маті зі скловолокна, що виходять попередньо, скріплюються крохмалем або гіпсом. Ці матеріали залишаються в кінцевій продукції. Це підвищує гігроскопічність і вологоємність матеріалу, що сягає 10%. Волога значно погіршує

конструкційні властивості склопластику, тому застосовувати його виготовлення сильно напружених конструкцій не рекомендується.

При експлуатації конструкцій в захищених від прямого зволоження умовах, склопластик «глакрезит» має таку ж жорсткість, що і поліефірний склопластик, але приблизно в два рази слабкіше його по міцності.

Склопластик «глакрезит» як і поліефірний виготовляється в листах, але листи плоскі.

Склотекстоліти виходять із склотканин на основі смол: фенолоформальдегідної, епоксиднофенольної, поліефірної, кремній-органічної і т.д. Найбільш дешевими є склотекстоліти марки КАСТ на фенолоформальдегідних смолах до їх модифікацій, а їх – склотекстоліт КАСТ-В (водостійкий). Об'ємна вага КАСТ-1850 кг/м³.

На виготовлення склотекстоліту КАСТ-В є ДСТУ 2242-93. Він випускається у вигляді листів завдовжки 0,95-2,4 м, шириною 0,6- 1,2 м і завтовшки 0,5; 0,8; 1; 1,2; 1,5-7 мм (з градацією через 0,5) і 8-35 мм. Разом з плоскими листами із склотекстолітів можуть виготовлятися профільні вироби [6].

Окрім склотекстолітів КАСТ заслуговує на увагу склотекстоліт марки ВФТ-С (ВТ 35ХП376- 61) конструкційний термостійкий, такий, що виходить так само, як і КАСТ, але при дещо іншому співвідношенні смоли і склотканини, при підвищених тиску і температурі пресування і іншої марки склотканини (сатинового переплетення замість гарнітурного).

Склотекстоліти не горять і старіють повільно. Склотекстоліт листовий застосовується для обшивок стінових панелей та плит покриттів, для обрамлення їх, для ребер жорсткості та для виготовлення інших дрібних деталей та елементів конструкцій. Порівняно з АГ-4С та СВАМ він є більш доступним, оскільки виробництво його простіше та порівняно давно освоєно.

Склопластик СВАМ (скловолокнистий анізотропний матеріал) є найбільш міцним із усіх інших пластмас. Він відноситься до орієнтованих склопластиків. Висока міцність СВАМ визначається односпрямованим

розташуванням безперервних скляних ниток у шпонах (тонких листах), з яких пресується пластик. Якщо при наборі шпонів вони чергуються так, що напрямки скловолокна в сусідніх шпонах перехрещуються, виходить склопластик 1:1 з однаковими показниками механічних властивостей у площині листа у двох напрямках. У будівельних конструкціях використовується переважно склопластик 1:1, йому зазвичай і наводяться розрахункові характеристики [6]. Однак при масовому заводському виготовленні конструкцій не виключена можливість застосування СВАМ з іншим співвідношенням скловолокон. Найбільшу міцність і жорсткість має СВАМ 1: 10. У напрямку вздовж листа міцність його приблизно вдвічі вища, ніж СВАМа 1: 1, так як скловолокна в поперечному перерізі у нього відповідно більше.

Склопластик марки СВАМ виготовляється згідно ДСТУ 12249-61 об'ємною вагою 1900 кг/м^3 в листах завдовжки до 1 м, шириною до 0,5 м, завтовшки від 1 до 30 мм. Обмеженість сортаменту і висока вартість визначають сферу застосування СВАМа у будівельних конструкціях. Це, в основному, конструкційні деталі і елементи, що несуть великі навантаження. Листовий СВАМ знаходить, зокрема, застосування в обшивках плит і панелей, призначених для покриттів і стін промбудівель, що піддаються хімічній агресії, вимагають особливої легкості і несуть великі навантаження. Профільні елементи: куточки, швелери, хвилясті листи, зетові профілі завдовжки до 3 м також використовуються для виготовлення деталей конструкцій : обрамлення, плит і панелей і т. д. у тих випадках, коли за умовами експлуатації конструкції не можна застосовувати метал.

Односпрямоване скловолокно використовується також для виготовлення арматурних високоміцних стержнів. В якості єднального застосовується фенолформальдегідна смола. Стержні мають діаметр 5-30 мм, модуль пружності $510\,000 \text{ кГ/см}^2$ і межа міцності $13\,000 \text{ кГ/см}^2$, не поступаючись склопластику СВАМ 1:10. Стержні можуть бути використані в

якості затягувань, розкосів, стійок і інших елементів стержневих пластмасових конструкцій.

Пресматеріал АГ-4С дає такий самий високоміцний склопластик, як і СВАМ, але на відміну від нього виходить не з елементарних скловолокон, а з попередньо скручених ниток. Полімерною основою матеріалу є фенолоформальдегідна смола, що відрізняється після затвердіння винятковою стійкістю до дії кислот, розчинників та інших сильних агентів. Склопластик АГ-4С водонепроникний, не гігроскопічний, відносно термостійкий, не горючий. Має об'ємну вагу близько 1900 кг/м^3 . На виготовлення пресматеріалу розроблено ДСТУ, згідно з яким він виходить у вигляді стрічок і плит (брикетів), що використовуються в даний час машинобудуванням для одержання склопластикових деталей пресуванням конструкцій. При розробці відповідного сортаменту: листів, профілів, погонажних виробів склопластик, АГ-4С може бути застосований для виготовлення елементів та деталей будівельних конструкцій, насамперед плит для покриттів та панелей для стін, тобто там же, де і СВАМ. В економічному плані він більш перспективний, ніж СВАМ.

Таким чином склопластики застосовуються у багатьох областях народного господарства і технічних галузей [23]. Механічна міцність, хороший коефіцієнт світлопроникності і здатність забарвлюватися у будь-який колір необхідної інтенсивності дозволяє використати склопластики у будівництві у вигляді плоских і гофрованих листів, рулонних матеріалів, багатошарових панелей і ліхтарів. Для зберігання хімічних продуктів застосовують склопластики, стійкі до корозії, які виявилися набагато економічнішими за нержавіючу сталь.

Склопластик має багато дуже цінних властивостей, що надають йому право називатися одним з матеріалів майбутнього. Нижче перераховані деякі з них.

Мала вага. Питома вага склопластиків коливається від 0,4 до 1,8 і в середньому складає $1,1 \text{ г/см}^3$. Питома вага металів значно вища, наприклад,

стали - 7,8, а міді - 8,9 г/см³. Таким чином, питома вага склопластика в середньому в п'ять-шість разів менше, ніж у чорних і кольорових металів.

Діелектричні властивості. Склопластики є прекрасними електроізоляційними матеріалами при використанні як змінного, так і постійного струму.

Висока корозійна стійкість. Склопластики як діелектрики зовсім не зазнають електрохімічної корозії. Існує цілий ряд смол (деякі поліефірні смоли), що дозволяють отримати склопластики стійкі до різних агресивних середовищ, у тому числі впливу концентрованих кислот і лугів.

Гарний зовнішній вигляд. Склопластики при виготовленні добре забарвлюються у будь-який колір і при використанні стійких барвників можуть зберігати його необмежено довго.

Прозорість. На основі деяких марок світлопрозорих смол можна виготовити склопластики, що за оптичними властивостями небагатьом поступаються склу.

Високі механічні характеристики. При своїй невеликій питомій вазі склопластик має високі фізико-механічні характеристики. Використовуючи деякі смоли та певні види армуючих матеріалів, можна отримати склопластик, який за своїми властивостями міцності перевершує деякі сплави кольорових металів і сталі.

Теплоізоляційні властивості. Склопластик відноситься до матеріалів з низькою теплопровідністю. Крім того, можна значно підвищити теплоізоляційні властивості шляхом виготовлення склопластикової конструкції типу сендвіч, використовуючи між шарами склопластику пористі матеріали, наприклад пінопласт. Завдяки своїй низькій теплопровідності, склопластикові сендвічеві конструкції з успіхом застосовуються як теплоізоляційні матеріали в промисловому будівництві, в суднобудуванні, у вагонобудуванні і т.д.

Простота у виготовленні. Існує багато способів виготовлення склопластикових виробів, більшість із яких потребує мінімальних вкладень в

обладнання. Наприклад, для ручного формування знадобляться лише матриця та невеликий набір ручних інструментів (прикочувальні валики, пензлі, мірні судини тощо). Матриця може бути виготовлена практично з будь-якого матеріалу, починаючи з дерева та закінчуючи металом. В даний час широкого поширення набули склопластикові матриці, які мають порівняно невелику вартість і тривалий термін служби.

Через те, що у склопластику переваг у рази більше ніж недоліків, він отримав настільки широке застосування практично у всіх сферах діяльності людини. Однак є кілька загальних недоліків у склопластику, якщо ми розглядаємо питання застосування альтернативних матеріалів: слабка зносостійкість, невеликий модуль пружності, чутливість до процесу виготовлення та до режиму подальшої експлуатації, анізотропія міцності, пружних та інших властивостей, гетерогенність структури, що сприяє прискореному проникненню зовнішнього середовища матеріал.

Існує багато способів виготовлення склопластикових виробів, більшість із яких потребує мінімальних вкладень в обладнання [24].

Метод ручного формування. Даний метод являє собою пошарове укладання у форму або форму армуючого матеріалу (наприклад, це може бути склотканина або скломат) з одночасним просочуванням кожного шару смолою. Просочення армуючого матеріалу смолою здійснюється в даному випадку за допомогою пензля або валика. Після просочення здійснюють додаткове укочення для усунення бульбашок повітря та рівномірного розподілу смоли. При цьому дуже важливо здійснити ретельне усунення повітря, оскільки такі місця можуть бути дуже м'якими і продавитися. У такому разі буде потрібно відновлення або навіть заміна деталі. Ось чому робота має виконуватися кваліфікованим робочим персоналом. Після формування виріб висихає, а потім витягується з форми, що піддається подальшій обробці.

Достоїнствами даного методу є простота виробничого процесу та дешевизна. Недоліками є потрібна кваліфікована робоча сила, шкідливі

умови праці, низька продуктивність, висока ймовірність повітряних включень у виробі, велика кількість виробничих відходів.

У цьому методі можуть застосовуватися будь-які смоли, волокна і наповнювачі, стійкі до використовуваних смол.

Метод напилення. Цей метод використовує спеціальний розпилювальний пістолет, який подається склонитка. Вона рубається спеціальним пістолетним ножом на відрізки певної довжини. Ці відрізки поєднуються з струменем каталізованої смоли в повітрі і так наносяться на форму. Як і у випадку з методом ручного формування, після процесу потрібно провести укатку з метою видалення повітряних прошарків. Далі матеріал залишають при звичайній кімнатній температурі для затвердіння.

Переваги методу: висока швидкість виробництва, тобто досить швидкий спосіб нанесення скловолокна і смоли на форму, не потрібно кроїти скломат або склотканину, дешевий вихідний матеріал, невелика кількість виробничих відходів. Недоліки: важка вага виробу через велику кількість нанесеної смоли, обмежені механічні властивості виробу (оскільки немає довгих волокон), шкідливі умови праці. Матеріали, що застосовуються: смоли – поліефірні в'язкі, волокна – склонитка, наповнювачі – будь-які.

Метод намотування. У цьому методі армуючі волокна пропускаються через ванну з активованою смолою. Після смоляного просочення вони намотуються на сердечник, що обертається до отримання потрібної товщини. При цьому можна координувати кут намотування шляхом зміни руху візка, що подає волокна. Кути подачі можна змінювати при виготовленні одного виробу і таким чином задавати певні кінцеві характеристики.

Переваги методу: швидка швидкість укладання армуючого матеріалу, можливість регулювати співвідношення між нитками та смолою, міцність виробу при досить низькій вазі, стійкість до гниття та корозії, дешевизна матеріалів, висока надійність при експлуатації у великому температурному діапазоні. Недоліки: дороге виробниче обладнання, можливість виготовлення

певних видів виробів. Застосовувані матеріали: смоли – будь-які, волокна – будь-які, крім зшитих тканин та матів, наповнювачі – будь-які.

Метод інжекції. Технологія інжекції ось у чому. Попередньо розкрояють скловолоконний армуючий матеріал (склотканина або скломат). Його викладають на матрицю і притискають пуансоном, після чого під певним тиском впорскується смола. Після остаточного просочення інжекцію (впорскування смоли) зупиняють і в такому вигляді залишають матеріал до повного висихання, після чого вже витягають з матриці і надають подальшій обробці (якщо така потрібна). Цей метод також називають "RTM" – Resin Transfer Moulding.

Переваги цієї технології: можливість отримати високий вміст скла, точні розміри деталей, обидві сторони деталі мають гладку глянсову поверхню; гарні умови для роботи та практично повна відсутність викиду шкідливих речовин та відходів виробництва; висока швидкість виробництва, потрібна мала кількість робочої сили. Недоліки: досить дорогий та складний процес. Матеріали, що застосовуються: смоли – вінілефірні, епоксидні, поліефірні, волокна – будь-які, наповнювачі – будь-які.

Метод пресування. Даний метод отримання склопластикових виробів здійснюється за рахунок стискання преміксу скловолокна і смоли деталями прес-форми між ними. Одним із видів пресування також є штампування. Цикл пресування триває приблизно п'ять хвилин. Є два різновиди цієї технології – пресування попередньо просочених смолою преміксів та пресування з просоченням усередині самої форми. А на практиці частіше застосовується перший спосіб.

Переваги методу: велика швидкість і тираж, можливість автоматизування процесу як наслідок, можливість зниження трудових витрат. Недоліки: дорожнеча обладнання та матеріалів, іноді недостатньо гладка для лакування поверхня отримуваних деталей.

Матеріали, що застосовуються: смоли – поліефірні, епоксидні, фенольні, високотемпературні смоли, волокна – будь-які, наповнювачі – будь-які, стійкі до температури.

Метод пултрузії. Пултрузія – процес отримання склопластикового профілю шляхом безперервної витяжки через нагріту до 120-150 градусів Цельсія формують фільтру скломатеріалів, просочених терморезактивною смолою. Склوماتеріал змотується зі спеціальних котушок у сухому стані і надходить у пристрій просочення пултрузійного верстата, де змочується поліефірною, епоксидною або іншою смолою. Під високим тиском і температурою скловолокно та смола перетворюються на особливий міцний матеріал. За допомогою цієї технології з'явилася можливість отримувати склопластиковий профіль заданих властивостей та складних форм із високою швидкістю. Фізичні характеристики склокомпозиту, отриманого даним способом, не змінюються в широкому температурному діапазоні від мінус 70 до плюс 170 градусів Цельсія. Методом пултрузії можна отримати вироби з будь-яким профілем – стрижень, куточок, труба, короб тощо. Отриманий склопластиковий профіль поєднує в собі унікальні властивості дерева, металу та полімеру: низьку теплопровідність, високу механічну та діелектричну міцність, стійкість до агресивних середовищ та різких перепадів температур, біологічну та атмосферну стійкість. Довговічність конструкцій зі склопластикових профілів значно перевищує термін служби аналогічних конструкцій з інших матеріалів.

Переваги методу: велика швидкість і тираж, автоматизований процес, недорогі матеріали, хороші структурні властивості виробів. Недоліки: дороге обладнання, обмеженість випуском виключно профілю. Матеріали, що застосовуються: смоли – епоксидна смола, вінілефірна смола, поліефірна смола, волокна – будь-які, наповнювачі – не використовуються. Отримані методом пултрузії склопластикові профілі отримують широке застосування в різних галузях - в сільському господарстві, у будівництві, у виробництві найрізноманітніших речей.

Метод RFI. Суть даного методу полягає в наступному – армуюча склотканина викладається разом із шаром смоли, а потім все накривається спеціальною вакуумною плівкою. Отримана конструкція міститься в автоклав. Далі всередині пакета створюється вакуум, потім збільшується температура і рахунок вакууму смола починає просочувати армуючий матеріал. Іноді процес відбувається без застосування дорогого автоклава та просочення смолою відбувається за рахунок вакууму без нагріву. Після формування виріб висихає, а потім витягується з форми, що піддається подальшій обробці.

Позитивні якості технології: можна отримати міцну і велику за розмірами деталь з високим вмістом скла і мінімальним включенням порожнин; мінімальні виробничі відходи, сприятливі умови праці. Недоліки: хоча і ефективний, але все ж таки досить дорогий метод, потрібне спеціальне обладнання. Вихідні матеріали повинні бути стійкі до температури та тиску. Матеріали, що застосовуються: смоли – епоксидна смола, волокна – будь-які, наповнювачі – практично всі за винятком нестійких до температури.

1.3.2. Полікарбонат

Полікарбонат сучасний універсальний матеріал, який застосовується в найрізноманітніших галузях в якості гідної альтернативи звичайному склу. При розробці складу полікарбонату, майбутній матеріал планували застосовувати при будівництві теплиць, оранжерей і подібних приміщень, в яких підтримувалася б певна температура при проникненні великої кількості сонячного світла. Проте ті теплофізичні і механічні показники, які були досягнуті при виробництві унікального матеріалу, сприяли застосуванню полікарбонату в таких сегментах, як машинобудування, електроніка, будівництво.

Отже, полікарбонат відноситься до класу синтетичних полімерів і є складним полієфіром вугільної кислоти та фенолів, за хімічною структурою є продуктом дифенілолпропану з похідними вугільної кислоти.

Полікарбонат має ряд відмінних характеристик: він термопластичний і гнучкий, міцний, морозо - і теплостійкий, має ідеальну звукоізоляцію і високу світлопроникність, стійкий до атмосферних впливів і найголовніше - довговічний. Полікарбонат залежно від його методу виготовлення та сфери застосування поділяється на два види: стільниковий полікарбонат та монолітний полікарбонат [25].

Стільниковий полікарбонат є з'єднаними поздовжніми ребрами жорсткості панелі, виготовлені з гранул полікарбонату методом екструзії. Найпростіші та найтонші панелі складаються з двох шарів, а панелі більшої товщини виготовляються з трьох і більше шарів і мають складнішу систему ребер жорсткості. Наявність повітряного прошарку - відмінна риса стільникового полікарбонату порівняно із суцільним полікарбонатом. Ця особливість дозволяє суттєво знизити вагу матеріалу та наділяє його високими теплоізоляційними властивостями [26].

Крім використання в теплицях, оранжереях та інших приміщеннях, де потрібне проникнення достатньої кількості сонячного світла одночасно з підтримкою необхідної температури повітря, стільниковий полікарбонат знаходить застосування і там, де його теплоізоляційні властивості не мають особливого значення, а саме в холодних покрівельних конструкціях - навісах, козирках, перекриттях внутрішніх двориків тощо.

Завдяки світлопропускаючим і світлорозсіюючим властивостям стільниковий полікарбонат дозволяє створювати в приміщеннях і спорудах по-справжньому комфортне природне освітлення, в міру інтенсивне та рівномірне. Причому ступінь світлопропускання можна регулювати шляхом вибору панелей необхідної товщини, кольору та фактури – від абсолютно прозорих до тонованих та матових.

Основні властивості стільникового полікарбонату.

Невелика вага. Панелі стільникового полікарбонату завдяки повітряному прошарку, що утворюється ребрами жорсткості, надзвичайно легкі. Вага стільникового полікарбонату в 16 разів менша за вагу звичайного скла аналогічної товщини, в 7 разів - ПВХ і в 6 разів - акрилового скла. Ця властивість дозволяє проектувати та зводити полегшені і тому дешевші конструкції.

Світлопроникність. Ця властивість полікарбонату важко переоцінити в конструкціях, що вимагають хорошого світлорозсіювання. Панелі стільникового полікарбонату, залежно від товщини, пропускають до 82% видимої частини світлового спектру. У свою чергу матеріали бронзового та матового відтінків дозволяють регулювати пропускання сонячного світла та зменшувати перегрів повітря у будинках, запобігати знебарвленню чутливих матеріалів, наприклад, на складі, у музеї, торговому центрі. Також зараз у виробників з'явилися в асортименті панелі стільникового полікарбонату зі спеціальним покриттям, що має селективні властивості.

Висока теплоізоляція. Багатостінна структура полікарбонату дає значні переваги там, де основним фактором є теплоізоляція. Пустотіла форма забезпечує відмінні ізоляційні характеристики при значно менших втратах тепла, ніж одностінні матеріали для скління. Ця властивість стільникового полікарбонату знайшла застосування для будівництва зимових садів, зонітних ліхтарів, світлових вікон, а також теплиць.

Гнучкість. Панелі стільникового полікарбонату легко гнуться, що дозволяє без проблем створювати арочні та купольні перекриття. Це представляє великі можливості для реалізації найсміливіших дизайнерських задумів.

Довговічність. Полікарбонат має на зовнішній поверхні шар високоефективного поглинання УФ-променів, що запобігає їх проникненню всередину листа. Захист від УФ-променів продовжує термін служби матеріалу та захищає від пожовтіння та зниження міцності (гарантований термін служби – 10 років).

Велика ударостійкість. Панелі мають високі протиударні якості в широкому діапазоні температур від -40°C до $+120^{\circ}\text{C}$, перевищуючи удароміцність будь-якого з виду пластиків, а в порівнянні зі склом ця різниця - 200-кратна.

Матеріал відрізняється чудовим захистом від граду, необережного поводження або навмисних ушкоджень.

Пожежна безпека. Панелі стільникового полікарбонату важкозаймисті, не поширюють горіння, є самозагасаючими, при горінні не виділяють отруйних газів і сприяють відводу диму.

Втім, абсолютна більшість проблем, з якими доводиться мати справу в процесі експлуатації покрівель з стільникового полікарбонату (наприклад, скупчення конденсату всередині панелей, виникнення парникового ефекту), пов'язане з різноманітними порушеннями правил монтажу стільникового полікарбонату або правил поводження з цим матеріалом.

Монолітний полікарбонат має високу міцність, гнучкість, прозорість та низьку горючість. Він широко застосовується в архітектурі, будівництві та промисловості. Полікарбонатні плити мають захисний шар, який захищає їх від впливу сонячної радіації [27].

Листовий монолітний полікарбонат має унікально високу удароміцність. Листовий (монолітний) полікарбонат неможливо зруйнувати лабораторними методами. Удароміцність полікарбонату в 250 разів перевищує удароміцність звичайного скла і майже в 10 разів удароміцність органічного (акрилового) скла.

По мірі прозорості (89% світлопроникність) монолітний полікарбонат нічим не відрізняється від звичайних стекол, прозорих варіантів полістиролу, ПВХ, САН, ПЕТ і поступається, як і інші матеріали, лише органічному (93%) і кварцевому (100%) склу.

Ще одна особливість монолітного полікарбонату - висока стійкість до низьких і високих температур. Діапазон температур упевненого використання монолітного полікарбонату дуже широкий - від -50°C до

+150°C. Тому монолітний полікарбонат беззастережно може застосовуватися у будь-яких найскладніших кліматичних умовах.

Для монолітного полікарбонату характерні також висока вогнестійкість, надзвичайно низький рівень димоутворення при горінні в умовах навіть розвиненої пожежі і низька токсичність продуктів розкладання, що є дуже важливими чинниками експлуатаційної безпеки будівельного об'єкту.

Значення кисневого індексу (відсотковий вміст кисню в навколишній атмосфері, при якій матеріал починає підтримувати стійке горіння) складає 28-30%. Це означає, що в повітряному середовищі (21% кисню) монолітний полікарбонат не підтримує горіння і відповідно до класифікації відноситься до групи самозагасних полімерів.

Сукупність усіх цих якостей ставить листовий (монолітний) полікарбонат в ряд матеріалів з найкращими показниками протипожежної безпеки, причому варто відмітити, що ці властивості характерні для монолітного полікарбонату без яких би то не було спеціальних антипіруючих добавок.

Листовий монолітний (суцільний) полікарбонат є найміцнішим із усіх прозорих матеріалів, що існують на світовому ринку та виробляються у промислових масштабах. Унікальність експлуатаційних характеристик забезпечує затребуваність листового полікарбонату у будівництві. Фактичний термін служби листів складає близько 15 років. Стійкість до впливів довкілля – листи монолітного полікарбонату зберігають свої характеристики протягом тривалого часу. Також листи монолітного полікарбонату мають хороші теплоізоляційні властивості, витримують вплив більшості хімічних речовин та сполук. Монолітні полікарбонатні листи легко очищаються великою кількістю води і 100% бавовняною тканиною (дозволяється використовувати засоби для миття посуду або спеціальні засоби, за винятком засобів, що містять аміак, що веде до руйнування полікарбонату).

Монолітний полікарбонат легкий у обробці. Його можна пиляти (ножовкою, стрічковою або дисковою пилкою), свердлити, фрезерувати із застосуванням звичайних інструментів для дерево- та металообробки.

Листи можна згинати без нагріву. Мінімальний радіус згинання листа залежить від його товщини. $R_{\min} = 175 \times t$, де t - товщина листа. Наприклад, мінімальний радіус згинання полікарбонату завтовшки 3 мм дорівнює 52,5 см ($175 \times 3 \text{ мм} = 525 \text{ мм}$).

При зовнішньому застосуванні полікарбонату (як і інших матеріалів) необхідно враховувати термічне розширення матеріалу. Зміна розміру листа під впливом зміни температур (зима-літо) складає 4 мм/п.м при різниці температур 60°C (від -30° до $+30^\circ$).

Виробники полікарбонату наносять на листи з одного або з обох його сторін спеціальний УФ-стабілізуючий шар, про наявність якого дається вказівка на захисній плівці листів.

Листи монолітного полікарбонату легко ріжуться пилками по дереву. Слід уникати використання високошвидкісного обладнання для різання сталі, оскільки високе тертя призводить до плавлення полікарбонату. Листи полікарбонату можна пиляти стрічковими, циркулярними, ручними пилками та іншими ріжучими інструментами. Листи монолітного полікарбонату можна клеювати як між собою, і з іншими матеріалами. Залежно від вимог, що висуваються до зовнішнього вигляду та умов експлуатації клейового з'єднання, рекомендується використовувати різні види клею. Клеї на основі розчинників не підходять для полікарбонату, оскільки викликають у ньому серйозні пошкодження, які можуть бути непомітні зовні, але неодмінно позначаються на міцності матеріалу в подальшій експлуатації.

Стільниковий полікарбонат у будівництві використовують для спорудження дахів, що пропускають світло, наприклад, в торгових центрах, на стадіонах, в басейнах і садах в якості всіляких навісів і козирків. Також стільниковий полікарбонат використовується для підтримки арочних перекриттів, переходів, галерей та перегородок усередині приміщення. З

недавнього часу полікарбонат почав використовуватися для самостійних будівель, наприклад, літніх кухонь, зимових садів, коли виявилось, що матеріал досить жорстокий сам по собі і не потребує детального каркасу. Монолітний полікарбонат добре гнеться, тому використовується у місцях, де необхідне заокруглення без втрати якості матеріалу. Тому саме з цього виду полікарбонату роблять усілякі куполи та загнуті навіси.

За великим рахунком, обидва ці види можуть дублювати один одного у виробництві. Однак, у кожного все ж таки є свої особливості. Так, стільниковий полікарбонат, як більш дешевий матеріал, може використовуватися для повного скління будинку, а монолітний карбонат для цього буде дуже дорогим.

РОЗДІЛ 2

КОНСТРУКЦІЇ ШВИДКОСПОРУДЖУВАНИХ БУДІВЕЛЬ З ПОЛІКАРБОНАТУ

2.1. Механічні властивості полікарбонату

Для конструкторів та підрядників монолітний полікарбонат (литі, суцільні листи з полікарбонату) дає рішення практично будь-якого завдання, пов'язаного з облицюванням або склінням. Крім того, акустичні та теплоізоляційні властивості монолітного полікарбонату, мала вага та гнучкість дозволяють знизити витрати на проектно-конструкторські та будівельні роботи. Монолітні екструзійні листи з полікарбонату є ідеальним матеріалом для місць, де можливий вандалізм або потрібна підвищена міцність ударів, у тому числі для рекламних щитів.

Монолітний полікарбонат є ідеальним матеріалом, з якого шляхом гарячого формування набувають елементи криволінійної форми. Це різні куполи з круглою, квадратною або прямокутною основою, протяжні модульні світлові ліхтарі з необмеженою довжиною та окремі секції величезних куполів, що досягають 8-10 м у діаметрі (легко транспортуються та збираються).

Така технологія забезпечує постійну товщину одержуваного елемента криволінійної форми. Подібні елементи мають дуже високу ударну міцність. У процесі формування ці елементи набувають ребра жорсткості, що робить їх придатними для самонесучих перекриттів, і знімає необхідність застосування металевого каркаса (відсутність містків холоду і конденсату).

Листи монолітного полікарбонату витримують температури, за яких багато інших пластиків або плавляться, або просто руйнуються. Листи зберігають свої оптичні та механічні властивості у найнесприятливіших зовнішніх умовах [18].

У таблиці 2.1 представлені технічні характеристики полікарбонату марки Makrolon виробництва Бельгії.

Таблиця 2.1 - Технічні характеристики

Показник	Метод випробувань	Одиниця виміру	Значення
Щільність	-	г/см ³	1,2
Усаджування	ASTM D 955	%	0,6-0,8
Водопоглинання	ASTM D 570 при зануренні на 24 години	%	0,35
Водопоглинання	ASTM D 570 з повітря при 50% вл.	%	0,15
Модуль пружності	ISO 527,1 мм/хв	МПа	2400
Напруга при розтягуванні	ISO 527,50 мм/хв	МПа	63
Відносне подовження	ISO 527, 50 мм/хв	%	6
Напруга при розриві	ISO 527, 5 мм/хв	МПа	-
Відносне подовження при розриві	ISO 527, 5 мм/хв	%	>50
Модуль повзучості при розтягуванні	ISO 899, 1 година	МПа	2200
Модуль повзучості при розтягуванні	ISO 899,1000 година	МПа	1900
Ударна в'язкість зразка з надрізом по Ізолу	ISO 180, 23 З	кДж/м ²	90
Ударна в'язкість зразка з надрізом по Ізолу	ISO 180, - 30 З	кДж/м ²	-
Температура теплової деформації	ISO 75-2 (1,80МПа, 120°С в годину)	°С	130

Продовження таблиці. 2.1

Температура теплової деформації	ISO 75-2 (0,45МПа, 120°C в годину)	°C	138
Коефіцієнт лінійного теплового розширення	ASTM E831	-	$0,7 \times 10^{-4} / ^\circ\text{K}$
Міра стійкості до горіння	UL94	-	НВ
Питомий об'ємний електричний опір	IEC 93	Ом*см	(10^{15})
Поверхневий опір	IEC 93	Ом	(10^{15})
Діелектрична міцність	IEC 243-1	кВ/мм	30
Коефіцієнт заломлення	ISO 489	-	1,586
Коефіцієнт світлопроникності	ASTM D 1003	%	87
Ударна в'язкість зразка з надрізом по Шарпи	ISO 179, 23 З	кДж/м ²	не зруйн.
Ударна в'язкість зразка з надрізом по Шарпи	ISO 179, - 30 З	кДж/м ²	не зруйн.

2.2. Розрахунок настилу з полікарбонату при дії короткочасного навантаження

Розглядаються настили з монолітного полікарбонату з розмірами 2500x1250 мм, завтовшки $t=1; 0,8; 0,6$ см; 2500x1000 мм, завтовшки $t=1; 0,8; 0,6$ см; 2500x750 мм, завтовшки $t=1; 0,8; 0,6$ см В розрахунку враховувалися наступні завантаження:

- I завантаження - постійне навантаження від власної ваги плити величиною $q_1^n = 0,12 \text{ кН/м}^2$;

- II завантаження - короткочасне навантаження від снігу для різних снігових районів. Значення навантажень представлені в таблиці. 2.1.

Таблиця 2.2 - Характеристичне значення снігового навантаження

Номер снігового району	I	II	III	IV	V	VI
$S_0, \text{ кН/м}^2$	0,8	1,0	1,2	1,4	1,6	1,8

Експлуатаційне розрахункове значення визначається:

$$S_e = S_0 \cdot \gamma_{fe} \cdot \gamma_n,$$

де S_0 - характеристичне значення снігового навантаження;

γ_{fe} - коефіцієнт надійності по експлуатаційному значенню снігового навантаження, визначуваний по таблиці. [5] залежно від долі часу η , упродовж якої можуть порушуватися умови другого граничного стану.

$$\gamma_n = 0,9.$$

Для об'єктів масового будівництва допускається приймати $\eta = 0,02$.

Визначаємо значення експлуатаційного навантаження для кожного з снігових районів :

$$\text{I} - S_e = 0,8 \cdot 0,49 \cdot 0,9 = 0,3528 \text{ кН/м}^2$$

$$\text{II} - S_e = 1,0 \cdot 0,49 \cdot 0,9 = 0,4410 \text{ кН/м}^2$$

$$\text{III} - S_e = 1,2 \cdot 0,49 \cdot 0,9 = 0,5292 \text{ кН/м}^2$$

$$\text{IV} - S_e = 1,4 \cdot 0,49 \cdot 0,9 = 0,6174 \text{ кН/м}^2$$

$$\text{V} - S_e = 1,6 \cdot 0,49 \cdot 0,9 = 0,7056 \text{ кН/м}^2$$

$$\text{VI} - S_e = 1,8 \cdot 0,49 \cdot 0,9 = 0,7938 \text{ кН/м}^2$$

Для розрахунків використовувався програмний комплекс ЛПРА. Полікарбонатний настил моделювався кінцевим елементом плити.

Розрахункова схема настилу з полікарбонату представлена на рис. 2.1; 2.2; 2.3.

Результати розрахунку для визначення прогину конструкції представлені в таблиці. 2.3; 2.4; 2.5.

В результаті розрахунку було встановлено, що зусилля, що виникають у настилі, є незначними.

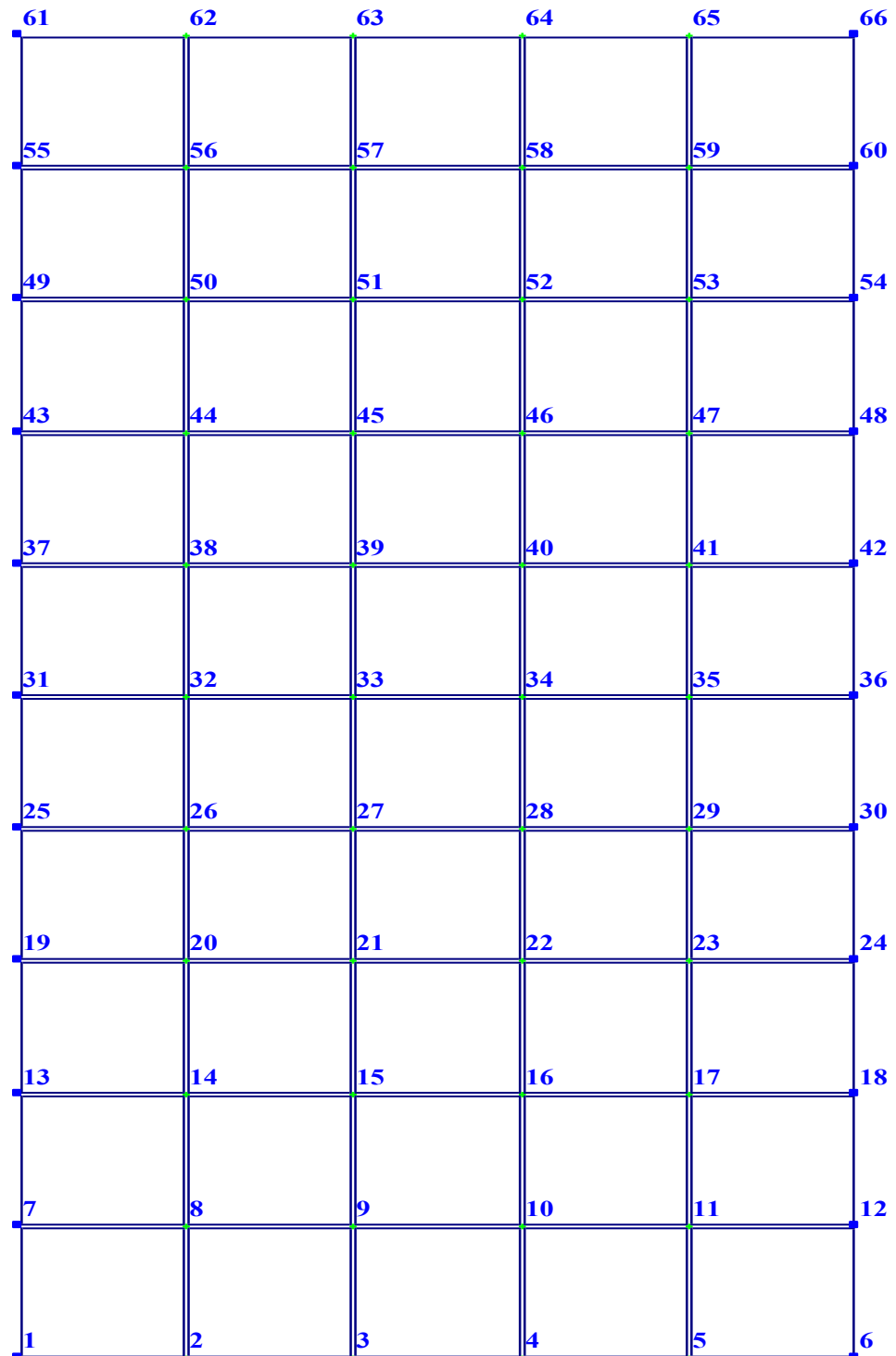


Рисунок 2.1 - Розрахункова схема настилу з розмірами 2500x1250 мм

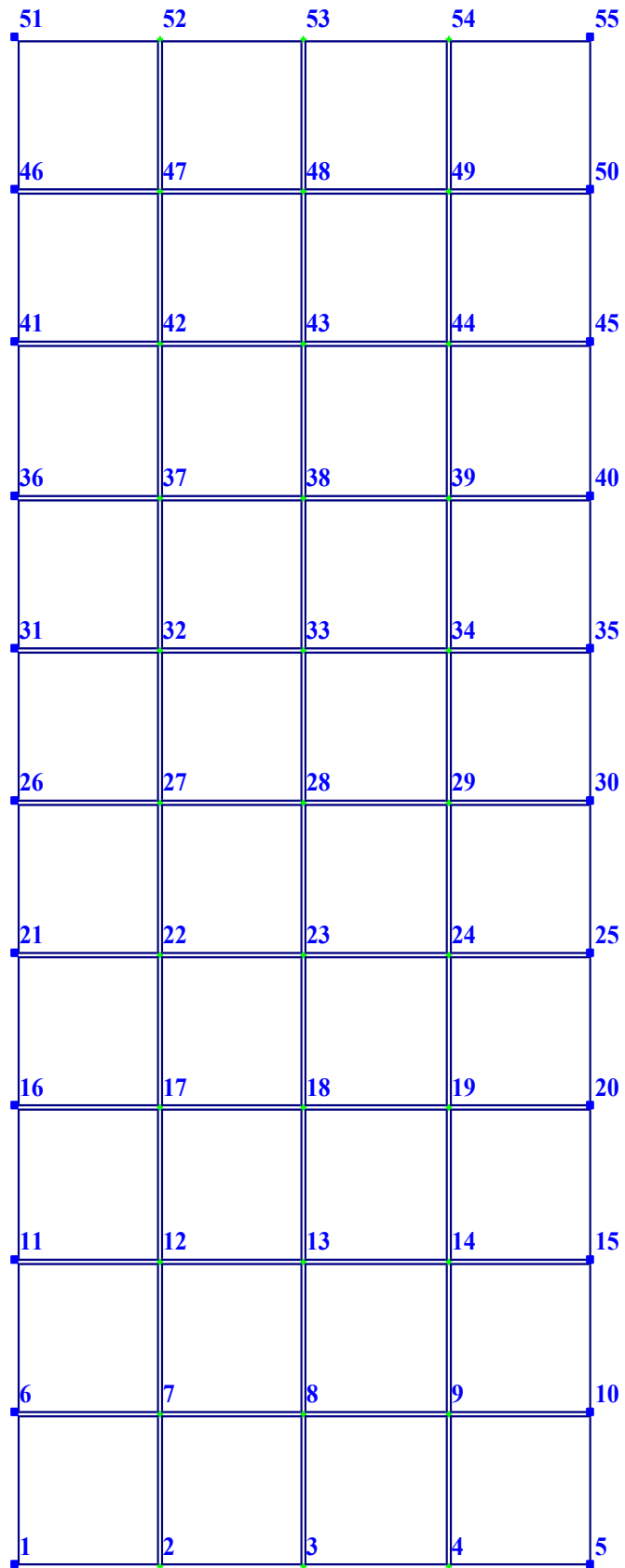


Рисунок 2.2 - Розрахункова схема настилу з розмірами 2500x1000 мм

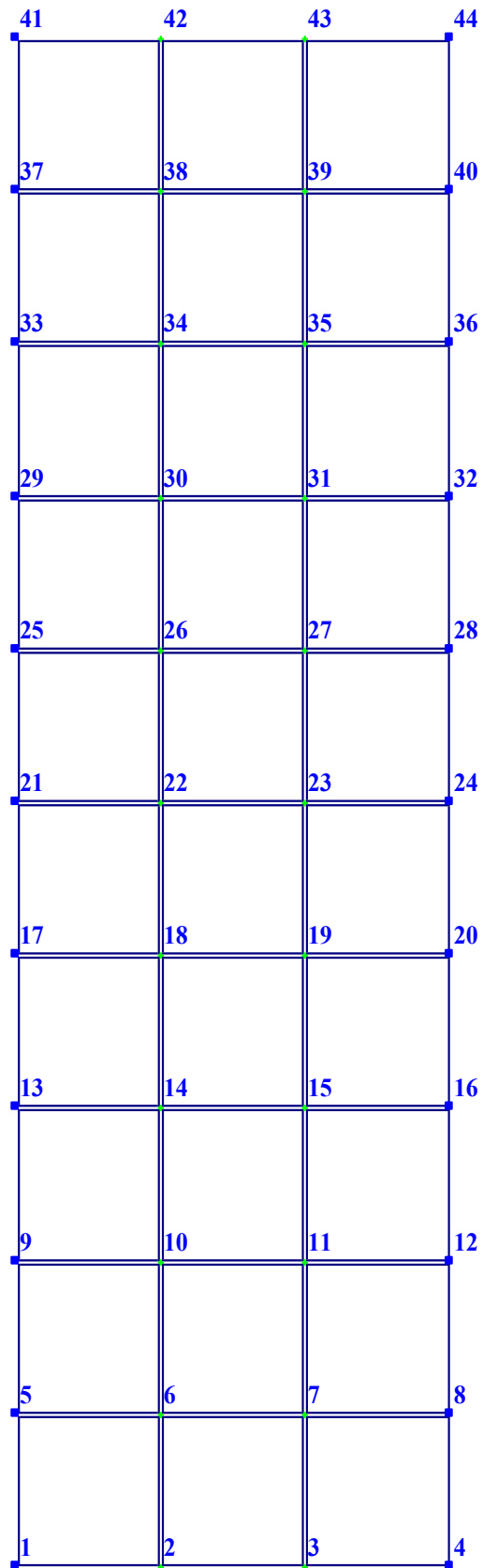


Рисунок 2.3 - Розрахункова схема настилу з розмірами 2500x750 мм

Таблиця 2.3 - Значення прогинів від власної ваги настилу та в залежності від снігового району для настилу $l=1250$ мм

Сніговий район і власна вага настилу	Значення експлуатаційного навантаження S_e , кН/м ²	Величина прогину f , мм			Відносний прогин f/l		
		товщина настилу, см			товщина настилу, см		
		0,6	0,8	1,0	0,6	0,8	1,0
Власна вага	0.12	15,332	6,468	3,312	-	-	-
I	0.353	45,103	19,028	9,742	1/21	1/49	1/95
II	0.441	56,347	23,771	12,171	1/17	1/41	1/81
III	0.529	67,591	28,515	14,600	1/15	1/36	1/70
IV	0.617	78,835	33,258	17,028	1/13	1/32	1/61
V	0.706	90,206	38,056	19,485	1/12	1/28	1/55
VI	0.794	101,45	42,799	21,913	1/11	1/25	1/49

Таблиця 2.4 - Значення прогинів від власної ваги настилу та в залежності від снігового району для настилу $l=1000$ мм

Сніговий район і власна вага настилу	Значення експлуатаційного навантаження S_e , кН/м ²	Величина прогину f , мм			Відносний прогин f/l		
		товщина настилу, см			товщина настилу, см		
		0,6	0,8	1,0	0,6	0,8	1,0
Власна вага	0.12	6,823	2,878	1,474	-	-	-
I	0.353	20,071	8,467	4,335	1/37	1/88	1/172
II	0.441	25,074	10,578	5,416	1/31	1/74	1/145
III	0.529	30,078	12,689	6,497	1/27	1/64	1/125
IV	0.617	35,081	14,800	7,578	1/24	1/56	1/110
V	0.706	40,142	16,935	8,671	1/21	1/50	1/98
VI	0.794	45,145	19,046	9,751	1/19	1/46	1/89

Таблиця 2.5 - Значення прогинів від власної ваги настилу та в залежності від снігового району для настилу $l=750$ мм

Сніговий район і власна вага настилу	Значення експлуатаційного навантаження S_e , кН/м ²	Величина прогину f , мм			Відносний прогин f/l		
		товщина настилу, см			товщина настилу, см		
		0,6	0,8	1,0	0,6	0,8	1,0
Власна вага	0.12	1,732	0,731	0,374	-	-	-
I	0.353	5,095	2,150	1,101	1/109	1/260	1/508
II	0.441	6,365	2,685	1,375	1/92	1/219	1/429
III	0.529	7,636	3,221	1,649	1/80	1/189	1/371
IV	0.617	8,906	3,757	1,924	1/70	1/167	1/326
V	0.706	10,191	4,299	2,201	1/63	1/149	1/291
VI	0.794	11,461	4,835	2,476	1/57	1/135	1/263

У таблицях 2.3; 2.4; 2.5 враховувався сумарний прогин від власної ваги настилу та від снігового навантаження відповідного району.

Вказівок щодо призначення граничного відносного прогину $[f/l]$ для елементів, що згинаються, з полікарбонату в літературі не виявлено. У наведених розрахунках граничний відносний прогин прийнято рівним $[f/l]=1/100$.

Результати розрахунків, наведені у таблицях 2.3; 2.4; 2.5 дозволяють призначити проліт полікарбонатного настилу в залежності від діючих навантажень.

З аналізу розрахунку, поданого у табл. 2.3, можна зробити висновок, що при прольоті настилу $l=1250$ мм відносний прогин для всіх товщин настилу перевищує граничне значення прогину $[f/l]=1/100$.

При прольоті настилу $l=1000$ мм відносний прогин менше граничного мають лише настил завтовшки $t=1$ см всім снігових районів, крім V і VI.

Настили прольотом $l=750$ мм і $t=6$ мм застосовні лише у I сніговому районі, товщиною 8 і 10 мм – у всіх снігових районах.

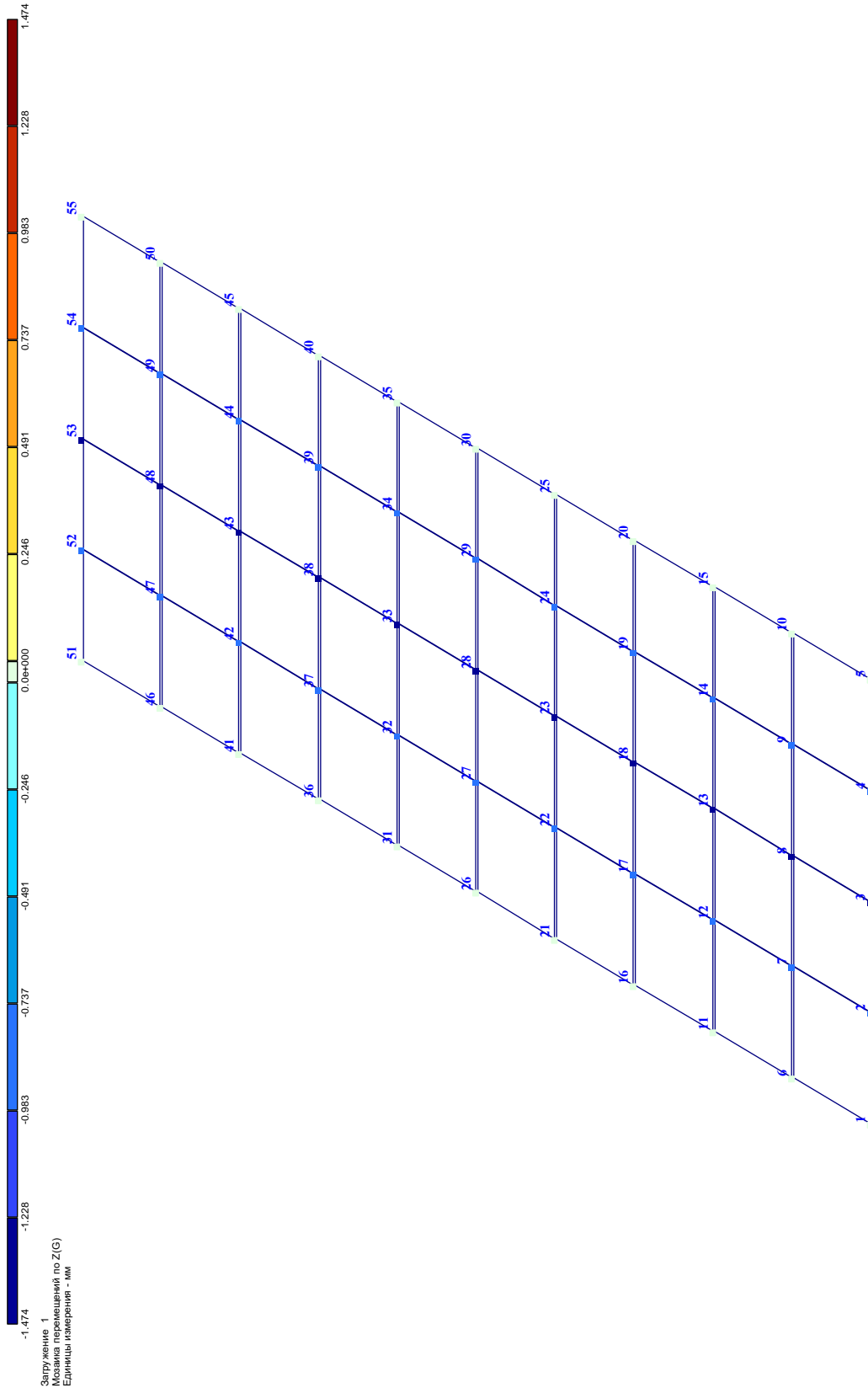


Рисунок 2.2 - Мозаїка переміщення по осі Z від власної ваги

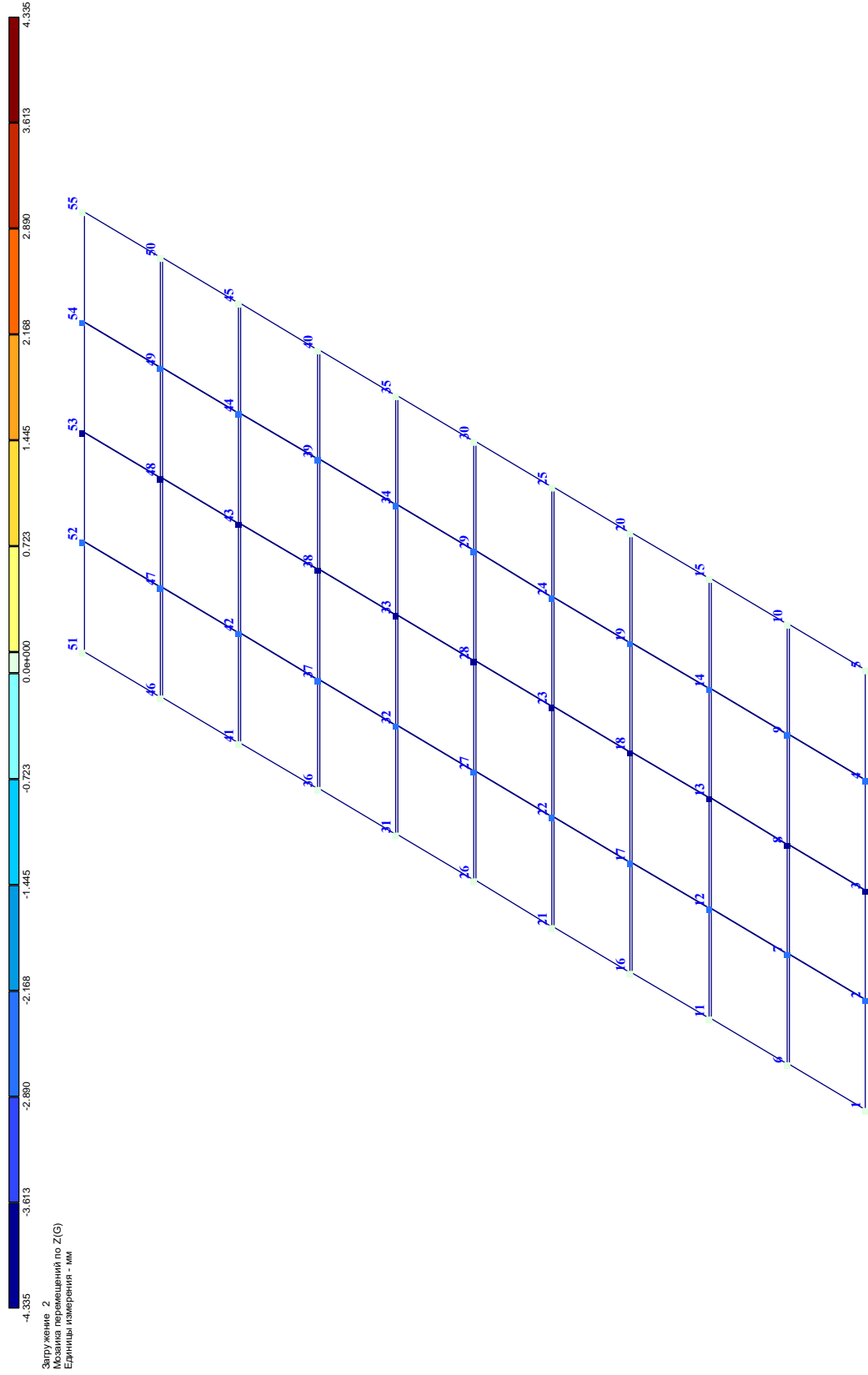


Рисунок 2.3 - Мозаїка переміщення по осі Z від навантаження величиною 0,353

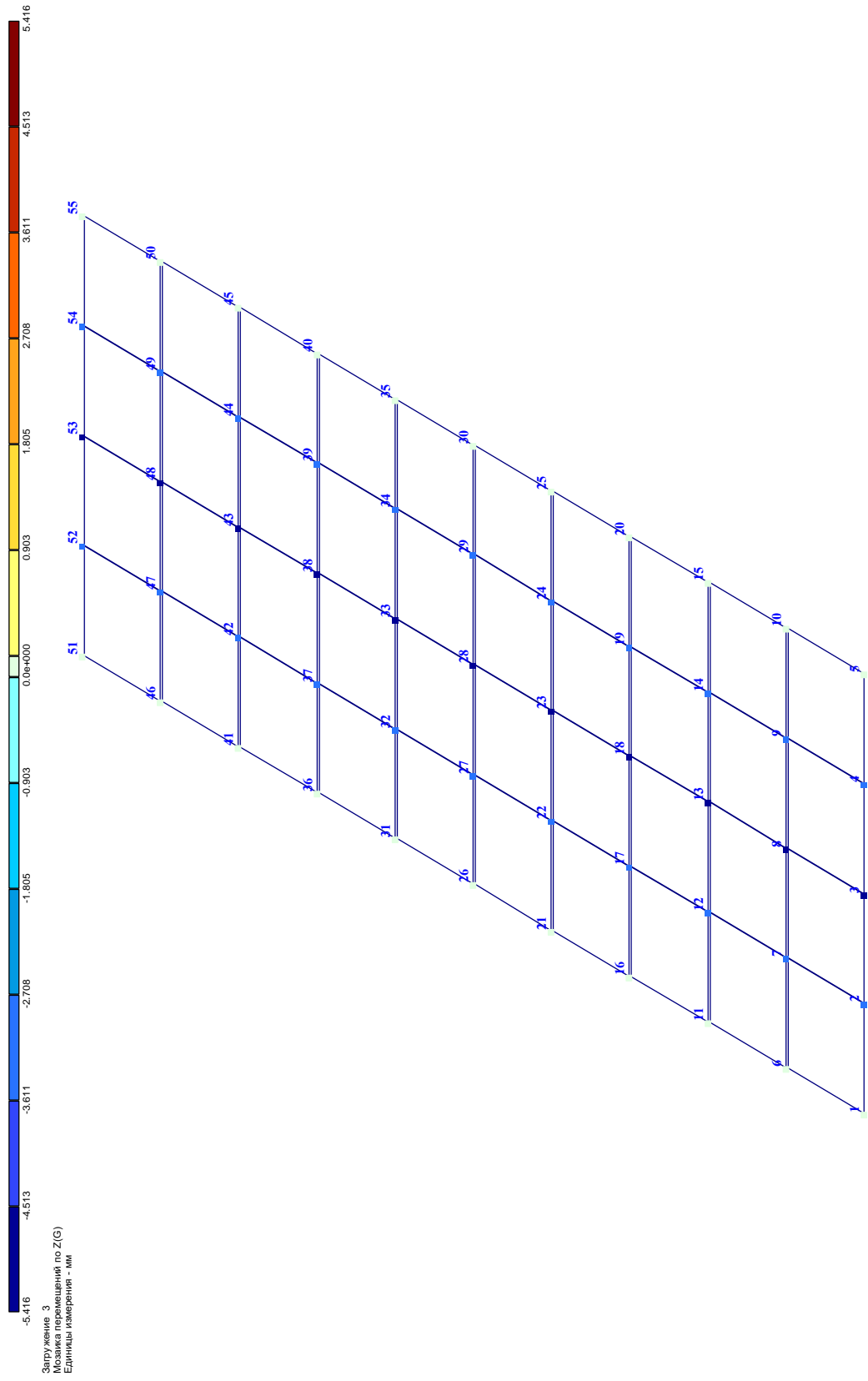


Рисунок 2.4 - Мозаїка переміщення по осі Z від навантаження величиною 0,441

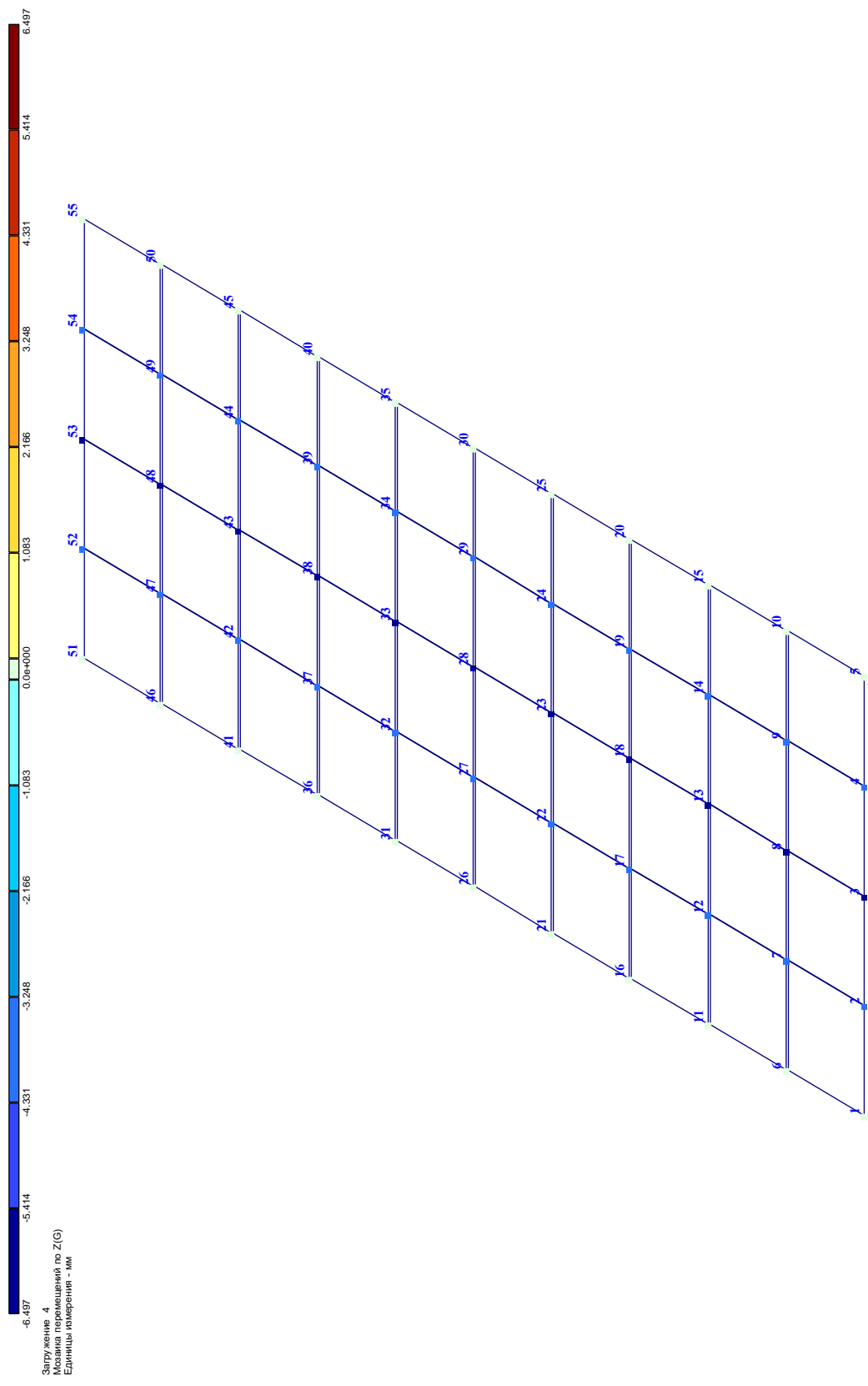


Рисунок 2.5 - Мозаїка переміщення по осі Z від навантаження величиною 0,529

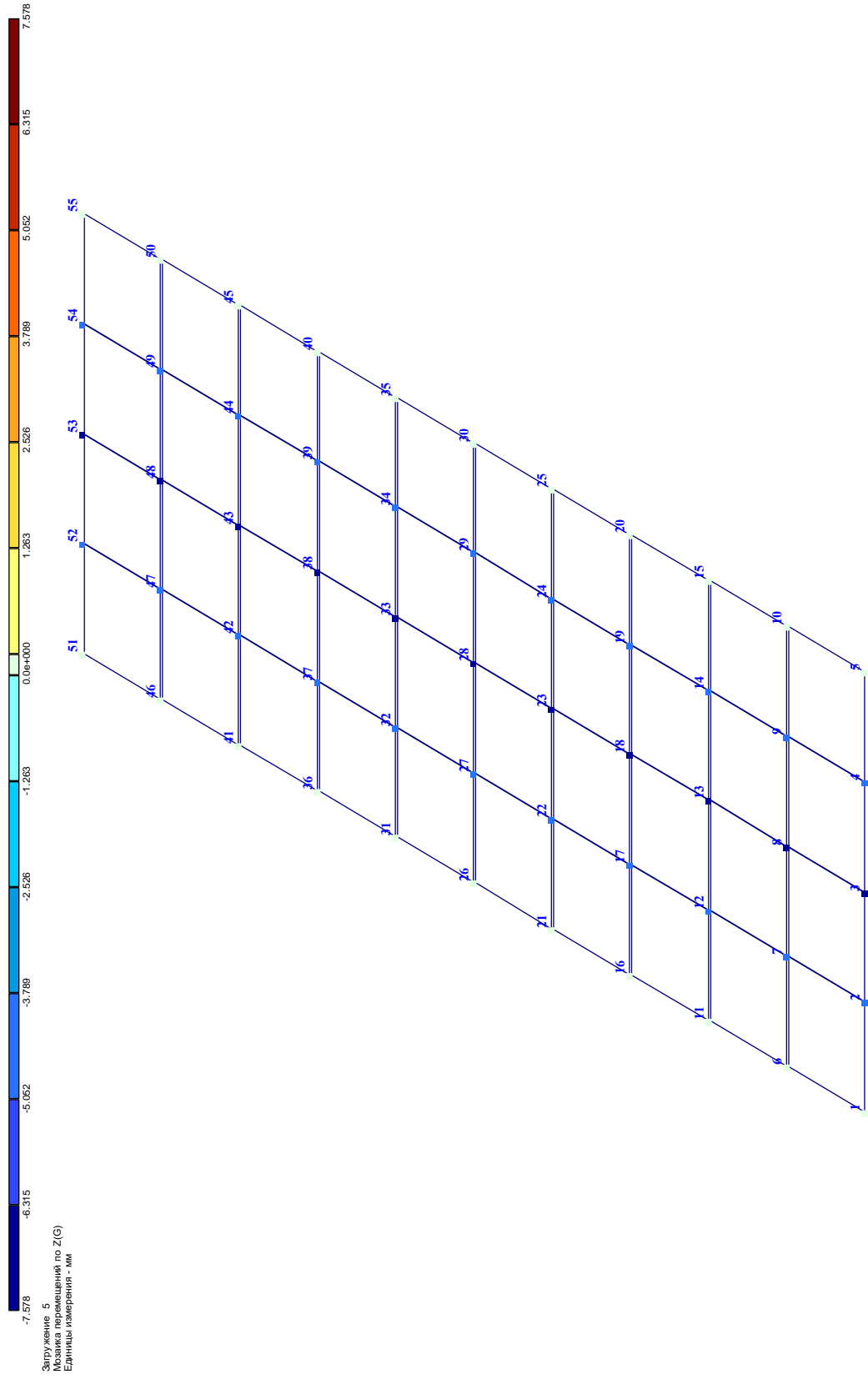


Рисунок 2.6 - Мозаїка переміщення по осі Z від навантаження величиною 0,617

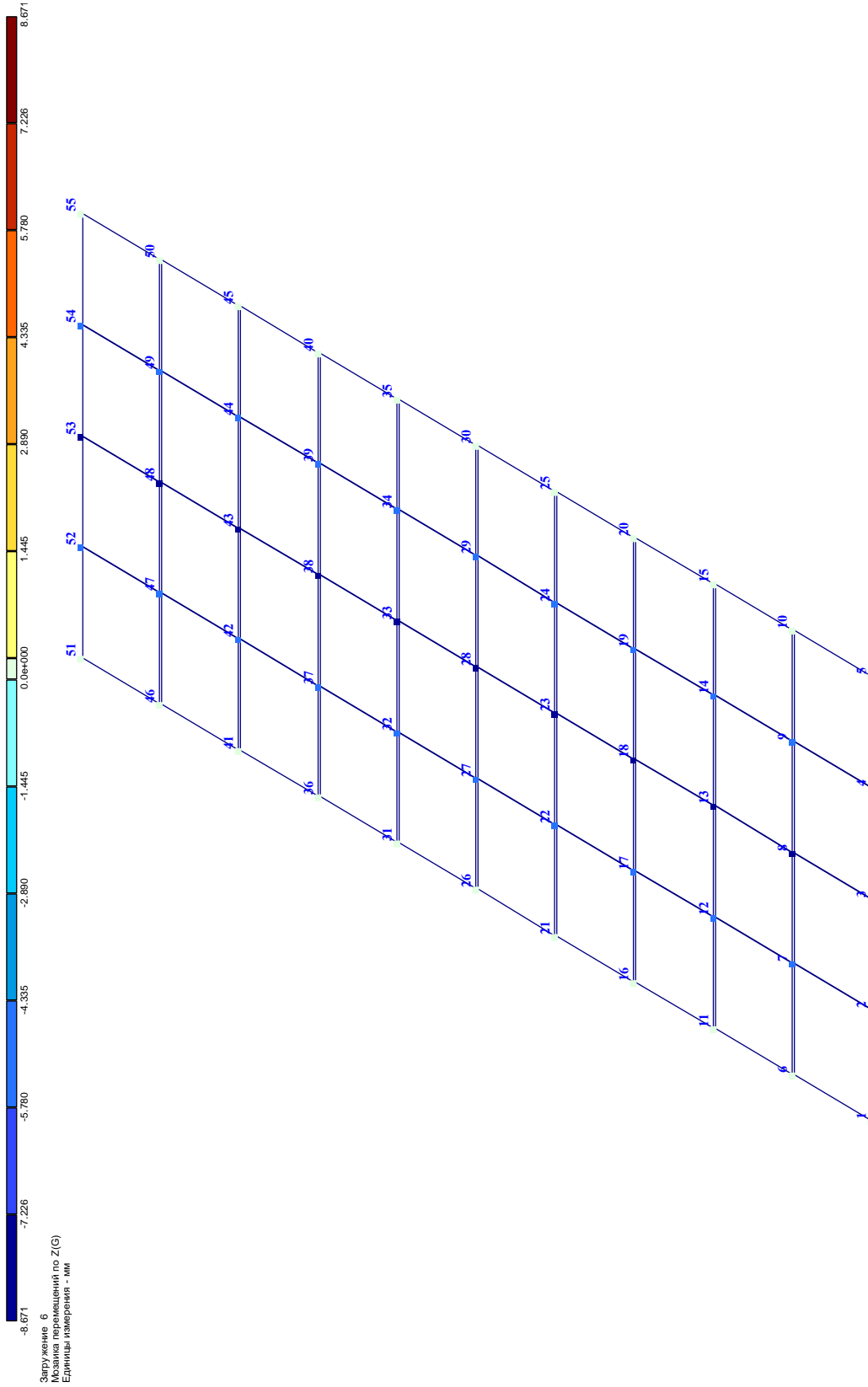


Рисунок 2.7 - Мозайка перемещения по осі Z від навантаження величиною 0,706

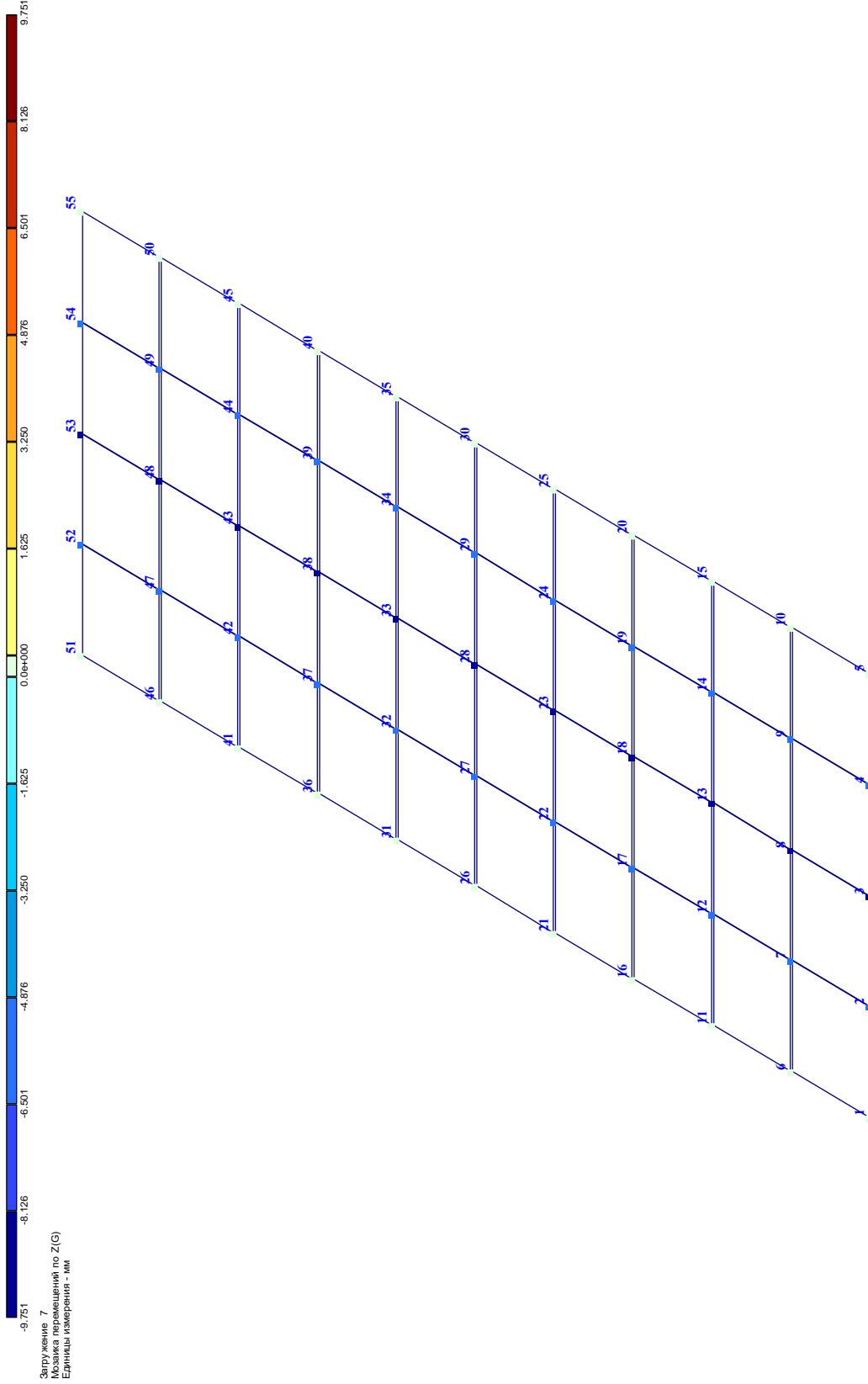


Рисунок 2.8 - Мозаїка переміщення по осі Z від навантаження величиною 0,794

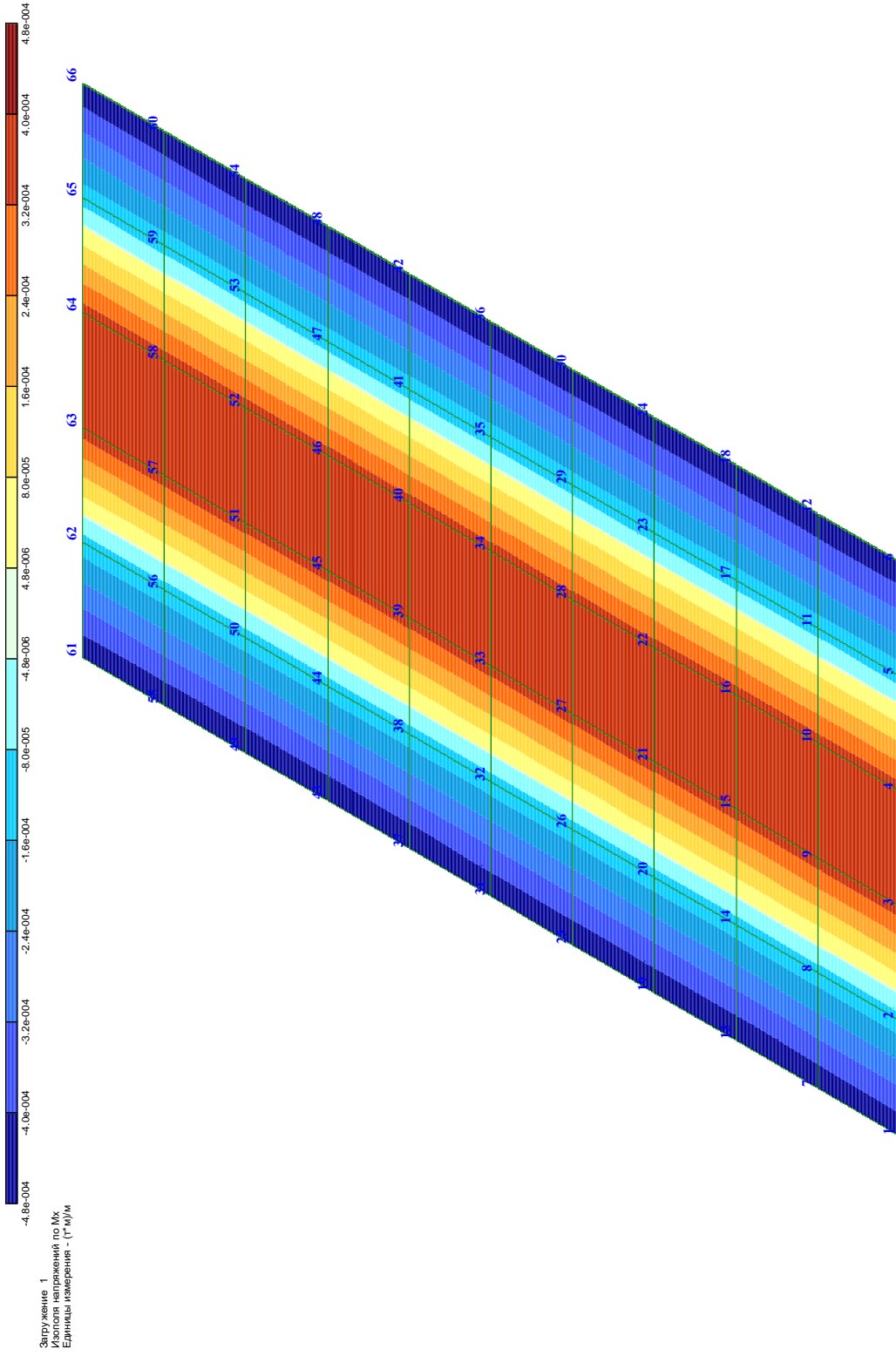


Рисунок 2.9 - Изополя напруги по Мх

2.3. Розрахунок настилу з полікарбонату при дії тривалого навантаження

Розраховується настил з монолітного полікарбонату 2500x1000 мм, завтовшки $t=1\text{см}$ для часу дії тривалого навантаження $t=1\text{г}$ і $t=1000\text{г}=41$ день. Модуль повзучості при розтягуванні для часу $t=1\text{г}$ дорівнює 2200 МПа (для монолітного полікарбонату марки Makrolon), а для часу $t=1000\text{г}=41$ день він дорівнює 1900 МПа.

Розрахунок ведемо в програмному комплексі ЛІРА і проводимо для усіх снігових районів. В ході розрахунку визначені прогини настилу від дії тривалого навантаження з урахуванням повзучості. Результати представлені в таблиці. 2.6 і показують, що деформації повзучості істотно впливають на деформації настилу.

Таблиця 2.6 - Прогини настилу для часу дії тривалої навантаження $t=0$, $t=1\text{г}$ і $t=1000\text{г}=41$ день

Сніговий район і власна вага конструкції	Величина експлуатаційного навантаження S_e , кН/м^2	Величина прогину f для $t=0$, мм	Величина прогину f для $t=1\text{г}$, мм	Величина прогину f для $t=1000\text{г}=41$ день, мм
Власна вага конструкції	0,12	1,474	1,675	1,939
I	0,353	4,335	4,927	5,704
II	0,441	5,416	6,155	7,126
III	0,529	6,497	7,383	8,548
IV	0,617	7,578	8,611	9,971
V	0,706	8,671	9,853	11,409
VI	0,794	9,751	11,081	12,831

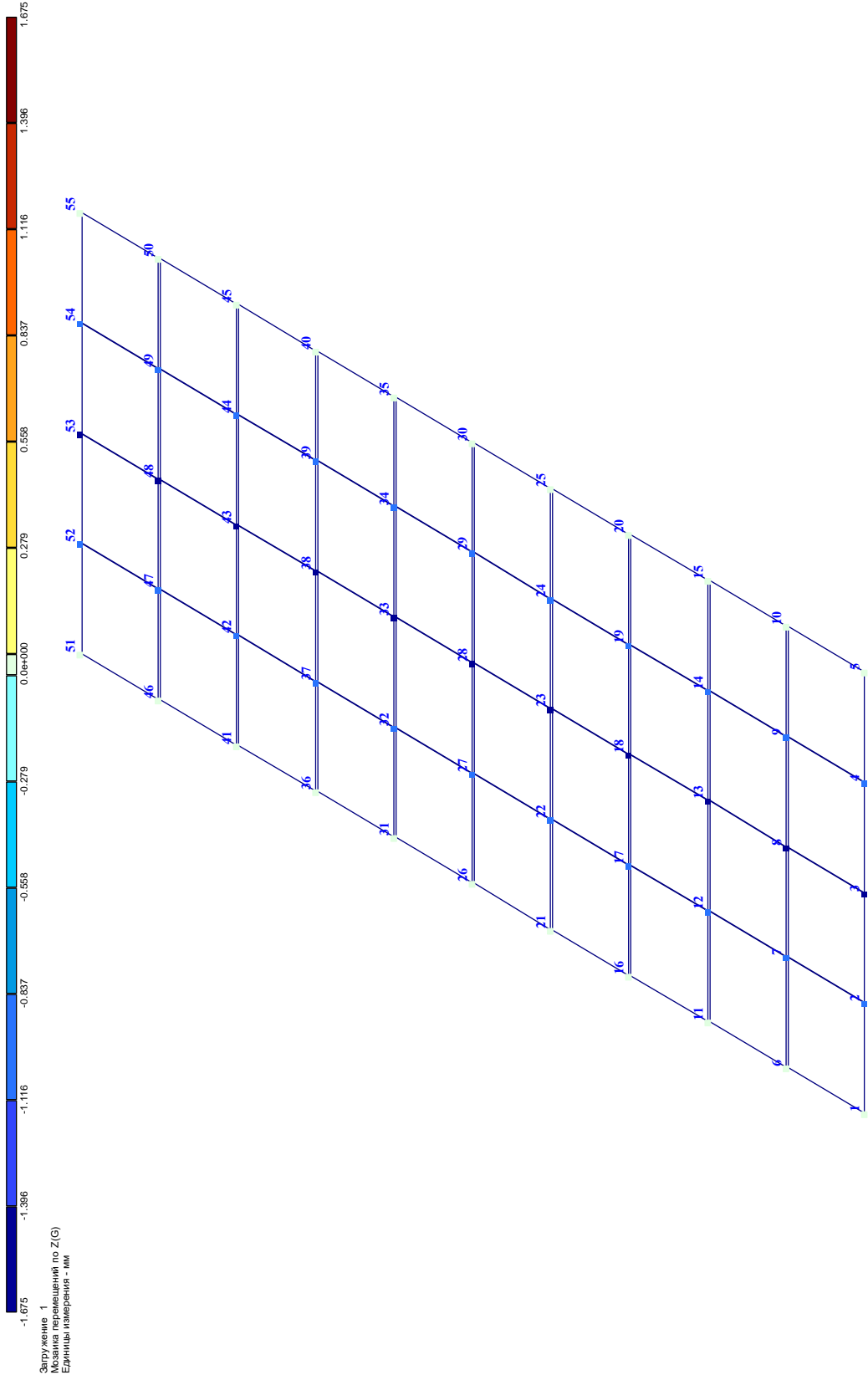


Рисунок 2.10 - Мозаїка переміщень по осі Z від власної ваги конструкції з урахуванням повзучості для часу $t=1\Gamma$

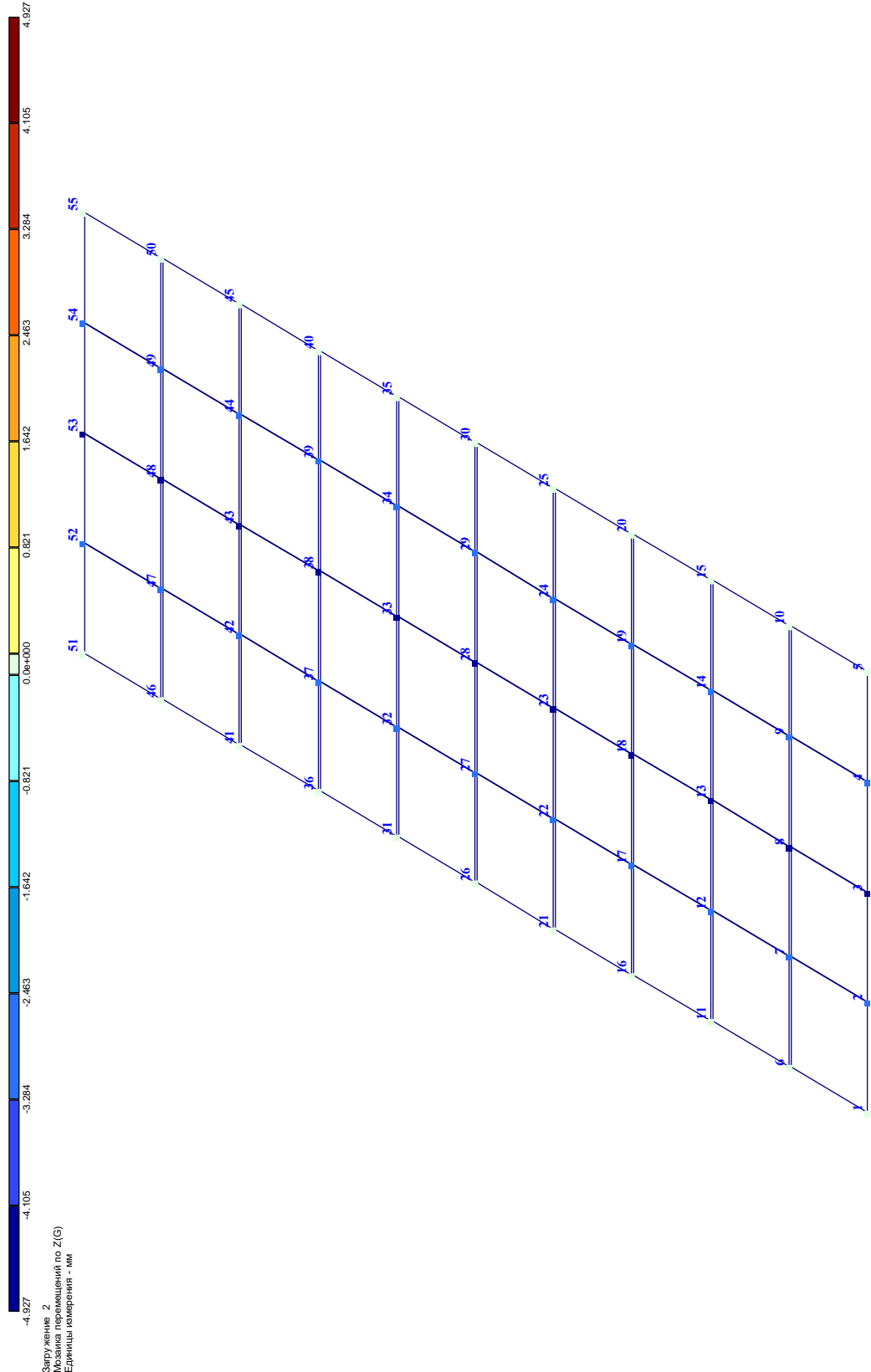


Рисунок 2.11 - Мозаїка переміщень по осі Z від навантаження величиною $0,353 \text{ кН/м}^2$ з урахуванням повзучості для часу $t=1\text{г}$

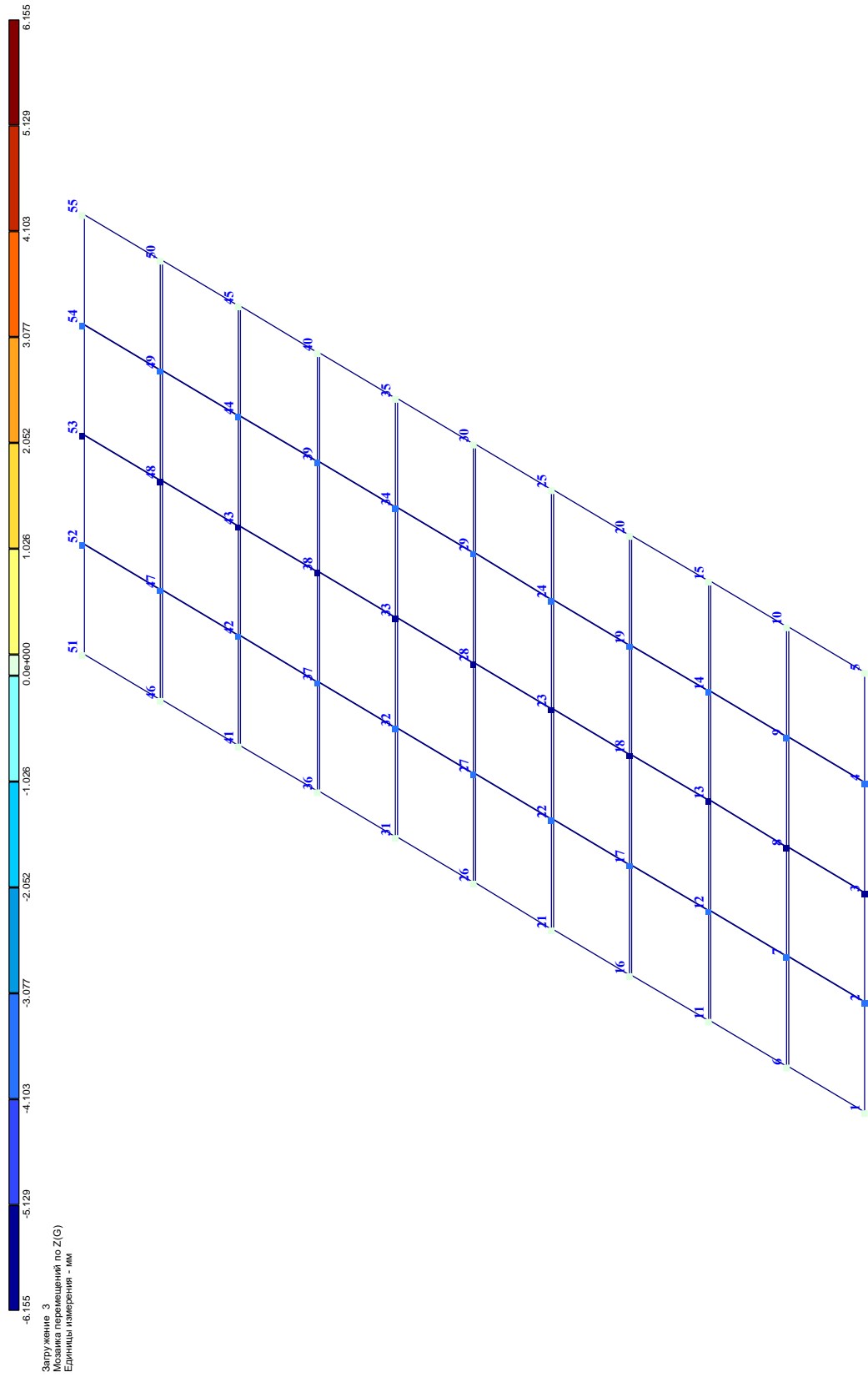


Рисунок 2.12 - Мозаїка переміщень по осі Z від навантаження величиною 0,441 кН/м² з урахуванням повзучості для часу t=1Г

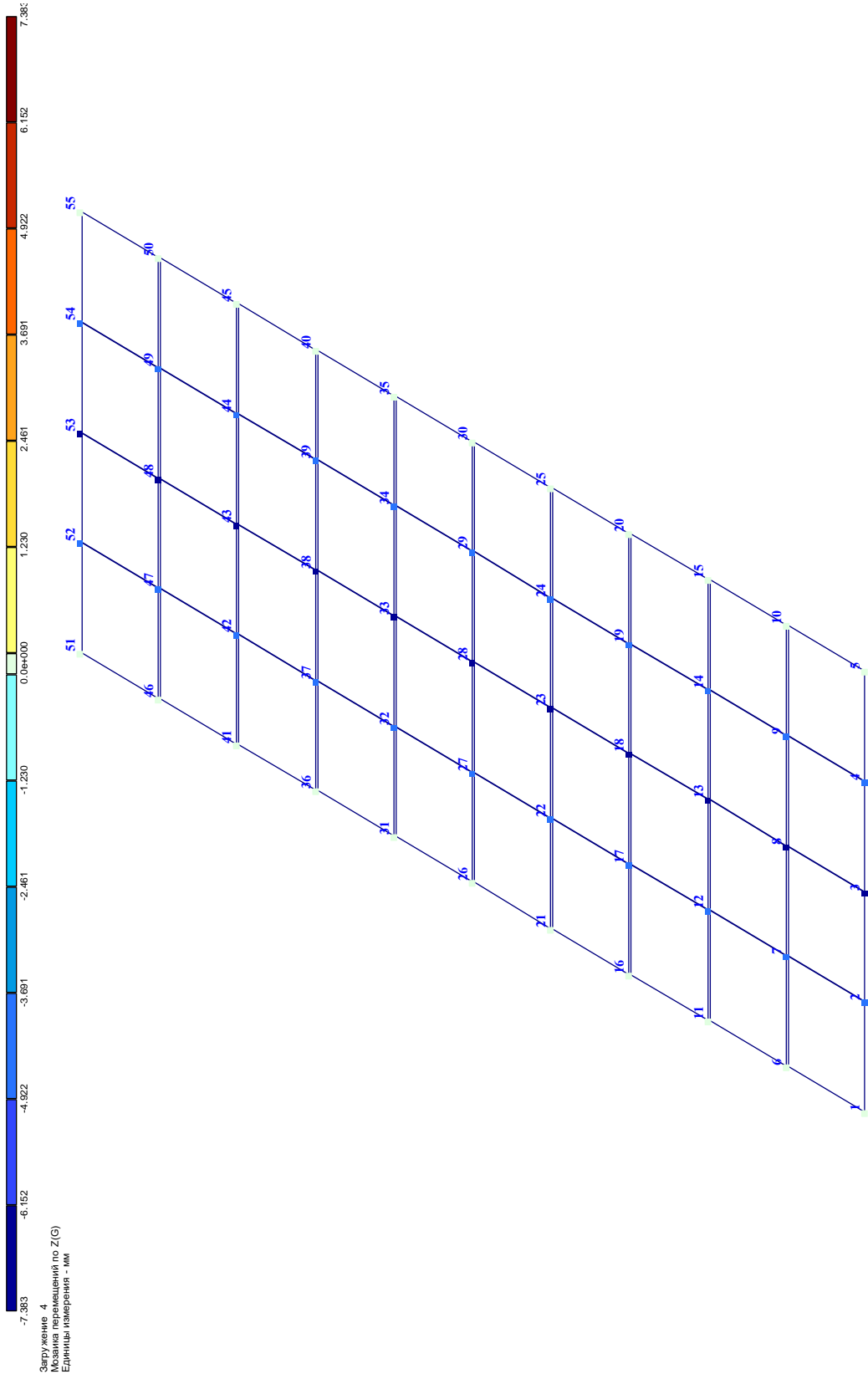


Рисунок 2.13 - Мозаїка переміщень по осі Z від навантаження величиною $0,529 \text{ кН/м}^2$ з урахуванням повзучості для часу $t=1 \text{ г}$

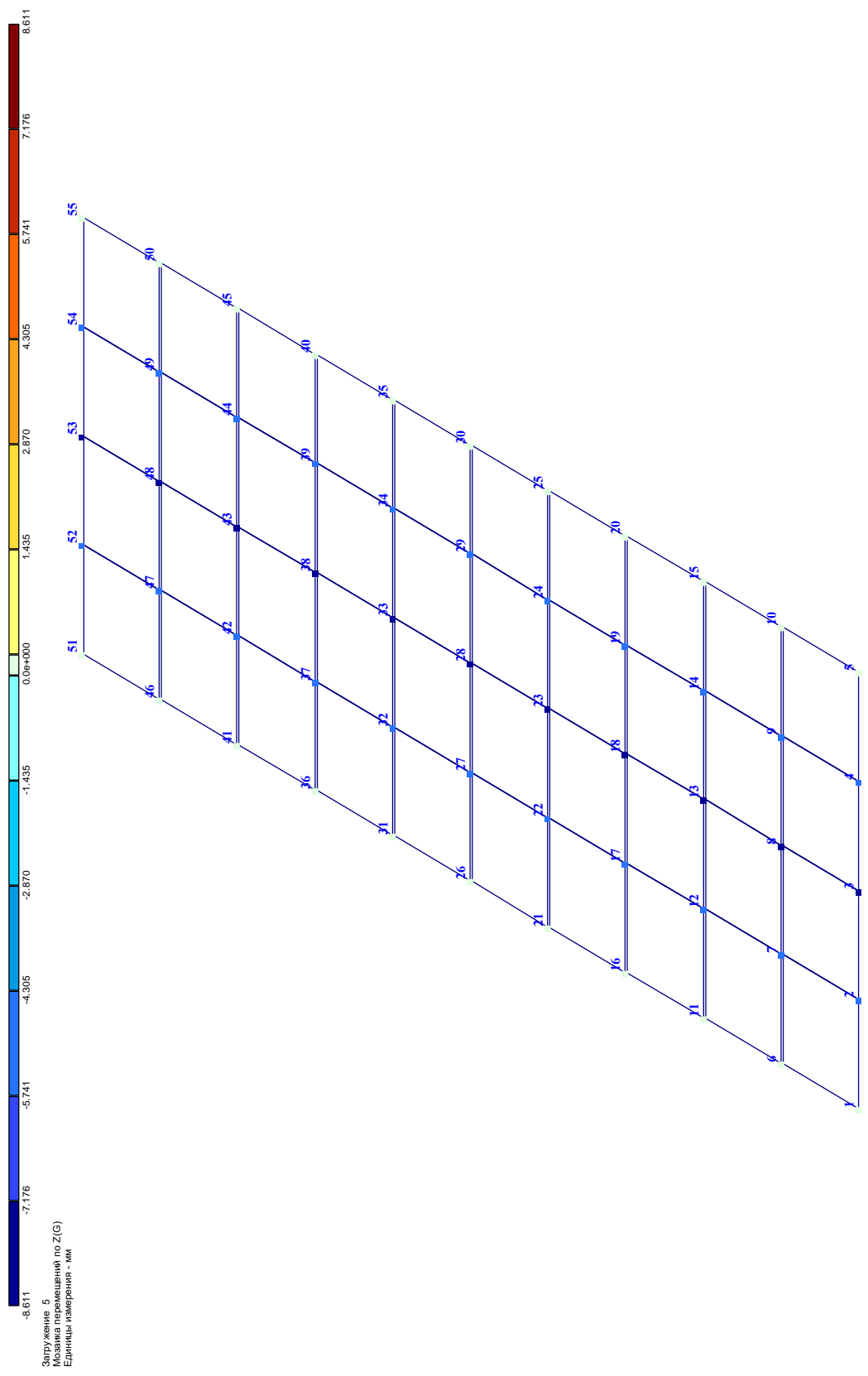


Рисунок 2.14 - Мозаїка переміщень по осі Z від навантаження величиною $0,617 \text{ кН/м}^2$ з урахуванням повзучості для часу $t=1\text{г}$

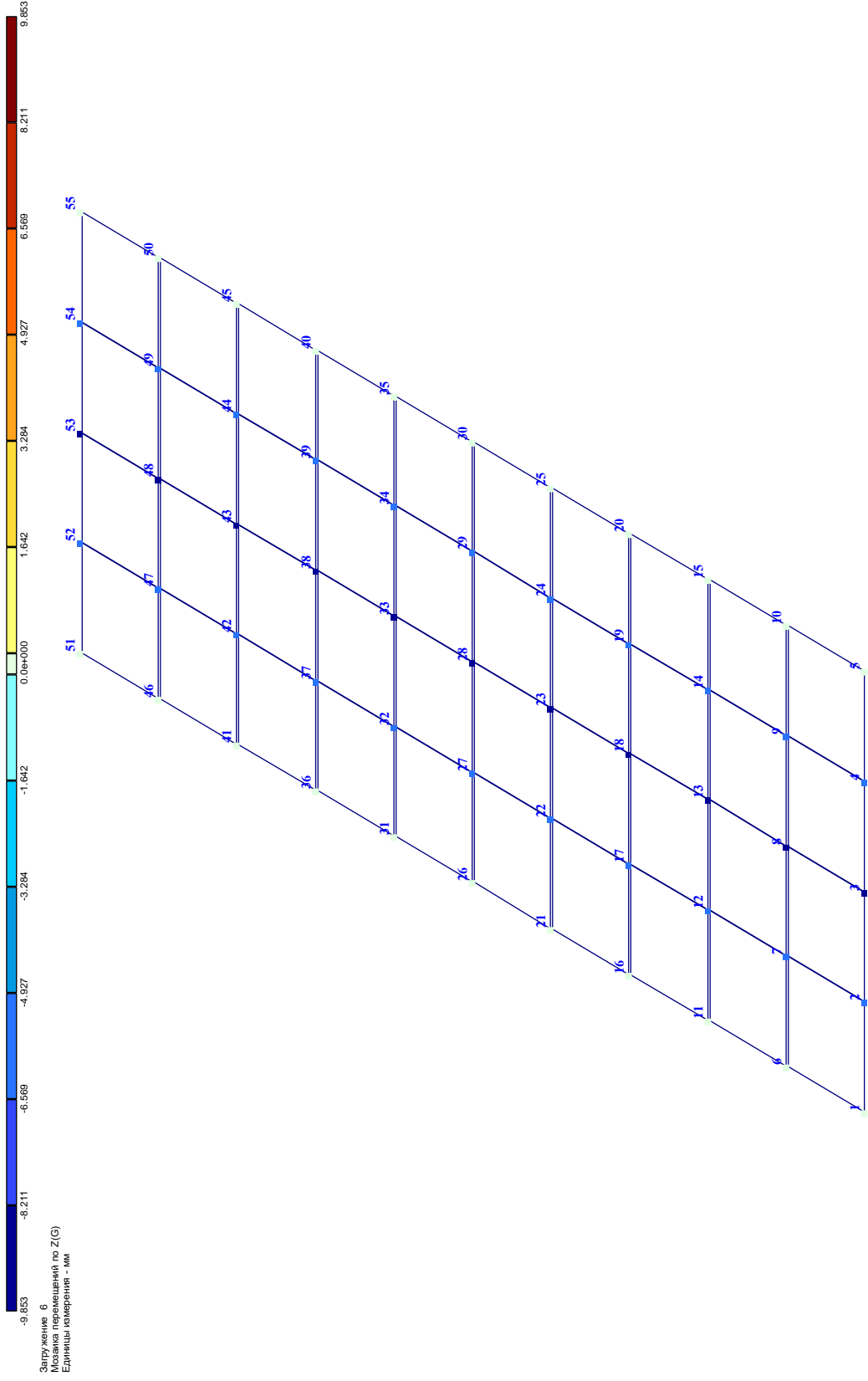


Рисунок 2.15 - Мозаїка переміщень по осі Z від навантаження величиною $0,706 \text{ кН/м}^2$ з урахуванням повзучості для часу $t=1 \text{ г}$

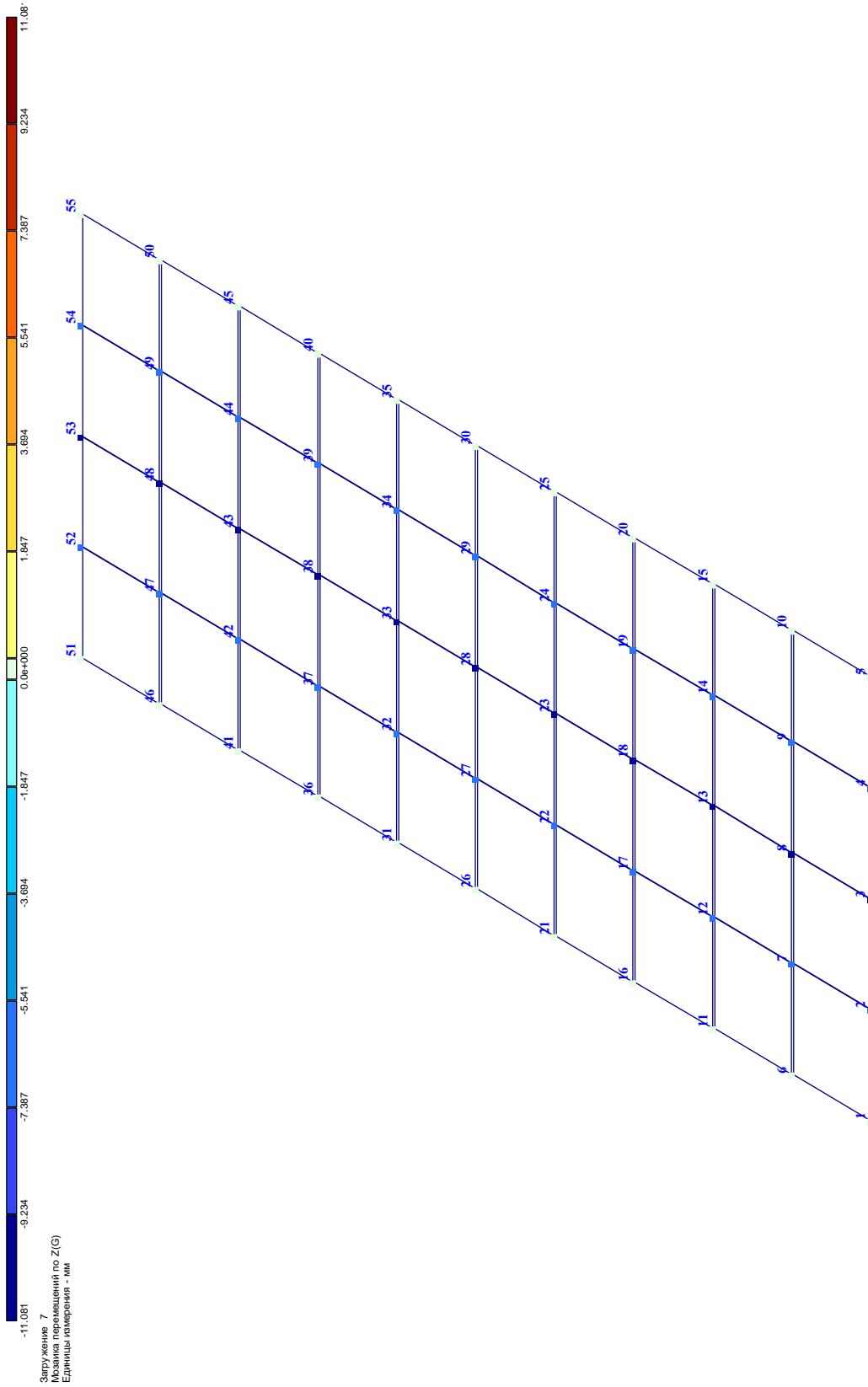


Рисунок 2.16 - Мозаїка переміщень по осі Z від навантаження величиною $0,794 \text{ кН/м}^2$ з урахуванням повзучості для часу $t=1\text{г}$

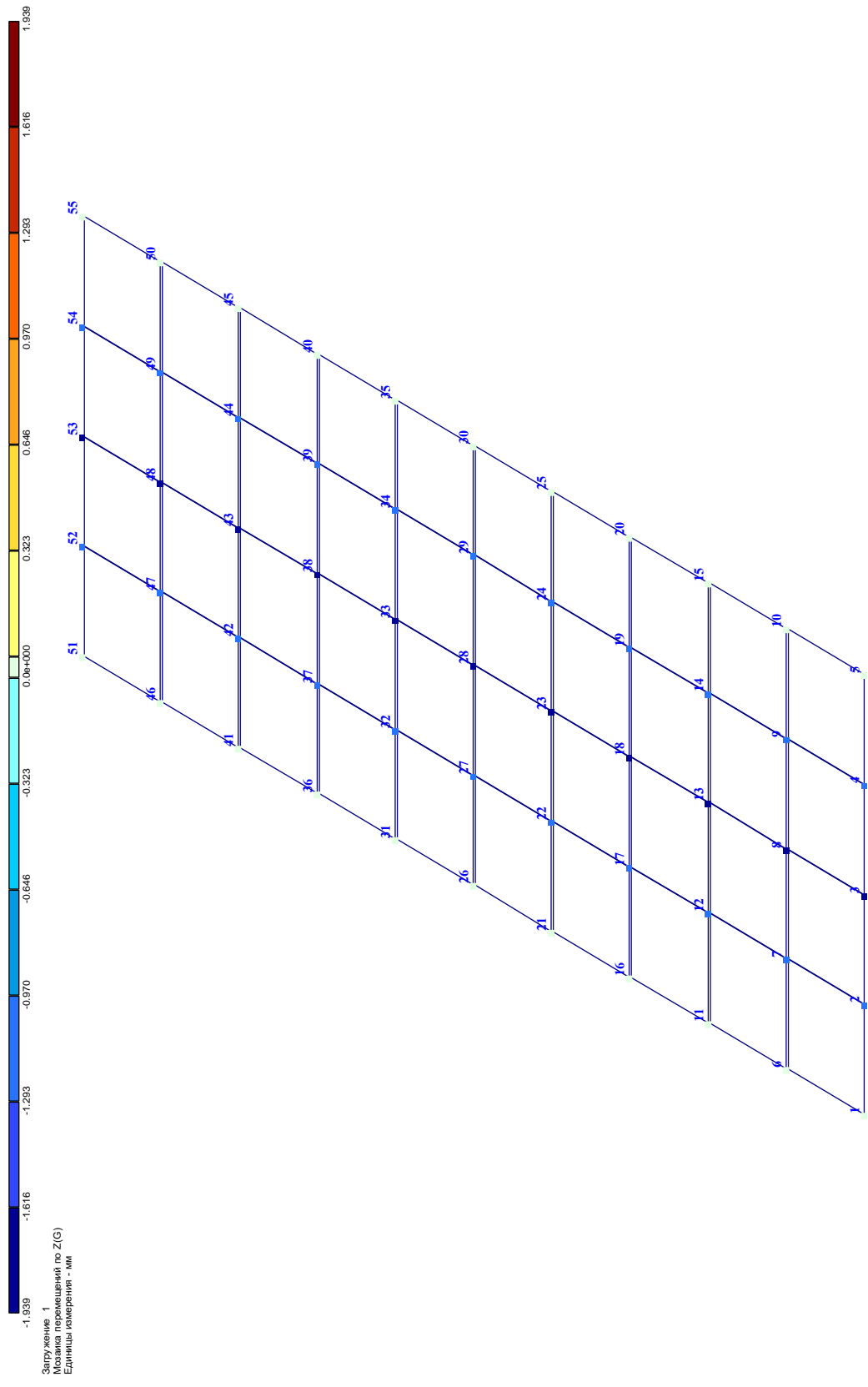


Рисунок 2.17 - Мозаїка переміщень по осі Z від власної ваги конструкції з урахуванням повзучості для часу $t=1000$ г

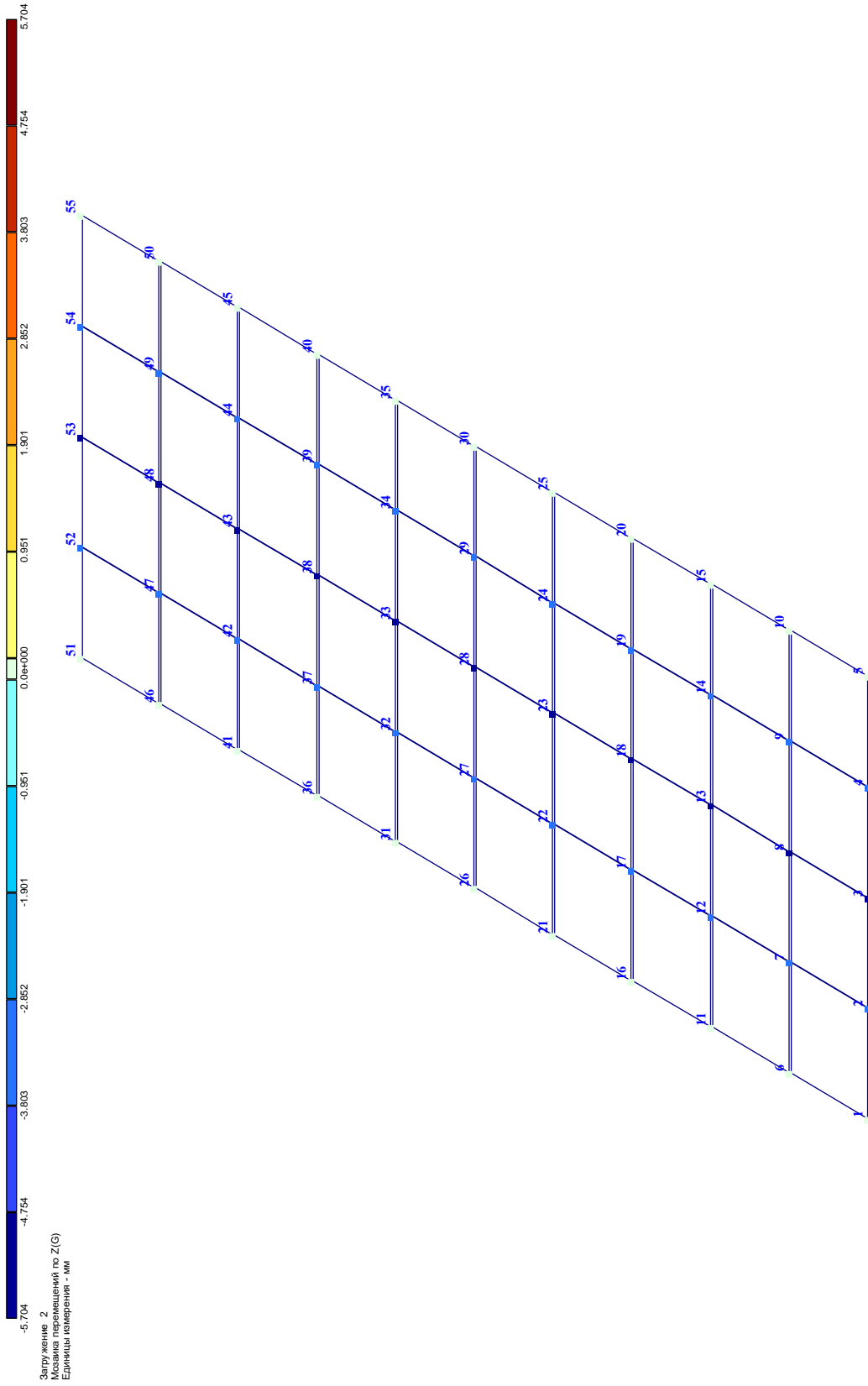


Рисунок 2.18 - Мозаїка переміщень по осі Z від навантаження величиною $0,353 \text{ кН/м}^2$ з урахуванням повзучості для часу $t=1000 \text{ г}$

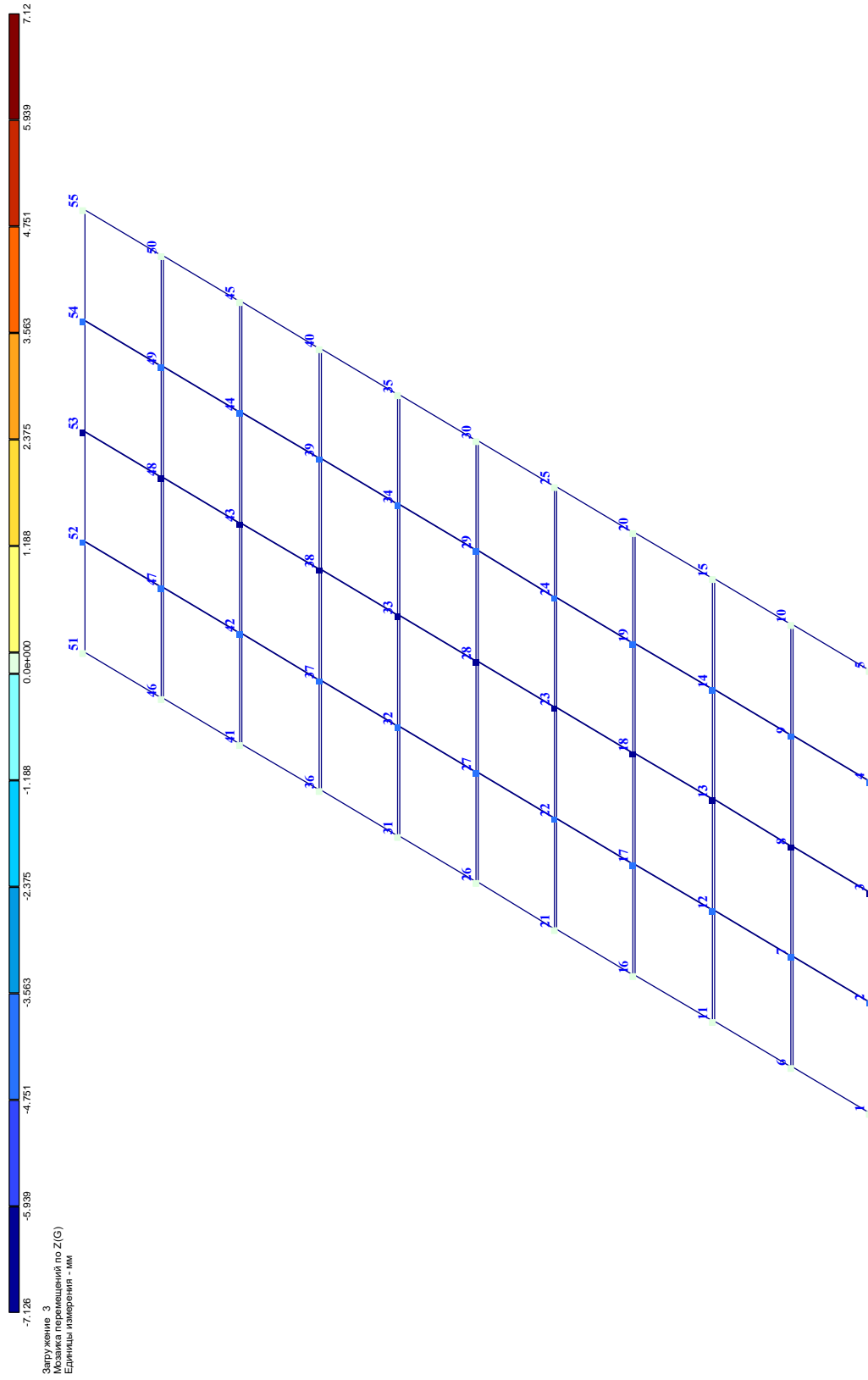


Рисунок 2.19 - Мозаїка переміщень по осі Z від навантаження величиною $0,441 \text{ кН/м}^2$ з урахуванням повзучості для часу $t=1000 \text{ г}$

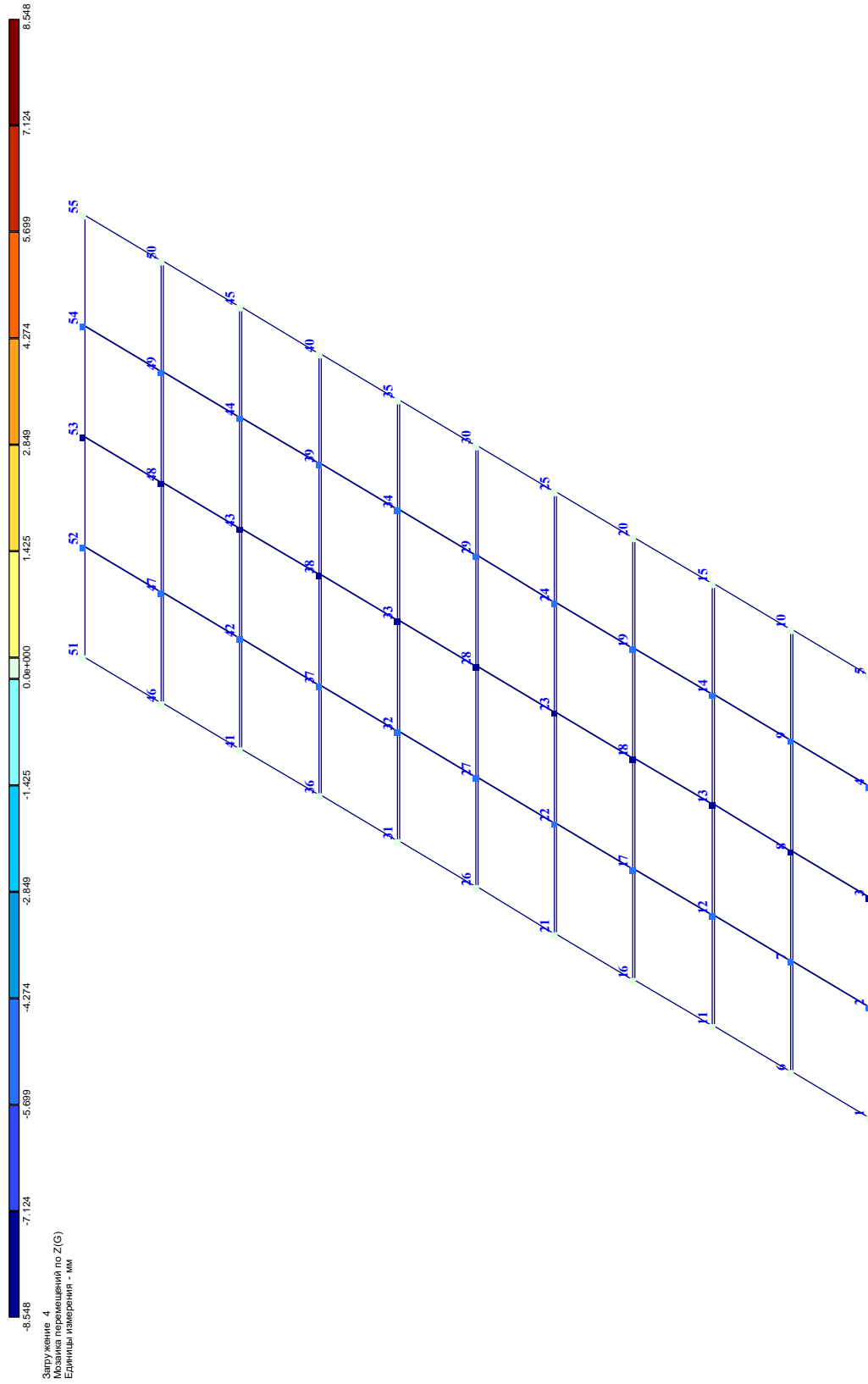


Рисунок 2.20 - Мозаїка переміщень по осі Z від навантаження величиною $0,529 \text{ кН/м}^2$ з урахуванням повзучості для часу $t=1000 \text{ г}$

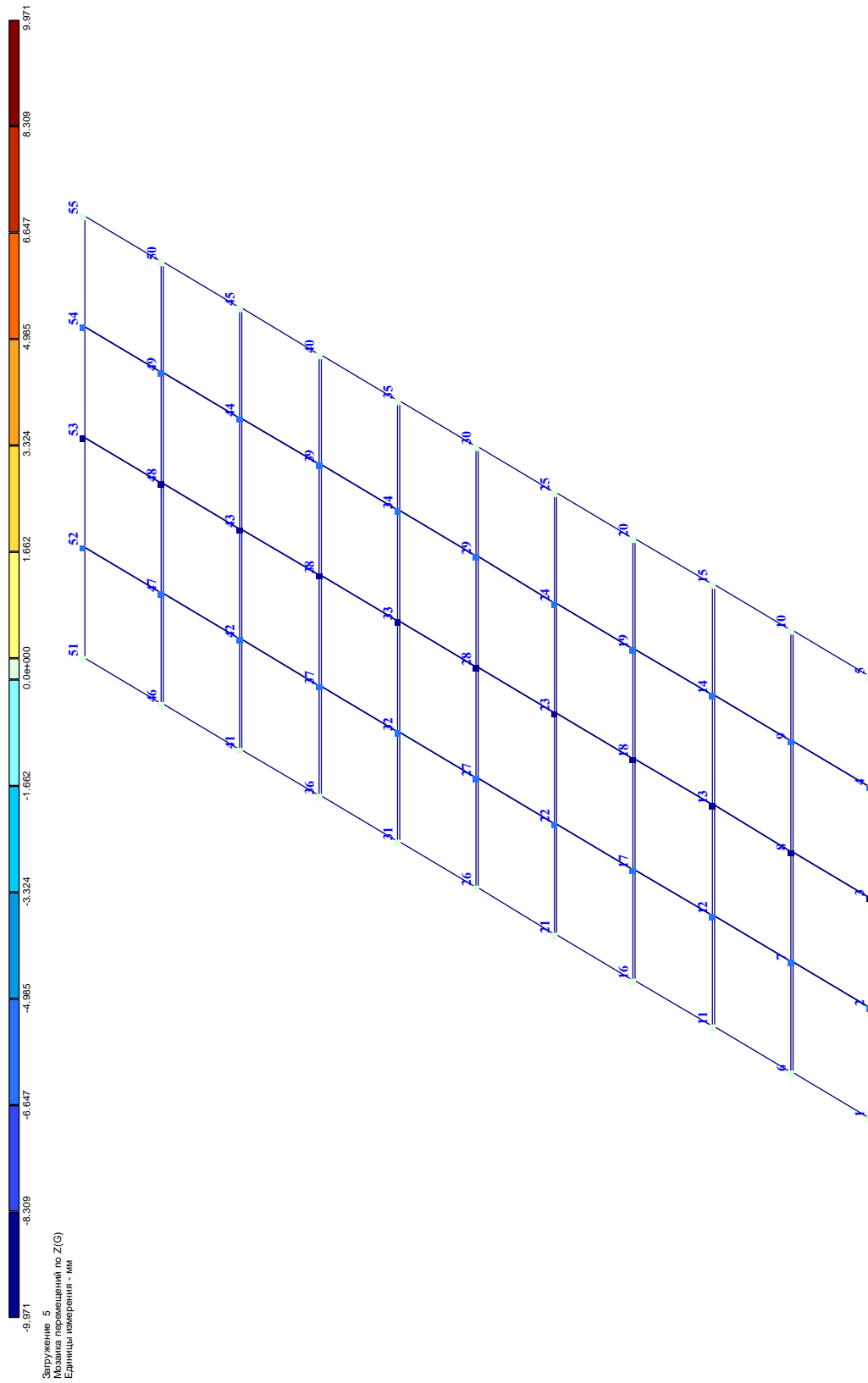


Рисунок 2.21 - Мозаїка переміщень по осі Z від навантаження величиною 0,617 кН/м² з урахуванням повзучості для часу t=1000 Г

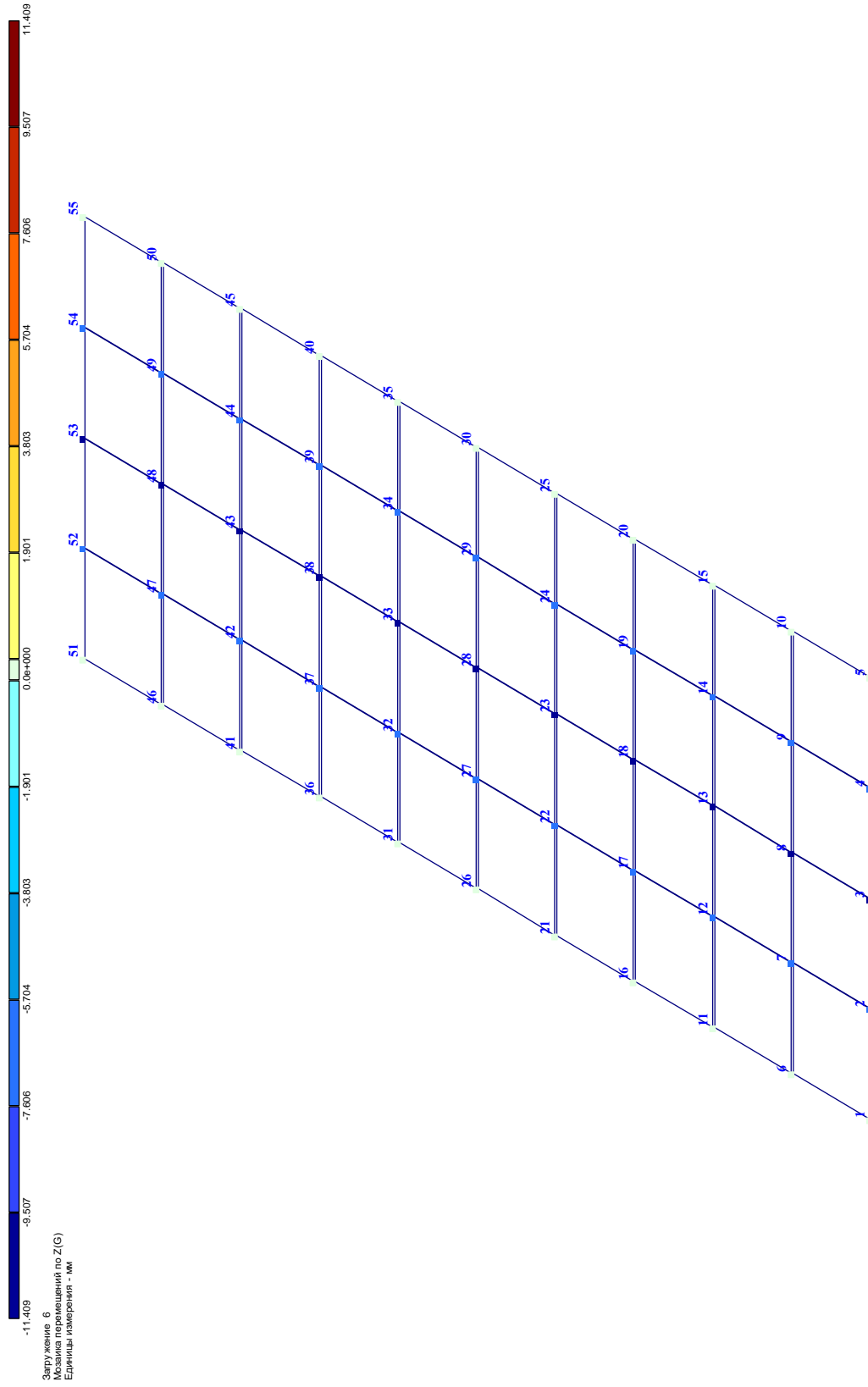


Рисунок 2.22 - Мозаїка переміщень по осі Z від навантаження величиною $0,706 \text{ кН/м}^2$ з урахуванням повзучості для часу $t=1000 \text{ г}$

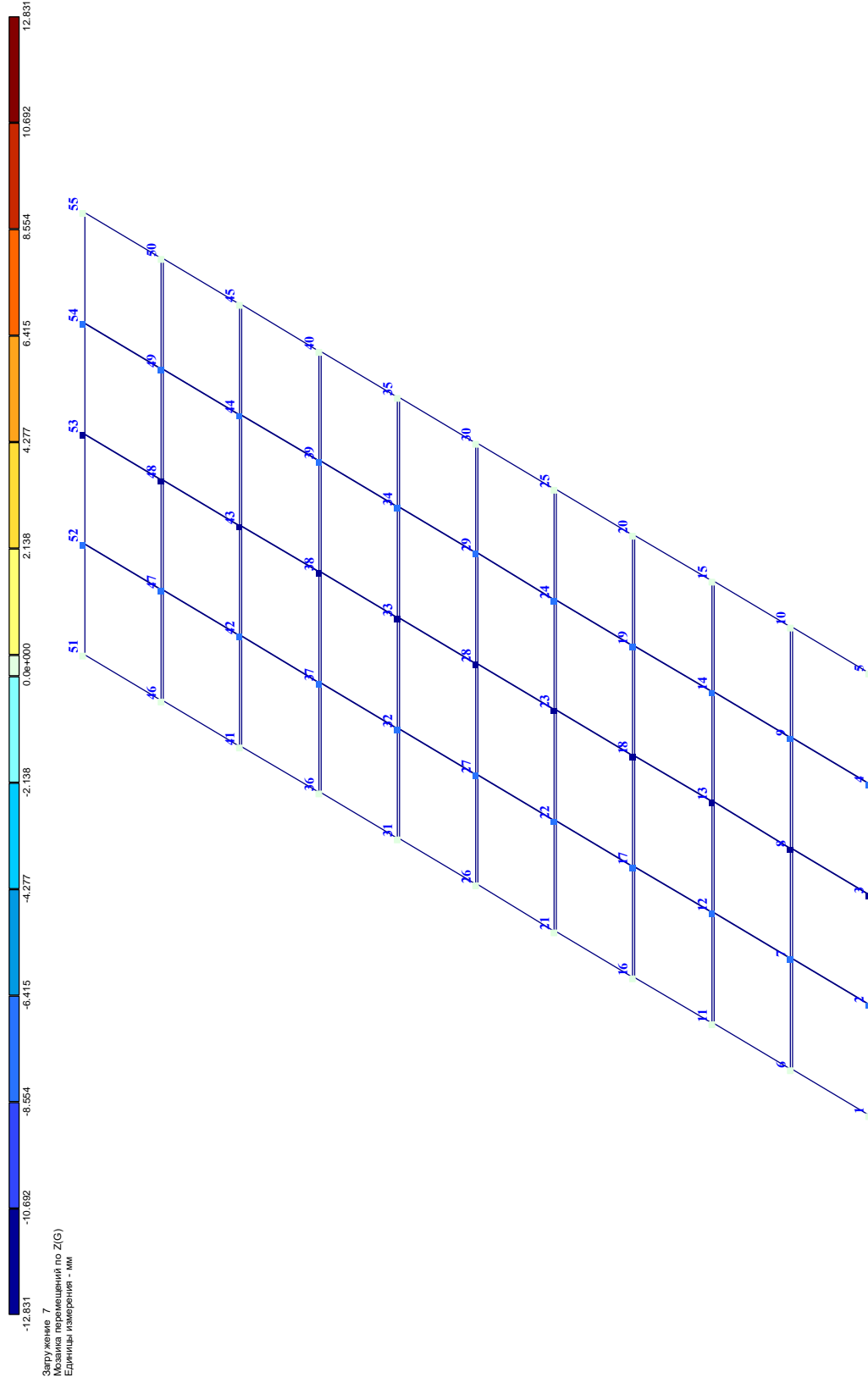


Рисунок 2.23 - Мозаїка переміщень по осі Z від навантаження величиною $0,794 \text{ кН/м}^2$ з урахуванням повзучості для часу $t=1000 \text{ г}$

2.4. Розрахунок швидкостпурджуваної будівлі з дерев'яним каркасом і огорожжувачими конструкціями з монолітного полікарбонату

Враховуючи різноманіття конструктивних рішень швидкостпурджуваних будівель для моделювання і аналізу була прийнята конструктивна схема швидкостпурджуваної будівлі, виконана по універсальній типовій серії УТС 420-12.

Серія 420-12 є будівлею каркасно-панельної конструкції, вирішеною в дереві, прольотом 9 м, з кроком рам 3 м, завдовжки 18-48 м і заввишки 3 м для об'єктів адміністративного і побутового призначення і 4,2 м для виробничого і складського без навантаження крану. Серія складається з 24 секцій і є доповненням до УТС серії 420-08. Несучий каркас вирішений у вигляді однопролітної двух-шарнирної дерев'яної рами з металевими підкосами (рис.2.24). Фундаменти поодинокі, дрібного заставляння (0,3 м) і є дерев'яними бетонними подушками розміром 0,5x0,8 м або 0,5x1,3 м.

Стійки і ригелі рами зроблені з дерев'яних брусів перерізом 18x18 і 8x22 мм або з дощок і з'єднуються в кутах за допомогою врубок, болтів і накладок з 6-мм листової сталі. Стійки через куточки опорного черевика кріпляться до анкерних болтів фундаментної подушки. Самонесучі стінові панелі розмірами 1,2x6 і 1,2x3 м дерев'яні, холодні і теплі. Тепла панель має каркас з рамки, стійок і розкосів з брусків 50x100 мм, який обшивається з одного боку 19-мм дошками, а з іншої - 8-мм напівтвердими ДВП з прокладенням між ними утеплювача з мінераловатних плит або ізоляційних ДВП. Покрівельні панелі мають розмір 1,2x3 м і конструкцію, аналогічну стінним. Панелі кріпляться до каркаса за допомогою стягувань, що закладаються в задалегідь просвердлені отвори. Перегородки щитові, пола вибирається залежно від призначення приміщення.

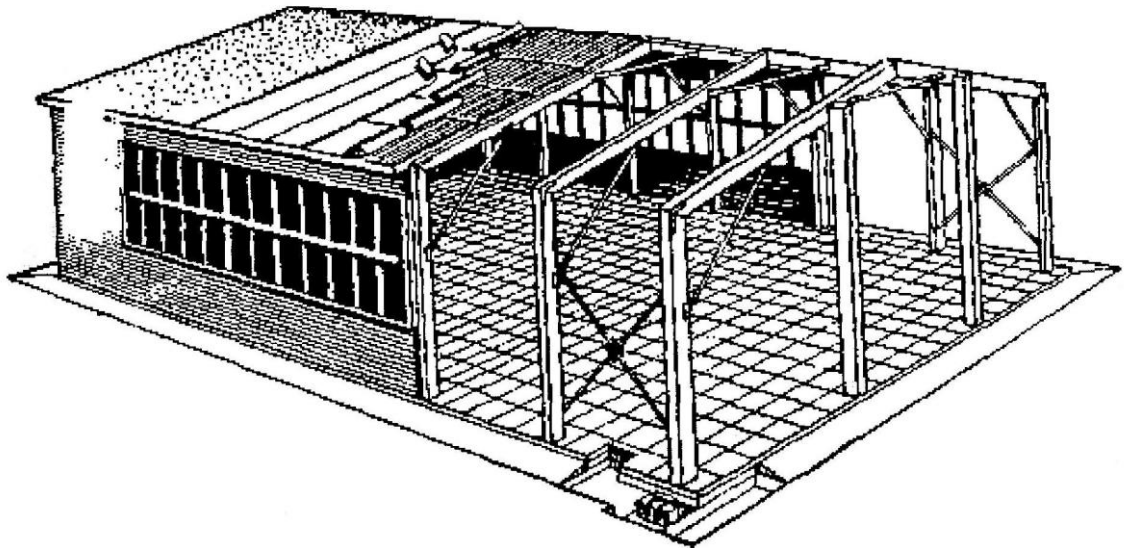


Рисунок 2.24 - Швидкоспоруджувана будівля серії УТС 420-12

Був виконаний розрахунок швидкоспоруджуваної будівлі з дерев'яним каркасом і захисними конструкціями з полікарбонату прольотом $l=9\text{м}$ при допомогою програмного комплексу Ліра. Розрахункова схема будівлі приведена на рис. 2.25.

У розрахунку враховувалися значення навантажень від власної ваги конструкції рівна $0,12\text{ кН/м}^2$, снігова рівна $1,2\text{ кН/м}^2$ і вітрова $0,5\text{ кН/м}^2$ навантаження прийняті для III снігового району.

Результати розрахунку, подані у табл. 2.7, показують високу характеристику міцності монолітного полікарбонату в якості огорожувальних конструкцій. Зусилля, що виникають у конструкціях, набагато менше граничного значення, що дорівнює 63 МПа .

Таблиця 2.7 - Напружено-деформований стан захисних конструкцій

Показники	Позначення	Завантаження				
		I	II	III	IV	I+II
Максимальна напруга	σ_x , МПа	0,051	0,247	0,084		0,298
	σ_y , МПа	0,017	0,064	0,079		0,081
	τ_{xy} , МПа	0,016	0,072	0,0167		0,088

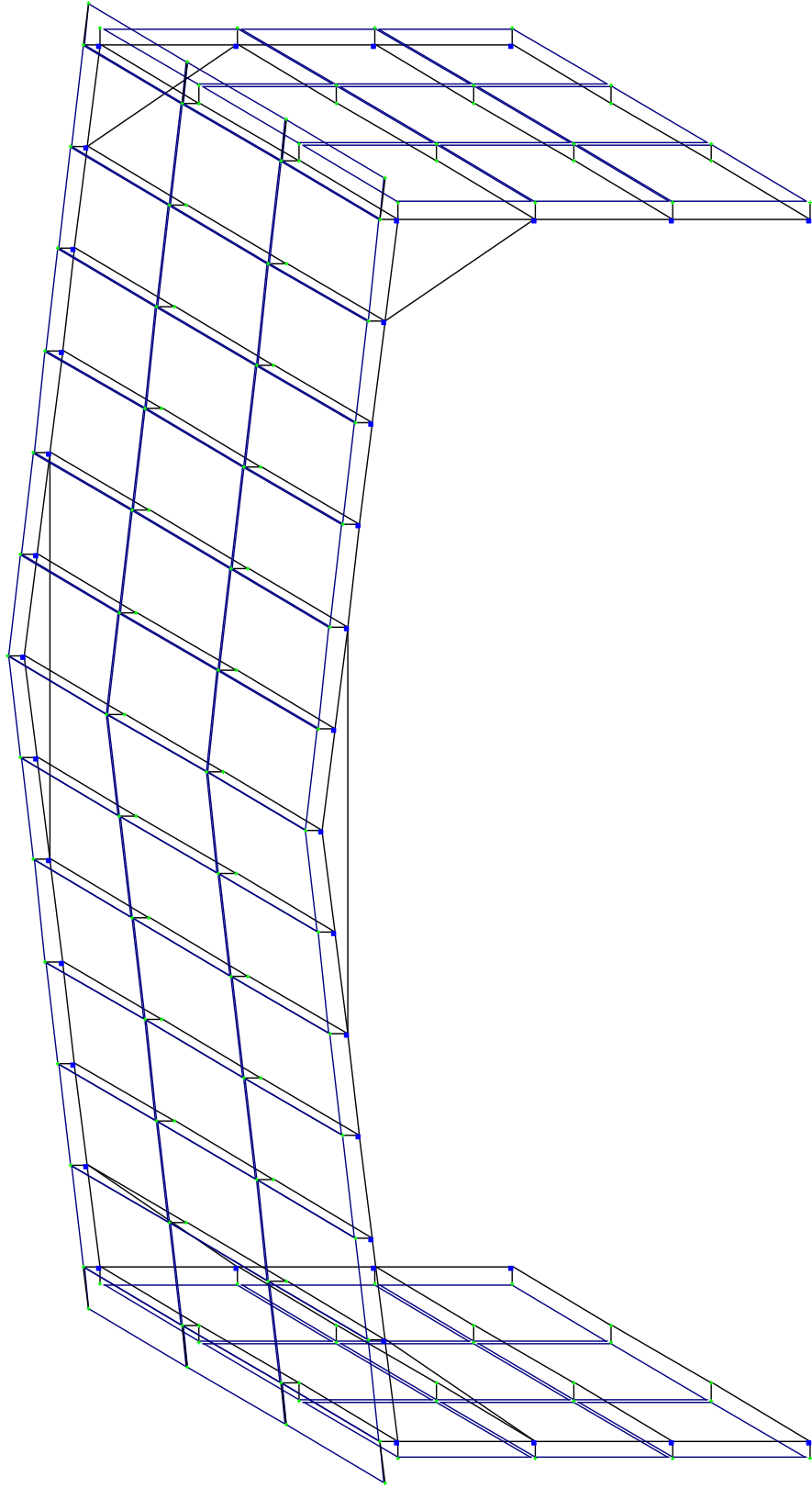


Рисунок 2.25 - Розрахункова схема

РОЗДІЛ 3

КОНСТРУКЦІЇ ШВИДКОСПОРУДЖУВАНИХ БУДІВЕЛЬ ІЗ ЗАСТОСУВАННЯМ СКЛОПЛАСТИКІВ

3.1. Механічні властивості склопластиків

Склопластики відносяться до композитних конструкційних матеріалів. У порівнянні з традиційними будівельними матеріалами вони мають високу питому міцність, стійкість до впливу агресивних середовищ, в'язкість руйнування, немагнітні та діелектричні властивості, світлопроникність. Разом з тим, склопластики схильні до впливу температурно-часових факторів, відрізняються специфікою поведінки під навантаженням.

Обсяг використання склопластиків у будівництві постійно зростає. Вони успішно застосовуються як для огорожувальних, так і для несучих конструкцій (пластинчасто-стрижневі, плитні та оболонкові складної форми). Такі конструкції в ряді випадків виявляються економічнішими за аналогічні, виконані з традиційних матеріалів.

Застосування склопластиків сприяє зниженню вартості та ваги будівель та споруд, покращенню їх експлуатаційних характеристик, скороченню термінів будівництва [15].

Використання легких конструкцій, виготовлених на основі склопластиків, дозволяє, приміром, понизити вагу будівлі до 25 кг/м^3 , тобто в 16 разів в порівнянні з цегляними і в 8 разів в порівнянні з великопанельними залізобетонними будівлями [2].

Далі розглянуті основні механічні властивості склопластиків в порівнянні з іншими матеріалами, які представлені в таблиці.3.1.

Таблиця 3.1 - Порівняльні характеристики кистеклопластика, сталі, алюмінієвих сплавів

Характеристики	Сталь	Алюмінієві сплави	Склопластик
Щільність (кг/м ³)	7850	2640-2800	1800-1900
Модуль пружності, МПа	2,1*10 ⁵	0,7*10 ⁵	0,55*10 ⁵
Межа міцності (для металів межа текучості) при розтягуванні, МПа	240	50-440	1700
Відношення втомної міцності до статичної (число циклів 10 ⁷)	0,26	0,27	0,29
Теплопровідність при 20 градусах цельсія, Вт/м грЦ	64	105-200	0,75
Питомий об'ємний електричний опір, Ом х м	Провідник	Провідник	1,0x10 ¹⁰
Коефіцієнт лінійного розширення, х10 ⁶ град ⁻¹	11,9-14,2	19,6-26,9	0,45-8,3
Гігроскопічність, %	-	-	0,5
Стійкість до дії хімічно агресивних середовищ, сольових розчинів	Не стійок. Потрібно заходи по захисту від корозії	Схильний до електрохімічної корозії. Потрібно спеціальні заходи по захисту.	Стійок
Експлуатаційні витрати	Потрібно регламентні роботи не рідше 1-2 рази в рік	Потрібно регламентні роботи не рідше 1 разу в рік	Відновлення колірного забарвлення у міру зниження її інтенсивності
Можливість реалізації архітектурно-дизайнерських рішень	Потрібно дорогу реконструкцію устаткування	Потрібно дорогу реконструкцію устаткування	Потрібно виготовлення недорогого технологічного оснащення

3.2. Основні властивості склопластиків на фенолоформальдегідних смолах. Основні положення розрахунку ребристих плит із склопластиків

Матеріал конструкції – склопластик на основі феноло-формальдегідних смол і ниткопрошивних скловолокнистих армуючих матеріалів, що має досить високу міцність, хімічну стійкість, подібний за властивостями зі склопластиком КАСТ. Короткочасне деформування та повзучість таких склопластиків вивчалися у роботі [3].

На фізико-механічні властивості склопластиків суттєво впливають типи сполучних та армуючих матеріалів, їх співвідношення, а також технологічні параметри виготовлення [30]. Як показали випробування склопластикових конструкцій, їх руйнування, як правило, відбувається в результаті вичерпання несучої здатності (міцності) або втрати стійкості стисненої зони. Деякі механічні характеристики матеріалу при короткочасній дії навантаження наведені у табл. 3.2.

Таблиця 3.2 - Основні фізико-механические характеристики склопластиків на фенолоформальдегідних смолах [3]

Показники	Основа	Утік
Руйнівна напруга при розтягуванні σ_p , МПа	210	120
Модуль пружності при розтягуванні $E_p \times 10^{-4}$, МПа	2,4	1,5
Руйнівна напруга при стисканні σ_c , МПа	150	88
Модуль пружності при стискуванні $E_c \times 10^{-4}$, МПа	2,6	1,6
Руйнівна напруга при міжшаровому зрушенні $\tau_{зсу}$, МПа	12	12
Модуль зсуву $G \times 10^{-4}$, МПа	0,43	0,43
Коефіцієнт Пуассона ν_{xy}	0,13	0,17

Після того, як було визначено розрахункові геометричні характеристики плити, виконується розрахунок на вплив статичних навантажень. Розглянемо алгоритм розрахунку викладений у [1].

У практиці проектування ребристих плит зусилля у яких та його прогини зазвичай визначають як і звичайних розрізних балках [2].

Згинальний момент і сила, що перерізує, що виникають в настилі обчислюється за формулою відповідно:

$$M = \frac{\sum ql^2}{8}, \quad Q = \frac{\sum ql}{2};$$

де q - навантаження (кН/м), l - довжина плити (м).

Нормальні напруги в обшивках визначають за формулою:

$$\sigma = \frac{M}{W}k,$$

де W - момент опору визначається по формулі

$$W = \frac{2l}{t},$$

де l, t — відповідно довжина і товщина обшивки.

k - коефіцієнт враховує нерівномірність роботи обшивки по ширині плити і концентрацію нормальних напруг у ребер внаслідок впливу виникаючих у місцях прикріплення обшивки до ребрів зусиль, що зсувають.

Дослідження показують, що цей вплив може бути значним.

Зрушуюча напруга в ребрах визначає по формулі:

$$\tau_p = \frac{Qb}{2hd},$$

де b - ширина плити;

h і d - висота і ширина ребра відповідно.

Зсувна напруга в з'єднаннях ребер з обшивкою визначає по формулі:

$$\tau_p = \frac{Qb}{2hd_k},$$

де $dk=0,7d$.

Вигин плити визначається по формулі:

$$f_0 = \frac{5q_n l^4}{384En_{gp}l} \left(1 + 0,096 \frac{Eh^2}{Gl^2} \right),$$

де E - модуль пружності склопластика;

G - модуль зсуву.

Міцність плити перевіряють з урахуванням впливу ребер, що дається взнаки у виникненні зсувних зусиль T в місцях спирання обшивки на ребра і в нерівномірності розподілу нормальних напруг в обшивці. Цей вплив враховують при визначенні максимальної нормальної напруги у обшивці шляхом введення у формулу коефіцієнта приведення Δ :

$$\sigma_{0\max} = \sigma_0 \Delta = \frac{M}{\delta(h_0 + \delta)} \Delta.$$

З достатньою для практичних цілей точністю знаходять коефіцієнт приведення [17]:

$$\Delta = 1 + \frac{\alpha - \frac{d(h_0 + t)(1 - \mu^2)}{at}}{\beta + \frac{d(h_0 + t)(1 - \mu^2)}{at}},$$

де величини α і β визначають по графіку [1].

Крім того, вплив ребер враховують і при обчисленні критичної напруги.

Критична напруга в настилі визначає по формулі:

$$\sigma_{cr} = \pi^2 E(t/a)^2 / 3,$$

де E - модуль пружності склопластика;

t - товщина настилу.

Дотичні напруження (в клейовому шві визначається по формулі:

$$\tau = Q_{\max} S_f / I_x n d,$$

де n - число подовжніх ребер;

Q_{\max} - максимальна поперечна сила.

Точніший розрахунок можна здійснити із застосуванням комп'ютерних технологій.

Для розрахунку ребристих склопластикових плит використовується метод кінцевих елементів у версії програмного комплексу ЛПА-САПР 2016.

Відповідно до керівництва [17], верхній плоский настил моделюється елементами оболонки, а ребра, що підкріплюють настил, - стрижнями

загального вигляду; елементи оболонки пов'язані зі стрижнями абсолютно твердими вставками (рис.3.1). Розрахункові вузли розташовуються у серединній поверхні оболонки; ребра підвішені до розрахункових вузлів на абсолютно жорстких вставках.

Розбивка на кінцеві елементи настилу склопластикової плити надана на рис.3.2, розбивка на кінцеві елементи ребер плити – на рис.3.3.

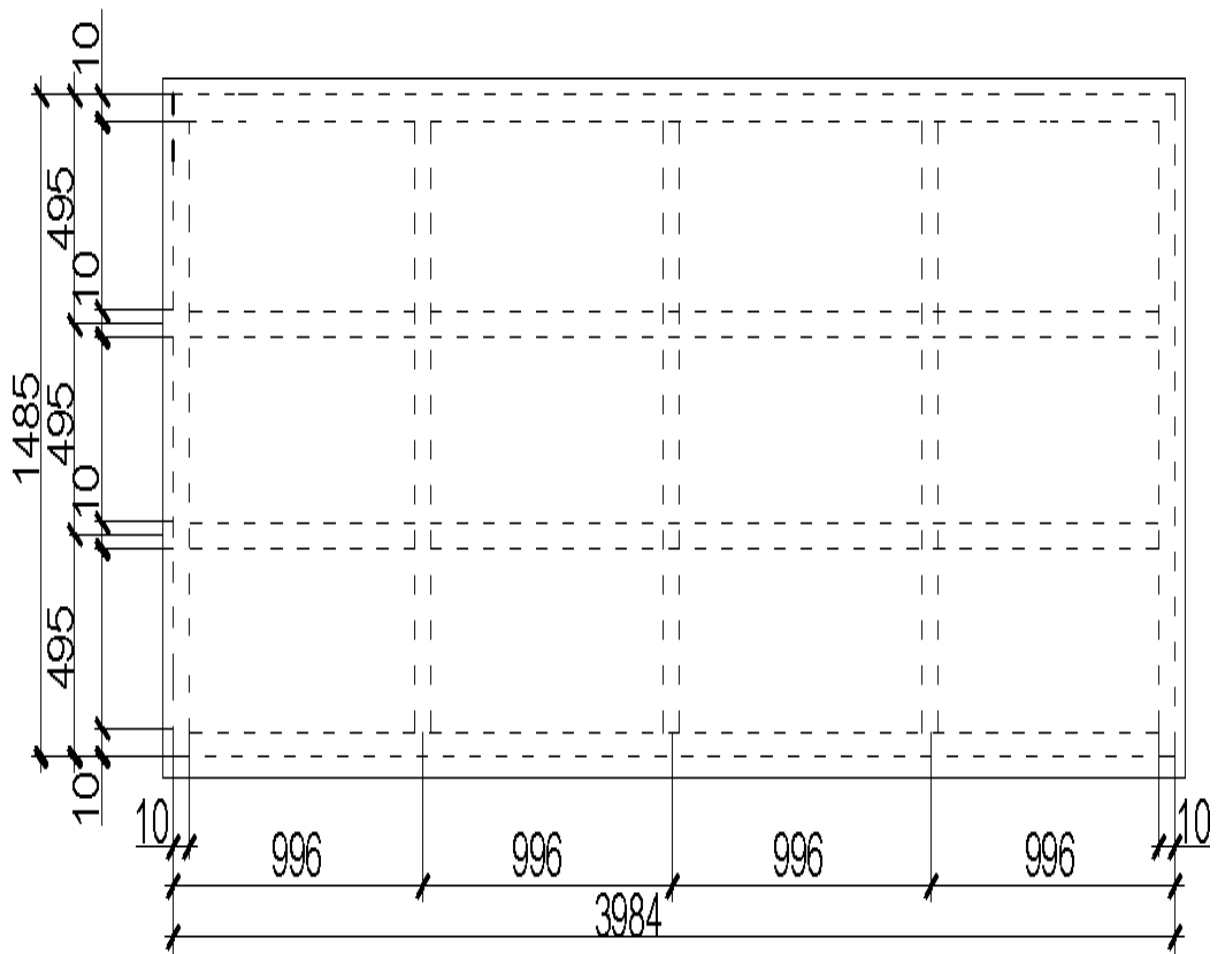


Рисунок 3.1 - Схема плити

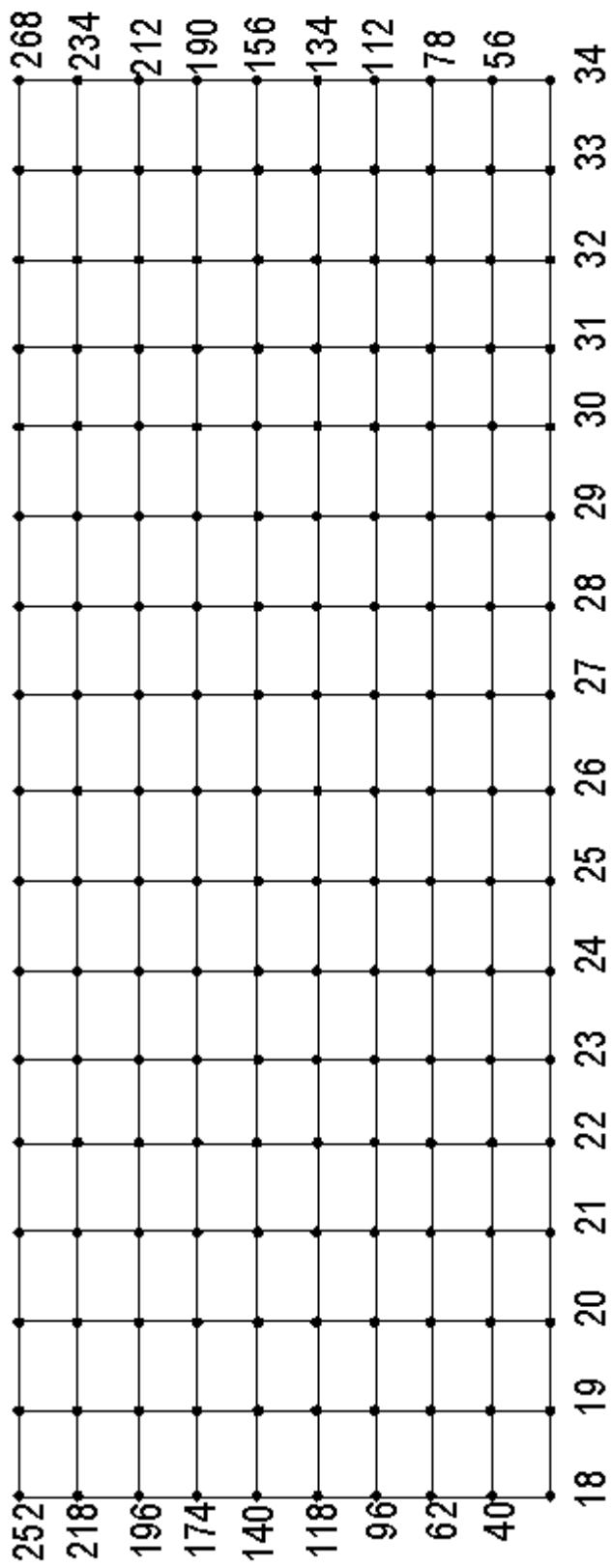


Рисунок 3.2 - Розбиття на кінцеві елементи настилу
склопластиковий плити

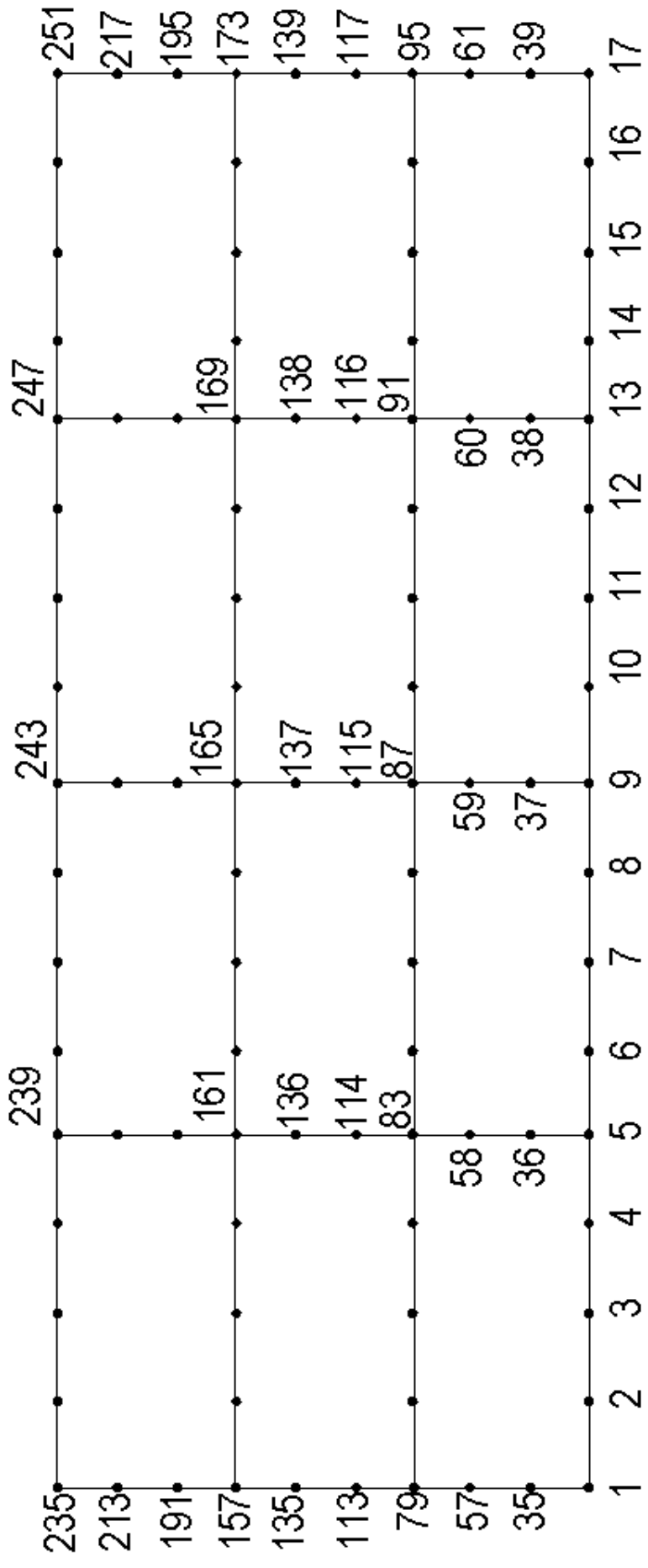


Рисунок 3.3 - Розбиття на кінцеві елементи ребер
склопластиковий плити

Розрахунок за складнішою просторовою схемою із застосуванням методу кінцевих елементів, природно, дасть точніше уявлення про дійсну роботу ребристої плити.

У розрахунку використовуються усереднені значення коефіцієнта Пуассона і модулів пружності при розтягуванні і стискуванні, обчислювані по формулах [8]

$$v_0 = 2v_1v_2/(v_1+v_2);$$

$$E_0 = 2E_1E_2/(E_1+E_2),$$

у яких значення констант з індексом 1 відносяться до витчу, а з індексом 2 - до основи.

Усереднені значення короткочасних (умовно миттєвих) модулів приведені в таблицю.3.3.

Таблиця 3.3 - Значення миттєвих модулів

Позначення	Час	Розтягування	Стиснення
E_0 , МПа	$t=0$	18462	19810
v_0	$t=0$	0,147	0,147

При формуванні масиву жорсткостей для настилу, що працює в основному на стиск, використовувалися модулі, відповідні стиску, а для стрижнів, що зазнають в основному розтягування, - модулі, відповідні розтягуванню.

3.3. Розрахунок ребристої плити зі склопластику при короткочасній дії навантаження

Розглядається ребриста склопластикова плита розміром 3984x1485 мм, в якій плоский склопластиковий настил товщиною $t = 6$ мм, підкріплюється поздовжніми ребрами. Ребра з'єднуються із настилем шляхом склеювання.

При розрахунку плита розглядалася такою, що вільно лежить, опертою по двох сторонах, враховуються наступні завантаження:

- I завантаження – постійне навантаження від власної ваги плити з нормативним значенням $q_1^n = 0,3 \text{ кН/м}^2$;

- II завантаження – короткочасне навантаження від снігу до різних снігових районів. Значення навантажень представлені відповідно до [5] у табл.3.4.

Таблиця 3.4 - Характеристичне значення снігового навантаження

Номер снігового району	I	II	III	IV	V	VI
$S_0, \text{ кН/м}^2$	0,8	1,0	1,2	1,4	1,6	1,8

При перевіірочних розрахунках на міцність і стійкість, розрахункові зусилля визначалися з урахуванням відповідних коефіцієнтів надійності за навантаженням.

Граничне розрахункове значення снігового навантаження на горизонтальну проекцію покриття :

$$S_m = S_0 \cdot \gamma_{fm} \cdot \gamma_n,$$

де S_0 - характеристичне значення снігового навантаження;

γ_{fm} - коефіцієнт надійності по граничному значенню снігового навантаження, визначуваний у відповідності [5];

$\gamma_n = 0,9$.

$\gamma_{fm} = 0,83$ була визначена залежно від заданого середнього періоду повторюваності $T = 20$ років.

Експлуатаційне розрахункове значення визначається:

$$S_e = S_0 \cdot \gamma_{fe} \cdot \gamma_n,$$

e_{fe} - коефіцієнт надійності по експлуатаційному значенню снігового навантаження, визначуваний по таблиці. [5] залежно від долі часу (, упродовж якої можуть порушуватися умови другого граничного стану.

Для об'єктів масового будівництва допускається приймати $\eta=0,02$.

Розрахунок був зроблений всім снігових районів, з відповідними значеннями навантажень. Для кожного з районів було підібрано перетин ребер. Результат розрахунку подано у табл.3.5.

Таблиця 3.5 - Підбір перерізу ребер плити із склопластика, відповідно до снігового району

Сніговий район	Величина навантаження, S_e кН/м ²	Переріз ребер tхh	Прогин, f мм	Відносний прогин, f/l
I	0.3528	8x80	18,453	1/217
II	0.4410	8x85	19,501	1/205
III	0.5292	8x91	19,430	1/206
IV	0.6174	8x100	19,126	1/209
V	0.7056	8x102	18,971	1/210
VI	0.7938	8x105	19,719	1/203

Результати розрахунку, що характеризують напружено-деформований стан плити при короткочасній дії навантаження, представлені в таблиці. 3.6.

Таблиця 3.6 - Напружено-деформований стан плити при короткочасній дії навантажень

Завантаження	Величина навантаження, кН/м ²	Максимальна напруга в настилі			Максимальні зусилля в подовжніх ребрах		
		σ_x , МПа	σ_y , МПа	τ_{xy} , МПа	N_x , кН	M_y , кНм	Q_z , кН
I	0,597	3,52	0,36	0,79	7,32	0,13	0,46
II	0,747	4,14	0,43	0,99	8,79	0,16	0,58
III	0,896	4,63	0,48	1,04	9,84	0,20	0,70
IV	1,046	4,91	0,51	1,09	10,43	0,23	0,82
V	1,195	5,33	0,56	1,22	13,15	0,27	0,94
VI	1,345	5,99	0,62	1,33	12,76	0,31	1,05

Стискуюча напруга в настилі плити не перевищує критичних значень, визначуваних з умови місцевої стійкості по формулі :

$$\sigma_{cr} = \pi^2 E (t/a)^2 / 3,$$

де a - відстань між подовжніми ребрами.

Для даної плити $\sigma_{cr}=9,5$ МПа. Максимальний відносний прогин в плиті $f/l=1/217$.

Далі представлені ізополя переміщень та напруг склопластикової плити при короткочасній дії навантажень для III-го снігового району.

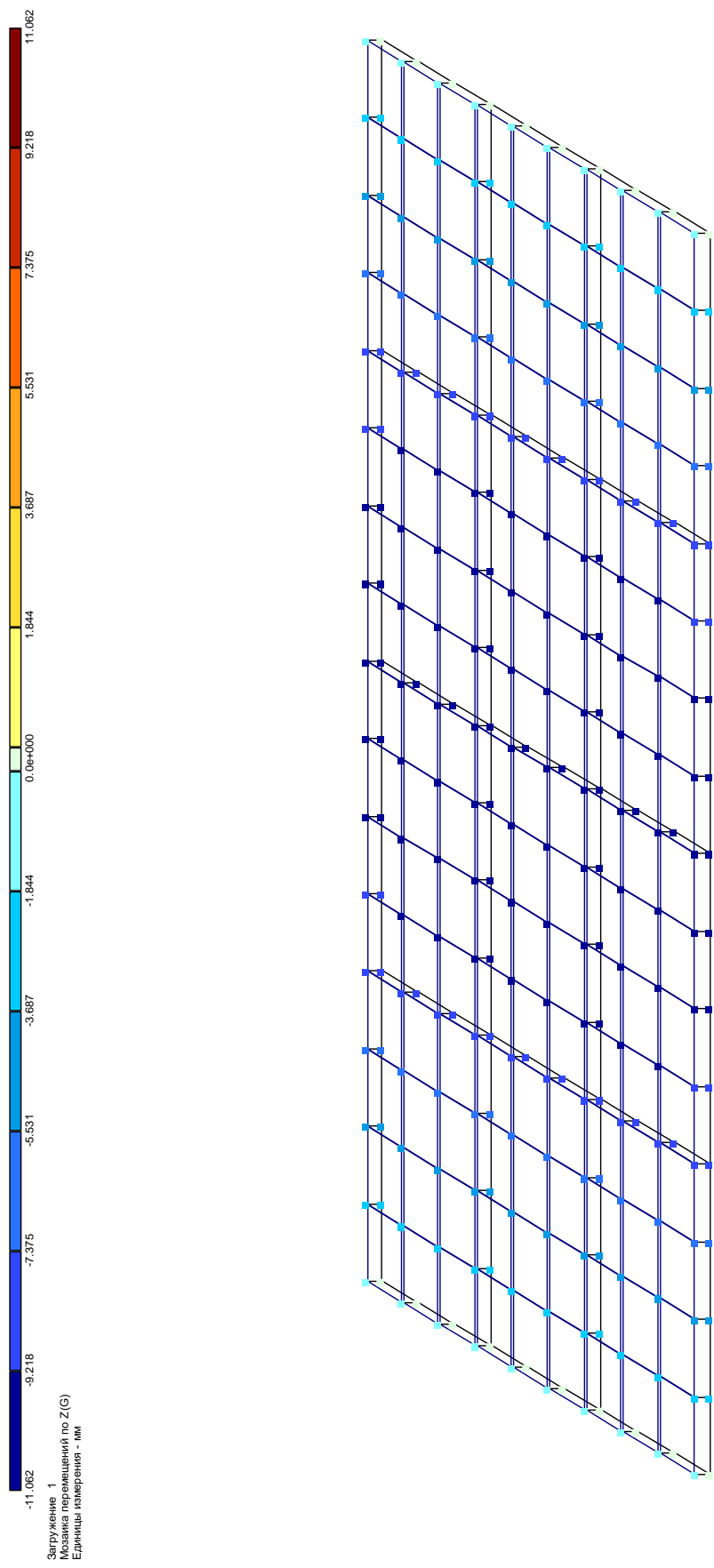
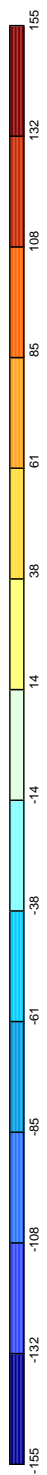


Рисунок 3.4 - Мозайка переміщень по осі Z при величині
 навантаження 0,5292 кН/м²



Зпруження 1
 Ізополь напружень по Nx
 Единиця вимірювання - Т/м2

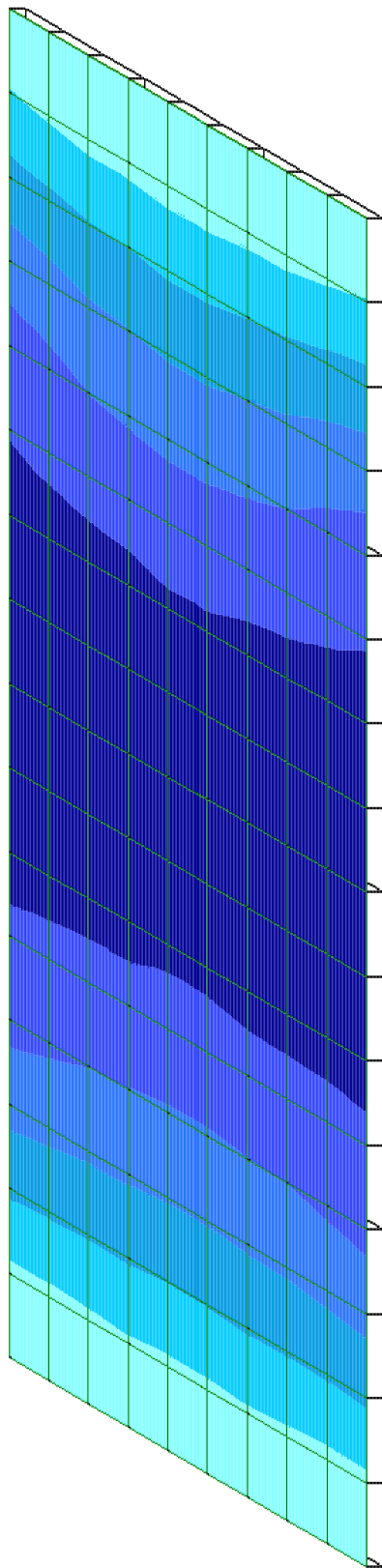
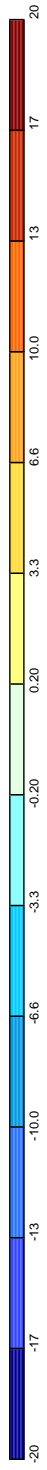


Рисунок 3.5 – Ізополь напруги σ_{xy} настилі при величині навантаження $0,896 \text{ кН/м}^2$



Заруження 1
Ізополя напружень по σ_{xy}
Единиця вимірювання - т/м^2

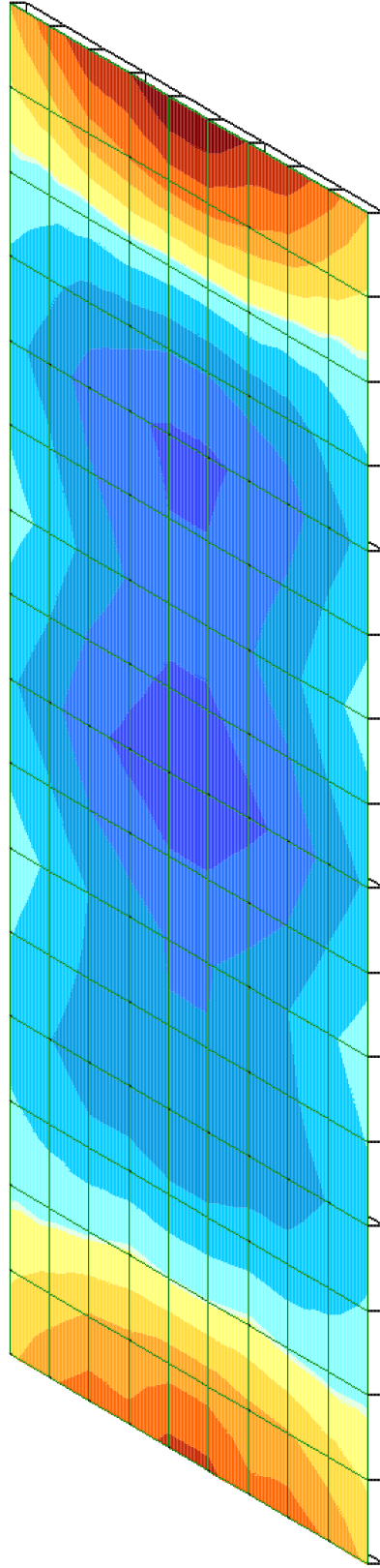
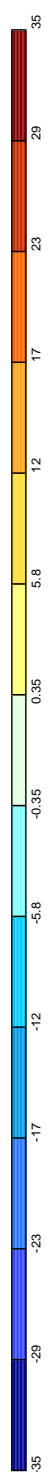


Рисунок 3.5 – Ізополя напруги σ_{xy} настилі при величині навантаження $0,896 \text{ кН/м}^2$



Заруження 1
 Мозаика напружень по τ_{xy}
 Єдиниця вимірювання - Т/м^2

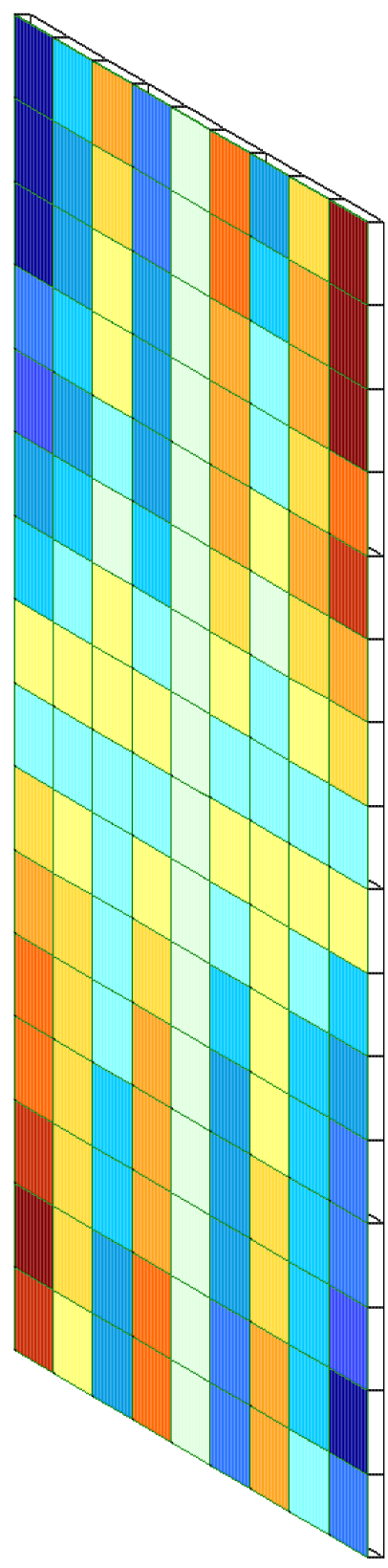


Рисунок 3.7 – Ізополь напруги τ_{xy} в настилі при величині навантаження $0,896 \text{ кН/м}^2$

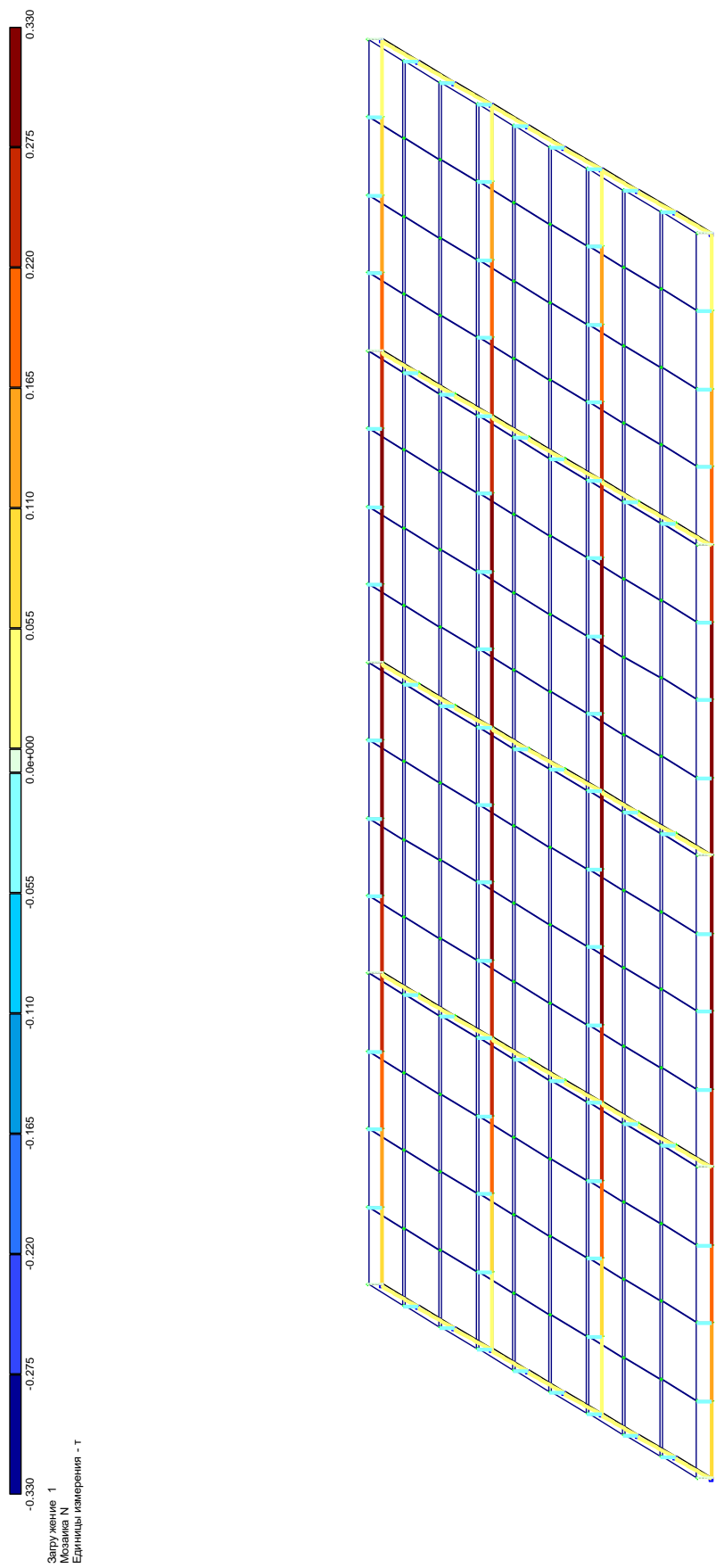


Рисунок 3.8 – Мозаїка напруги N_x поздовжніх ребрах при
 величині навантаження 0,896 кН/м²

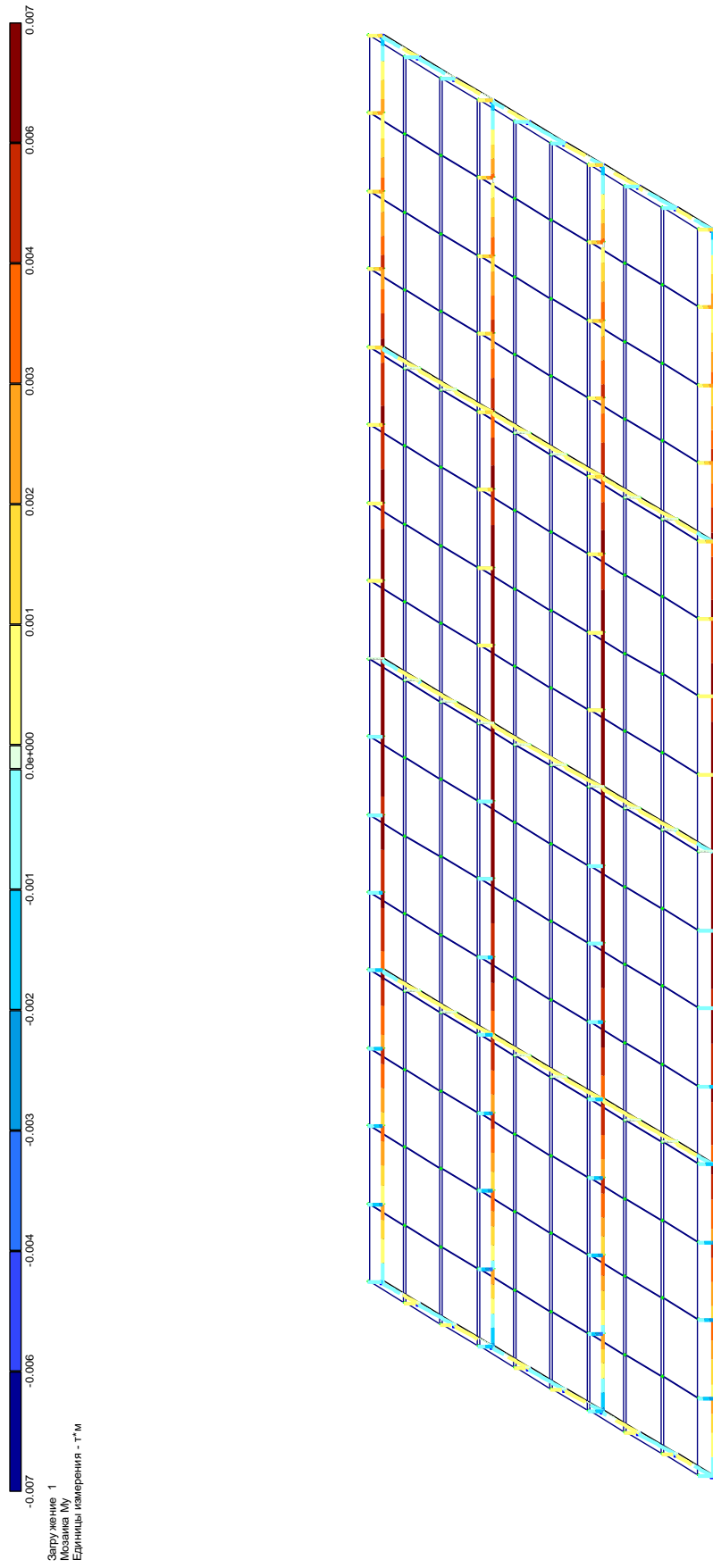


Рисунок 3.9- Мозаїка напруг M_y в поздовжніх ребрах при величині навантаження $0,896 \text{ кН/м}^2$

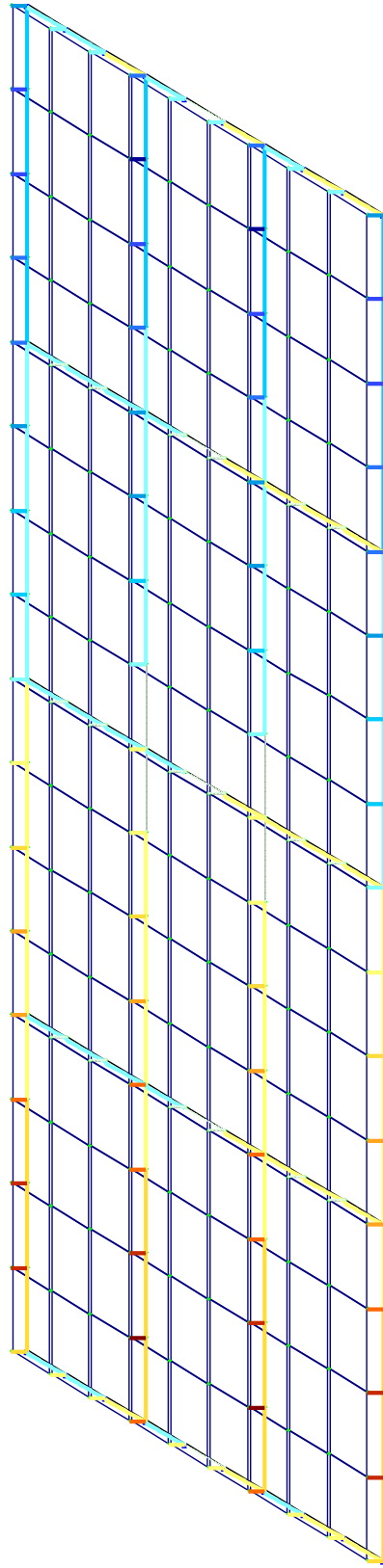
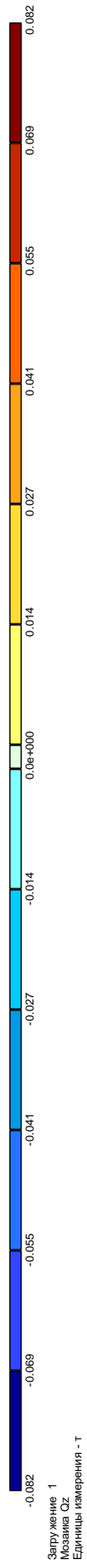


Рисунок 3.10 – Мозаїка напруг Q_{zy} поздовжніх ребрах при
 величині навантаження $0,896 \text{ кН/м}^2$

3.4. Розрахунок ребристої плити із склопластика при тривалій дії навантаження

Численні дослідження конструкцій при тривалій дії навантажень свідчать, що аналіз напружено-деформованого стану конструкцій зі склопластику слід виконувати з урахуванням повзучості матеріалів. Важливим пунктом у вирішенні завдань повзучості є питання вибору залежності для опису тривалого деформування матеріалу. В останні десятиліття багато практично важливих завдань механіки знайшли своє рішення на основі теорії спадкової пружності [8,9]. В основу теорії покладено принцип Вольтерра та розрахунковий апарат із застосуванням інтегральних операторів, запропонований Ю.Н.Работновим [11].

Відповідно до принципу Вольтерра на вирішення завдань пружного післядії (повзучості) необхідно константи теорії пружності - миттєві модулі - замінити відповідними інтегральними операторами, обчисленими для фіксованого моменту часу t . Оператори модуля пружності та коефіцієнта Пуассона, слідуючи [13], можна записати у вигляді:

$$E = E_0 \left(1 - k \mathcal{E}_\alpha^* (-\beta) \right)$$

$$\nu = \nu_0 \left(1 + \omega \mathcal{E}_\alpha^* (-\beta) \right)$$

де E_0 і ν_0 - миттєві значення модуля пружності і коефіцієнта Пуассона;

α, β, k - коефіцієнти, визначувані по кривих повзучості;

ω - параметр, визначуваний по формулі :

$$\omega = (1 - 2\nu_0)k / 2\nu_0$$

Для визначення значення констант α, β та k використовувалися криві повзучості фенолоформальдегідного склопластику, запозичені з роботи [3].

Рівняння повзучості теоретично спадкової пружності можна записати як:

$$\varepsilon_t = \varepsilon_0 \left(1 + k \mathcal{E}_\alpha^* (-\beta) \right)$$

Криві повзучості побудовані в координатах t (функція повзучості) – t (час). З урахуванням цього рівняння повзучості (3) можна записати як :

$$\varphi_t = k \mathcal{E}_\alpha^*(-\beta),$$

де $\varphi_t(\varepsilon_t - \varepsilon_0)/\varepsilon_0$ - функція повзучості;

\mathcal{E}_α^* - інтегральний оператор, значення якого можна визначити за допомогою таблиць [8].

За кривими повзучості необхідно визначити три параметри. Завдання щодо знаходження параметрів повзучості спроститься, якщо на основі аналізу експериментальних даних по повзучості аналогічних матеріалів задати значення коефіцієнтів α і β , а значення коефіцієнта k визначити по кривих повзучості. Враховуючи великий розкид експериментальних даних по повзучості склопластиків, цей прийом можна вважати виправданим. Значення коефіцієнта α змінюється від -0,77 до -0,98 [8].

На плиту діють навантаження різної тривалості. Основне навантаження - Снігова [31]. Її тривалість визначають, виходячи з реальних умов експлуатації. При розвантаженні та подальшому відпочинку матеріалу деформації у конструкції повністю або частково відновлюються (знімаються). Експериментальне дослідження повзучості фенолоформальдегідного склопластику при періодичних навантаженнях [3] показує, що розвантаження стислих зразків супроводжується повним відновленням деформацій у всіх серіях зразків; у розтягнутих зразках при розвантаженні деформації повністю не відновлюються, але рівень напруги в цих дослідках досягає значень 0,3 і 0,45 σ_r , що більш ніж у 3 рази вище за рівень напруги в плиті, що розраховується.

У цій роботі основою виконаних розрахунків покладено припущення у тому, що з повзучості матеріалу залишкові пластичні деформації відсутні, і накопичення деформацій при повторних завантаженнях немає.

Рівняння деформації матеріалу має вигляд :

$$\varepsilon_t = \frac{\sigma}{E} + \sigma \cdot at^\beta.$$

Термін експлуатації будівель, що швидко будуються, становить 20 років. У табл.3.7 представлені значення операторних модулів і для 20 років, обчислені за формулами (3.1) та (3.2) із застосуванням таблиць [8].

Таблиця 3.7 - Значення операторних модулів

Позначення	Час	Розтягування	Стиснення
\bar{E} , МПа	20 років	13809	18475
ν	20 років	0,236	0,171

Знайдені значення операторних модулів вводяться як вихідні дані в масив жорсткостей програмного комплексу ЛПРА. Результати розрахунку ребристої плити при тривалій дії навантаження представлені в табл.3.8.

Таблиця 3.8 - Напружено-деформований стан плити при тривалій дії навантажень, t=20 років

Показники	Позначення	Сніговий район					
		I	II	III	IV	V	VI
Максимальний прогин	f , мм	23,76 3	25,143	25,020	22,559	24,413	25,356
Максимальна напруга в настилі	σ_x , МПа	3,56	4,10	4,69	4,98	5,57	6,08
	σ_y , МПа	0,37	0,43	0,49	0,52	0,58	0,64
	τ_{xy} , МПа	0,81	0,95	1,06	1,12	1,25	1,37
Максимальні зусилля в подовжніх ребрах	N_x , кН	7,52	8,85	9,93	10,54	11,80	12,90
	M_y , кНм	0,12	0,15	0,19	0,23	0,26	0,28
	Q_z , кН	1,87	2,20	2,47	2,63	2,95	3,22

Після аналізу отриманих результатів розрахунків дозволяє зробити наступні висновки:

- внаслідок повзучості матеріалу максимальні прогини ребристої плити збільшились відповідно на 25%; відносний прогин плити становив 1/157, що

більше граничного відносного прогину, прийнятого для розрахунку рівним $1/200$;

- облік повзучості матеріалу введенням у розрахунок операторних модулів та несуттєво вплинув на напружений стан конструкції; різниця у зусиллях при миттєвій та тривалій дії навантажень не перевищує 3%.

Питання застосування теорії спадкової пружності до розрахунку будівельних конструкцій з полімерних матеріалів має одну істотну особливість: метод граничних станів передбачає не тільки міцності, але й деформаційні розрахунки, а умова жорсткості згинальних конструкцій з таких матеріалів реалізується, як правило, при порівняно невисоких рівнях напруг, при яких матеріал деформується у часі переважно пружно.

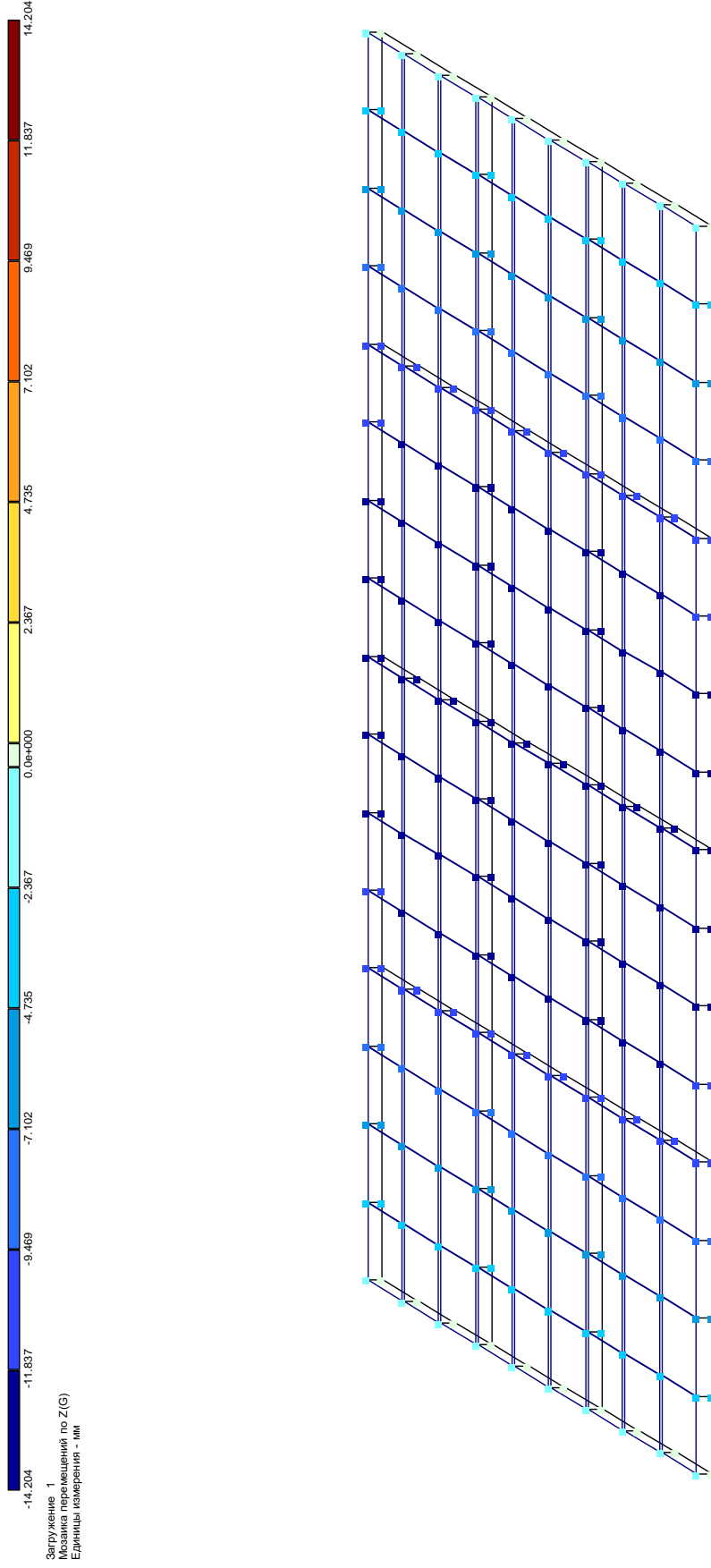


Рисунок 3.11 – Мозаїка переміщень осі Z при величині навантаження 0,5292 кН/м² з урахуванням повзучості



Зпруження 1
 Ізополя напружень по Nx
 Единиця вимірювання - Т/М2

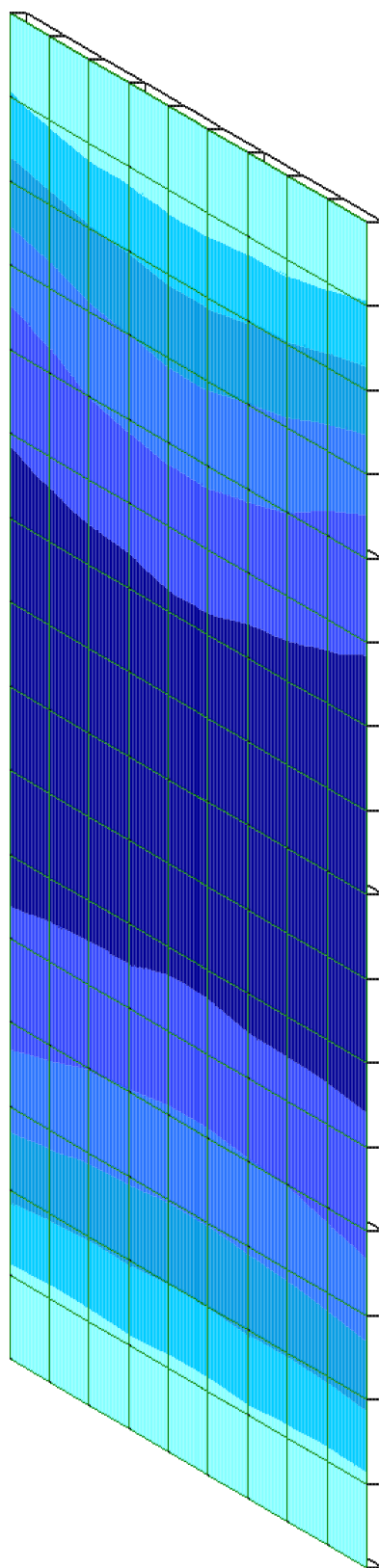


Рисунок 3.12 – Ізополя напруги σ_x у настилі при величині навантаження $0,896 \text{ кН/м}^2$ з урахуванням повзучості

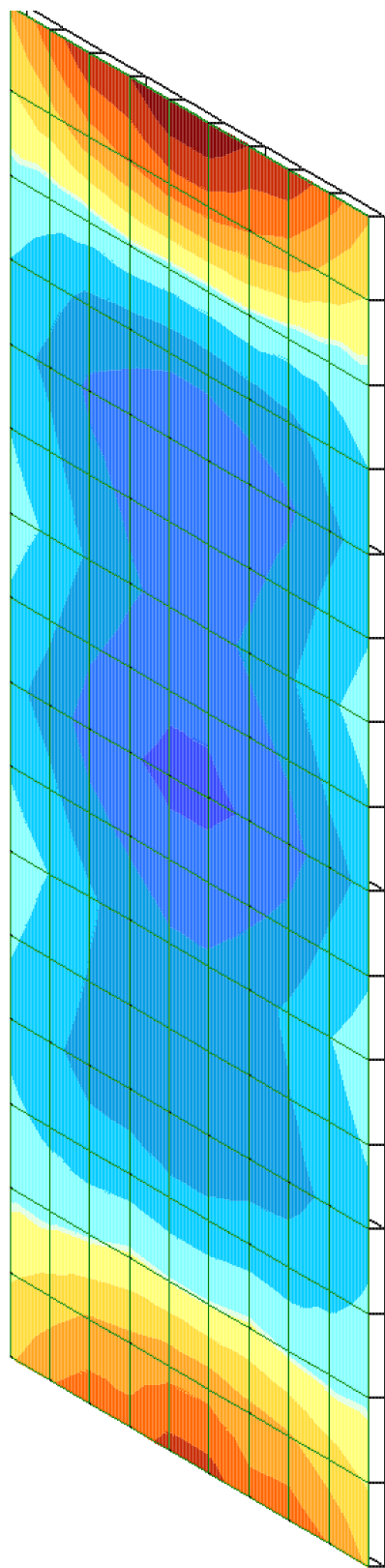
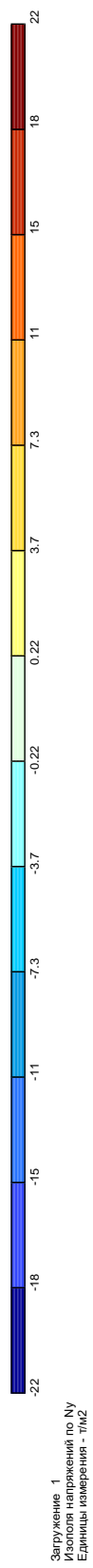


Рисунок 3.13 – Ізополя напруги σ_y в настилі при величині навантаження 0,896 кН/м² з урахуванням повзучості

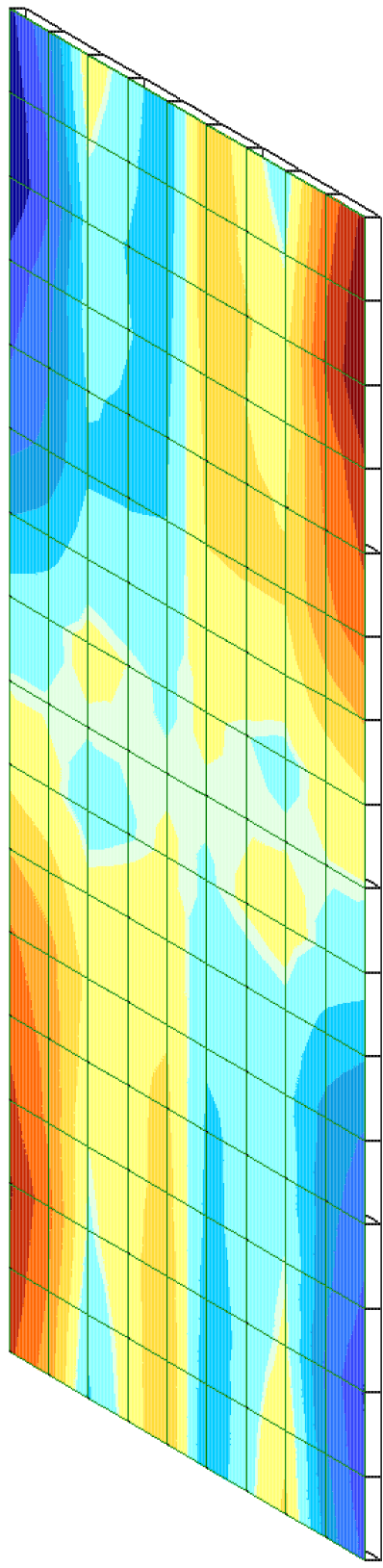
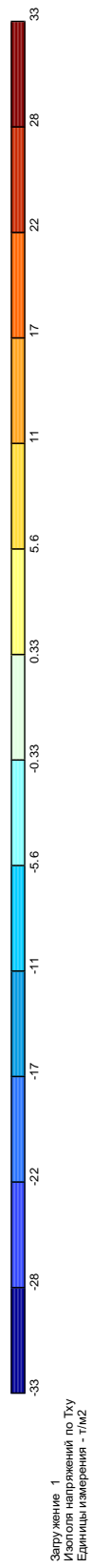


Рисунок 3.14 – Ізополя напруги τ_{xy} в настилі при величині навантаження $0,896 \text{ кН/м}^2$ з урахуванням повзучості

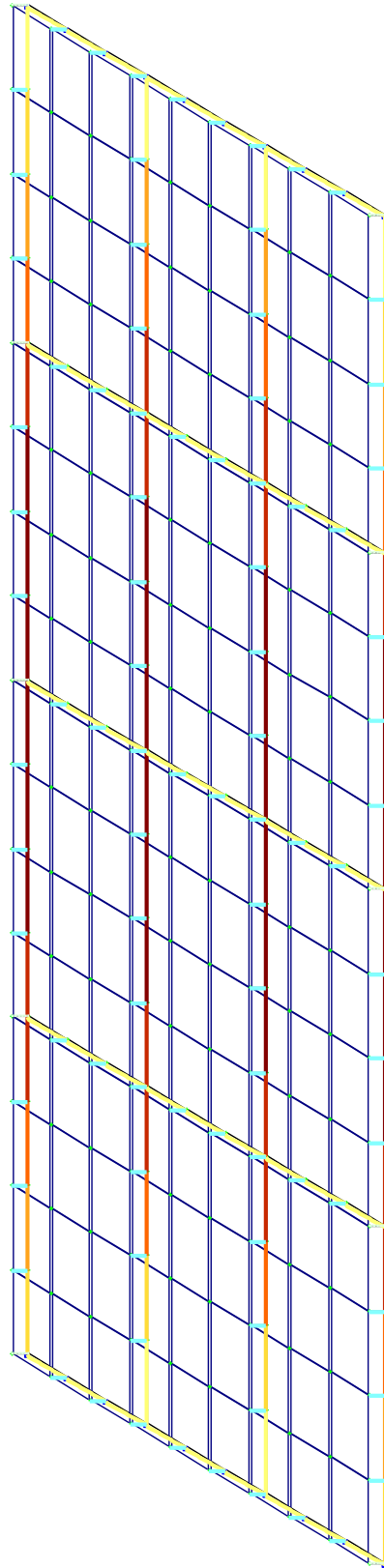
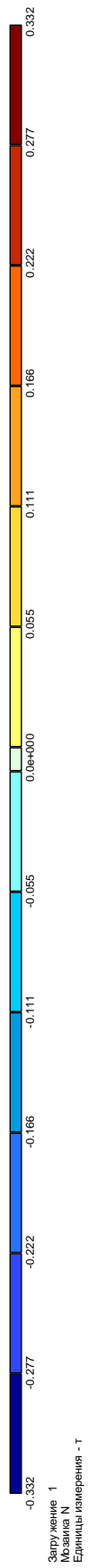


Рисунок 3.15 – Мозаїка напруг N_x у поздовжніх ребрах при величині навантаження $0,896 \text{ кН/м}^2$ з урахуваннямповзучості

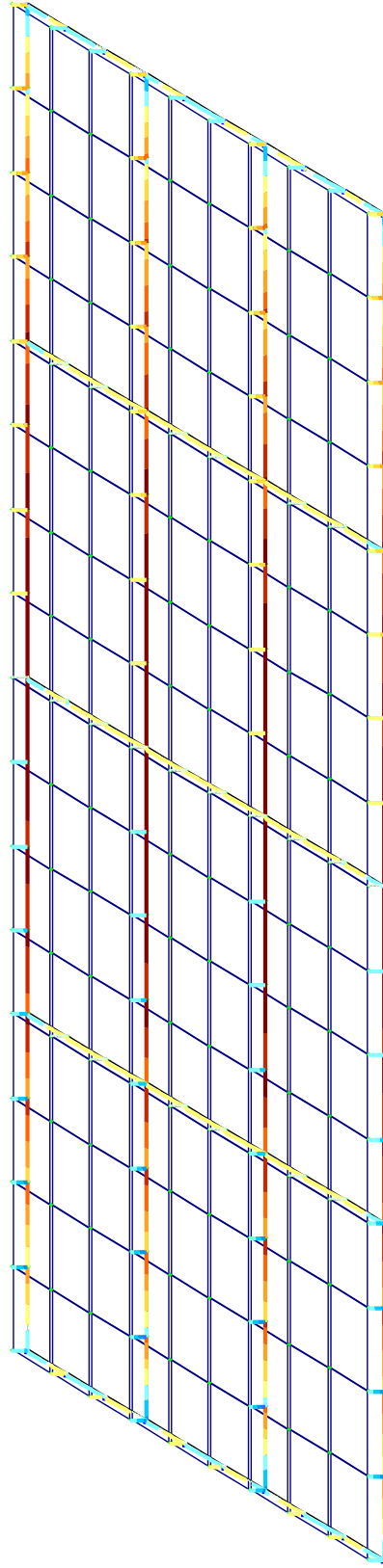
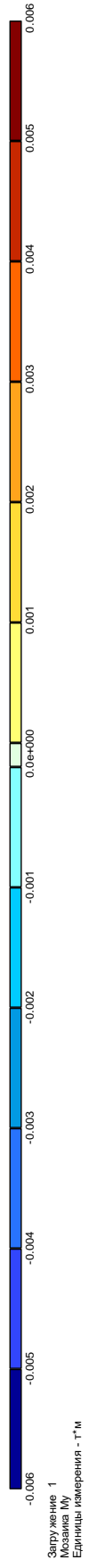
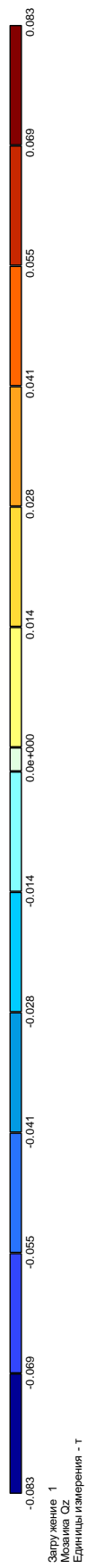


Рисунок 3.16 – Мозаїка напруг M_y в поздовжніх ребрах при величині навантаження $0,896 \text{ кН/м}^2$ з урахуванням повзучості



Зпруження 1
 Мозаїка Qz
 Единиця вимірювання - Т

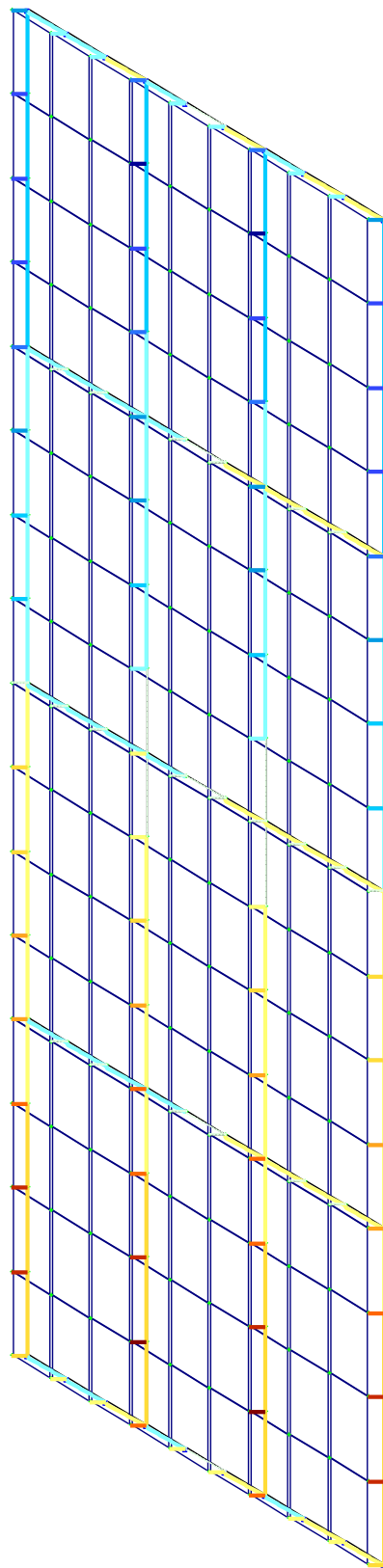


Рисунок 3.17 – Мозаїка напруг Q_z у поздовжніх ребрах при величині навантаження $0,896 \text{ кН/м}^2$ з урахуванням повзучості

3.5. Розрахунок двохшарнірної наскрізної арки зі склопластикових труб

Разом з конструкціями покриттів, що захищають, на основі полімерних композитів економічно доцільне застосування і несних склопластикових конструкцій криволінійного контуру: ферми, арки, структури та інші конструкції. Оскільки склопластики є хімічно стійкими матеріалами з невеликою об'ємною масою, найбільш ефективні у застосуванні конструкції з них у виробництвах з хімічно агресивною середою, де необхідний антикорозійний захист [30]. Такі конструкції застосовуються для теплиць, плавальних басейнів, тваринницьких комплексів, будівель сільськогосподарського призначення, а також навісів для стоянок автомобілів. У порівнянні з арками з металу склопластикові легші у 4 рази, трудомісткість їх виготовлення значно нижчі; застосування такого типу конструкцій економічно вигідне і на ґрунтах просадників.

Склопластики виготовляють головним чином у вигляді плоских елементів та труб. Виходячи з цього, основними типами перерізу елементів конструкцій вважає коробчате і кругле. Трубчасті елементи мають підвищену жорсткість у порівнянні з рівноцінними за площею суцільними перерізами та однаковим моментом інерції в будь-якому напрямку. Проте труби погано працюють на поперечний згин, оскільки при дії зусиль, спрямованих нормально до труби, виникають місцеві деформації стінки труби, що ведуть до руйнування конструкції, тому застосування труб у несних конструкціях ефективно тоді, коли елементи конструкції сприймають тільки протяжні осьові зусилля [1]. Виходячи з цих міркувань, труби доцільно застосовувати у фермах та інших стрижневих наскрізних конструкціях, навантаження на які передається у вузлах, а стержні сприймають осьові зусилля. На мал. 3.18 показані деякі рішення стрижневих конструкцій із труб.

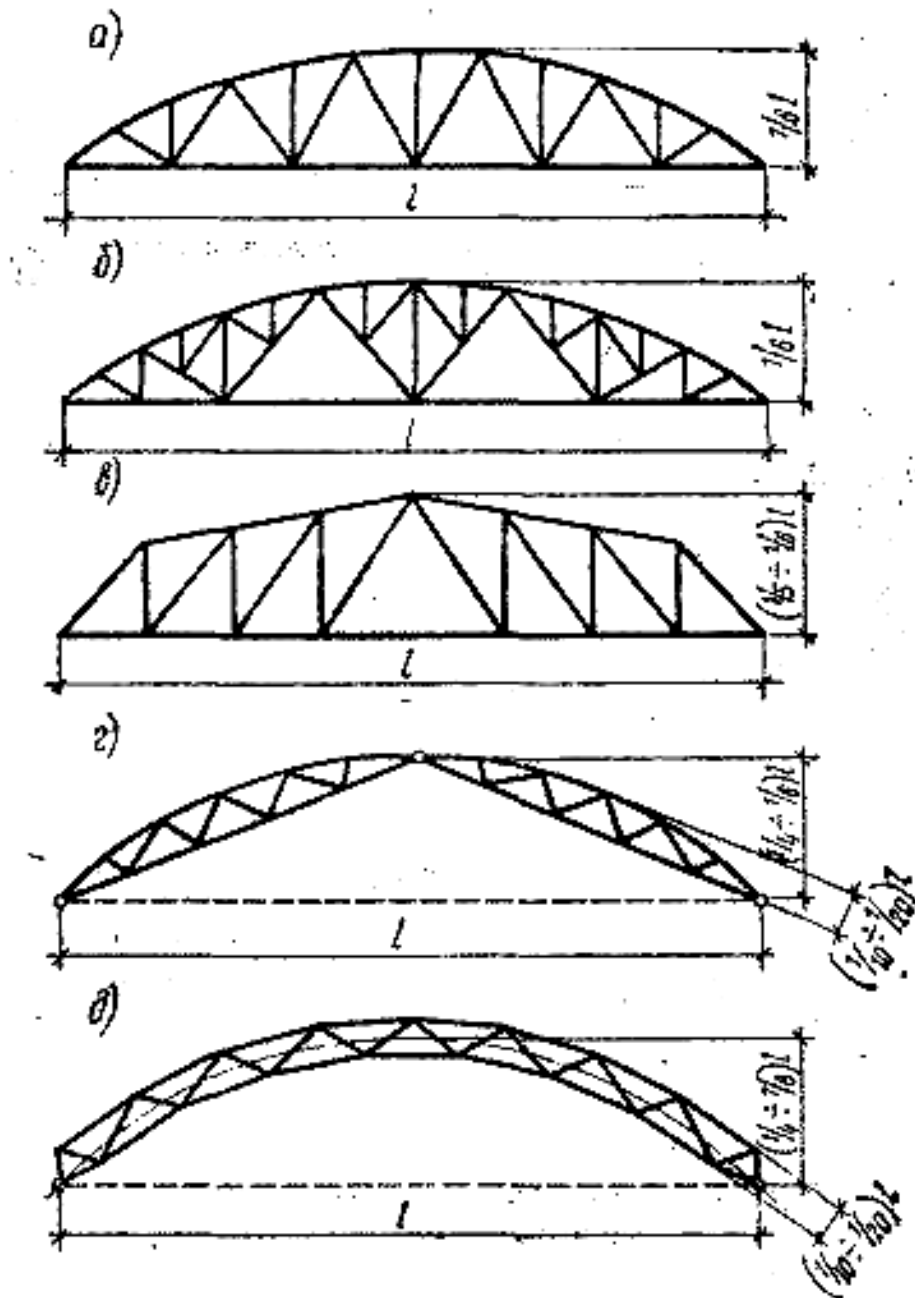


Рисунок 3.18 - Схеми стрижневих конструкцій із труб: а, б, в – ферми;
 г – тришарнірна арка; д – двошарнірна арка

Арка є плоскою наскрізною стрижневою системою, розрахунок якої виконується аналогічно ферм. Криволінійне обрис арки забезпечує оптимальне розподілення матеріалів у конструкції. Арка розраховується за

першою ознакою. При складанні розрахункової схеми стрижні моделюються шарнірними.

У двошарнірних наскрізних арках стрижні як верхнього, і нижнього поясів при основних поєднаннях навантажень сприймають, зазвичай; стискаючи зусилля, тому щоб уникнути втрати стійкості окремими стрижнями і всієї плоскої конструкції суміжні арки повинні бути пов'язані між собою системою горизонтальних і вертикальних зв'язків. Зв'язки кріпляться у вузлах верхнього та нижнього поясів [1].

Такі фактори, як агресивність середовища, відхилення температури та вологості від нормальних умов, повторюваність цих впливів, наближеність розрахункових формул і схем тощо, що впливають на здатність конструкції, що несе, враховуються коефіцієнтом умов роботи t , який виявляється експериментально.

При спільній дії різних факторів коефіцієнти, що оцінюють їхнє значення, перемножуються.

На здатність навантаження, що несе, надає також і характер навантаження.

Навантаження можуть мати різноманітний характер. Насамперед, виділяють статичні навантаження. Розрізняють статичні навантаження тимчасові та постійні, причому тимчасові можуть мати тривалий характер (сніг). Особливу турботу представляє виявлення на пластмасові елементи тривалого навантаження [31].

Тривалість дії навантаження враховують коефіцієнтом тривалого опору $k_{д,с}$ і тимчасовим деформаційним коефіцієнтом $n_{в,р}$. Коефіцієнти тривалості є кінцевими значеннями цих коефіцієнтів, початкові їх значення рівні одиниці.

Насправді на конструкцію зазвичай впливають навантаження різної тривалості. Якщо на якомусь етапі в процесі експлуатації вони можуть поєднуватися, то конструкція має бути розрахована на спільну їхню дію. Навантаження приводяться при цьому до однієї тривалості, зазвичай до тривалої постійної. Приведення роблять розподілом навантаження на

коефіцієнт тривалого опору та множенням на коефіцієнт тривалості. Потім навантаження: N_1 та N_2 . Їхній тривалості відповідають коефіцієнти $k'_{д.с.}$ і $k''_{д.с.}$. Наведене до тривалого постійного розрахункового навантаження дорівнює:

$$N_{np} = n_1 \frac{N_1}{k'_{д.с.}} k_{дл} + n_2 \frac{N_2}{k''_{д.с.}} k_{дл},$$

де n_1 і n_2 - коефіцієнти перевантаження, що враховують можливі відхилення кожного навантаження від нормальних значень.

Можливе введення в цю формулу коефіцієнта поєднань k_c , але якщо діючі навантаження приводить до тривалих, то і розрахункові опори пластмаси треба брати тривалими, зрештою розрахунковий опір пластмаси; виражають формулою:

$$R = \sigma_{н.ч.} k_0 m k_{lk}.$$

Наскрізнi арки розраховують у звичайній послідовності: спочатку; підраховують навантаження, далі визначають зусилля у стрижнях, підбирають перерізи стрижнів, розраховують зусилля та кріплення стрижнів у вузлах. Розрахунок завершується перевіркою деформативності арки.

Двошарнірна наскрізна арка є системою статично невизначеною. Як основний невідомий при розрахунку такої системи приймають розпір. Величину розпору приймають за таблицями. Оскільки таблиці складені для арок суцільного перерізу, неодмінною умовою їх застосування при розрахунку наскрізної арки є їхня повна симетричність проекрованої конструкції щодо осі (рис. 3.19), тобто дотримання однаковості перерізу поясів та їх відстані від осі по всій довжині арки.

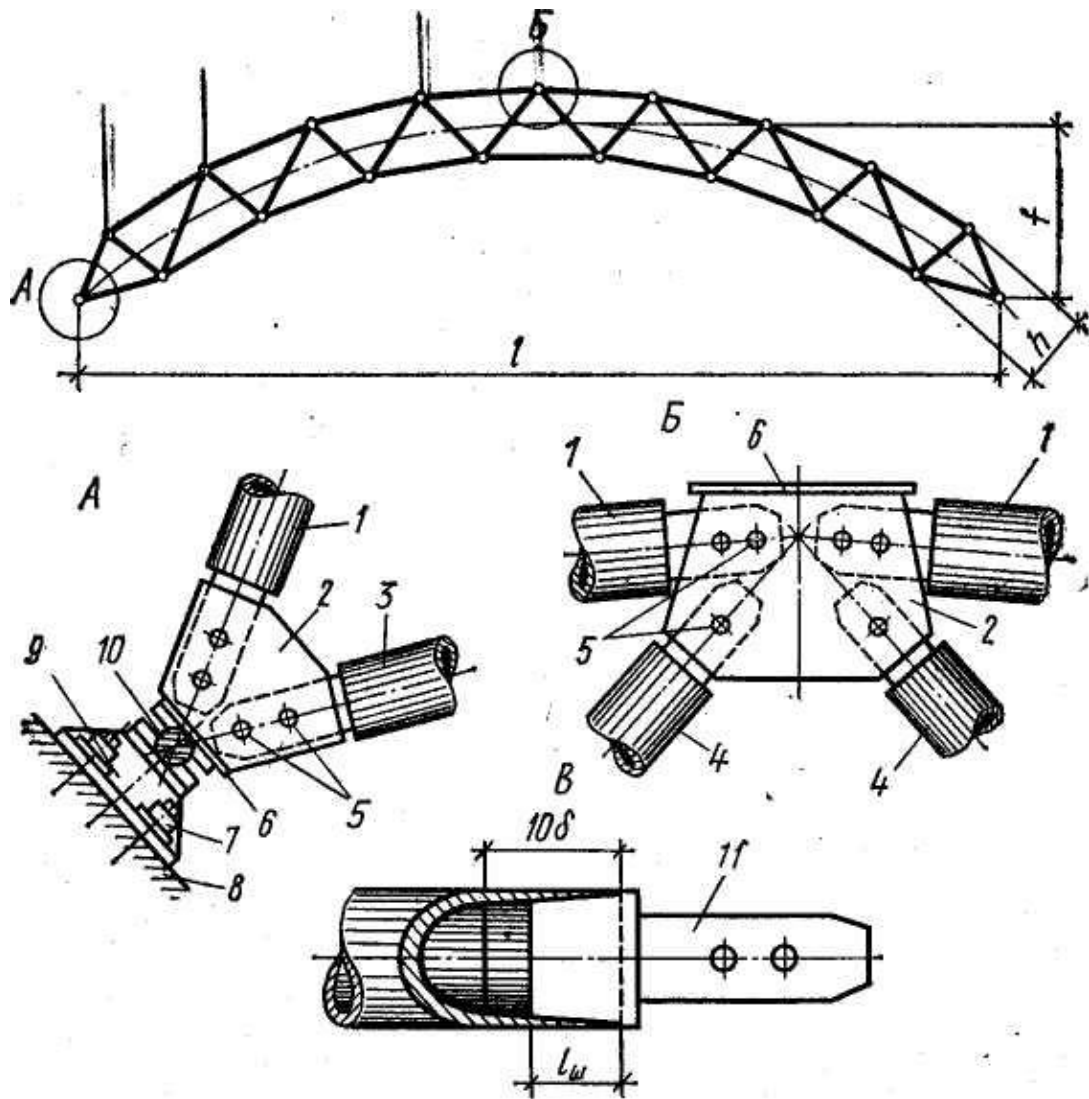


Рисунок 3.19 - Двошарнірна наскрізна арка: А – опорний вузол; Б – проміжний вузол; І – деталь оголовка стрижня; 1, 3, 4 – стрижні; 2 – фасонка; 5 – болт кріплення стрижня у вузлі; 6 – сполучна планка; 7 – анкер; 8 – основа; 9 – опорна частина основи; 10 – опорний шарнір; 11 - пробка з випуском

Пояси арки виконуються зі склопластикових труб $D_{xt}=85 \times 5$ мм, ґрати із труб $D_{xt}=85 \times 5$ мм (D зовнішній діаметр, t -товщина стінки). Проліт арки $l=12$ м, стріла підйому $f=(1/5)l=2.4$ м, відстань між поясами $h=(1/5)l=0.8$ м. Крок арок $B=6$ м. Постійне навантаження від покриття, включаючи власну вагу арки $p_n=1$ кН/м², снігове навантаження від III снігового району дорівнює $1,2$ кН/м². Тривалість дії снігового навантаження $t = 20$ років. Розрахункова схема двохарнірної арки представлена на рис. 3.20.

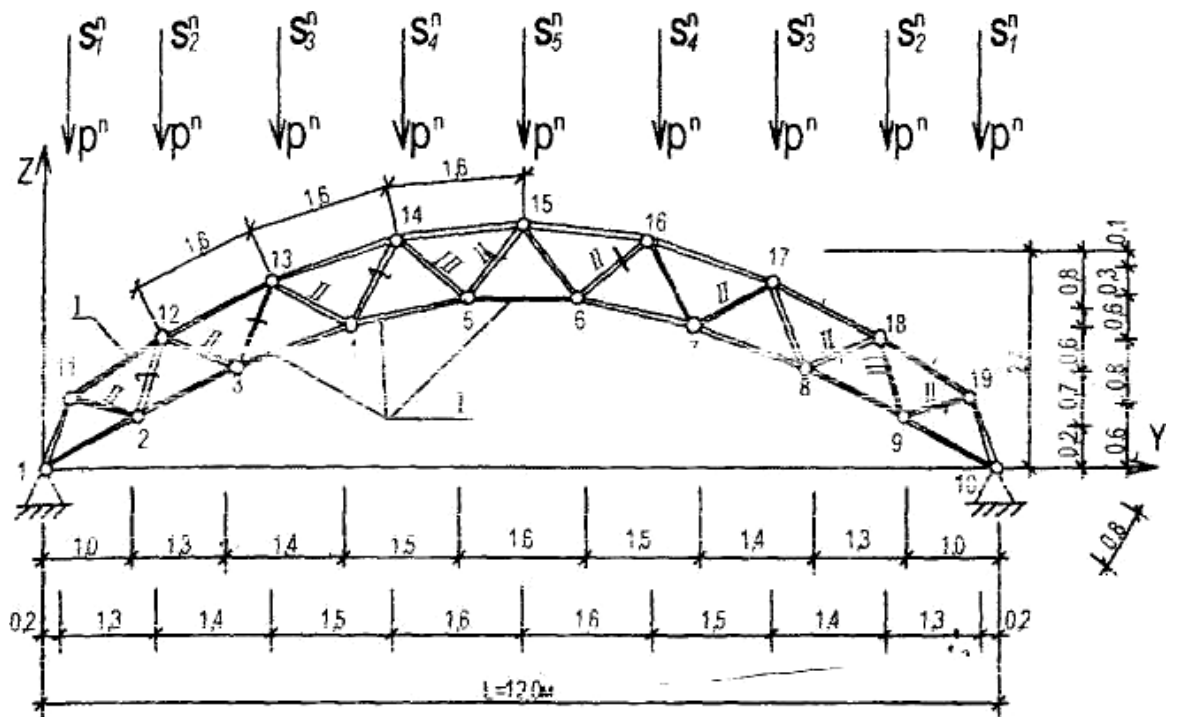


Рисунок 3.20 - Розрахункова схема арки

ОСНОВНІ ВИСНОВКИ

Виконано кваліфікаційну магістерську роботу, яка розглядає питання застосування полімерних матеріалів у конструкціях швидкоспоруджуваних будівель.

Основні висновки по роботі наступні:

1. Вивчені конструктивні схеми швидкоспоруджуваних будівель.
2. Вивчені полімерні матеріали та для конструкцій швидкоспоруджуваних будівель було обрано склопластик та полікарбонат.
3. Вивчені види склопластиків та полікарбонату, що застосовуються у будівництві, їх властивості, робота при короткочасних та тривалих навантаженнях.
4. Вивчено механічні властивості монолітного полікарбонату.
5. Був розрахований настил з монолітного полікарбонату при дії короткочасного та тривалого навантаження. Визначено прогини та зусилля для різних снігових районів. В результаті розрахунку були доведені досить високі властивості міцності монолітного склопластику, що дозволяє застосовувати його в якості несучих конструкцій швидкокомтованих будівель.
6. Запроектована та розрахована ребриста плита з фенолоформальдегідного склопластику. Було визначено прогини та зусилля в плиті від дії навантажень, що відповідають різним сніговим районам. Встановлено, що повзучість при тривалій дії навантажень істотного впливу на напружені стани не надає; різниця в зусиллях при миттєвій ($t=0$) та тривалій ($t=20$ років) дії навантаження становить 6-7%; також встановлено зростання прогинів плити в часі незначний, але він може призвести до граничного стану конструкції другої групи і тому в розрахунках має бути врахований.
7. Виконано розрахунок двошарнірної наскрізної арки зі склопластикових труб при короткочасній та тривалій дії навантаження;

оцінено вплив повзучості на напружено-деформований стан арки; встановлено, що більша жорсткість конструкції за тривалої дії навантаження забезпечується рахунок форми конструкції; збільшення деформацій рахунок повзучості за 20 років вбирається у 5%.

На основі виконаної роботи можна зробити висновки, що в цілому, будівельні конструкції для швидкоспоруджуваних будівель з фенолоформальдегідного склопластику і монолітного полікарбонату мають досить високу несучу здатність і жорсткість. Спадкову теорію пружності можна рекомендувати до розрахунку конструкцій зі склопластику при тривалій дії.

СПИСОК ВИКОРИСТАНИХ ДЖЕРЕЛ

1. Іванов А.М., Алгазінов К.Я., Мартинець Д.В. Будівельні конструкції з полімерних матеріалів: Навч. Посібник для ВНЗ. - М.: Вищ. школа, 1978. - 239 с.
2. ДСТУ 2241-93 Матеріали композитні. Склопластики. Терміни та визначення.
3. Бучок Ю. Ф. Будівельні конструкції. Основи розрахунку: підручник для підготовки молодших спец. /Ю. Ф. Бучок. К. : Вища школа, 1994. – 446 с
4. Сучасні композиційні будівельно-оздоблювальні матеріали / П.В. Захарченко, Е. М. Долгий, Ю. О. Галаган та ін. – К. : Інтертехнологія, 2005.– 511 с.
5. ДБН В.1.2-2:2006 Навантаження і впливи. Норми проектування. К:Мінбуд України, 2006.
6. Єврокод 1. Дії на конструкції. Частина 1-3. Загальні дії. Снігові навантаження (EN 1991-1-3:2003, ГОТ) ДСТУ-Н Б EN 1991-1-3:2010.
7. Єврокод 1: Дії на конструкції. Частина 1-4. Загальні дії. Вітрові навантаження (EN 1991-1-4:2005, ГОТ) ДСТУ-Н Б EN 1991-1-4:2010.
8. Работонов Ю.М., Папернік Л.Х., Звонов Є.М. Таблиця дробово-експоненційної функції негативних властивостей та інтеграла від неї. - М.: "Наука", 1969. - 132 с.
9. Работонов Ю.М. Елементи спадкової механіки твердих тел. - М.: "Наука", 1977. - 383 с.
10. Карвацька Ж. К. Будівельні конструкції. Громадські будівлі : підруч. Чернівці, 2000. - 218 с.
11. Русов Б.П., Новоселя І.В. Область лінійного деформування конструкційних пластмас // Изв. ВНЗ. Будівництво, 2002 – №9. - С. 141-144.

12. Кархут І.І. Міцність та деформативність МДМ-систем під час згину // Вісник НУ "Львівська політехніка" "Теорія і практика будівництва". –2005. – №5453.
13. Васильченко О.В. Основи архітектури і архітектурних конструкцій: навч. посібник / О.В.Васильченко. – Харків, 2007. – 257 с.
14. Бабич В.І., Огороднік В.І., Романюк В.В. Таблиці для проектування будівельних конструкцій. Довідник. – Рівне, 1999. – 506 с.
15. ДСТУ –Н Б В.2.6-184:2012 Конструкції з цільної і клеєної деревини. Настанова з проектування. / Мінрегіон України. – К. : Мінрегіон України, 2013 – 158с.
16. Корабельніков Ю.Г. Вплив перерв у дії навантажень на довговічність та деформативність конструкційних пластмас/Механіка композитних матеріалів. - Рига: Латвійський університет, 2002. Т. 38. №4. - С. 507-530.
17. Городецький Д.А, Барабаш М.С. Програмний комплекс ЛИРА-САПР 2013. Навчальний посібник. — К. — М.: Електронне видання — 2013. — 376 с
18. Експериментальне дослідження елементів із фібергласу / С.Ф. Пічугін, Є.М. Бойко, Т.С. Горова, М.В. Терегеря // Збірник наукових праць (галузеве машинобудування,будівництво). – Полтава: ПолтНТУ, 2011. – Вип.1 (29). – С.132-136.
19. Яковлєв А.Д., Здор В.Ф., Каплан В.І. Порошкові полімерні матеріали і покриття на їх основі. Л.: Хімія, 1979. - 254 с.
20. Карапузов Є.К., Соха В.Г., Остапченко Т.Є. Матеріали і технології в сучасному будівництві. – К.: Вища освіта, 2006. – 495 с.
21. Характеристики склопластику [Електр.ресурс]. – Режим доступу: URL: <https://plastics.ua/industrial/ua/products/stekloplastik/>
22. Андрухов В. М. ВІМ-технології проектування. Особливості впровадження та розвитку в Україні / В. М. Андрухов, В. В. Матвійчук, А. О. Колесник; під ред. М. М. Осетріна //

- Містобудування та територіальна діяльність : [наук.-техн. збірник]. – Вип. 40, Ч. 1. – К. : КНУБА, 2011. – С. 58 – 66.
23. Склопластик - властивості та технічні характеристики [Електр.ресурс]. – Режим доступу: URL: <http://stroytechnology.net/zroby-sams/5985-skloplastik.html>
24. Властивості листів із полікарбонату [Електр.ресурс]. – Режим доступу: URL: <https://gtconcept.com.ua/uk/polikarbonat/kharakterystyky-polikarbonatu.html>
25. Стільниковий і монолітний полікарбонат: особливості та різниця [Електр.ресурс]. – Режим доступу: URL: <https://avers.ua/news/stilnikovii-i-monolitnii-polikarbonat-osoblivosti-ta-riznicya>
26. Що таке полікарбонат? Який він буває і де застосовується? [Електр.ресурс]. – Режим доступу: URL: <https://scity.com.ua/uk/shho-take-polikarbonat-yakuj-vin-buvaye-i-de-zastosovuyetsya/>
27. Перельмутер А.В. Сучасні методи і проблемно-орієнтовані комплекси розрахунку конструкцій і їх застосування у проектуванні і навчальному процесі: тези доповідей II Міжнародної науково-практичної конференції, м. Київ, 26-27 вересня 2018. - К.: Талком.- с.86-87.
28. Андрухов В. М. ВІМ-технології, як новий вид інформаційного поля для супроводу будівельних об'єктів / В. М. Андрухов, В. В. Матвійчук, А. О. Колесник // Сучасні технології, матеріали і конструкції в будівництві. – № 1. – Вінниця : УНІВЕРСУМ – Вінниця, 2012. – С. 104 – 108. ДБН В.2.6-161:2010 Конструкції будинків і споруд. Дерев'яні конструкції / Міненергобуд України. К: ДП Украрбудінформ, 2011. – 102 с.
29. ДБН В 1.1-7-2002. Захист від пожежі. Пожежна безпека об'єктів будівництва. К. : Мінбуд України, 2002.
30. Кворомбі А. Архітектура та пластмаси: Пер.с англ./Под.ред. Д.П. Айрапетова, А.А. Саченко. - М.: Будвидав, 1978. - 245 с.

31. Зубарев Г.І., Лялін І.М. Конструкції з дерева та пластмас. - М.: Вища школа, 1980. - 312 с.
32. Склопластик [Електр.ресурс]. – Режим доступу: URL: www.fibrolux.com
33. Андрухов В. М. Наскрізнi автоматизованi технологiї в проектуваннi багатоповерхових житлових будiвель / В. М. Андрухов, В. В. Матвiйчук, А. О. Колесник // Сучаснi технологiї, матерiали i конструкцiї в будiвництвi. – № 2. – Вiнниця : УНІВЕРСУМ – Вiнниця, 2010. – С. 104 –109.
34. Сайт компанії ЛІРА САПР: ПРОДУКТИ: САПФІР 3D: [Електронний ресурс]. - Режим доступу: <https://www.liraland.ua/sapfir/>.
35. Веб-сторінка компанії ЛІРА САПР на каналі YouTube: [Електронний ресурс].-Режимдоступу:<https://www.youtube.com/user/LiraLand/>
[/playlists?view=1&sort=dd&flow=grid](https://www.youtube.com/user/LiraLand/playlist?view=1&sort=dd&flow=grid).
36. "Сучасні технології та методи розрахунків у будівництві", випуск 13, 2020 -139с
37. Веб-сторінка А. Каманина на каналі YouTube: Базовий курс САПФІР: [Електронний ресурс]. - Режим доступу: <https://www.youtube.com/playlist?list=PLc1zDNPZWhj8ZCCTCiHDr9F50PAaj8a->
38. Сучасні інформаційні технології у проектуванні будівельних конструкцій/ Г.О. Татарченко, О.А. Черних, В.М. Соколенко// 36. наук. праць II Міжнародної українсько-азербайджанської конференції «Building Innovations – 2019», 23 – 24 травня 2019 року - Полтава: ПолтНТУ, 2019. с. 196-198.
39. Ліпін Ю.В., Рогачов А.В., Сидорський С.С., Харитонов В.В. Технологія вакуумної металізації полімерних матеріалів. - Гомель, 1994. - 206 с

40. Eurocode 5. Design of timber structures. Part 1.1. General rules and rules for buildings. – 1995. - 124p.
41. BIM: Building Information Modeling [Електронний ресурс]. – Режим доступу: <https://www.youtube.com/watch?reload=9&v=gsm15cawHbY>.
42. Parametric House: Learn Parametric Design through Rhino Grasshopper Tutorials [Електронний ресурс]. - Режим доступу : <https://www.youtube.com/channel/UCjLDKM9EzNdASaNdjBhTqug/featured>
- 43.ДСТУ Б А.1.1–5–94. Система стандартизації і нормування в будівництві. Загальні фізико–технічні характеристики та експлуатаційні властивості матеріалів. Терміни та визначення.
- 44.ДСТУ Б А.1.1–6–94. Теплофізичні випробування матеріалів. Терміни та визначення.
- 45.ДСТУ Б А.1.1–12–94. Вироби будівельного призначення з мінерального волокна. Терміни та визначення.
- 46.ДСТУ Б А.1.1–21–94. Скло та вироби зі скла будівельного призначення. Терміни та визначення.
- 47.ДСТУ Б А.1.1–15–94. Матеріали рулонні покрівельні та гідроізоляційні. Терміни та визначення.
48. ДСТУ Б А.1.1–18–94. Лінолеум. Терміни та визначення.
- 49.ДСТУ Б А.1.1-28-94. Вироби полімерні погонажні профільні та оздоблювальні стінові (рулонні і листові). Терміни та визначення.
- 50.ДСТУ Б А.1.1–53–94. Матеріали будівельні. Методи визначення пористості. Терміни та визначення.
- 51.Сазонова О.Ю., Мойшанов Д.В., Гребенюк О.В. Конструкції швидкоспоруджуваних будівель // Матеріали III Всеукраїнської науково-практичної конференції за участю молодих науковців «Актуальні питання сталого науково-технічного та соціально-економічного розвитку регіонів України». - Запоріжжя : ЗНУ, 2023. - С.217-219.

