

ДЕРЖАВНА СЛУЖБА УКРАЇНИ З НАДЗВИЧАЙНИХ СИТУАЦІЙ

Черкаський інститут пожежної безпеки імені Героїв Чорнобиля
Національного університету цивільного захисту України

Кваліфікаційна наукова
праця на правах рукопису

Підгорецький Юрій Юрійович

УДК 624.012

ДИСЕРТАЦІЯ

**РОЗРАХУНКОВИЙ МЕТОД ПРОГНОЗУВАННЯ
ПОВЕДІНКИ ГНУЧКИХ ПРОЗОРИХ ЕЛЕМЕНТІВ
БЕЗІНЕРЦІЙНИХ ЛЕГКОСКИДНИХ КОНСТРУКЦІЙ ЗА УМОВ ВИБУХУ**

Спеціальність – 261 «Пожежна безпека»
Галузь знань – 26 «Цивільна безпека»

Подана на здобуття наукового ступеня доктора філософії. Дисертація містить результати власних досліджень. Використання ідей, результатів і текстів інших авторів мають покликання на джерело

_____ **Ю. Ю. Підгорецький**

Науковий керівник: **Поздєєв Сергій Валерійович**,
доктор технічних наук, професор,
головний науковий співробітник інституту

Черкаси – 2021

АНОТАЦІЯ

Підгорецький Ю. Ю. Розрахунковий метод прогнозування поведінки гнучких прозорих елементів безінерційних легкоскидних конструкцій за умов вибуху. – Кваліфікаційна наукова праця на правах рукопису.

Дисертація на здобуття наукового ступеня доктора філософії за спеціальністю 261 «Пожежна безпека». – Черкаський інститут пожежної безпеки ім. Героїв Чорнобиля НУЦЗ України, Черкаси, 2021.

Актуальність теми дослідження. Індустріально-промислова база України охоплює численну кількість підприємств із підвищеною вибухопожежною небезпекою, що потребують застосування спеціальних інженерних заходів для захисту людей і матеріальних цінностей від небезпечних факторів вибуху. Одне з найбільш ефективних інженерних рішень – влаштування легкоскидних конструкцій, які дають змогу швидко знижувати надлишковий тиск вибуху до безпечних величин. Крім визначення необхідної площі огороження легкоскидних конструкцій, потрібно їх удосконалити через застосування гнучких огорожувальних елементів на основі полімерних матеріалів, що вможливають їх багаторазове застосування, на відміну від скляного огороження. Використання легкоскидних конструкцій із таким устроєм обмежене, з огляду на відсутність науково обґрунтованих розрахункових методів їх проектування. Виявлення закономірностей залежності параметрів спрацьовування безінерційних легкоскидних конструкцій із гнучкими огорожувальними елементами від їхніх конструктивних параметрів – актуальне завдання, результати виконання якого могли б послугувати підґрунтям для створення інженерних методик проектування безінерційних ЛСК із гнучкими елементами.

Ідея роботи полягає у забезпеченні належного захисту проти вибуху за допомогою безінерційних легкоскидних конструкцій із гнучкими елементами шляхом розроблення розрахункової методики їх проектування.

Об'єкт дослідження – процеси деформування гнучких огорожувальних елементів безінерційних легкоскидних конструкцій та умови їх спрацьовування під впливом надлишкового тиску вибуху.

Предмет дослідження – закономірності процесів деформування гнучких огорожувальних елементів безінерційних легкоскидних конструкцій та умови їх спрацювання залежно від їх конструктивних параметрів: товщини, розмірів прорізів, фізико-механічних властивостей матеріалів та нормованих параметрів імовірного вибуху.

Мета роботи полягає у розкритті закономірностей поведінки гнучких огорожувальних елементів безінерційних легкоскидних конструкцій та умов їх спрацювання під впливом динамічних навантажень в умовах вибуху залежно від їх конструктивних параметрів як підґрунтя щодо розроблення відповідної розрахункової методики проектування.

Основні завдання дослідження.

1) Провести аналіз сучасного стану із нормування та проектування легкоскидних конструкцій із гнучкими елементами.

2) Розробити методику і провести математичне моделювання поведінки безінерційних легкоскидних конструкцій із гнучкими огорожувальними елементами під впливом динамічних навантажень в умовах вибуху.

3) Розробити методику і провести експериментальні дослідження поведінки безінерційних легкоскидних конструкцій із гнучкими огорожувальними елементами під впливом динамічних навантажень в умовах вибуху.

4) Розробити методику та визначити ефективні характеристики деформування стільникових полікарбонатних листів гнучких елементів та умов їх виходу із замків стандартного виконаного профілю легкоскидних конструкцій, що улаштовані на їх основі.

5) З урахуванням виявлених ефективних характеристик деформування стільникових полікарбонатних листів гнучких елементів та умов їх виходу із замків стандартного виконаного профілю виявити закономірності залежностей

параметрів спрацьовування відповідних легкоскидних конструкцій від конструктивних параметрів.

б) Розробити розрахунковий метод проектування безінерційних легкоскидних конструкцій із гнучкими огорожувальними елементами під впливом динамічних навантажень в умовах вибуху шляхом побудування відповідних номограм та таблиць.

Наукова новизна дисертаційної роботи полягає у розкритті закономірностей залежностей параметрів деформування безінерційних легкоскидних конструкцій із гнучкими огорожувальними елементами під впливом динамічних навантажень в умовах вибуху від їх конструктивних параметрів. При цьому уперше:

- виявлені закономірності залежностей ефективної жорсткості та критичного переміщення країв стільникових полікарбонатних листів у замках стандартного віконного профілю від надлишкового тиску вибуху;

- розроблена математична модель деформування стільникових полікарбонатних листів у стандартному віконному профілі під впливом тиску вибуху, заснований на теорії напружено-деформованого стану пружних пластинок та оболонок;

- розроблена математична модель для визначення ширини і висоти секцій легкоскидних конструкцій із стільниковими полікарбонатними листами, на основі якого побудовані номограми та довідникова таблиця для визначення проектних розмірів секцій даних легкоскидних конструкцій

Набуло подальшого розвитку застосування розрахункових інженерних методик проектування безінерційних легкоскидних конструкцій із гнучкими елементами для визначення відповідних вихідних даних для проектування будівель та споруд з їх застосуванням.

Удосконалено теоретичну та експериментальну базу щодо забезпечення вибухопожежобезпеки у приміщеннях промислових будівель шляхом улаштування безінерційних легкоскидних конструкцій із гнучкими прозорими елементами.

Практичне значення отриманих результатів. Практична цінність дисертаційних досліджень полягає у розробці інженерного розрахункового методу проектування безінерційних легкоскидних конструкцій із гнучкими огорожувальними елементами в умовах впливу надлишкового тиску вибуху, що дозволяє встановити мінімальні проектні розміри для забезпечення їх надійного спрацювання. Це дозволяє уникнути матеріальних та трудових затрат при улаштуванні безінерційних ЛСК із гнучкими огорожувальними елементами із використанням розробленого методу як альтернативи безінерційних ЛСК із огорожувальним склінням, оскільки за умов використання першого типу ЛСК допускається повторне використання огорожувальних елементів, а також їх підбір під існуючі системи прозорого огороження будівель. Отримані номограми та таблиці мінімальних розмірів прорізів для різних конструктивних параметрів полікарбонатних плит, що гарантують їх надійне спрацювання за умов критичних значень надлишкового тиску вибуху.

Розроблені методики впроваджені у практичну діяльність аудиторської організації ТОВ «Центр пожежно-технічного аудиту», технологічний процес випробувань Інституту державного управління та наукових досліджень з цивільного захисту, а також у навчальний процес Черкаського інституту пожежної безпеки ім. Героїв Чорнобиля Національного університету цивільного захисту України при викладанні дисципліни «Пожежна безпека територій, будівель та споруд». Результати дисертаційної роботи використано при розробці проекту державного стандарту України ДСТУ Х Х ХХ:20ХХ Пожежна безпека. Метод визначення параметрів легкоскидних конструкцій для вибухопожежонебезпечних приміщень та будинків

Методи дослідження. Процеси деформування гнучких огорожувальних елементів безінерційних легкоскидних конструкцій та умови їх спрацювання вивчені за допомогою розрахункового й експериментального методів, із

застосуванням дослідних установок. Для визначення основних закономірностей залежності параметрів деформування та спрацьовування безінерційних легкоскидних конструкцій із гнучкими огорожувальними елементами від конструктивних параметрів під впливом динамічних навантажень в умовах вибуху, залучено метод математичного моделювання, заснований на теорії С. Тимошенка для оболонок і пластинок. Для верифікації достовірності й адекватності результатів експериментів і моделювання поведінки безінерційних легкоскидних конструкцій із гнучкими огорожувальними елементами використано методи математичного моделювання, ґрунтовані на методі кінцевих елементів.

У **першому розділі** проаналізовано статистику пожеж і випадків, що супроводжувані вибухом. Доведено, що забезпечення вибухозахисту за допомогою легкоскидних конструкцій із гнучкими прозорими огорожувальними елементами слугує ефективним засобом. Вивчено сучасне нормативне забезпечення, чинне в Україні й за кордоном, на цій підставі аргументована необхідність його удосконалення, з огляду на перспективи застосування легкоскидних конструкцій із гнучкими прозорими огорожувальними елементами. Крім того, у першому розділі описано методи теоретичного й експериментального дослідження елементів легкоскидних конструкцій в умовах вибуху. На основі результатів проведеного аналізу сформульовано мету та основні завдання роботи.

У **другому розділі** окреслено підходи до математичного опису деформування стільникових полікарбонатних листів як гнучких прозорих огорожувальних елементів легкоскидних конструкцій. Результати проведеного аналізу засвідчують, що найбільш ефективним методом для такого опису є застосування теорії пластинок та оболонок С. Тимошенка. На підставі використання цієї теорії запропоновано математичну модель деформування стільникових полікарбонатних листів на основі рівняння статичної рівноваги. Запропонована математична модель дає змогу проводити проектні розрахунки даних легкоскидних конструкцій за умови доповнення необхідними ефективними механічними характеристиками стільникових полікарбонатних листів, що мають

бути з'ясовані експериментальним способом. Крім цього, для проведення уточнених розрахунків запропоновано диференціальні рівняння, що складені на основі законів збереження й напружено-деформованого стану, у чисельній апроксимації за допомогою методу кінцевих елементів та явного методу інтегрування для їх розв'язання.

Третій розділ присвячено опису експериментального обладнання, зразків для випробувань і методикам експериментального дослідження пружних характеристик стільникових полікарбонатних листів та сил тертя, що виникають у разі витягування стільникових полікарбонатних листів із замків стандартного віконного профілю. Основне експериментальне обладнання – установка для вивчення найбільшого прогину стільникових полікарбонатних листів під впливом механічного навантаження, що імітує вплив вибуху, а також установка, яка вимірює силу витягування стільникових полікарбонатних листів із замків стандартного віконного профілю. Експеримент полягав у покроковому прикладанні розподіленого навантаження до стільникових полікарбонатних листів із вимірюванням максимального прогину на кожному кроці впритул до виходу країв стільникових полікарбонатних листів із замків віконного профілю. У ході вивчення сил тертя виміряно максимальну силу, за якої простежуваний вихід країв стільникових полікарбонатних листів із замків віконного профілю.

У **четвертому розділі** представлено результати експериментальних досліджень у вигляді кривих, які описують залежність максимального прогину стільникових полікарбонатних листів від величини прикладеного тиску. На основі отриманих кривих визначено основні ефективні параметри, що описують механічні властивості стільникових полікарбонатних листів, якими є ефективна жорсткість і критичне переміщення країв стільникових полікарбонатних листів у замках віконного профілю. Представлено результати визначення сил тертя країв стільникових полікарбонатних листів у замках віконного профілю у вигляді залежності сили витягування від товщини стільникового полікарбонатного листа.

П'ятий розділ присвячено застосуванню запропонованого математичного апарату для опису деформування стільникових полікарбонатних листів у замках

віконного профілю під впливом вибуху, під час з'ясування математичної залежності між проектними розмірами прорізів секцій легкоскидних конструкцій, які забезпечують їх надійне спрацьовування. На підставі отриманих залежності та співвідношення побудовано номограми й довідникові таблиці, що дають змогу проводити ефективний інженерний розрахунок проектних даних секцій легкоскидних конструкцій із гнучким прозорим огородженням на основі стільникових полікарбонатних листів. Отримані результати перевірені за допомогою порівняння з результатами математичного моделювання, із використанням методу кінцевих елементів. Доведено достатню адекватність результатів, що отримані за розробленою методикою. Ефективність розробленої методики проілюстрована під час її застосування на конкретному прикладі.

Ключові слова: легкоскидні конструкції, гнучке прозоре огородження, стільникові полікарбонатні листи, теорія пластин та оболонок, метод кінцевих елементів, інженерний розрахунковий метод.

Список публікацій здобувача

1. Pozdieiev S., Pidhoretskiy Yu., Nekora O., Sidnei S., Tyshchenko O. Research of Explode Exposure at the Relief Vent System Structures with Soft Transparent Material. *International Journal of Engineering & Technology*. 2018. 7 (4.3). P. 298–302 URL: www.sciencepubco.com/index.php/IJET.

2. Ніжник В., Добряк Д., Підгорецький Ю. Дослідження розкриття прорізів легкоскидних конструкцій зі стільникових полікарбонатних листів під дією вибуху. *Наукове видання. Надзвичайні ситуації: попередження та ліквідація: зб. наук. праць*. Черкаси: ЧПБ ім. Героїв Чорнобиля НУЦЗ України, 2020. Т. 4. № 1. С. 55–61.

3. Підгорецький Ю. Ю. Дослідження надійності спрацьовування легкоскидних конструкцій із стільниковими полікарбонатними листами методом кінцевих елементів. *Міжвідомчий збірник наукових праць. Геотехнічна механіка*. Дніпро, 2020. Вип. 152. С. 107–115.

4. Pozdieiev S., Nizhnyk V., Pidhoretskiy Yu. Research of Disclosure of Relief Venting Structures with Polycarbonate Fencing in Conditions of Explosion. *IOP Conf. Series: Materials Science and Engineering*. 2021. 1021. 012025. URL: <https://iopscience.iop.org/issue/1757-899X/1021/1>.

5. Pidhoretskiy Yu. Research of the Actuation Reliability of Blast Relieve Systems with Honeycomb Polycarbonate Sheets. *The Scientific Heritage*. Hungary, Budapesht, 2020. Vol. 1. № 57. P. 45–50.

Особистий внесок здобувача в працях, опублікованих у співавторстві

[1] – аналіз наукових робіт, присвячених формулюванню основних положень та створенню розрахункових схем математичної моделі, виведенню формули щодо опису критичного переміщення країв стільникових полікарбонатних листів у замках віконного профілю;

[2] – дослідження отриманих математичних моделей із побудовою номограм і таблиць щодо проектних розмірів секцій легкоскидних конструкцій зі стільниковими полікарбонатними листами;

[4] – розроблення номограм та таблиць щодо проектних розмірів секцій легкоскидних конструкцій зі стільниковими полікарбонатними листами.

Апробація матеріалів дисертації

1. Поздєєв С. В., Підгорецький Ю. Ю., Некора О. В. Дослідження поведінки легкоскидних конструкцій на основі гнучких прозорих матеріалів в умовах вибуху. *V Міжнародна науково-технічна конференція «Технології та інфраструктура транспорту»*: тези доповідей (Харків, 14 – 16 травня 2018 р.). Харків: УкрДУЗТ, 2018. С. 267.

2. Поздєєв С. В., Ніжник В. В., Підгорецький Ю. Ю., Швиденко А. В. Чисельне дослідження несучої здатності дерев'яного перекриття в умовах пожежі. *Міжнародна науково-технічна конференція «Енергоефективність на транспорті»*: тези доповідей (Харків, 18–20 листопада 2020 р.). Харків: УкрДУЗТ, 2020. С. 103.

3. Підгорецький Ю. Ю. Проблематика нормативно-правового регулювання розрахунку проектних параметрів легкоскридних конструкцій в Україні. *Теорія і практика гасіння пожеж та ліквідації надзвичайних ситуацій: матеріали XI Міжнародної науково-практичної конференції*. Черкаси: ЧПБ ім. Героїв Чорнобиля НУЦЗ України, 2020. С. 196.

Особистий внесок у працях, опублікованих зі співавторами

[1] – аналіз наукових робіт із формулювання основних положень та створення розрахункових схем математичної моделі, виведення формули щодо опису критичного переміщення країв стільникових полікарбонатних листів у замках віконного профілю;

[2] – дослідження отриманих математичних моделей із побудовою номограм і таблиць щодо проектних розмірів секцій легкоскридних конструкцій зі стільниковими полікарбонатними листами.

SUMMARY

Pidhoretskyi Y. Y. Calculation method of predicting the behavior of flexible transparent elements of relief venting constructions in condition of explosion. – Qualifying scientific work on the rights of the manuscript.

Thesis for obtaining PhD degree in specialty 261 «Fire safety». – Cherkasy Institute of Fire Safety named after the Chernobyl Heroes of National University of Civil Protection of Ukraine (NUTSZU), Cherkasy, 2021.

Relevance. The industrial basis of Ukraine includes a large number of enterprises with increased danger of explosion and fire hazard that require the use of special engineering measures to protect people and property from dangerous factors of explosion. One of the most effective engineering solutions is the installation of venting constructions that allow to quickly reducing the excess explosion pressure to safe indicators.

Besides the task of determining, the required area of the venting constructions, there should be the task of their improvement by using the flexible fencing components based on polymeric materials that allow their multiply use in contrast to the glass

fencing. The use of venting constructions with such a design is limited because of the lack of scientifically grounded calculation methods for their design.

Therefore, identifying the patterns of dependence of the parameters of operation of relief venting constructions with flexible fencing components from their design parameters is an acute task, and the results of its solving could become a basis for creating engineering methods for designing relief venting constructions with flexible elements.

The idea of the work is to provide adequate protection against explosion with the help of relief venting constructions with flexible elements by developing a calculation method for their designing.

The object of the research – the processes of deformation of flexible fencing elements of relief venting constructions and the conditions for their performance in the condition of excess of explosion pressure.

The subject of the research the patterns of the processes of deformation of the flexible fencing elements of relief venting constructions and the conditions of their performance depending on their design parameters: thickness, aperture sizes, physical and mechanical properties of the materials and standardized parameters of the probable explosion.

The research aim is to reveal the patterns of behavior of flexible fencing elements of relief venting constructions and the conditions of their performance under the influence of dynamic loads under the conditions of the explosion depending on their design parameters as the basis for developing appropriate calculation methodology for designing.

The main tasks of the research.

1. To analyze the current state of norms and designing the venting constructions with flexible elements.
2. To develop a technique and to conduct mathematical modeling of the behavior of relief venting constructions with flexible fencing elements under the influence of dynamic loads in explosion conditions.

3. To develop a technique and to conduct experimental studies of the behavior of relief venting constructions with flexible fencing elements under the influence of dynamic loads in explosion conditions.

4. To develop a technique and to determine the effective characteristics of deformation of cellular polycarbonate sheets of flexible elements and the conditions of their release from the locks of the standardized profile of venting constructions that are arranged on their basis.

5. Considering the revealed effective characteristics of deformation of cellular polycarbonate sheets of flexible elements and conditions of their release from the locks of the standard produced profile to reveal regularities of dependences of the parameters of performance of the corresponding venting constructions depending on the parameters of the construction.

6. To develop a calculation method for design of the relief venting constructions with flexible fencing elements under the influence of dynamic loads under explosion conditions by constructing appropriate nomograms and tables.

The scientific novelty of the thesis is to reveal the regularities of the dependences of the parameters of deformation of the relief venting constructions with flexible fencing elements under the influence of dynamic loads and in the conditions of explosion from their design parameters. For the first time:

- the revealed regularities of dependences of effective stiffness and critical movement of edges of cellular polycarbonate sheets in the locks of a standardized window profile from the explosion pressure;

- developed the mathematical apparatus of deformation of cellular polycarbonate sheets in a standardized window profile under the influence of the explosion pressure, based on the theory of stress-strain state of elastic plates and shells;

- developed the mathematical apparatus for determining the width and height of sections of venting constructions with cellular polycarbonate sheets on the basis of which the nomograms and the reference table for determining the design dimensions of sections of venting constructions are made.

The application of the calculation engineering methods for the design of relief venting constructions with flexible elements to determine the appropriate initial data for the design of the buildings and the structures with their usage *has been further developed.*

The theoretical and experimental base for ensuring explosion and fire safety in the premises of the industrial buildings by installing of the relief venting constructions with flexible transparent elements *has been improved.*

The practical significance of the acquired results. The practical value of the thesis research is to develop an engineering calculation method for the design of the relief venting constructions with flexible fencing elements under the conditions of the influence of the excess explosion pressure that allows to set the minimum design dimensions to ensure their reliable operation. It allows to avoid material and labor costs when installing the relief venting constructions with flexible fencing elements using the developed method as an alternative to the non- inertial venting constructions with fencing glazing, because under the conditions of using the first type of the venting constructions it is allowed to reuse the fencing elements, as well as their choice according to the existing system of the transparent fencing of the building. The acquired nomograms and tables of the minimum sizes of apertures for various design parameters of polycarbonate sheets that guarantee their reliable operation under the conditions of critical values of the excess pressure of explosion.

The developed methods have been introduced into the technological process of tests at the test site of the Institute of Public Administration and Scientific Researches of Civil Defense, into the practice of "Fire-technical audit center" LLC, as well as into the educational process of the Cherkasy Institute of Fire Safety named after the Chernobyl Heroes of the National University of Civil Defense of Ukraine into the subject "Safety of potentially dangerous technologies and industries." The results of the thesis were used in the development of the draft for the state standard of Ukraine DSTU X X XX: 20XX Fire safety. Method of determining the parameters of the venting constructions for the explosion-hazardous premises and buildings.

Research methods. The research of the processes of deformation of flexible fencing elements of the relief venting constructions and the conditions of their operation were carried out by calculation and experimental method with the use of the research facilities. The method of the mathematical modelling, that is based on Timoshenko Theory of Plates and Shells, was used to define the basic regularities of the dependences of the parameters of deformation and operation of the relief venting constructions with flexible fencing elements from their design parameters under the influence of dynamic loads under the explosion condition. The study of the credibility and adequacy of the results of the experiments and modeling the behavior of the relief venting constructions with the flexible fencing elements the methods of the mathematical modeling based on the application of the finite element method in the implementation of the explicit method has been used.

The first chapter carries the analysis of the statistics of the fires and cases when they are accompanied by an explosion. It is shown that providing appropriate explosion protection with the help of the venting constructions with the transparent flexible fencing elements is an effective method. The modern normative provision, which is valid in Ukraine and abroad, has been analyzed, and as a result it was shown that the necessity for its improvement given the perspective of application of the venting constructions with the transparent flexible fencing elements. The first chapter also analyzed the methods of theoretical and experimental research of elements of the venting constructions in the conditions of explosion. Considering the results of the analysis, the purpose and the main aims of the research have been formulated.

The second chapter analyzed the approaches of the mathematical description of deformation of cellular polycarbonate sheets as flexible transparent fencing elements of the venting constructions. As a result of the analysis it is shown that the most effective method for such a description is the application of Timoshenko Theory of Plates and Shells. A mathematical model of deformation of cellular polycarbonate sheets based on the equation of static equilibrium was proposed using the given theory. It was also shown that the proposed mathematical model allows to perform design calculations of the given venting constructions provided the addition of the necessary effective

mechanical characteristics of cellular polycarbonate sheets which must be determined experimentally. In addition, for conducting the specified calculations it has been proposed to use differential equations that are based on the laws of saving and stress-strain state in numerical approximation using the finite element method and the explicit method of integration to solve them.

The third chapter is dedicated to the description of the experimental equipment, specimens for the tests and methods of experimental study of elastic characteristics of cellular polycarbonate sheets and friction forces that occur when extension cellular polycarbonate sheets from the locks of standardized window profile. The main experimental equipment is the facility for studying the maximum deflection of cellular polycarbonate sheets under the influence of the mechanical load that simulates the effect of an explosion, as well as the facility measuring the pulling force of cellular polycarbonate sheets from locks of standardized window profile. The experiment was a step by step application of the distributed load to the cellular polycarbonate sheets to measure the maximum deflection at every step close to the edges of the cellular polycarbonate sheets from the locks of the window profile. While studying the friction force we were measuring the maximum force when the release of the edges of the cellular polycarbonate sheets from the locks of the window profile was noticed.

The fourth chapter presents the results of the experimental studies as the curves that describe the dependence of the maximum deflection of the cellular polycarbonate sheets on the value of the applied pressure. Based on the obtained curves, the main effective parameters were determined that are describing the mechanical properties of cellular polycarbonate sheets, which are the effective stiffness and critical movement of the edges of the cellular polycarbonate sheets in the locks of the window profile. There were also presented the results of determining the friction forces of the edges of the cellular polycarbonate sheets in the locks of the window profile in the form of the dependence of the pulling force on the thickness of the cellular polycarbonate panel.

The fifth chapter is dedicated to the application of the proposed mathematical apparatus to describe the deformation of the cellular polycarbonate sheets in the locks of the window profile under the influence of explosion when establishing mathematical

relationships between the design dimensions of the apertures of the sections of the venting constructions that ensure their reliable operation. The corresponding nomograms and reference tables were made using the obtained dependences and correlations that allow to carry out effective engineering calculation of the design data of sections of the venting constructions with flexible transparent fencing on the basis of cellular polycarbonate sheets. The obtained results were verified by comparing them with the results of a mathematical modeling using the finite element method. As a result, the adequacy of the results, obtained by the developed method, was shown. The effectiveness of the developed technique was illustrated by its application on the specific example.

Key words: venting constructions, flexible transparent fencing, cellular polycarbonate sheets, Theory of Plates and Shells, finite element method, engineering calculation method.

List of applicant`s publications

1. Pozdieiev S., Pidhoretskiy Y., Nekora O., Sidnei S., Tyshchenko O. Research of Explode Exposure at the Relief Vent System Structures with Soft Transparent Material. *International Journal of Engineering & Technology*. 2018. 7 (4.3). P. 298–302. URL: www.sciencepubco.com/index.php/IJET.

2. Nizhnyk V., Dobriak D., Pidhoretskyi Y. Research of the opening of slots of the relief venting constructions made of cellular polycarbonate sheets under the explosion. *Scientific publication. Emergency situations: prevention and liquidation: the collection of scientific papers*. Cherkasy: ChIPB named after Chernobyl Heroes NUCP Ukraine, 2020. Book 4. № 1. P. 55–61.

3. Pidhoretskyi Y. Y. Research of the reliability of operation of the relief venting constructions of cellular polycarbonate panels by the finite element method. *Interdepartment collection of scientific works. Geotechnical Mechanics*. Dnipro, 2020. Issue 152. P. 107–115.

4. Pozdieiev S., Nizhnyk V., Pidhoretskiy Yu. Research of Disclosure of Relief Venting Structures with Polycarbonate Fencing in Conditions of Explosion. *IOP Conf*.

Series: Materials Science and Engineering. 2021. 1021. 012025. URL: <https://iopscience.iop.org/issue/1757-899X/1021/1>.

5. Pidhoretskyi Y. Research of the Actuation Reliability of Blast Relieve Systems with Honeycomb Polycarbonate Sheets. *The Scientific Heritage*. Hungary, Budapest, 2020. Vol. 1. № 57. P. 45–50.

Applicant's personal contribution to the works published in co-authorship

[1] – analysis of the scientific works of the given field of formulation of the main provisions and creation of calculation schemes of the mathematical model, derivation of a formula to describe the critical movement of the edges of the cellular polycarbonate sheets in the locks of the window profile;

[2] – analysis of the obtained mathematical models with the creation of the appropriate nomograms and tables on the design dimensions of the sections of the relief venting constructions of cellular polycarbonate sheets;

[4] – development of the corresponding nomograms and tables on the design dimensions of the sections of the relief venting constructions of cellular polycarbonate sheets.

The approbation of the materials of the thesis

1. Pozdeev S. V., Pidhoretskyi Y. Y., Nekora O. V. Research of the behavior of the relief venting structures based on the flexible transparent materials in conditions of explosion. *V International Scientific and Technical Conference «Transport Technologies and Infrastructure»*: abstracts (Kharkiv, 14–16 May 2018 y.). Kharkiv: UkrDUZT, 2018. P. 267.

2. Pozdeev S. V., Nizhnyk V. V., Pidhoretskyi Y. Y., Shvydenko A.V. Numerical study of the load-bearing capacity of wooden floor joists in case of fire. *International Scientific and Technical Conference «Energy Efficiency in Transport»*: abstracts (Kharkiv, 18–20 November 2020 y.). Kharkiv: UkrDUZT, 2020. P. 103.

3. Pidhoretskyi Y. Y. Problems of normative legal regulation of calculation of the design parameters of relief venting structures in Ukraine. *Theory and practice of firefighting and emergency response: Materials of the XI International Scientific and Practical Conference-Cherkasy: CIFS named after Chornobyl Heroes NUCP Ukraine*, 2020. P. 196.

Personal contribution in the works published with co-authors

[1] – analysis of the scientific works of the given area of formulation of the main provisions and creation of calculation schemes of the mathematical model, derivation of a formula to describe the critical movement of the edges of the cellular polycarbonate sheets in the locks of the window profile;

[2] – analysis of the obtained mathematical models with the creation of the appropriate nomograms and tables on the design dimensions of the sections of the relief venting constructions of cellular polycarbonate sheets.