

Выводы и предложения.

1. Предложен метод автоматического расчета параметров оптимальной стратегии расхождения судов одновременными изменениями курса одного судна и скорости другого судна.

2. Для заданной опасной ситуации сближения судов приведен пример выбора оптимальной стратегии их расхождения изменением курса одного судна и снижением скорости активным торможением другого судна.

3. С помощью имитационного моделирования рассчитанного маневра расхождения подтверждена корректность предложенного метода.

Список литературы:

1. Пятаков Э.Н. Способ расхождения судна с двумя опасными целями последовательными уклонениями/Пятаков Э.Н., Пятаков В.Э., Петриченко О.А. // Austria - science, Issue: 16, 2018.- С. 44-49.

2. Statheros Thomas. Autonomous ship collision avoidance navigation concepts, technologies and techniques / Statheros Thomas, Howells Gareth, McDonald-Maier Klaus. // J. Navig. 2008. 61, № 1, p. 129-142.

3. Lisowski J. Game and computational intelligence decision making algorithms for avoiding collision at sea/ Lisowski J. // Proc. of the IEEE Int. Conf. on Technologies for Homeland Security and Safety. - 2005. – Gdańsk. – P. 71 - 78.

4. Вагущенко Л.Л. Расхождение с судами смещением на параллельную линию пути / Л.Л. Вагущенко. – Одесса: Фенікс, 2013. – 180 с.

5. Kao Sheng-Long. A fuzzy logic method for collision avoidance in vessel traffic service / Kao Sheng-Long, Lee Kuo-Tien, Chang Ki-Yin, Ko Min-Der// J. Navig. 2007. 60, № 1, p. 17-31.

6. Бурмака И.А. Управление судами в ситуации опасного сближения / И.А. Бурмака., Э.Н. Пятаков., А.Ю. Булгаков - LAP LAMBERT Academic Publishing, - Саарбрюккен (Германия), – 2016. - 585 с.

7. Пятаков Э.Н. Взаимодействие судов при расхождении для предупреждения столкновения / Пятаков Э.Н., Бужбецкий Р.Ю., Бурмака И.А., Булгаков А.Ю. – Херсон: Гринь Д.С., 2015. - 312 с.

8. Цымбал Н.Н. Гибкие стратегии расхождения судов / Н.Н. Цымбал, И.А. Бурмака, Е.Е. Тюпиков. - Одесса: КП ОГТ, 2007. – 424 с.

9. Бурмака И.А. Экстренная стратегия расхождения при чрезмерном сближении судов / Бурмака И.А., Бурмака А. И., Бужбецкий Р.Ю. – LAP LAMBERT Academic Publishing, 2014. – 202 с.

10. Пасечнюк С.С. Учет инерционных характеристик судов при формировании области недопустимых значений параметров их движения / Пасечнюк С.С. // Austria - science, Issue: 16, 2018.- С. 38 - 44.

Біляєв Микола Миколайович

доктор технічних наук, професор,

завідувач кафедри «Гідравліка та водопостачання»,

Дніпровський національний університет залізничного транспорту

імені академіка В. Лазаряна

Біляєва Вікторія Віталіївна

кандидат технічних наук, доцент

доцент кафедри «Аерогідромеханіка та енергомасоперенос»,

Дніпровський національний університет імені Олеся Гончара

Берлов Олександр Вікторович

кандидат технічних наук, доцент,

доцент кафедри «Безпека життєдіяльності»,

Придніпровська державна академія будівництва та архітектури

Козачина Віталій Анатолійович

кандидат технічних наук,

старший викладач кафедри «Гідравліка та водопостачання»,

Дніпровський національний університет залізничного транспорту

імені академіка В. Лазаряна

ОЦІНЮВАННЯ РИЗИКУ ТЕРМІЧНОГО УРАЖЕННЯ ПРАЦІВНИКІВ ПРИ ПОЖЕЖІ НА АЗС

Biliaiev M.M.

Doctor of Technical Sciences, Professor

Head of The Department «Hydraulics and Water Supply»,

Dnipro National University of Railway Transport

named after academician V. Lazaryan

Biliaieva V.V.

PhD, Associate Professor of The Department «Aerohydropneumatics,

Energy and Mass Transfer »,

Oles Honchar Dnipro National University

Berlov O.V.

ASSESSMENT OF THE RISK OF EMPLOYEES THERMAL HITTING DURING BURNING AT THE GAS STATION

Summary. The problem of assessing the risk of thermal hitting of employees in case of fire at the gas station is considered. The task is to develop a mathematical model that allows quickly determining the dynamics of temperature changes and, on this base, forecasting the risk of thermal injury to workers in work areas. The energy equation to calculate the dynamics of thermal air pollution during burning is used. An aerodynamic model of potential motion (Laplace equation for velocity potential) to calculate the airflow velocity field in building conditions is used.

Numerical integration of the equation for the velocity potential using the Richardson method and the conditional approximation method is carried out. Differential splitting schemes for numerical integration of the energy equation are used.

The computer program is developed on the basis of the constructed numerical model. The results of a computational experiment to determine the risk of thermal injury to workers in a fire at a gas station are presented.

Анотація. Розглядається задача оцінювання ризику термічного ураження працівників у випадку пожежі на АЗС. Ставиться задача розробки математичної моделі, що дозволяє швидко визначати динаміку зміни поля температури та прогнозування, на базі цієї інформації ризику термічного ураження працівників в робочих зонах. Для розрахунку динаміки теплового забруднення повітря при пожежі використовується рівняння енергії. Для розрахунку поля швидкості повітряного потоку в умовах забудови використовується аеродинамічна модель потенціального руху (рівняння Лапласа для потенціалу швидкості).

Чисельне інтегрування рівняння для потенціалу швидкості здійснюється за допомогою методу Річардсона та методу умовної апроксимації. Для чисельного інтегрування рівняння енергії використовуються різницеві схеми розщеплення.

Розроблена комп'ютерна програма на базі побудованої чисельної моделі. Представлені результати обчислювального експерименту по визначенню ризику термічного ураження працівників при пожежі на АЗС.

Key words: numerical simulation; risk of thermal hitting; emergency burning; thermal air pollution.

Ключові слова: чисельне моделювання; ризик термічного ураження; аварійне горіння; теплове забруднення повітря

Постановка проблеми. Аварійні ситуації мають місце на різних промислових об'єктах та приводять до появи вражаючих факторів: концентрації небезпечних речовин, підвищення тиску при появі ударної хвилі тощо [1, 2, 5–9]. Прогнозування ризику ураження людей при аварійних ситуаціях відноситься до класу дуже

складних задач, тому що величина цього ризику залежить від багатьох факторів та різних сценаріїв аварій [1, 6, 10, 11]. Серед задач даного класу необхідно виділити окремо таку задачу, як термічне ураження людей на промислових майданчиках.



Рис. 1. Пожежа на АЗС

(<https://ukranews.com/ua/news/632576-na-zapravtsi-v-zhytomyri-spalahnula-serjozna-pozhezha-postrazhdaly-lyudy-i-zgorily-mashyny>)

Небезпека термічного ураження людей виникає при різних аварійних ситуаціях: пожежі на АЗС (рис. 1) при транспортуванні нафтопродуктів тощо. Це створює проблему адекватного визначення ризику такого ураження під впливом різних фізичних факторів, що оказують суттєвий вплив на формування полів температури, а саме: швидкість повітря, місце возгорання тощо. Температура повітря біля місця горіння може бути дуже високою. Рух повітряних мас приводить до формування зон термічного ураження на певній довжині від місця горіння. В цій зоні небезпеки можуть бути різні об'єкти, що мають соціальне значення.

Для оцінки ризику можливого термічного ураження людей потрібно розробляти спеціалізовані математичні моделі. Для практики дуже важливо мати математичні моделі, що дозволяють швидко розраховувати ризик термічного ураження працівників на комп'ютерах малої та середньої потужності.

Як відомо, для оцінки ризиків ураження працівників при надзвичайних ситуаціях, широко використовуються три класи моделей: емпіричні моделі, аналітичні моделі, чисельні моделі [1, 2, 8, 9]. Моделі кожного класу мають свої переваги та недоліки. Але, слід відзначити, що в наступний час існує дефіцит моделей, що дозволяють визначити техногенний ризик з урахуванням комплексу важливих фізичних факторів, що впливають на величину ризику (наприклад, врахування будівель та таке інше). Тому, створення таких спеціалізованих математичних моделей є важливою науковою задачею.

Мета. Побудова чисельної моделі для експрес оцінки ризику термічного ураження працівників при пожежі на АЗС.

Математична модель. Ризик термічного ураження виникає при аварійному горінні, наприклад, нафтопродуктів. Вірогідність такої надзвичайної ситуації дуже велика на АЗС. В цьому випадку виникає важлива задача по оцінюванні ризику термічного ураження працівників з метою визначення небезпечних зон біля АЗС. Будемо враховувати, що якщо температура повітря в робочій зоні складає більш ніж 100°C, при якій має місце повна денатурація білка, то в цій точці робочої зони приймається, що ризик ураження дорівнює 100 %.

Для визначення динаміки формування полів температури в області інтересу будемо використовувати рівняння енергії [2,5,7]:

$$\frac{\partial T}{\partial t} + \frac{\partial uT}{\partial x} + \frac{\partial vT}{\partial y} = \text{div}(a \cdot \text{grad}T), \quad (1)$$

де T – температура повітря; u, v – складові вектора руху повітряного потоку; $a = (a_x, a_y)$ – коефіцієнти температуропровідності; x_i, y_i – декартові координати; t – час.

Для моделюючого рівняння (1) використовуються такі граничні умови [7]:

1. На межі, де повітряний потік втікає: $T = T_{in}$,

де T_{in} – фонові температура.

2. На межі, де повітряний потік витікає: $T_{i+1,j} = T_{i,j}$,

де $T_{i+1,j}$ – температура в останній різницевій комірі; $T_{i,j}$ – температура в попередній комірі.

3. На поверхні об'єктів $\frac{\partial T}{\partial n} = 0$.

Для рівняння (1) використовується така початкова умова ($t = 0$): $T = T_0$, де T_0 – температура повітря, там де має місце пожежа, в іншій частині розрахункової області температура дорівнює фоновій температурі.

Для врахування впливу різного роду перешкод (наприклад, будівлі) на формування поля швидкості повітряного потоку, а значить – поля температури будемо використовувати аеродинамічну модель потенціального руху. В цьому випадку, моделююче рівняння має вигляд:

$$\frac{\partial^2 P}{\partial x^2} + \frac{\partial^2 P}{\partial y^2} = 0, \quad (2)$$

$$u = \frac{\partial P}{\partial x}, v = \frac{\partial P}{\partial y}, \quad (3)$$

де P – потенціал швидкості.

Граничні умови для рівняння (2) такі [2, 5]:

1. $\frac{\partial P}{\partial n} = 0$ – на твердих границях;

2. $\frac{\partial P}{\partial n} = V_n$ – на межі входу потоку, V_n – відома швидкість повітря;

3. $P = \text{const}$ – на границі «виходу» потоку.

На базі рівняння (2) та залежностей (3) визначається поле швидкості повітряного потоку при наявності будівель та таке інше.

Чисельні моделі. Для чисельного рішення рівнянь (1), (2) використовуються кінцево-різницеві методи інтегрування. Чисельне інтегрування здійснюється на прямокутній різницевій сітці. На цій сітці, температура повітря, потенціал швидкості повітряного потоку розраховується в центрах різницевих комірок. Компоненти вектора швидкості визначаються на сторонах різницевих комірок.

Для чисельного інтегрування (2) здійснимо його перутворення так

$$\frac{\partial P}{\partial t} = \frac{\partial^2 P}{\partial x^2} + \frac{\partial^2 P}{\partial y^2}. \quad (4)$$

де t – фіктивний час.

Для чисельного інтегрування рівняння (2) використовуємо метод Річардсона. Розрахункова залежність в такому випадку має вигляд [3]

$$P_{i,j}^{n+1} = P_{i,j}^n + \Delta t \frac{P_{i+1,j}^n - 2P_{i,j}^n + P_{i-1,j}^n}{\Delta x^2} + \Delta t \frac{P_{i,j+1}^n - 2P_{i,j}^n + P_{i,j-1}^n}{\Delta y^2}. \quad (5)$$

Процедура визначення потенціалу швидкості закінчується коли

$$|P_{i,j}^{n+1} - P_{i,j}^n| \leq \varepsilon,$$

де ε – мале число. Для початку розрахунку приймаємо $t = 0$; $P=0$.

Далі здійснюється розрахунок швидкості повітряного потоку

$$u_{ij} = \frac{P_{ij}-P_{i-1,j}}{\Delta x}, v_{ij} = \frac{P_{ij}-P_{i,j-1}}{\Delta y} \quad (6).$$

Для контролю розрахунку поля швидкості повітряного потоку, також паралельно проводилося чисельно інтегрування рівняння (4) за методом умовної апроксимації. В цьому випадку чисельне інтегрування здійснювалося в два етапи. Різницеви залежності на кожному етапі мають вигляд [4]

– на першому етапі:

$$\frac{P_{i,j}^{n+\frac{1}{2}}-P_{i,j}^n}{\Delta t} = \left[\frac{-P_{i,j}^{n+\frac{1}{2}}+P_{i-1,j}^{n+\frac{1}{2}}}{\Delta x^2} \right] + \left[\frac{-P_{i,j}^{n+\frac{1}{2}}+P_{i,j-1}^{n+\frac{1}{2}}}{\Delta y^2} \right].$$

- на другому етапі:

$$\frac{P_{i,j}^{n+1}-P_{i,j}^{n+\frac{1}{2}}}{\Delta t} = \left[\frac{P_{i+1,j}^{n+\frac{1}{2}}-P_{i,j}^{n+\frac{1}{2}}}{\Delta x^2} \right] + \left[\frac{P_{i,j+1}^{n+\frac{1}{2}}-P_{i,j}^{n+\frac{1}{2}}}{\Delta y^2} \right].$$

Далі, визначались значення компонент швидкості повітряного потоку на базі залежностей (6).

Для рішення рівняння (1) здійснимо його розщеплення так:

$$\frac{\partial T}{\partial t} + \frac{\partial uT}{\partial x} + \frac{\partial vT}{\partial y} = 0. \quad (7)$$

$$\frac{\partial T}{\partial t} = \frac{\partial}{\partial x} \left(a_x \frac{\partial T}{\partial x} \right) + \frac{\partial}{\partial y} \left(a_y \frac{\partial T}{\partial y} \right). \quad (8)$$

Для інтегрування рівняння (7) ми використовуємо такі залежності [2, 5, 7]

$$\frac{\partial uT}{\partial x} = \frac{\partial u^+T}{\partial x} + \frac{\partial u^-T}{\partial x},$$

$$\frac{\partial vT}{\partial y} = \frac{\partial v^+T}{\partial y} + \frac{\partial v^-T}{\partial y},$$

$$u^+ = \frac{u + |u|}{2}, u^- = \frac{u - |u|}{2},$$

$$v^+ = \frac{v + |v|}{2}, v^- = \frac{v - |v|}{2},$$

$$\frac{\partial u^+T}{\partial x} \approx \frac{u_{i+1,j}^+T_{i,j}^{n+1} - u_{i,j}^+T_{i-1,j}^{n+1}}{\Delta x} = L_x^+T^{n+1},$$

$$\frac{\partial u^-T}{\partial x} \approx \frac{u_{i+1,j}^-T_{i+1,j}^{n+1} - u_{i,j}^-T_{i,j}^{n+1}}{\Delta x} = L_x^-T^{n+1},$$

$$\frac{\partial v^+T}{\partial y} \approx \frac{v_{i,j+1}^+T_{i,j} - v_{i,j}^+T_{i,j-1}}{\Delta y} = L_y^+T^{n+1},$$

$$\frac{\partial v^-T}{\partial y} \approx \frac{v_{i,j+1}^-T_{i,j+1} - v_{i,j}^-T_{i,j}}{\Delta y} = L_y^-T^{n+1}.$$

Схема розщеплення для рівняння (7) має вигляд [2, 5, 7]:

– на першому кроці

$$\frac{T_{i,j}^k - T_{i,j}^n}{\Delta t} + L_x^+T^k + L_y^+T^k = 0; \quad (9)$$

– на другому кроці :

$$\frac{T_{i,j}^{n+1} - T_{i,j}^k}{\Delta t} + L_x^-T^{n+1} + L_y^-T^{n+1} = 0, \quad (10)$$

Для чисельного інтегрування рівняння (8) використовується метод Річардсона. Розрахункова залежність має вигляд:

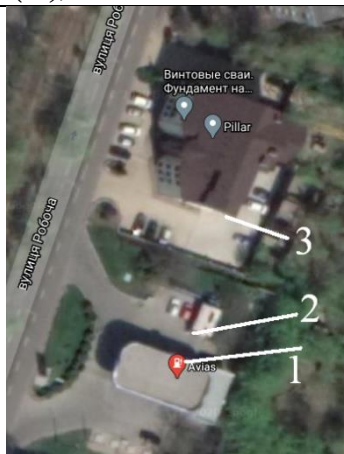
$$T_{i,j}^{n+1} = T_{i,j}^n + \Delta t \frac{T_{i+1,j}^n - 2T_{i,j}^n + T_{i-1,j}^n}{\Delta x^2} a_x + \Delta t \frac{T_{i,j+1}^n - 2T_{i,j}^n + T_{i,j-1}^n}{\Delta y^2} a_y. \quad (11)$$

Невідоме значення температури T в кожному рівнянні визначається за явною формулою.

На базі побудованої чисельної моделі створена комп'ютерна програма «ТЕПЛО-2А». Для програмування використаний FORTRAN.

Результати. Нижче розглядається використання побудованої чисельної моделі для оцінювання ризику термічного ураження працівників при пожежі на АЗС. Розглядається імовірна пожежа на АЗС фірми «АВІАС», що розташована на вул. Робоча (м. Дніпро) (рис.2). На рис. 2 показано місце імовірного загорання палива. На цьому рисунку також показано дві робочі зони біля АЗС. Розміри розрахункової області 90м*40м, швидкість вітру 8м/с; температура полум'я 1100⁰С. Полум'я на місці пожежі задається за допомогою маркерів. Ставиться задача визначення динаміки формування поля температур в області інтересу та оцінювання ризику термічного ураження працівників в робочих зонах, що розташовані біля місця пожежі.

На рис.3 – 4 показано зону термічного забруднення (ізотерми) для різних моментів часу після виникнення пожежі на АЗС.



1- місце пожежі; 2 – робоча зона №1; 3 – робоча зона №2
Рис. 2 Схема розрахункової області (Google image, 2020)

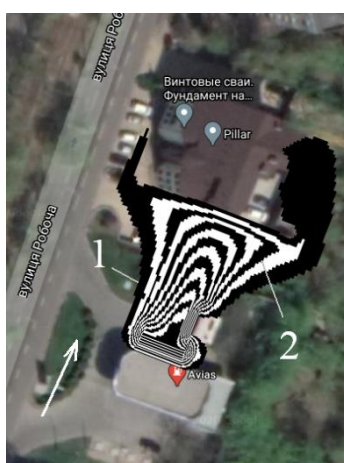


Рис. 3 Зона теплового забруднення, $t=6c$:
1 – $T=1100C$, 2 – $T=2500C$



Рисунок 4 Зона теплового забруднення, $t=10c$:
1 – $T=6970C$, 2 – $T=4030C$

Як ми бачимо з наведених рисунків, при виникненні пожежі на АЗС, зона термічного забруднення дуже швидко поширюється, та на промислових майданчиках, що розташовані біля місця пожежі, виникають області з дуже високою температурою, тобто ризик термічного ураження є вкрай високим. Слід звернути увагу на те, що на

формування зони теплового забруднення впливають об'єкти, що розташовані біля АЗС. Це проявляється в деформації поля ізотерм в розрахунковій області.

На рис. 5 та 6 показано, як швидко змінюється значення температури повітря на промислових майданчиках в двох робочих зонах.

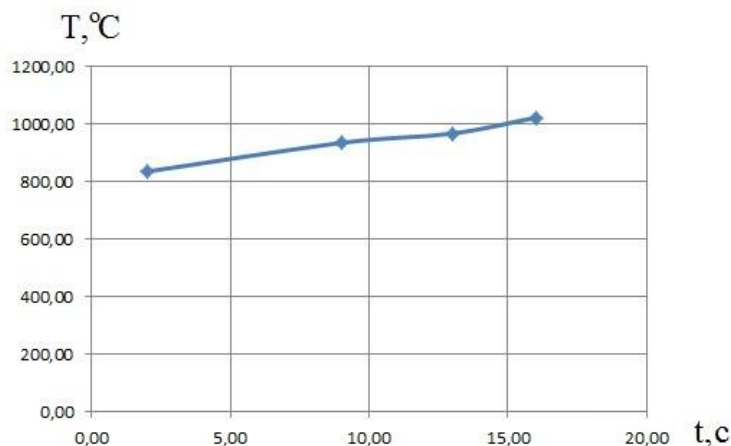


Рисунок 5 Зміна температури в робочій зоні №1

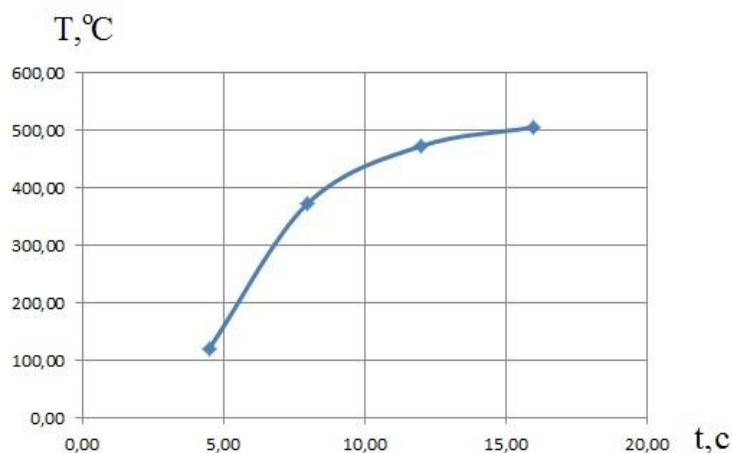


Рисунок 6 Зміна температури в робочій зоні №2

Якщо прийняти, що ризик термічного ураження виникає, коли температура перевищує повітря біля $T = 100^{\circ}\text{C}$, то, як ми бачимо з рис. 5, 6, термічне ураження працівників в робочій зоні №1 буде через 2с, а в робочій зоні №2 – через 5с.

Відзначимо, що розрахунок на ПК триває 5с.

В подальшому, планується розробка тривимірної моделі оцінки ризику термічного ураження працівників.

Список використаних джерел

1. Алымов В. Т. Техногенный риск: Анализ и оценка: Учебное пособие для вузов / В. Т. Алымов, Н. П. Тарасова. – М. : ИКЦ «Академкнига», 2004. – 118 с.
2. Беляев Н. Н. Защита зданий от проникновения в них опасных веществ: Монография / Н. Н. Беляев, Е. Ю. Гунько, Н. В. Росточило. – Д. : «Акцент ПП», 2014. – 136 с.
3. Роуч П. Вычислительная гидродинамика / П. Роуч. – М.: Мир, 1980. – 618 с.
4. Самарский А.А. Теория разностных схем / А.А. Самарский. – М.: Наука, 1983. – 616 с.
5. Численное моделирование распространения загрязнения в окружающей среде [Текст] / М. З. Згуровский, В. В. Скопецкий, В. К. Хрущ, Н. Н. Беляев. – К. : Наук.думка, 1997. – 368 с.

6. Anthony Michael Barret. “Mathematical Modeling and Decision Analysis for Terrorism Defense: Assessing Chlorine Truck Attack Consequence and Countermeasure Cost Effectiveness. Dissertation”(Pittsburg, Pennsylvania, USA), 2009. – 123p.

7. Biliaiev M. “Numerical Simulation of Indoor Air Pollution and Atmosphere Pollution for Regions Having Complex Topography”, Air Pollution Modeling and its Application XXI (Springer).2012, – P. 87-91.

8. Chan W.R., Nazaroff W.W., Price P.N., Gadgil A.J. Effectiveness of Urban Shelter-in-Place. II: Residential Districts, 2008. 31 p. Available at: <http://www.osti.gov/scitech/servlets/purl/928232> (Accessed 29 March 2014). doi: 10.1016/j.atmosenv.2007.04.059.

9. Ilic P., Ilic S., Stojanovic Bjelic L. Hazard modelling of accidental release chlorine gas using modern tool – ALOHA Software, Quality of Life, 9, 2018. – pp. 38-45.

10. John S. Nasstrom, Gayle Sugiyama, Ronald L. Baskett, Shawn C. Larsen and Michael M. Bradley (2007), “The National Atmospheric Release Advisory Center (NARAC) Modeling and Decision Supports System for Radiological and NUCLEAR Emergency

Preparedness and Response” (Int. J. Emergency Management), no. 3, vol. 4, pp. 1-32.

11. Lacombe J.-M., Truchot D., Duplantier S., Application of an innovative risk dedicated procedure for both conventional and 3D atmospheric dispersion models evaluation, 18th International Conference on

Harmonisation within Atmospheric Dispersion Modelling for Regulatory Purposes, 2017. – pp. 1-5.

12. Multi-Objective Optimization Model of Emergency Organization Allocation for Sustainable Disaster Supply Chain / Cejun Cao and others. 2017. Vol. 9. – Iss.11. doi: 10.3390/su9112103

УДК 621.311.1

Borovyk Yuriy Mykhailovich
Engineer
Institute of Electrodynamics

TRANSMISSION LINES IN AN EMERGENCY CONDITION

Боровик Юрій Михайлович
інженер
Інститут електродинаміки

ЛІНІЇ ЕЛЕКТРОПЕРЕДАЧ В УМОВАХ НАДЗВИЧАЙНОЇ СИТУАЦІЇ

Abstract. The accident rate of overhead lines is most often characterized by a specific number of emergency shutdowns and damage. Damage is considered to be such emergency shutdowns that are not eliminated by automatic reclosing (APV) and are accompanied by emergency downtime. The article considers emergency shutdowns, damage, and factors that affect them.

Анотація. Аварійність повітряних ліній найчастіше характеризують питомим числом аварійних відключень і пошкоджень. При цьому пошкодженнями вважають такі аварійні відключення які не ліквідуються автоматичним повторним включенням (АПВ) і супроводжуються аварійним простоем. В статті розглянуті аварійні відключення і пошкодження та фактори, що на них впливають.

Key words: power lines, APV, reliability of work, weather conditions

Ключевые слова: линии электропередачи, авв, надёжность работы, метеоуслови

Аварійність повітряних ліній найчастіше характеризують питомим числом аварійних відключень і пошкоджень. При цьому пошкодженнями вважають такі аварійні відключення які не ліквідуються автоматичним повторним включенням (АПВ) і супроводжуються аварійним простоем.

Оцінка надійності повітряної лінії електропередачі в основному режимі її роботи, нормальному експлуатаційному, полегшується якщо вважати що значна частина загального числа аварійних відключень і пошкоджень в цьому режимі провокують метеоумови. На метеоумови приходить 70% аварійних відключень ліній електропередач.

При експлуатації ліній на ізоляцію різних елементів впливає довготривала робоча напруга, а також короткострокові зовнішні і внутрішні перенапруги. Із зовнішніх перенапруг велике значення мають перенапруги при ударах лінійної блискавки, із внутрішніх перенапруг – резонансні перенапруги та комутаційні перенапруги. Внаслідок цих перенапруг ізоляція або пошкоджується зразу, або виходить з ладу раніше гарантованого терміну експлуатації.

Елементи ліній електропередач безупинно піддаються впливу випадкових факторів, які можна розділити на наступні дві групи:

- фактори, що приводять до аномальних ситуацій в енергосистемі.

- фактори, що не приводять до порушення нормального режиму роботи енергосистеми.

До першої групи відносяться:

- відмови устаткування;
- неправильна робота автоматики й релейного захисту;
- стихійні фактори (вітер, гроза, ожеледь);
- короткі замикання;
- помилки персоналу.
- випадковий характер зміни навантаження;
- метеорологічні фактори (температура, вологість, вітер);
- погрішності виміру вихідних даних;
- погрішності математичних моделей і помилки значень параметрів цих моделей;
- погрішності методів розрахунку (незавершеність ітераційних процесів і помилки округлення);
- помилки реалізації рішень при керуванні режимами.

Традиційні розрахунки режимних параметрів безструмової паузи ОАПВ не враховують випадкового характеру діючих факторів й використовують в якості вихідних даних одну з можливих реалізацій, що з інженерної точки зору видається найбільш правдоподібною. При цьому має місце проблема оцінки погрішності результатів розрахунків, та ефективності засобів для яких дані розрахунки проводяться. Необхідно робити певні допуски й резервувати керуючі впливи, величина яких, визначається тільки на основі досвіду та