

## АНОТАЦІЯ

*Станіславов В.* Кваліфікація надійності систем регулювання тиску парогенераторів енергоустановок в екстремальних умовах. – Кваліфікаційна наукова праця на правах рукопису.

Дисертація на здобуття наукового ступеня доктора філософії за спеціальністю 144 – Теплоенергетика. – Національний університет «Одеська політехніка» Міністерства освіти і науки України, Одеса, 2026.

У роботі проведено ризик-орієнтований аналіз впливу екстремальних умов експлуатації енергоустановок на надійність системи регулювання тиску в об'ємі парогенераторів (СРД ПГ). Наслідками відмови СРД ПГ в екстремальних умовах може бути аварійні ситуації з критичними пошкодженнями обладнання енергоустановок. На підставі ризик-орієнтованого аналізу встановлено:

- у разі постульованої відмови всіх систем зниження тиску у доквілля (БРУ-А) сумарна базова ймовірність відмови СРД ПГ зростає у 740 разів;

- найбільш значний вплив відмов БРУ-А на ймовірнісні показники надійності енергоустановок встановлені для груп аварій з міжконтурними течами у парогенераторах;

- в умовах аварій з міжконтурними течами у парогенераторах енергоустановок (ЕУ) може бути некваліфіковані експлуатаційними випробуваннями режими пароводяної/водяної течі у БРУ-А;

- недостатньо обґрунтовано враховується вплив на надійність енергоустановок екстремальних умов експлуатації з падінням великих/вибухонебезпечних об'єктів та сучасних результатів реального стану сейсмічної- та смерченебезпеки районів розташування ЕУ України.

Проведений порівняльний аналіз результатів проєктної та удосконаленої кваліфікації надійності БРУ-А серійного енергоблоку в екстремальних умовах експлуатації встановив:

– гранично допустимий сейсмічний вплив на БРУ-А рівня 7 балів за шкалою MSK;

– гранично допустимий динамічний вплив на БРУ-А внаслідок падіння великих/вибухонебезпечних об'єктів еквівалентне умовам землетрусу рівня 7 балів.

Розроблено метод адаптації результатів експериментальної кваліфікації надійності БРУ-А у режимах двофазного потоку на модельних установках до умов аварій з міжконтурними течами у парогенераторах ЕУ на основі ідентичності критеріїв термодинамічної подібності. На підставі встановлених критеріїв проведено аналіз результатів експериментальної кваліфікації надійності закриття клапанів БРУ-А у режимах двофазних потоків, отриманих у модельній установці FRAMATOM, та встановлено недостатню обґрунтованість цих результатів щодо практичного впровадження.

Розроблено детерміністичний метод розрахунково-експериментальної кваліфікації надійності закриття БРУ-А в режимах пароводяного/водяного потоку.

На підставі розробленого методу головні результати розрахунково-експлуатаційної кваліфікації надійності закриття 2-х модифікацій конструкцій БРУ-А ЕУ полягають у наступному:

– встановлені умови кваліфікації виконуються у всьому діапазоні пароутримань потоку на вході в проточну зону клапана та проміжного положення штока в процесі закриття клапана;

– встановленим умовам кваліфікації не відповідає режим однофазного потоку води на вході в проточну зону клапана з температурою менше 373 К.

Проведено консервативний аналіз надійності закриття клапанів БРУ-А в умовах максимальних гідродинамічних навантажень на шток однофазного водного потоку з температурою менше 373 К. В результаті проведеного аналізу встановлено достатню надійність закриття клапанів на всіх етапах руху штока – від моменту повного відкриття прохідного перерізу клапана до моменту закриття.

**У вступі** представлено обґрунтування вибору теми дослідження, висвітлено її актуальність та зв'язок з науковими програмами. На основі цього сформовано мету і завдання дослідження. Зазначено наукову новизну отриманих результатів та їх практичну цінність для енергетики.

**В першому розділі** виконаний аналіз досвіду експлуатації та перспектив розвитку теплоенергетичного обладнання, зокрема систем регулювання тиску парогенераторів. Результатом проведеного аналізу став вибір одного з пріоритетних напрямків підвищення ефективності систем теплоенергетики, а саме кваліфікація надійності систем регулювання в екстремальних умовах.

**У другому розділі** виконаний аналіз впливу надійності систем регулювання систем регулювання тиску в екстремальних аварійних ситуаціях та визначені ймовірнісні показники впливу надійності БРУ-А на енергоустановки з парогенераторами.

**В третьому розділі** виконано порівняльний аналіз результатів проєктної та удосконаленої кваліфікації надійності БРУ-А серійного енергоблоку в екстремальних умовах експлуатації – можливих аварій з міжконтурними течами у парогенераторах, сейсмічної- та смерченебезпеки районів розташування АЕС України.

**В четвертому розділі** представлено результати застосування методу адаптації результатів експериментальної кваліфікації надійності БРУ-А у режимах двофазного потоку на модельних установках до умов аварій з міжконтурними течами у парогенераторах АЕС.

**В п'ятому розділі** представлено результати аналізу та розроблений метод кваліфікації надійності БРУ-А при максимальних гідродинамічних навантаженнях у запроектованих та екстремальних аварійних умовах.

**Наукова новизна** отриманих результатів.

1. Вперше розроблено детерміністичні методи кваліфікації надійності БРУ-А в екстремальних умовах некваліфікованих режимах експериментальних випробувань.

2. Розроблено метод адаптації результатів експериментальної кваліфікації БРУ-А, отриманих на експериментальних установках/стендах, щодо некваліфікованих режимів екстремальних умов у ЕУ ПГ на підставі теорії подібності термодинамічних процесів.

3. Встановлено ймовірнісні оцінки впливу надійності БРУ-А/СРТ ПГ на безпечну експлуатацію ЕУ ПГ в екстремальних умовах критичного сейсмічного впливу.

**Практичне значення отриманих результатів** полягає у тому, що:

1. На основі отриманих у роботі результатів розроблено проекти галузевих технічних рішень кваліфікації надійності БРУ-А ЕУ ПГ в екстремальних аварійних умовах.

2. Розроблені методи можуть бути використані при проектуванні, експлуатації та продовженні експлуатації теплоенергетичного обладнання.

**Ключові слова:** електростанція, енергоустановки, кваліфікація обладнання, парогенератори, реактори, екстремальні умови експлуатації, системи регулювання тиску, показники, стійкість, термодинамічна нестійкість, метод, модернізація, характеристики, теплообмін, температура.

## СПИСОК ПУБЛІКАЦІЙ ЗДОБУВАЧА

*Наукові праці, в яких опубліковано основні наукові результати дисертації*

1. **Станіславов Володимир.** Системи регулювання тиску енергоустановок. Монографія. LAMBERT (Німеччина). Затверджено рішенням Вченої ради Національного університету «Одеська політехніка» (протокол №8 від 11.03.2026 р.) – 2026 р. – 69 с. – ISBN 978-620-8-45626-9.

2. **Станіславов Володимир.** Кваліфікація надійності системи регулювання тиску. Монографія. LAMBERT (Німеччина). Затверджено рішенням Вченої ради Національного університету «Одеська політехніка» (протокол №8 від 11.03.2026 р.) – 2026 р. – 72 с. – ISBN 978-613-9-77076-2.

3. **Станіславов Володимир.** Кваліфікація надійності систем регулювання тиску парогенераторів енергоустановок в екстремальних умовах// Монографія. LAMBERT (Німеччина). Затверджено рішенням Вченої ради Національного університету «Одеська політехніка». (протокол №№8 від 11.03.2026 р.) – 2026 р. – 144 с. – ISBN 978-620-6-71314-2.  
[https://www.morebooks.shop/shop-ui/shop/product/978-620-6-71314-2.](https://www.morebooks.shop/shop-ui/shop/product/978-620-6-71314-2)

4. А. Мазуренко, В. Кравченко Г. Лужанська, В. Шавров, **В. Станіславов.** Особливості організації течії примежового шару в міждисковому просторі турбін Tesla. *Праці Одеського політехнічного університету.* Вип. 1(67), 2023 стор. 49-54.  
[https://pratsi.op.edu.ua/index.php/pratsi/article/view/19.](https://pratsi.op.edu.ua/index.php/pratsi/article/view/19)  
DOI: [https://doi.org/10.15276/opu.1.67.2023.06.](https://doi.org/10.15276/opu.1.67.2023.06)

5. А. Mazurenko, А. Pustovit, Р. Shylov, D. Shylov, **V. Stanislavov.** Determination of the probability of failures in the operation of elements of urban heat supply systems in extreme operating conditions. *Proc. of Odessa Polytechnic University (Odes'kyi Politechnichnyi Universytet. Pratsi).* Issue 1(71), 2025, p. 98-103.  
[https://pratsi.op.edu.ua/index.php/pratsi/article/view/510.](https://pratsi.op.edu.ua/index.php/pratsi/article/view/510)  
DOI: [https://doi.org/10.15276/opu.1.71.2025.11.](https://doi.org/10.15276/opu.1.71.2025.11)

6. Мазуренко, А., Кандеєва, В., Чиченін, В., Пустовіт, А., **Станіславов, В.** (2025). Оцінка ризиків забезпечення надійного теплопостачання споживачів в умовах зовнішнього руйнування. *Refrigeration Engineering and Technology*, 61(3). DOI: <https://doi.org/10.15673/ret.v61i3.3274>.

7. Ж.Ф. Дорошенко, **В.Д. Станіславов**, Ю.К. Бессатьян, С.І Грищенко, А.Ю. Каверін. Застосування відновлювальних джерел енергії в торгівельно-розважальних центрах для потреб теплопостачання з урахуванням режимів експлуатації. *Холодильна техніка та технологія*, 61(4), 2025. <https://journals.ontu.edu.ua/index.php/reftech/article/view/3331>. DOI: <https://doi.org/10.15673/ret.v61i4.3331>.

*Наукові праці, які засвідчують апробацію матеріалів дисертації*

8. Лужанська Г.В., Сергеев І.В., Бессатьян Ю.К., Тарасюк О.С., **Станіславов В.Д.** Підвищення енергоефективності будівель. Proceedings of the XIV International Scientific and Practical Conference «Actual problems of personality psychology in the modern world» (April 09 – 12, 2024) Rome, Italy. International Science Group. 2024. Pp. 294-297. <https://isg-konf.com/actual-problems-of-personality-psychology-in-the-modern-world/>

9. Мазуренко А.С., Лужанська Г.В., Фуркаленко О.Л., **Станіславов В.Д.**, Муренко І.В. Альтернативні установки систем незалежного енергопостачання. Proceedings of the XXV International Scientific and Practical Conference. San Francisco, USA. 2023. Pp. 454-456. URL: <https://isg-konf.com/theoretical-foundations-of-scientists-and-modern-opinions-regarding-the-implementation-of-modern-trends/>.

DOI: <https://doi.org/10.46299/ISG.2023.1.25>.

10. Лужанська Г.В., Ануфрієв С.С., Каверін А.Ю., Костін К.К. **Станіславов В.Д.** Основні прилади інструментального енергетичного обстеження //Proceedings of the 3rd International scientific and practical conference. “Scientific achievements of contemporary society” (October 10-12, 2024) Cognum Publishing House, London, United Kingdom. 2024. Pp. 180-183.

URL: <https://sci-conf.com.ua/iii-mizhnarodna-naukovo-praktichna-konferentsiya-scientific-achievements-of-contemporary-society-10-12-10-2024-london-velikobritaniya-arhiv/>

11. Лужанська Г.В., **Станіславов В.Д.**, Фуркаленко О.Л., Грищенко С.І., Рак О.В. Використання пінополіуретану в якості утеплювача будівельних огорожувальних конструкцій // Global trends in science and education. Proceedings of the 3rd International scientific and practical conference. (April 7-9, 2025) SPC “Sci-conf.com.ua”. Kyiv, Ukraine. 2025. Pp. 377-380. URL: <https://sci-conf.com.ua/iii-mizhnarodna-naukovo-praktichna-konferentsiya-global-trends-in-science-and-education-7-9-04-2025-kiyiv-ukrayina-arhiv/>

## ABSTRACT

*Stanislavov V.* Reliability qualification of pressure control systems of steam generators of power plants in extreme conditions. – Qualifying scientific work as a copyrights manuscript.

Thesis for the degree of Doctor of Philosophy by specialty 144 – Heat Power Engineering. – Odessa Polytechnic of the Ministry of Education and Science of Ukraine, Odesa, Ukraine, 2026.

A risk-based analysis has been carried out to assess the impact of extreme operating conditions at power plants on the reliability of the steam generator pressure regulation system (SGPRS). Failure of the SGPRS under extreme conditions could lead to accidents resulting in critical damage to power plant equipment. Based on the risk-oriented analysis, the following has been established:

- in the event of a postulated failure of all ambient pressure relief systems (BRU-A), the total baseline probability of PGPRS failure increases by a factor of 740;

- the most significant impact of BRU-A failures on the reliability probability indices of power plants has been established for accident groups involving inter-loop leaks in steam generators;

- in the event of accidents involving out-of-contour leaks in the steam generators of power plants, the steam-water/water leak modes in the BRU-A may not be adequately assessed by operational tests;

- the impact on the reliability of power plants of extreme operating conditions involving the fall of large/explosive objects, and the latest findings regarding the actual seismic and tornado hazard levels in the regions where Ukraine's power units are located, are not sufficiently taken into account.

A comparative analysis of the results of the design and improved reliability qualification of the BRU-A of a serial power unit under extreme operating conditions has established:

- the maximum permissible seismic impact on the BRU-A is 7 points on the MSK scale;

- the maximum permissible dynamic impact on the BRU-A resulting from the fall of large/explosive objects is equivalent to the conditions of a magnitude 7 earthquake.

A method has been developed for adapting the results of experimental reliability qualification of the BRU-A in two-phase flow regimes on test benches to accident conditions involving out-of-loop leaks in steam generators of nuclear power plants, based on the identity of thermodynamic similarity criteria. Based on the established criteria, an analysis was carried out of the results of the experimental reliability qualification of BRU-A valve closure in two-phase flow regimes, obtained on the FRAMATOM model facility, and it was established that these results lack sufficient justification for practical implementation.

A deterministic method for the computational and experimental qualification of the reliability of BRU-A closure in steam-water/water flow regimes has been developed.

Based on the developed method, the main results of the computational and operational reliability qualification of the closure of two modifications of the BRU-A EU designs are as follows:

- the established qualification conditions are met across the entire range of steam content in the flow at the valve inlet and the intermediate position of the stem during valve closure;

- the single-phase water flow regime at the valve flow zone inlet with a temperature below 373 K does not meet the established qualification conditions;

A conservative reliability analysis of BRU-A valve closure has been carried out under conditions of maximum hydrodynamic loads on the stem from a single-phase water flow with a temperature below 373 K. The analysis carried out has established that the valves close reliably at all stages of the stem's movement – from the moment the valve's flow passage is fully open until it closes

**The introduction** presents the rationale for choosing the research topic, highlights its relevance and connection with scientific programs. Based on this, the goal and task of the research were formed. The scientific novelty of the obtained results and their practical value for the energy industry are indicated.

**In the first section**, an analysis of operating experience and prospects for the development of thermal power equipment, in particular pressure regulation systems of steam generators, is carried out. The result of the conducted analysis was the selection of one of the priority directions for increasing the efficiency of heat energy systems, namely the qualification of the reliability of regulation systems in extreme conditions.

**In the second section**, the analysis of the influence of the reliability of pressure regulation systems in extreme emergency situations is performed and the probable indicators of the influence of BRU-A reliability on power plants with steam generators are determined.

**In the third section**, a comparative analysis of the results of the design and improved reliability qualification of the BRU-A series power unit in extreme operating conditions - possible accidents with inter-circuit leaks in steam generators, seismic and tornado hazards in the regions of the Ukrainian NPP location - was performed.

**The fourth chapter** presents the results of the application of the method of adaptation of the results of the experimental qualification of BRU-A reliability in two-phase flow modes on model plants to the conditions of accidents with inter-loop leaks in NPP steam generators.

**The fifth chapter** presents the results of the analysis and developed a method for qualifying the reliability of BRU-A at maximum hydrodynamic loads under design and extreme emergency conditions.

**Scientific novelty** of the obtained results.

1. Deterministic methods of reliability qualification of BRU-A in extreme conditions of unqualified EI regimes were developed for the first time.

2. A method of adapting the results of the BRU-A experimental qualification, obtained at experimental installations/stands, with respect to unqualified regimes of extreme conditions in EU PG based on the theory of similarity of thermodynamic processes has been developed.

3. Probabilistic estimates of the impact of BRU-A/SRT PG reliability on the safe operation of PG UEs in extreme conditions of critical seismic impact have been established.

**The practical significance** of the obtained results is that:

1. On the basis of the results obtained in the work, projects of industry technical solutions for the reliability qualification of BRU-A EU PG in extreme emergency conditions were developed.

2. The developed methods can be used in the design, operation and continued operation of thermal power equipment.

**Keywords:** power plant, power plants, equipment qualification, steam generators, reactors, extreme operating conditions, pressure control systems, indicators, stability, thermodynamic instability, method, modernization, characteristics, heat exchange, temperature.

## LIST OF APPLICANT'S PUBLICATION

*The main scientific results of the thesis have been published in the following scientific articles:*

1. **Stanislavov Volodymyr**. Pressure regulation systems of power plants. Monograph. LAP LAMBERT Academic Publishing (Germany). Approved by the decision of the Academic Council of the National University «Odesa Polytechnic» (protocol No. 8 dated March 11, 2026) 2026 - 69 p. ISBN 978-620-8-45626-9.

2. **Stanislavov Volodymyr**. Qualification of the reliability of the pressure regulation system. Monograph. LAP LAMBERT Academic Publishing (Germany). Approved by the decision of the Academic Council of the National University «Odesa Polytechnic» (protocol No. 8 dated March 11, 2026) 2026 - 72 p. ISBN 978-613-9-77076-2.

3. **Stanislavov Volodymyr**. Qualification of the reliability of pressure control systems of steam generators of power plants in extreme conditions. Monograph. LAP LAMBERT Academic Publishing (Germany). Approved by the decision of the Academic Council of the National University «Odesa Polytechnic». (protocol No. 8 dated 11.03.2026) 2026 – 144 p. ISBN 978-620-6-71314-2. <https://www.morebooks.shop/shop-ui/shop/product/978-620-6-71314-2>.

4. A. Mazurenko, V. Kravchenko, G. Luzhanska, V. Shavrov, **V. Stanislavov**. Peculiarities of the organization of the boundary layer flow in the interdisc space of Tesla turbines. *Proc. of Odessa Polytechnic University (Odes'kyi Politechnichnyi Universytet. Pratsi. Vol. 1(67), 2023, PP. 49 - 54.* <https://pratsi.op.edu.ua/index.php/pratsi/article/view/19>. DOI: <https://doi.org/10.15276/opu.1.67.2023.06>.

5. A. Mazurenko, A. Pustovit, P. Shylov, D. Shylov, **V. Stanislavov**. Determination of the probability of failures in the operation of elements of urban heat supply systems in extreme operating conditions. *Proc. of Odessa Polytechnic University (Odes'kyi Politechnichnyi Universytet. Pratsi. Issue 1(71), 2025, PP. 98-*

103. <https://pratsi.op.edu.ua/index.php/pratsi/article/view/510>. DOI:  
<https://doi.org/10.15276/opu.1.71.2025.11>.

6. Mazurenko, A., Kandeeva, V., Chichenin, V., Pustovit, A., **Stanislavov, V.** (2025). Assessment of the risks of ensuring reliable heat supply to consumers in conditions of external destruction. *Refrigeration Engineering and Technology*, 61(3). DOI: <https://doi.org/10.15673/ret.v61i3.3274>.

7. J.F. Doroshenko, **V.D. Stanislavov**, Yu.K. Bessatyan, S.I Hryshchenko, A.Yu. Kaverin. Application of renewable energy sources in shopping and entertainment centers for heat supply needs, taking into account operating modes. *Refrigeration technology and technology*, 61(4), 2025. <https://journals.ontu.edu.ua/index.php/reftech/article/view/3331>. DOI: <https://doi.org/10.15673/ret.v61i4.3331>.

*Scientific papers certifying the approbation of the dissertation materials*

8. Luzhanska G.V., Sergeyev I.V., Bessatyan Yu.K., Tarasyuk O.S., **Stanislavov V.D.** Increasing the energy efficiency of buildings. Proceedings of the XIV International Scientific and Practical Conference «Actual problems of personality psychology in the modern world» (April 09 - 12, 2024) Rome, Italy. International Science Group. 2024. PP. 294 - 297. <https://isg-konf.com/actual-problems-of-personality-psychology-in-the-modern-world/>

9. Mazurenko A.S., Luzhanska G.V., Furkalenko O.L., **Stanislavov V.D.**, Murenko I.V. Alternative installations of independent energy supply systems. Proceedings of the XXV International Scientific and Practical Conference. San Francisco, USA. 2023. PP. 454-456. URL: <https://isg-konf.com/theoretical-foundations-of-scientists-and-modern-opinions-regarding-the-implementation-of-modern-trends/>. DOI: <https://doi.org/10.46299/ISG.2023.1.25>.

10. Luzhanska G.V., Anufriev S.S., Kaverin A.Yu., Kostin K.K., **Stanislavov V.D.** Basic instruments of instrumental energy survey // Proceedings of the 3rd International scientific and practical conference. «Scientific achievements of contemporary society» (October 10-12, 2024) Cognum Publishing House, London,

United Kingdom. 2024. PP. 180-183. URL: <https://sci-conf.com.ua/iii-mizhnarodna-naukovo-praktichna-konferentsiya-scientific-achievements-of-contemporary-society-10-12-10-2024-london-velikobritaniya-arhiv/>

11. Luzhanska G.V., **Stanislavov V.D.**, Furkalenko O.L., Hryshchenko S.I., Rak O.V. The use of polyurethane foam as insulation of building enclosure structures // Global trends in science and education. Proceedings of the 3rd International scientific and practical conference. (April 7-9, 2025) SPC «Sci-conf.com.ua». Kyiv, Ukraine. 2025. PP. 377 - 380. URL: <https://sci-conf.com.ua/iii-mizhnarodna-naukovo-praktichna-konferentsiya-global-trends-in-science-and-education-7-9-04-2025-kiyiv-ukrayina-arhiv/>