

АНОТАЦІЯ

Урняєва І.А. Оптимізаційні задачі завантаження контейнерів: математичні моделі, методи розв'язання і застосування. – Кваліфікаційна наукова праця на правах рукопису.

Дисертація на здобуття ступеня доктора філософії за спеціальністю 124 «Системний аналіз» (12 – Інформаційні технології). – Харківський національний університет радіоелектроніки, Міністерство освіти і науки України, 2020.

Дисертаційну роботу присвячено актуальній проблемі створення сучасних комп'ютерних технологій (математичних моделей, методів, алгоритмів та програм), орієнтованих на розв'язання задач проектування оптимального завантаження контейнерів з урахуванням геометричних обмежень та умов балансу.

Дисертаційна робота є продовженням досліджень, які проводяться у відділі математичного моделювання та оптимального проектування Інституту проблем машинобудування ім. А. М. Підгорного НАН України в рамках теорії геометричного проектування під керівництвом члена-кореспондента НАН України Ю. Г. Стояна.

Метою дисертаційної роботи є розробка та аналіз оптимізаційних моделей, методів та алгоритмів для підвищення ефективності розв'язання задач завантаження контейнерів.

Об'єкт дослідження – процес завантаження контейнерів в складних технічних системах.

Предмет дослідження – математичні моделі, методи та алгоритми розв'язання задач проектування оптимального розміщення вантажів заданих форм та розмірів у контейнерах довільної форми з урахуванням геометричних обмежень та умов балансу.

Методи дослідження. В роботі застосовуються методи комбінаторного аналізу, комбінаторної оптимізації, методи геометричного проектування для побудови математичних моделей задач рівноважної компоновки контейнерів, зокрема, метод ϕ -функцій для опису обмежень геометричних об'єктів (вантажів), евристичні методи для розв'язання задач оптимізації.

Наукова новизна дисертаційної роботи полягає в наступному:

1. Вперше визначено комбінаторні конфігурації, які дозволяють описати комбінаторну структуру задачі оптимального рівноважного завантаження 3D об'єктів (вантажів) у контейнері, розділеному горизонтальними стелажми на підконтейнери.

2. Вперше побудовано математичну модель задачі оптимального рівноважного завантаження 3D об'єктів, яка на відміну від інших дозволяє врахувати не тільки геометричні обмеження та баланс системи, але й комбінаторні особливості, пов'язані з генерацією розбиття множини об'єктів, що розміщуються всередині підконтейнерів.

3. Вперше побудовано математичну модель у вигляді задачі нелінійного програмування для оптимізації компонування груп об'єктів (вантажів) у прямокутному контейнері, що дозволяє застосування сучасних НЛП-розв'язувачів для її розв'язання.

4. Вперше запропоновано швидкий метод генерації допустимих стартових точок для прискорення процедури локальної оптимізації та поліпшення значення функції цілі в задачі оптимізації компонування груп об'єктів (вантажів) у прямокутному контейнері.

5. Отримали подальший розвиток стратегії, моделі та методи розв'язання задач розміщення контейнерів в процесі їх перевантаження в частині побудови математичної моделі задачі розміщення контейнерів на залізничному терміналі та врахування геометричних та технологічних властивостей для її розв'язання, що дозволяє знизити загальну вартість контейнерних операцій на залізничному терміналі.

Проведено системний аналіз проблеми оптимального завантаження контейнерів в різних сферах застосування. В результаті зроблено такі висновки:

- контейнерні перевезення є підсистемою глобальної економічної та геополітичної системи, яка здійснює значний вплив на світові процеси;
- контейнерні перевезення мають тенденцію до кількісного зростання та технологічного розвитку на всіх рівнях – глобальному, регіональному та місцевому;

- оптимізацію завантаження контейнерів варто розглядати як на етапі виконання операцій переміщення контейнерів у контейнерному терміналі, так і на етапі завантаження окремих контейнерів, що є джерелом суттєвого економічного ефекту.

Виконано огляд та аналіз задач оптимального завантаження контейнерів на рівні контейнерних терміналів як вузлів систем транспортних перевезень. Проаналізовано задачі побудови оптимальних компоновок, які виникають у аерокосмічній галузі, а саме: задач проектування оптимального розміщення корисних вантажів заданих форм та розмірів у контейнерах довільної форми з урахуванням геометричних та механічних обмежень. Здійснено огляд та аналіз засобів математичного моделювання та розв'язання задач оптимального завантаження контейнерів, зокрема, методів геометричного проектування.

Сформульовано мету роботи та постановку задач дослідження.

Досліджено задачу побудови рівноважної компоновки 3D-об'єктів в контейнері, розділеному горизонтальними стелажми на підконтейнери. Побудовано математичну модель, що враховує не тільки геометричні обмеження та умови балансу, а й комбінаторні особливості задачі, пов'язані з необхідністю побудови розбиття множини розміщуваних об'єктів по підконтейнерах. Запропоновано стратегію розв'язання, яка включає процедури: генерації кортежів розбиття; побудови стартових точок з області допустимих рішень; локальної оптимізації. Даний підхід використовує принцип мультистарту для пошуку «хороших» допустимих розв'язків. Результати чисельних експериментів показали ефективність запропонованого підходу для розглянутого класу задач рівноважної компоновки.

Проаналізовано задачу оптимального упакування опуклих 3D-об'єктів у контейнер з опорними полицями (стелажми) з урахуванням обмежень розміщення та умови балансу. Для аналітичного опису обмежень розміщення використовується метод ϕ -функцій. Побудовано загальну математичну модель комбінаторної задачі рівноважної компоновки зі спеціальними геометричними та балансними умовами. Залежно від видів цільових функцій, форм об'єктів та контейнерів, комбінацій геометричних та балансних обмежень можуть створюватися різні варіанти задачі пакування. Пропонується стратегія

розв'язання на основі методу мультистарта і передбачає використання допустимої стартової точки та алгоритму локальної оптимізації. Зокрема, у випадку пакування циліндрів задача зводиться до задачі пакування кіл.

Сформульовано багатокритеріальну задачу оптимізації розміщення 3D-об'єктів у контейнер з урахуванням обмежень розміщення (неперетинання, включення, відстань) та балансу (рівноваги, інерції та стабільності) - багатокритеріальну задачу рівноважної компоновки (MBLP). Для аналітичного опису обмежень розміщення використано метод ϕ -функції. Побудовано математичну модель задачі у вигляді багатокритеріальної задачі оптимізації. Представлено варіанти задачі MBLP залежно від форм цільових функцій, форм об'єктів і контейнерів та комбінацій обмежень.

Досліджено задачу пакування (компоновки) для набору груп опуклих об'єктів, що мотивовано проблемами завантаження контейнера, які виникають у задачах логістики. Завантаження розглядається для прямокутного контейнера заданого розміру за умови неперетину (неперервно трансльованих та таких, що обертаються) об'єктів у групі. Об'єкти визначаються своїми розмірами та мають однакову форму для відповідної групи. Кожна група представлена опуклою оболонкою об'єктів, що утворюють цю групу. Передбачається, що дві групи не перетинають одна одну, якщо це виконується для їх опуклих оболонок, і група належить до прямокутного контейнера, якщо це справедливо для відповідної опуклої оболонки. Запропоновано нові засоби математичного моделювання груп, що не перетинаються та розміщуються всередині контейнера. Представлено розширення методу ϕ -функцій на опуклі оболонки груп об'єктів з урахуванням їх змінних форм та метричних характеристик. Представлені нові квазі- ϕ -функції та ϕ -функції. Ці функції не потребують побудови опуклої оболонки для кожної групи. Побудовано нову математичну модель для оптимального розміщення груп, що формулюється як нелінійна неперервна задача оптимізації. Розроблено новий алгоритм пошуку допустимих стартових розв'язків для прискорення та поліпшення процедури локальної оптимізації. Для демонстрації ефективності запропонованого підходу представлені результати обчислень, які демонструють нову задачу пакування для груп об'єктів, що включають еліпси, кола та опуклі багатокутники.

Проаналізовано проблему аналізу та моделювання роботи залізничного терміналу при здійсненні операцій перевантаження контейнерів.

Досліджено задачу оптимізації призначення потягів на залізничні колії при обробці вантажів на залізничному терміналі. Представлено математичну модель і метод розв'язання. Математична модель описує задачу в термінах комбінаторних конфігурацій та враховує призначення поїздів на залізничні колії, що у сукупності дозволяє знизити розмірність задачі та підвищити ефективність її розв'язання.

Запропоновано підхід для підвищення ефективності виконання операцій перевантаження контейнерів на залізничному терміналі. Відповідно до підходу здійснюється оптимізація розміщення контейнерів на залізничних платформах та в зоні зберігання на залізничному терміналі. Побудовано математичну модель у вигляді задачі комбінаторної оптимізації; проаналізовано властивості моделі. Наведено приклади розрахунків ефективності виконання операцій перевантаження контейнерів за допомогою запропонованої моделі.

Надано рекомендації щодо використання запропонованих в роботі алгоритмів розв'язання задач завантаження контейнерів в підсистемі "Планування заходів і підготовка рішень" Регіональної інформаційно-аналітичної підсистеми з надзвичайних ситуацій РІАП НС.

Практичне значення результатів роботи. Запропоновані методи та алгоритми для розв'язання задач оптимального завантаження контейнерів можуть бути використані для підвищення ефективності діяльності транспортних компаній. Отримані результати щодо сучасних комп'ютерних технологій (математичних моделей, методів, алгоритмів та програм), орієнтованих на розв'язання задач оптимальних компонок у проєктуванні використовуються в освітньому процесі Харківського національного університету радіоелектроніки, зокрема, у навчальній дисципліні «Моделі та методи прийняття рішень в системному проєктуванні» для здобувачів другого (магістерського) рівня вищої освіти, про що свідчить акт (Додаток Б).

Матеріали дисертації досить повно викладено у 18 наукових працях автора за темою дисертації, у тому числі: 4 статті в журналах, серед яких 1 стаття у виданні, включеному до переліку наукових фахових видань України з

присвоєнням категорії “А” та індексованому базою Scopus; 1 стаття у періодичному науковому виданні іншої держави (Китай), яке віднесено до третього квартиля відповідно до класифікації SCImago Journal and Country Rank, Scopus; 1 стаття у періодичному науковому виданні іншої держави (Єгипет), яке віднесено до другого квартиля відповідно до класифікації SCImago Journal and Country Rank, Scopus; 1 стаття у науковому виданні, включеному до переліку наукових фахових видань України з присвоєнням категорії “Б”; 2 розділи в колективних монографіях, серед яких 1 розділ у виданні держави, що входить до Організації економічного співробітництва (США), яке віднесено третього квартиля відповідно до класифікації SCImago Journal and Country Rank, Scopus; 1 розділ у виданні держави, що входить до Організації економічного співробітництва (Швейцарія), яке віднесено четвертого квартиля відповідно до класифікації SCImago Journal and Country Rank, Scopus; та 12 – в матеріалах міжнародних конференцій, серед них 4 доповіді, що опубліковані в матеріалах міжнародних наукових конференцій, які індексуються базою Scopus.

Ключові слова: контейнер, 3D-об'єкти, рівноважна компоновка, упакування, метод ϕ -функцій, математична модель, комбінаторна оптимізація, евристика, залізничний термінал, інтермодальні перевезення.

ABSTRACT

Urnaiieva I.A. Optimization problems of container loading: mathematical models, solution methods and applications. – Qualifying scientific work on the rights of the manuscript.

A Thesis for a Philosophy doctor degree in the specialty 124 «System Analysis» (12 – Information Technologies). – Kharkiv National University of Radio Electronics, Ministry of Education and Science of Ukraine, 2020.

The thesis is devoted to the creation of modern computer technologies (mathematical models, methods, algorithms and programs), focused on solving problems of designing the optimal loading of containers, taking into account the geometric constraints and balance conditions.

The thesis is a continuation of research conducted in the department of Mathematical modeling and optimal design of the A.M. Podgorny Institute of Mechanical Engineering NAS of Ukraine in the framework of the theory of geometric design under the leadership of the corresponding member of the NAS of Ukraine Yu. G. Stoyan.

The aim of the dissertation is to develop and analyze optimization models, methods and algorithms to increase the efficiency of solving container loading problems.

The object of study - the process of loading containers in complex technical systems.

The subject of research is mathematical models, methods and algorithms for solving problems of designing the optimal placement of goods of given shapes and sizes in containers, taking into account geometric and mechanical constraints.

Research methods. The methods of combinatorial analysis, combinatorial optimization, methods of geometric design to build mathematical models of equilibrium container problems, in particular, the method of phi-functions to describe the constraints of geometric objects (loads), heuristic methods for solving optimization problems.

The scientific novelty of the dissertation is as follows:

1. For the first time, combinatorial configurations have been defined that allow us to describe the combinatorial structure of the problem of optimal equilibrium loading of 3D objects (cargoes) in a container divided by horizontal racks into subcontainers.

2. For the first time, a mathematical model of the problem of optimal equilibrium loading of 3D objects was built, which, unlike others, allows to take into account not only the geometric constraints and balance of the system, but also combinatorial features related to the generation of partitioning of objects inside subcontainers.

3. For the first time, a mathematical model was constructed in the form of a nonlinear programming problem to optimize the layout of groups of objects (cargoes) in a rectangular container, which allows the use of modern NLP-solvers to solve it.

4. For the first time, a fast method of generating feasible starting points for speeding up the local optimization procedure and improving the value of the objective

function in the problem of optimizing the layout of groups of objects (cargo) in a rectangular container is proposed.

5. The strategies, models and methods for solving the problems of container placement in the process of their overloading in terms of constructing a mathematical model of the container placement problem at the railway terminal and taking into account the geometric and technological properties for its solution, which makes it possible to reduce the total cost of container operations at the railway terminal, were further developed.

A system analysis of the problem of optimal loading of containers in different areas of application was carried out. As a result, the following conclusions were made:

- container transportation is a subsystem of the global economic and geopolitical system, which has a significant impact on world processes;
- container traffic tends to increase in quantity and technological development at all levels - global, regional and local;
- optimization of container loading should be considered both at the stage of performing container movement operations in the container terminal, and at the stage of loading individual containers, which is a source of significant economic effect.

The review and analysis of the problems of optimal loading of containers at the level of container terminals as nodes of transport systems are performed. The problems of construction of optimal layouts that arise in the aerospace industry are analyzed, namely: problems of designing the optimal placement of payloads of given shapes and sizes in containers of arbitrary shape, taking into account geometric and mechanical constraints. A review and analysis of mathematical modeling tools and solving problems of optimal loading of containers, in particular, methods of geometric design.

The purpose of work and statement of tasks of research are formulated.

The problem of constructing an equilibrium layout in a container of 3D-objects in a container divided by horizontal racks into subcontainers is investigated. A mathematical model is built that takes into account not only the geometric constraints and conditions of the balance, but also the combinatorial features of the problem associated with the need to build a partition of the set of placed objects in subcontainers. A solution strategy is proposed, which includes procedures: generation of split tuples; construction of starting points in the field of acceptable solutions; local

optimization. This approach uses the principle of multistart to find "good" solutions. The results of numerical experiments showed the effectiveness of the proposed approach for the considered class of equilibrium layout problems.

The problem of optimal packing of convex 3D-objects in a container with supporting shelves (racks) is analyzed, taking into account the constraints of placement and balance conditions. The method of phi-functions is used for the analytical description of placement constraints. A general mathematical model of the combinatorial problem of equilibrium layout with special geometric and balance conditions is constructed. Depending on the types of objective functions, shapes of objects and containers, combinations of geometric and behavioral constraints, different variants of the packaging problem can be created. A multi-start solution strategy is proposed and involves the use of a valid starting point and a local optimization algorithm. In particular, in the case of packing cylinders, the problem is reduced to the problem of packing circles.

The multicriteria problem of optimization of placement of 3D-objects in the container taking into account constraints of placement (non-intersection, inclusion, distance) and balance (equilibrium, inertia and stability) is formulated - the multicriteria balance layout problem (MBLP). The method of phi-function was used for analytical description of placement constraints. A mathematical model of the problem in the form of a multicriteria optimization problem is constructed. Variants of the MBLP problem are presented depending on the forms of objective functions, forms of objects and containers, combinations of constraints.

The problem of packing (layout) for a set of groups of convex objects is investigated, which is motivated by the problems of container loading, which arise in logistics problems. The load is considered for a rectangular container of a given size under the condition of non-intersection (continuously broadcast and rotating) of objects in the group. Objects are determined by their size and have the same shape for the corresponding group. Each group is represented by a convex hull of objects that make up this group. It is assumed that the two groups do not intersect each other if this is done for their convex hulls, and the group belongs to a rectangular container if this is true for the corresponding convex hull.

New tools of mathematical modeling of groups that do not intersect and are placed inside the container are proposed. The extension of the method of phi-functions to convex hulls of groups of objects taking into account their variable forms and metric characteristics is presented.

New quasi-phi-functions and phi-functions are presented. These functions do not require the construction of a convex hull for each group. A new mathematical model for optimal placement of groups is constructed, which is formulated as a nonlinear continuous optimization problem. A new algorithm for finding feasible starting solutions to speed up and improve the local optimization procedure has been developed. To demonstrate the effectiveness of the proposed approach, the results of calculations are presented, which demonstrate a new layout problem for groups of objects, including ellipses, circles and convex polygons.

The problem of analysis and modeling of the railway terminal operation during container reloading operations is analyzed.

The problem of optimizing the assignment of trains on railway tracks during cargo handling at the railway terminal is investigated. The mathematical model and method of solving the problem are presented. The mathematical model describes the problem in terms of combinatorial configurations and takes into account the assignment of trains on railway tracks, which together allows to reduce the dimension of the problem and increase the efficiency of its solution.

An approach is proposed to increase the efficiency of container handling operations at the railway terminal. According to the approach, the placement of containers on railway platforms and in the storage area at the railway terminal is optimized. A mathematical model in the form of a combinatorial optimization problem is constructed; the properties of the model are analyzed. Examples of calculations of efficiency of performance of operations of reloading of containers using the proposed model are given.

The use of the algorithms of the solution of problems of loading of containers in the subsystem "Planning of actions and preparation of decisions" of the Regional information and analytical subsystem on emergencies RIASE is recommended.

The practical significance of the results of work. The proposed methods and algorithms for solving the problems of optimal loading of containers can be used to

increase the efficiency of transport companies. The obtained results on modern computer technologies (mathematical models, methods, algorithms and programs) focused on solving problems of optimal layouts in design are used in the educational process of Kharkiv National University of Radio Electronics, in particular, in the discipline "Models and methods of decision making in system design "for applicants for the second (master's) level of higher education, as evidenced by the act (Appendix B).

The dissertation materials are fully presented in 18 scientific works of the author on the topic of the dissertation, including: 4 articles in journals, among them 1 article in a publication included in the list of scientific professional publications of Ukraine with category "A" and indexed Scopus database; 1 article in a scientific periodical of another state (China), which is classified as the third quartile according to the classification SCImago Journal and Country Rank, Scopus; 1 article in a scientific periodical of another state (Egypt), which is classified as the second quartile according to the classification SCImago Journal and Country Rank, Scopus; 1 article in a scientific publication included in the list of scientific professional publications of Ukraine with the assignment of category "B"; 2 chapters in collective monographs, including 1 chapter in the publication of a state member of the Organization for Economic Cooperation (USA), which belongs to the third quartile according to the classification SCImago Journal and Country Rank, Scopus; 1 section in the publication of a state member of the Organization for Economic Cooperation (Switzerland), which is classified as the fourth quartile according to the classification SCImago Journal and Country Rank, Scopus; and 12 - in the materials of international conferences, including 4 reports published in the materials of international scientific conferences, which are indexed by the Scopus database.

Keywords: container, 3D-objects, equilibrium layout, packing, mathematical model, phi-functions technique, combinatorial optimization, heuristics, railway terminal, intermodal transportation.

Список публікацій здобувача

1. Гребеннік І.В., Коваленко Г.А., Романова Т.Є., Урняєва І.А., Шеховцов С.Б. Задача балансной компоновки цилиндрических объектов с учетом ее комбинаторных особенностей // Біоніка інтелекту: науково-технічний журнал, 2017. №1 (88). С.22–28.
2. Grebennik I., Dupas R., Lytvynenko O., Urniaieva I. Scheduling Freight Trains in Rail-rail Transshipment Yards with Train Arrangements // International Journal of Intelligent Systems and Applications (IJISA), 2017. Vol.9, No.10, pp.12-19. Scopus
3. Гребеннік І.В., Коваленко А.А., Романова Т.Є., Урняєва І.А., Шеховцов С.Б. Комбинаторные конфигурации в оптимизационных задачах балансной компоновки // Кібернетика та системний аналіз. 2018. т. 54 №2.– С. 55–67.
4. Grebennik I., Khriapkin O., Ovezgeldyuev A., Pisklakova V., Urniaieva I. (2019) The Concept of a Regional Information-Analytical System for Emergency Situations // In: Murayama Y., Velez D., Zlateva P. (eds) Information Technology in Disaster Risk Reduction. ITDRR 2017. IFIP Advances in Information and Communication Technology, vol 516. Springer, Cham Scopus.
5. Romanova T., Pankratov A., Litvinchev I., Pankratova Yu., Urniaieva I., Optimized Packing Clusters of Objects in a Rectangular Container // Mathematical Problems in Engineering. 2019. vol. 2019, Article ID 4136430, 12 pages. Scopus
6. Romanova T., Litvinchev I., Grebennik I., Kovalenko A., Urniaieva I., Shekhovtsov S. (2020) Packing Convex 3D Objects with Special Geometric and Balancing Conditions // Chapter in contributed book "Intelligent Computing and Optimization", Proceedings of the 2nd International Conference on Intelligent Computing and Optimization 2019 (ICO 2019) / Springer Optimization and its Applications, Vasant, P., Zelinka, I., Weber, G.-W. (Editors), Springer, New York, 273–281. Scopus
7. Гребеннік І.В., Коваленко Г.А., Урняєва І.А., Шеховцов С.Б. Комбінаторні особливості задачі балансної компоновки 3D-об'єктів // Матеріали XIII міжнародної науково-практичної конференції «Математичне та програмне

забезпечення інтелектуальних систем» (MPZIS-2015) 18-20 листопада 2015 р. Дніпропетровськ, Україна.

8. Урняєва І.А., Гребеннік І.В., Романова Т.Є., Шеховцов С.Б. Про задачу завантаження для інтермодальних контейнерних перевезень // Математичне та програмне забезпечення інтелектуальних систем. Тези доповідей XIV Міжнародної науково-практичної конференції MPZIS-2016, Дніпро, 16-18 листопада 2016 р. – Дніпропетровський національний університет ім. Олеся Гончара. – С.224-225.

9. Коваленко Г., Урняєва І., Шеховцов С. Задача балансної компоновки 3D-об'єктів та її комбінаторні властивості // Матеріали 5-ї Міжнародної науково-технічної конференції «Інформаційні системи та технології» ICT 2016, 12–17 вересня. –Харків–Коблево. – 2016.– С. 277–278.

10. Grebennik I., Khriapkin O., Pisklakova V., Urniaieva I. Concept of a regional information-analytical system for emergency situations // 2nd IFIP Conference on Information Technology in Disaster Risk Reduction ITDRR 2017, October 25 – 27th, 2017, University of National and World Economy, Sofia, Bulgaria.

11. Grebennik I., Romanova T., Urniaieva I. Combinatorial balance layout problem of cylindrical objects // 30 International Conf. “Problems of decision making under uncertainties”, August 14–19, 2017, Vilnius, Lithuania – P. 57.

12. Grebennik I., Dupas R., Lytvynenko O., Urniaieva I. Train arrangement in scheduling for Rail-rail transshipment yard // 7-th International Conference on Application of Information and Communication Technology and Statistics in Economy and Education (ICAICTSEE – 2017), October 25 – 27th, 2017, University of National and World Economy Sofia, Bulgaria.

13. Grebennik I., Romanova T., Kovalenko A., Urniaieva I., Shekhovtsov S. Multicriteria balance layout problems of 3D- objects // 7-th International Conference on Application of Information and Communication Technology and Statistics in Economy and Education (ICAICTSEE – 2017), October 25 – 27th, 2017, University of National and World Economy Sofia, Bulgaria.

14. Гребеннік І., Коваленко Г., Романова Т., Урняєва І., Шеховцов С. Метод розв'язання задач балансної компоновки // Матеріали 7-ї Міжнародної науково-

технічної конференції «Інформаційні системи та технології» ICT 2018, 10-15 вересня. –Харків – Коблево. – 2018. – С. 145–148.

15. Grebennik I., Romanova T., Urniaieva I., Shekhovtsov S. Mathematical Model of Balanced Layout Problem Using Combinatorial Configurations // Proc. International Conference on Advanced Computer Information Technology (ACIT 2018), June 1 – 3, 2018, Ceske Budejovice, Czech Republic. – P. 18-21. Scopus

16. Urniaieva I., Grebennik I., Romanova T., Pankratov A., Kovalenko A. Muticriteria Model of Balanced Layout Problem of 3D-Objects // Proc. International Conference on Advanced Computer Information Technology (ACIT 2018), June 1 – 3, 2018, Ceske Budejovice, Czech Republic.– P. 22-25. Scopus

17. Grebennik I., Dupas R., Urniaieva I., Kalaida N., Ivanov V. Mathematical Model of Containers Placement in Rail Terminal Operations Problem // Proc. International Conference on Advanced Computer Information Technology (ACIT 2019, IEEE), June 5 – 7, 2019, Ceske Budejovice, Czech Republic.– P. 129-132. Scopus

18. Urniaieva I., Pankratov A., Romanova T., Grebennik I., Dupas R., Shekhovtsov S. Balance Packing Problem of Cuboids in an Optimized Cylindrical Container // Proc. International Conference on Advanced Computer Information Technology (ACIT 2019, IEEE), June 5 – 7, 2019, Ceske Budejovice, Czech Republic. – P. 133-136. Scopus