

УДК 658.7:658.012.123

О. Е. ФЕДОРОВИЧ, О. А. ГАЙДЕНКО<sup>1</sup>, В. А. ПУЙДЕНКО<sup>2</sup><sup>1</sup> *Национальный аэрокосмический университет им. Н. Е. Жуковского «ХАИ», Украина*<sup>2</sup> *Харьковский радиотехнический техникум, Украина***ПЛАНИРОВАНИЕ ГРУЗОПЕРЕВОЗОК В УСЛОВИЯХ ПОВЫШЕННЫХ РИСКОВ**

*Ставится и решается задача планирования грузоперевозок в логистической цепи «снабжение – производство – сбыт» в условиях повышенных рисков. Анализируются факторы риска и с помощью экспортов оценивается их влияния на основные показатели грузоперевозок с использованием полнофакторного планирования эксперимента. Это позволяет выделить существенные факторы рисков и использовать их, в дальнейшем, для проведения мероприятий по минимизации и нейтрализации рисков.*

*Для формирования план-графиков грузоперевозок сформулирована и решена задача поиска рационального маршрута движения транспорта, обеспечивающего минимизацию рисков. Предложен алгоритм маршрутизации, основанный на имитационном моделировании, для формирования плана грузоперевозок в условиях повышенных рисков. Для этого используется распространение «числовых» волн между транспортными узлами, с помощью которых обеспечивается поиск минимального, с точки зрения рисков, маршрута движения транспортных средств.*

*Полученный маршрут движения служит основой для получения план-графика прохождения грузов через транспортные узлы системы, в которых возможно складирование, перевозка или распределение грузопотоков. Алгоритм позволит формировать рациональные маршруты движения одновременно для нескольких грузопотоков и пунктов отправления и принятия грузопотоков. Проведена оптимизация затрат на транспортировку грузов, путём выбора и обоснование мероприятий, направленных на минимизацию рисков с использованием булевого линейного программирования. Предложенный подход целесообразно использовать в задачах планирования транспортировки грузов в логистической цепи «снабжение – производство – сбыт» в условиях повышенных внешних и внутренних рисков.*

**Ключевые слова:** *распределённая производственная система, грузоперевозки, маршрутизация в условиях рисков, имитационное моделирование, оптимизация затрат.*

**Введение**

Распределённые производственные системы (машиностроение, аэрокосмическое производство и др.) (РПС) осуществляют перевозку грузов в разнородных транспортных сетях (ТС) (железнодорожный, морской, автомобильный, авиационный транспорт) [1]. Планирование грузоперевозок предполагает учёт основных показателей в виде времени и сроков доставки грузов, затрат на транспортировку [2]. В настоящее время, учитывая возросшие факторы внешнего влияния на транспортировку грузов, а также изношенность отечественных транспортных магистралей, резко увеличились риски в доставке грузов (блокировки дорог, аварийные ситуации, поломка оборудования, террористические акты и т.д.).

Поэтому актуальна тема предлагаемой публикации, в которой проводится исследование транспортировки грузов в условиях повышенных рисков в распределённой логистической цепи РПС «снабжение – производство – сбыт».

**Постановка задачи исследования**

Исследование проводилось в три этапа. На первом этапе выделены и проанализированы факторы риска, связанные с появлением уязвимостей в разнородных ТС.

На втором этапе разработан алгоритм маршрутизации перевозки грузов, с учётом минимизации рисков.

На третьем этапе осуществляется оптимизация затрат, связанных с транспортировкой грузов в условиях повышенных рисков.

**Решение задачи исследования**

Для выделения факторов риска, для каждого этапа логистической цепи «снабжение – производство – сбыт», необходимо проанализировать появление возможных уязвимостей.

Воспользуемся экспертными оценками. Будем считать возможным появление не только отдельных уязвимостей, но и их комбинаций.

Поэтому для оценки влияния всевозможных комбинаций уязвимостей будем использовать полнофакторное планирование эксперимента (ПФЭ), в котором, с помощью экспертов, оценивается влияние уязвимостей и их комбинаций [3].

Так как уязвимость может учитываться или не учитываться в конкретной комбинации, то общее количество экспериментов будет  $N = 2^n$ , где  $n$  – количество возможных уязвимостей.

Например, если мы имеем три возможных уязвимости, то их полный набор комбинаций будет выглядеть следующим образом (можно использовать значения двоичного счётчика):

1. 0 0 0  
2. 0 0 1  
3. 0 1 0  
4. 0 1 1  
5. 1 0 0  
6. 1 0 1  
7. 1 1 0  
8. 1 1 1

Первая строка означает отсутствие проявления уязвимостей в грузоперевозках. Последняя строка означает учёт возможного возникновения сразу трёх уязвимостей.

Приведём иллюстрированный пример использования ПФЭ для экспертной оценки уязвимостей в грузоперевозках. Пусть, для этапа «снабжение», эксперт выделил следующие три возможные уязвимости:  $x_1$  – блокировка железной дороги;  $x_2$  – нарушение рельсового пути;  $x_3$  – обесточивание проводов.

План ПФЭ, с учётом перечисленных факторов и их возможных взаимодействий (это соответствует получению неполноквадратичной зависимости для оценки влияния факторов и их комбинаций), будет выглядеть следующим образом (рис. 1).

В рассматриваемом плане эксперимента «- 1» – означает отсутствие уязвимости, «+ 1» – означает учёт проявления уязвимости.

Первая строка плана означает отсутствие проявления уязвимостей. Последняя – проявление всех трёх уязвимостей. Столбец «Y», так называемый в ПФЭ «отклик», содержит значения ущерба от проявления уязвимостей в виде оценок экспертов (например, в десятибалльной шкале). В результате, используя известные расчётные формулы ПФЭ, получил следующую регрессионную зависимость для анализа проявления уязвимостей:

$$Y = 5 + 0,5x_1 + x_2 + 2,5x_3.$$

Из полученной зависимости видно, что наибольшее влияние на транспортировку грузов в «снабжении» оказывает фактор «обесточивание проводов». Наименьшее влияние связано с фактором «блокировка дорог». Промежуточное влияние связано с фактором «нарушение рельсового пути». Оценка влияния уязвимостей позволит, в дальнейшем, сформировать мероприятия, направленные на минимизацию или возможное управление рисками.

Для поиска рациональных маршрутов движения транспортных средств, в условиях повышенных рисков, предложен следующий алгоритм, который основан на событийном имитационном моделировании «числовых» волн в разнородной транспортной сети [4].

Отметим, что для нашего случая в планировании событий в имитационном моделировании используется не значение системного времени, а значение риска. Поэтому список событий, в любой текущий момент, представлен следующим образом: в начале находится событие с минимальным риском, а в конце – событие с максимальным риском.

Алгоритм включает следующие шаги:

1. Назначение исходного пункта «А» движения транспортных средств (ТС) (одно или несколько, если колонна). Пункт «А» является источником

| № | $x_1$ | $x_2$ | $x_3$ | $x_1x_2$ | $x_1x_3$ | $x_2x_3$ | $x_1x_2x_3$ | Y  |
|---|-------|-------|-------|----------|----------|----------|-------------|----|
| 1 | -1    | -1    | -1    | +1       | +1       | +1       | -1          | 0  |
| 2 | -1    | -1    | +1    | +1       | -1       | -1       | +1          | 5  |
| 3 | -1    | +1    | -1    | -1       | +1       | -1       | +1          | 4  |
| 4 | -1    | +1    | +1    | -1       | -1       | +1       | -1          | 9  |
| 5 | +1    | -1    | -1    | -1       | -1       | +1       | +1          | 1  |
| 6 | +1    | -1    | +1    | -1       | +1       | -1       | -1          | 6  |
| 7 | +1    | +1    | -1    | +1       | -1       | -1       | -1          | 5  |
| 8 | +1    | +1    | +1    | +1       | +1       | +1       | +1          | 10 |

Рис. 1. План эксперимента для оценивания проявления уязвимостей

числовой волны, которая одновременно (псевдопараллельно) будет распространяться по всем возможным транспортным направлениям (существующим связям в транспортной сети).

2. При прохождении числовой волны транспортных узлов (ТУ) (развязки, складирование, перевалки, центры распределения дистрибуций и т.д.) [5] делается отметка для индикации маршрута, от которого пришла волна (в начале это будет метка пункта «А»).

3. Движение осуществляется не во времени, а в виде значений нарастающего риска. Для этого, каждому отрезку пути, в виде связи между ТУ, присваивается «вес», соответствующий значению возможного риска на этом отрезке, оценённого с помощью экспертов.

4. При попадании «числовой» волны в любой транспортный узел, этот узел становится источником новой «числовой» волны, которая распространяется по всем возможным транспортным дугам исходящих от этого узла.

5. Если «числовая» волна попадает в помеченный ранее транспортный узел, то новая отметка этого узла не производится, а волна прекращает движение (происходит её блокировка), так как уже раньше пришла предыдущая «числовая» волна с меньшим значением риска.

6. Если транспортный узел не имеет транспортных связей с другими последующими узлами, то движение «числовой» волны в этом узле прекращается.

7. При попадании «числовой» волны в конечный пункт (пункт «В») движение всех «числовых» волн в транспортной системе прекращается, и работа алгоритма маршрутизации заканчивается.

8. Значение риска в пункте «В» будет представлять собой минимальный итоговый риск транспортировки груза от пункта «А» к пункту «В».

9. Для формирования маршрута движения транспорта с минимальным значением риска, необходимо произвести обратное движение от «В» к «А». Для этого в пункте «В» стоит метка предыдущего пункта, переходя к которому, мы определяем следующий предыдущий пункт и так далее. Таким образом, мы получаем окончательный маршрут движения транспортного средства, который обладает минимальным итоговым риском.

Сформированный маршрут движения транспортных средств позволяет подробно оценить возможные риски для проведения мероприятий по их минимизации или устранению. Пусть, для каждого риска  $r_i$ , эксперты предложили возможные альтернативные мероприятия по его минимизации. Каждое из этих мероприятий, требует времени для выпол-

нения  $t_{ij}$ , затраты –  $w_{ij}$ , и риск –  $r_{ij}$ , который останется в результате выполнения  $j$ -го мероприятия. Сформулируем оптимизационную задачу, с помощью которой, можно минимизировать риски грузоперевозок в условиях ограничений, связанных с допустимым временем организации и выполнения мероприятий, а также затрат [3]. Представим целевую функцию оптимизации в виде итогового риска транспортировки грузов. Для этого введём булеву переменную  $x_{ij}$ , которая принимает значение  $x_{ij} = 1$ , в случае выбора  $j$ -го мероприятия для уменьшения  $i$ -го риска и  $x_{ij} = 0$ , в противном слу-

чае. Тогда  $\sum_{j=1}^{n_i} x_{ij} = 1$  для каждого  $i = \overline{1, n}$ .

Целевая функция будет иметь вид:

$$R = \sum_{i=1}^n \sum_{j=1}^{n_i} r_{ij} x_{ij}.$$

Необходимо минимизировать  $R$ :

$$\min R, R = \sum_{i=1}^n \sum_{j=1}^{n_i} r_{ij} x_{ij},$$

с учётом выполнения ограничений по времени и затратам на проведение мероприятий по минимизации рисков при транспортировке грузов:

$$T \leq T', T = \sum_{i=1}^n \sum_{j=1}^{n_i} t_{ij} x_{ij},$$

$$W \leq W', W = \sum_{i=1}^n \sum_{j=1}^{n_i} w_{ij} x_{ij},$$

где  $T'$  – допустимое время, выделенное на проведение мероприятий по минимизации рисков;

$W'$  – допустимые затраты, связанные с минимизацией рисков.

## Выводы

Предложенный подход целесообразно использовать в задачах планирования транспортировки грузов в логистической цепи «снабжение – производство – сбыт» в условиях повышенных рисков, что может привести к нарушению плана перевозок и ухудшению значений основных показателей работы распределённой производственной системы.

## Литература

1. Christopher, M. *Logistics & Supply Chain Management [Текст]* / M. Christopher. – Great Britain : Pearson Education Limited, 2011. – 276 p.
2. Федорович, О. Е. *Исследование логистики снабжения и сбыта в разнородной транспортной инфраструктуре грузоперевозок [Текст] : моногр. / О. Е. Федорович, Э. Е. Рубин, Н. В. Еременко. – Х. : Нац. аэрокосм. ун-т «Харьк. авиац. ин-т», 2016. – 198 с.*
3. Федорович, О. Е. *Модели и методы обеспечения качества в жизненном цикле и логистике высокотехнологического производства продукции развивающихся предприятий [Текст] : моногр. / О. Е. Федорович, Ю. Л. Прончаков, Ю. А. Лещенко. – Х. : ФООП Лысенко И. Б., 2017. – 255 с.*
4. Федорович, О. Е. *Модели и методы информационной технологии исследования процессов управления в логистике нефти и нефтепродуктов [Текст] : моногр. / О. Е. Федорович, Э. Е. Рубин, А. В. Прохоров. – Х. : Нац. аэрокосм. ун-т «Харьк. авиац. ин-т», 2016. – 268 с.*
5. Teimoury, E. *An Integrated Queuing Model for Site Selection and Inventory Storage Planning of a Distribution Center with Customer Loss Consideration [Text]* / E. Teimoury, I. G. Khondabi, M. Fathi // *International Journal of Industrial Engineering & Production Research*. – 2011. – № 3. – P. 151 – 158.

## References

1. Christopher, M. *Logistics & Supply Chain Management*. Great Britain, Pearson Education Limited, 2011. 276 p.
2. Fedorovich, O. E., Rubin, Je. E., Eremenko, N. V. *Issledovanie logistiki snabzhenija i sbyta v raznorodnoj transportnoj infrastrukture грузоперевозок: monogr* [Research of logistics of supply and sale in diverse transport infrastructure of a cargo transportation]. Kharkov, Nac. azerokosm. un-t «Har'k. aviac. in-t», 2016. 198 p.
3. Fedorovich, O. E., Pronchakov, Ju. L. Leshenko, Ju. A. *Modeli i metody obes-pechenija kachestva v zhiznennom cikle i logistike vysokotekhnologicheskogo proizvodstva produkci razvivajushihsj predpriyatij: monogr* [Models and methods of ensuring quality in life cycle and logistics of high-tech production of the developing enterprises]. Kharkov, FOP Lysenko I. B. Publ., 2017. 255 p.
4. Fedorovich, O. Ye., Rubin, E. Ye., Prokhorov, A. V. *Modeli i metody in-formatsionnoj tekhnologii issledovaniya protsessov v logistike nefii i nefteproduktov: monogr* [Models and methods of information technology research of management processes in the logistics of oil and petroleum products]. Kharkov, Nats. aerokosm. un-t «Khar'k. aviats. in-t », 2016. 268 p.
5. Teimoury, E., Khondabi, I. G., Fathi, M. *An Integrated Queuing Model for Site Selection and Inventory Storage Planning of a Distribution Center with Customer Loss Consideration. International Journal of Industrial Engineering & Production Research*, 2011, no. 3, pp. 151 – 158.

Поступила в редакцію 26.10.2017, рассмотрена на редколлегии 23.11.2017

## ПЛАНУВАННЯ ВАНТАЖОПЕРЕВЕЗЕНЬ В УМОВАХ ПІДВИЩЕНИХ РИЗИКІВ

О. Є. Федорович, О. О. Гайденко, В. О. Пуйденко

Ставиться і вирішується задача планування вантажоперевезень в логістичному ланцюзі «постачання – виробництво – збут» в умовах підвищених ризиків. Аналізуються фактори ризику і за допомогою експертів оцінюється їх вплив на основні показники вантажоперевезень з використанням повнофакторного планування експерименту. Це дозволяє виділити істотні фактори ризиків і використовувати їх, надалі, для проведення заходів з мінімізації та нейтралізації ризиків.

Для формування план-графіків вантажоперевезень сформульована і вирішена задача пошуку раціонального маршруту руху транспорту, що забезпечує мінімізацію ризиків. Запропоновано алгоритм маршрутизації, заснований на імітаційному моделюванні, для формування плану вантажоперевезень в умовах підвищених ризиків. Для цього використовується поширення «числових» хвиль між транспортними вузлами, за допомогою яких забезпечується пошук мінімального, з точки зору ризиків, маршруту руху транспортних засобів.

Проведена оптимізація витрат на транспортування вантажів шляхом вибору й обґрунтування заходів, спрямованих на мінімізацію ризиків з використанням булевого лінійного програмування.

**Ключові слова:** розподілена виробнича система, вантажоперевезення, маршрутизація в умовах ризиків, імітаційне моделювання, оптимізація витрат.

**PLANNING OF CARGO TRANSPORTATION IN TERMS OF HIGH RISKS***O. Ye. Fedorovich, O. A. Gaydenko, V. A. Puydenko*

The problem of planning of cargo transportation in the logistics chain "supply-production-sales" in terms of high risks has been stated and solved. Risk factors are analyzed and, with the help of experts, their impact on the main transportation performance is evaluated by means of full-factorial experiment planning. It makes possible to identify the significant risk factors and use them in future to take measures on risk minimization and neutralization.

In order to create the cargo transportation schedules the problem of getting the most efficient transport route that minimizes the risks has been formulated and solved. The routing algorithm based on simulation for making the cargo transportation plan in terms of high risks is proposed. In order to reach the goal the distribution of "numerical" waves between the different transport hubs is used. It makes possible to find the least risky route for the vehicles.

The obtained route of the movement serves as the basis for obtaining schedules of cargo passing through the transport nodes of the system, in which storage, transportation or distribution of cargo flows is possible. The algorithm will allow the formation of rational traffic routes simultaneously for several cargo flows and delivery and acceptance points of cargo flows. The optimization of costs for cargo transportation by the selection and justification of measures aimed at minimizing risks using Boolean linear programming has been carried out. The proposed approach should be used in the tasks of planning the transportation of goods in the logistical chain "supply - production - sale" in conditions of increased external and internal risks.

**Keywords:** distributed production system, cargo transportation, routing in terms of risks, simulation modeling, costs optimization.

**Федорович Олег Евгеньевич** – д-р техн. наук, проф., зав. каф. информационных управляющих систем, Национальный аэрокосмический университет им. Н.Е. Жуковского «Харьковский авиационный институт», Харьков, Украина, e-mail: o.fedorovich@khai.edu.

**Гайденко Олег Александрович** – аспирант каф. информационных управляющих систем, Национальный аэрокосмический университет им. Н. Е. Жуковского «Харьковский авиационный институт», Харьков, Украина, e-mail: o.gaidenko@khai.edu.

**Пуйденко Вадим Алексеевич** – преподаватель компьютерных дисциплин, специалист высшей категории, Харьковский радиотехнический техникум, Харьков, Украина.

**Fedorovich Oleg Yevgenyevich** – Doctor of Science on Engineering, Professor, Head of the Department of Information Control Systems, National Aerospace University «Kharkov Aviation Institute», Kharkov, Ukraine, e-mail: o.fedorovich@khai.edu.

**Gaidenko Oleg Aleksandrovitch** – Ph.D.-student, Department of Information Control Systems, National Aerospace University «Kharkov Aviation Institute», Kharkov, Ukraine, e-mail: o.gaidenko@khai.edu.

**Puydenko Vadim Alekseevich** – teacher of computer disciplines, the expert of the highest category, Kharkov radio technical school, Kharkiv, Ukraine.