

УДК 65.012.123

**К. О. ЗАПАДНЯ, М. В. ИВАНОВ**

*Национальный аэрокосмический университет им. Н. Е. Жуковского «ХАИ», Украина*

## ОЦЕНИВАНИЕ И ВЫБОР ВАРИАНТА СТРАТЕГИЧЕСКОГО РАЗВИТИЯ РАСПРЕДЕЛЕННОГО ПРОИЗВОДСТВА

*Ставится и решается актуальная задача обоснования выбора направления развития распределенного производственного комплекса (РПК). Учитывая сложность данной задачи, исследование разбито на три этапа: обоснование и выбор варианта развития РПК; выбор участков земли для размещения РПК; моделирование материальных потоков РПК. Для задач оптимизации используется метод целочисленного линейного программирования. Для моделирования материальных потоков РПК используется метод агентного моделирования. Предложенный подход целесообразно использовать в задачах долгосрочного планирования РПК, когда необходимо обосновать модернизацию производства с учетом прогнозирования изменяющегося рынка сбыта продукции.*

**Ключевые слова:** стратегия развития производства, распределенный производственный комплекс, оптимизация выбора производственной системы, агентное моделирование, материальные потоки производства.

### Введение

Динамическое изменение состояния рынка приводит к необходимости регулярной модернизации производства, что отражается в планах стратегического развития распределенного производственного комплекса (РПК). Модернизация часто связана с созданием новых отделений (филиалов) РПК, которые будут направлены на увеличение выпуска существующей продукции или освоения новых изделий востребованных на рынке. При этом возникают логистические затраты, связанные с созданием новых производственных мощностей и инфраструктуры предприятий [1]. Поэтому актуальна тема предлагаемой публикации, в которой рассматривается и решается задача обоснования выбора направления развития РПК.

### Постановка задачи исследования

Для оценивания и сравнения возможных вариантов стратегического развития РПК будем использовать следующие показатели:

1. Стоимость аренды площадей, необходимых для размещения модернизируемого РПК – С.
2. Затраты, связанные с проведением строительных и монтажных работ – V.
3. Затраты, связанные с приобретением технологического оборудования – W.
4. Затраты, связанные с созданием (модернизацией) инфраструктуры предприятия (транспорт, электроэнергия, снабжение водой, теплом) – P.
5. Затраты, связанные с набором и подготовкой

(переподготовкой) кадрового состава специалистов – Q.

6. Риски экономического характера – R.
7. Прибыль, полученная от модернизации РПК – D.

В виду сложности, задачу выбора оптимального варианта развития РПК, разобьем на три этапа:

1. Обоснование и выбор варианта стратегического развития РПК.
2. Выбор участков земли для размещения РПК.
3. Моделирование материальных потоков производства в модернизируемом РПК.

### Решение задачи исследования

1. Для обоснования и выбора варианта стратегического развития РПК воспользуемся методом целочисленного линейного программирования [2].

Введем булеву переменную  $y_{ij} \in \{1; 0\}$ , где  $y_{ij} = 1$ , когда выбрана j-я стратегия развития (например, расширения производства, выпуск нового вида продукции и т.д.) i-го отделения (филиала) РПК, при этом  $\sum_{j=1}^F x_{ij} = 1$ , для всех возможных вариантов развития РПК ( $i = \overline{1, K}$ ).

Тогда показатели для оценки стратегического развития РПК будут выглядеть следующим образом:

- затраты, связанные с реконструкцией филиалов РПК (строительные и монтажные работы):

$$V = \sum_{i=1}^K \sum_{j=1}^F y_{ij} V_{ij},$$

где  $v_{ij}$  – затраты, связанные с реконструкцией  $i$ -го филиала РПК при применении  $j$ -й стратегии развития;

- затраты, связанные с приобретением нового технологического оборудования:

$$W = \sum_{i=1}^K \sum_{j=1}^F y_{ij} w_{ij},$$

где  $w_{ij}$  – затраты, связанные с приобретением оборудования для  $i$ -го филиала РПК при выборе  $j$ -й стратегии развития;

- затраты, связанные с набором и подготовкой (переподготовкой) кадров:

$$Q = \sum_{i=1}^K \sum_{j=1}^F y_{ij} q_{ij},$$

где  $q_{ij}$  – затраты, связанные с набором и подготовкой кадров для  $i$ -го филиала РПК при выборе  $j$ -й стратегии развития;

- риски экономического характера:

$$R = \sum_{i=1}^K \sum_{j=1}^F y_{ij} r_{ij},$$

где  $r_{ij}$  – риски, связанные с модернизацией  $i$ -го филиала РПК при выборе  $j$ -й стратегии развития;

- прибыль, полученная от модернизации РПК:

$$D = \sum_{i=1}^K \sum_{j=1}^F y_{ij} d_{ij}.$$

Сформулируем постановки задач, связанных с оптимизацией отдельных (локальных) показателей РПК:

1.1. Необходимо минимизировать затраты, связанные с реконструкцией РПК:

$$\min V, V = \sum_{i=1}^K \sum_{j=1}^F y_{ij} v_{ij}.$$

С учетом ограничений на другие показатели:

$$W \leq W', Q \leq Q', R \leq R', D \geq D',$$

где  $W', Q', R', D'$  – допустимые значения показателей  $W, Q, R, D$ .

1.2. Необходимо минимизировать затраты, связанные с приобретением нового технологического оборудования:

$$\min W, W = \sum_{i=1}^K \sum_{j=1}^F y_{ij} w_{ij}.$$

С учетом ограничений:

$$V \leq V', Q \leq Q', R \leq R', D \geq D',$$

где  $V'$  – допустимые значения показателя  $V$ .

1.3. Необходимо минимизировать затраты, связанные с набором, подготовкой (переподготовкой) кадров:

$$\min Q, Q = \sum_{i=1}^K \sum_{j=1}^F y_{ij} q_{ij}.$$

С учетом ограничений:

$$V \leq V', W \leq W', R \leq R', D \geq D'.$$

1.4. Необходимо минимизировать риски, связанные с модернизацией РПК:

$$\min R, R = \sum_{i=1}^K \sum_{j=1}^F y_{ij} r_{ij}.$$

С учетом ограничений:

$$V \leq V', W \leq W', Q \leq Q', D \geq D'.$$

1.5. Необходимо максимизировать прибыль от результатов модернизации РПК:

$$\max D, D = \sum_{i=1}^K \sum_{j=1}^F y_{ij} d_{ij}.$$

С учетом ограничений:

$$V \leq V', W \leq W', Q \leq Q', R \leq R'.$$

1.6. Многокритериальная постановка задачи оптимизации для выбора направления стратегического развития РПК. Преобразуем локальные показатели РПК (нормировка) к безразмерному виду (шкала 0 ÷ 1):

$$\hat{V} = \frac{V - V^*}{V' - V^*}, \hat{W} = \frac{W - W^*}{W' - W^*},$$

$$\hat{Q} = \frac{Q - Q^*}{Q' - Q^*}, \hat{R} = \frac{R - R^*}{R' - R^*},$$

$$\hat{D} = \frac{D^* - D}{D^* - D'},$$

где  $V^*, W^*, Q^*, R^*, D^*$  – экстремальные значения показателей РПК, полученные при решении задач 1.2-1.5.

Учтем важность отдельных показателей РПК с помощью весовых коэффициентов  $\alpha_V, \alpha_W, \alpha_Q, \alpha_R, \alpha_D$ , при этом  $\alpha_V + \alpha_W + \alpha_Q + \alpha_R + \alpha_D = 1$ .

Введем комплексный аддитивный показатель:

$$L = \alpha_V \cdot \hat{V} + \alpha_W \cdot \hat{W} + \alpha_Q \cdot \hat{Q} + \alpha_R \cdot \hat{R} + \alpha_D \cdot \hat{D}.$$

Необходимо найти  $\min L$ , где

$$\begin{aligned} L &= \alpha_V \frac{V - V^*}{V' - V^*} + \alpha_W \frac{W - W^*}{W' - W^*} + \alpha_Q \frac{Q - Q^*}{Q' - Q^*} + \\ &+ \alpha_R \frac{R - R^*}{R' - R^*} + \alpha_D \frac{D^* - D}{D^* - D'} = \\ &= \frac{\alpha_V}{V' - V^*} \cdot \sum_{i=1}^K \sum_{j=1}^F y_{ij} v_{ij} + \frac{\alpha_W}{W' - W^*} \cdot \sum_{i=1}^K \sum_{j=1}^F y_{ij} w_{ij} + \\ &+ \frac{\alpha_Q}{Q' - Q^*} \cdot \sum_{i=1}^K \sum_{j=1}^F y_{ij} q_{ij} + \frac{\alpha_R}{R' - R^*} - \end{aligned}$$

$$-\frac{\alpha_D \cdot D^*}{D^* - D'} \cdot \sum_{i=1}^K \sum_{j=1}^F y_{ij} d_{ij} - \frac{\alpha_V \cdot V^*}{V' - V^*} - \frac{\alpha_W \cdot W^*}{W' - W^*} - \frac{\alpha_Q \cdot Q^*}{Q' - Q^*} - \frac{\alpha_R \cdot R^*}{R' - R^*} + \frac{\alpha_D \cdot D^*}{D^* - D'}$$

2. Для решения задачи выбора участков земли для размещения РПК необходимо сформировать множество возможных участков земли.

Пусть, путем предварительного анализа возможных мест размещения РПК, выделены  $N$  возможных участков земли, где каждый  $j$ -й вариант земельного участка может быть связан с  $i$ -м филиалом РПК ( $i = \overline{1, M}$ ). Для решения задачи оптимального размещения РПК воспользуемся методом целочисленного (булевого) линейного программирования. Введем булеву переменную  $x_{ij}$ , где  $x_{ij} \in \{1; 0\}$ . Если  $x_{ij} = 1$ , то это означает, что  $j$ -й земельный участок использован для размещения  $i$ -го филиала РПК, 0 – в противном случае. Кроме того  $\sum_{i=1}^{N_i} x_{ij} = 1$  для всех филиалов РПК, где  $N = \sum_{i=1}^M N_i$ .

Тогда возможная стоимость аренды земли с учетом переменной  $x_{ij}$ :

$$C = \sum_{i=1}^M \sum_{j=1}^{N_i} x_{ij} c_{ij},$$

где  $c_{ij}$  – стоимость аренды для размещения  $i$ -го филиала РПК на  $j$ -м участке земли.

Затраты, связанные с проведением строительных и монтажных работ:

$$V = \sum_{i=1}^M \sum_{j=1}^{N_i} x_{ij} v_{ij},$$

где  $v_{ij}$  – затраты на строительные и монтажные работы с учетом возможного размещения  $i$ -го филиала РПК на  $j$ -м участке земли.

Затраты, связанные с созданием новой инфраструктуры РПК:

$$P = \sum_{i=1}^M \sum_{j=1}^{N_i} x_{ij} p_{ij},$$

где  $p_{ij}$  – затраты на создание инфраструктуры  $i$ -го филиала РПК с учетом размещения на  $j$ -м участке земли.

Затраты, связанные с набором и подготовкой кадрового состава:

$$Q = \sum_{i=1}^M \sum_{j=1}^{N_i} x_{ij} q_{ij},$$

где  $q_{ij}$  – затраты на набор и подготовку кадров с учетом размещения  $i$ -го филиала на  $j$ -м участке земли.

Риск, связанный с размещением РПК на новых участках земли:

$$R = \sum_{i=1}^M \sum_{j=1}^{N_i} x_{ij} r_{ij},$$

где  $r_{ij}$  – риск, связанный с размещением  $i$ -го филиала РПК с учетом размещения на  $j$ -м участке земли.

Ожидаемая прибыль при новом размещении РПК:

$$D = \sum_{i=1}^M \sum_{j=1}^{N_i} x_{ij} d_{ij},$$

где  $d_{ij}$  – возможная прибыль от  $i$ -го филиала РПК с учетом размещения на  $j$ -м участке земли.

Оптимизацию размещения РПК можно осуществлять как по отдельным (локальным) показателям, так и с учетом многокритериальной задачи оптимизации.

2.1. Необходимо минимизировать стоимость аренды земли:

$$\min C, C = \sum_{i=1}^M \sum_{j=1}^{N_i} y_{ij} c_{ij}.$$

С учетом ограничений:

$$V \leq V', P \leq P', Q \leq Q', R \leq R', D \geq D',$$

где  $V', P', Q', R', D'$  – допустимые значения показателей  $V, P, Q, R, D$ .

2.2. Необходимо минимизировать затраты, связанные с проведением строительных и монтажных работ:

$$\min V, V = \sum_{i=1}^M \sum_{j=1}^{N_i} y_{ij} v_{ij}.$$

С учетом ограничений:

$$C \leq C', P \leq P', Q \leq Q', R \leq R', D \geq D',$$

где  $C'$  – допустимое значение показателя  $C$ .

2.3. Необходимо минимизировать затраты, связанные с созданием новой инфраструктуры РПК:

$$\min P, P = \sum_{i=1}^M \sum_{j=1}^{N_i} y_{ij} p_{ij}.$$

С учетом ограничений:

$$C \leq C', V \leq V', Q \leq Q', R \leq R', D \geq D'.$$

2.4. Необходимо минимизировать затраты, связанные с набором и подготовкой кадрового состава РПК:

$$\min Q, Q = \sum_{i=1}^M \sum_{j=1}^{N_i} y_{ij} q_{ij}.$$

С учетом ограничений:

$$C \leq C', P \leq P', V \leq V', R \leq R', D \geq D'.$$

2.5. Необходимо минимизировать риски, связанные с размещением РПК на новых участках земли:

$$\min R, R = \sum_{i=1}^M \sum_{j=1}^{N_i} y_{ij} r_{ij}.$$

С учетом ограничений:

$$C \leq C', V \leq V', P \leq P', Q \leq Q', D \geq D'.$$

2.6. Необходимо максимизировать прибыль от нового возможного размещения при развитии РПК:

$$\max D, D = \sum_{i=1}^M \sum_{j=1}^{N_i} y_{ij} d_{ij}.$$

С учетом ограничений:

$$C \leq C', V \leq V', P \leq P', Q \leq Q', R \leq R'.$$

В результате решения задач 2.1 – 2.5 получим экстремальные значения локальных показателей РПК –  $C^*, V^*, P^*, Q^*, R^*, D^*$ .

2.7. Для решения многокритериальной задачи оптимального размещения РПК необходимо:

- пронормировать значения показателей (преобразовать в безразмерную шкалу  $0 \div 1$ ):

$$\hat{C} = \frac{C - C^*}{C' - C^*}, \hat{V} = \frac{V - V^*}{V' - V^*}, \hat{P} = \frac{P - P^*}{P' - P^*},$$

$$\hat{Q} = \frac{Q - Q^*}{Q' - Q^*}, \hat{R} = \frac{R - R^*}{R' - R^*}, \hat{D} = \frac{D^* - D}{D^* - D'}.$$

Тогда лучшее значение для локальных показателей соответствует нулю, а худшее – единице.

Введем «веса» показателей, которые определяются с помощью экспертных оценок  $\alpha_K \leq 1$ , где

$$\sum_{K=1}^6 \alpha_K = 1.$$

Сформулируем комплексный показатель для оценки размещения РПК на земной поверхности:

$$S = \alpha_C \cdot \hat{C} + \alpha_V \cdot \hat{V} + \alpha_P \cdot \hat{P} + \alpha_Q \cdot \hat{Q} + \alpha_R \cdot \hat{R} + \alpha_D \cdot \hat{D}.$$

Необходимо минимизировать S:

$$S = \alpha_C \frac{C - C^*}{C' - C^*} + \alpha_V \frac{V - V^*}{V' - V^*} +$$

$$+ \alpha_P \frac{P - P^*}{P' - P^*} + \alpha_Q \frac{Q - Q^*}{Q' - Q^*} +$$

$$+ \alpha_R \frac{R - R^*}{R' - R^*} + \alpha_D \frac{D^* - D}{D^* - D'} =$$

$$= \frac{\alpha_C}{C' - C^*} \sum_{i=1}^M \sum_{j=1}^N y_{ij} c_{ij} + \frac{\alpha_V}{V' - V^*} \sum_{i=1}^M \sum_{j=1}^N y_{ij} v_{ij} +$$

$$+ \frac{\alpha_P}{P' - P^*} \sum_{i=1}^M \sum_{j=1}^N y_{ij} p_{ij} + \frac{\alpha_Q}{Q' - Q^*} \sum_{i=1}^M \sum_{j=1}^N y_{ij} q_{ij} +$$

$$+ \frac{\alpha_R}{R' - R^*} \sum_{i=1}^M \sum_{j=1}^N y_{ij} r_{ij} - \frac{\alpha_D}{D^* - D'} \sum_{i=1}^M \sum_{j=1}^N y_{ij} d_{ij}.$$

С учетом ограничений:

$$C \leq C', V \leq V', P \leq P', Q \leq Q', R \leq R', D \geq D'.$$

3. Для моделирования материальных потоков производства в модернизируемом РПК, воспользуемся методом агентного имитационного моделирования [3]. Основными агентами моделирования РПК будут:

3.1. Агент «описание РПК». Служит для описания состава и структуры РПК в виде фреймов транспортных соединений.

3.2. Агент «генератор заказов». Обеспечивает появление заказов для выполнения их в РПК. При этом заявки для заказов могут генерироваться следующим способом:

- периодически (детерминировано);
- с помощью заданного план-графика (детерминированного);
- с помощью случайных законов распределения (закон распределения задается пользователем с учетом анализа конкретного производства).

3.3. Агент «филиал РПК». Служит для имитации во времени производственных операций в конкретном филиале РПК (в простейшем случае это временная задержка при прохождении заявки через филиал).

3.4. Агент «диспетчер». Отвечает за управление агентами.

3.5. Агент «статистика». Обеспечивает сбор статистических данных системы.

3.6. Агент «транспортировка». Служит для составления расписания перевозок и отслеживания транспортировки грузов.

На рис. 1 представлена структура агентной модели.

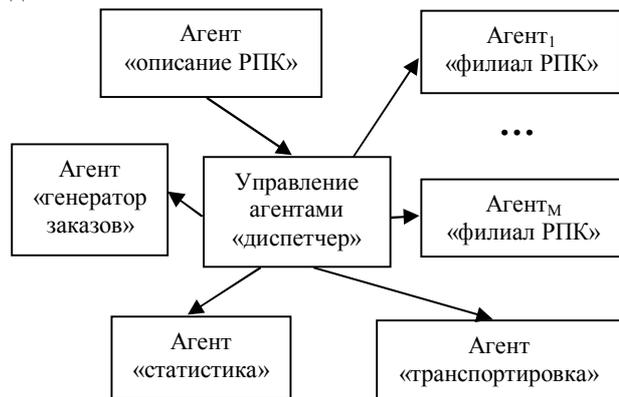


Рис. 1. Структура агентной модели

В результате моделирования можно получить следующие характеристики исследуемого РПК:

- количество заказов выполняемых РПК за за-

данный плановый период ТЛИМ;

- время выполнения отдельных заказов;
- время занятости отдельных филиалов (абсолютное и в процентах);
- время простоя отдельных филиалов (абсолютное и в процентах);
- время, затраченное на выполнение транспортных операций (абсолютное и в процентах).

### Заключение

Предложенный подход позволит на стадии долгосрочного планирования развития РПК оценить и выбрать рациональный вариант модернизации РПК с учетом возможных направлений развития, варианта размещения на земной поверхности и материальных потоков производства.

*Поступила в редакцию 29.04.2014, рассмотрена на редколлегии 19.05.2014*

**Рецензент:** д-р техн. наук, проф., профессор кафедры программной инженерии И. В. Шостак, Национальный аэрокосмический университет им. Н. Е. Жуковского «ХАИ», Харьков.

### ОЦІНЮВАННЯ ТА ВИБІР ВАРІАНТУ СТРАТЕГІЧНОГО РОЗВИТКУ РОЗПОДІЛЕНОГО ВИРОБНИЦТВА

*К. О. Западня, М. В. Иванов*

Ставиться й вирішується актуальна задача обґрунтування вибору напрямку розвитку розподіленого виробничого комплексу (РПК). З огляду на складність даного завдання, дослідження розбите на три етапи: обґрунтування й вибір варіанту розвитку РПК; вибір ділянок землі для розміщення РПК; моделювання матеріальних потоків РПК. Для завдань оптимізації використовується метод цілочисельного лінійного програмування. Для моделювання матеріальних потоків РПК використовується метод агентного моделювання. Запропонований підхід доцільно використати в завданнях довгострокового планування РПК, коли необхідно обґрунтувати модернізацію виробництва з урахуванням прогнозування ринку, що змінюється, збуту продукції.

**Ключові слова:** стратегія розвитку виробництва, розподілений виробничий комплекс, оптимізація вибору виробничої системи, агентне моделювання, матеріальні потоки виробництва.

### DISTRIBUTED PRODUCTION STRATEGIC OPTIONS EVALUATION AND SELECTION

*K. O. Zapadnya, M. V. Ivanov*

Setted and solve the actual problem of justifying the selection of the development direction of distributed industrial complex (DIC). Given the complexity of this task, the study is divided into three stages: the rationale and selection of the DIC variants; selection of land plots for the DIC; DIC material flows modeling. For method optimization integrally numerical linear programming is used. DIC uses agent-based modeling method for modeling material flow. Approach that should be used in the problems of long-term planning DIC when necessary to justify the modernization of production, taking into account changing market forecasting sales is proposed.

**Keywords:** production development strategy, distribution and production complex, choice optimization of the production system, agent-based modeling, the production material flows.

**Западня Ксения Олеговна** – канд. техн. наук, доц., научный сотрудник каф. информационных управляющих систем, Национальный аэрокосмический университет им. Н. Е. Жуковского «Харьковский авиационный институт», Харьков, Украина.

**Иванов Михаил Валерьевич** – аспирант каф. информационных управляющих систем, Национальный аэрокосмический университет им. Н. Е. Жуковского «Харьковский авиационный институт», Харьков, Украина, email: dronan13@gmail.com.

### Литература

1. *Геопространственные производственные системы. Часть 1. Анализ, моделирование, проектирование [Текст] : моногр. / В. М. Илюшко, О. Е. Федорович, О. Н. Замирец, Л. Д. Греков. – Х. : Нац. аэрокосм. ун-т «Харьк. авиац. ин-т», 2011. – 250 с.*
2. *Дубов, Ю. А. Многокритериальные модели формирования и выбора вариантов системы [Текст] / Ю. А. Дубов, С. И. Травкин, В. Н. Якимец. – М. : Наука, 1986. – 500 с.*
3. *Швецов, А. И. Распределенные интеллектуальные информационные системы [Текст] / А. И. Швецов, С. А. Яковлев. – СПб. : СПб ГЭТУ «ЛЭТИ», 2003. – 318 с.*