

УДК 656.212.5

Д. Н. КОЗАЧЕНКО, профессор, Р. В. ВЕРНИГОРА, доцент, Н. И. БЕРЕЗОВЫЙ, доцент, Р. Ш. РУСТАМОВ, аспирант, Днепрпетровский национальный университет железнодорожного транспорта им. академика В. Лазаряна, Украина

ОЦЕНКА ЭФФЕКТИВНОСТИ ТЕХНОЛОГИИ ЖЕЛЕЗНОДОРОЖНЫХ ПЕРЕВОЗОК ЗЕРНОВЫХ ГРУЗОВ С ИСПОЛЬЗОВАНИЕМ ИМИТАЦИОННОГО МОДЕЛИРОВАНИЯ

Рассмотрены различные варианты организации перевозки зерновых грузов от станций погрузки в морские порты для экспорта: повагонные отправки, отправительская маршрутизация, организация движения грузовых поездов по расписанию и др. Оценка эффективности вариантов организации перевозок выполнена с помощью разработанной имитационной модели.

Введение. Развитие экономики Украины в условиях глобализации существенно зависит от возможности ее предприятий совместно создавать конкурентоспособные продукты на мировом рынке. Одним из стратегических продуктов, которые предлагает сегодня экономика Украины, является зерно. Зерновая отрасль является базой и источником устойчивого развития агропромышленного комплекса и основой аграрного экспорта Украины. За последние десять лет объемы производства зерна в Украине увеличились на 68 % и в 2014 году составили 63,8 млн т [1]. В соответствии с программой «Зерно Украины-2015» [2], которая разработана Министерством аграрной политики и продовольствия Украины, прогнозные показатели сбора зерновых в 2017 году составят 80 млн т. Основным назначением дополнительных объемов производства зерна является экспорт. Так, по результатам 2013–2014 маркетингового года Украина вошла в тройку крупнейших экспортеров зерна с показателем 32,3 млн т, уступив лишь США (73 млн т) и странам ЕС (38,5 млн т) [3]. Более 90 % экспорта украинского зерна следует через морские порты [4]. При этом основная часть (более 60 %) экспортных перевозок зерна выполняется железнодорожным транспортом. Поэтому актуальным вопросом для экономики Украины является развитие ее железнодорожной системы с целью достижения необходимой пропускной способности для перевозок зерновых с минимальными логистическими затратами.

Анализ литературных данных и постановка задачи исследования. Основным экспортером зерна в мире являются Соединенные Штаты Америки. В этой связи вопросам организации перевозок зерновых в США посвящено значительное количество научных исследований. Следует отметить, что организация транспортного рынка США такова, что имеет место значительный уровень конкуренции между железнодорожным, автомобильным и речным транспортом. Изменение технологии перевозки зерновых грузов железнодорожным транспортом началось в начале 70-х годов XX века, когда США столкнулись со стремительным ростом как производства, так и экспорта зерна. Ответом на этот рост стала устойчивая тенденция к увеличению количества вагонов в отправке, что стимулировалось железными дорогами за счет дифференциации тарифов, соответственно для повагонных, групповых и маршрутных отправок. Кроме того, существенно стала увеличиваться погрузочная способность элеваторов до 25, 50, 75 и 100 вагонов в сутки [5]. Уменьшение себестоимости перевозок

достигается за счет более эффективного использования подвижного состава при маршрутных отправлениях и для вагонов составляет до 50 %, а для локомотивов – 50–75 % [6].

В последнее десятилетие в США начала активно развиваться технология «shuttle-train», которая заключается в перевозках зерна поездами с составами по 100–130 вагонов, которые следуют между элеватором большой погрузочной способности и портами [7]. В целом же доля железнодорожного транспорта в экспортных перевозках зерна в США в разные годы колебалась в пределах 35–50 % [8]. При этом общей тенденцией для транспортной системы США является постепенный проигрыш конкурентной борьбы автомобильному транспорту на расстояниях перевозок до 500 км и увеличение объемов железнодорожных перевозок на расстояниях более 1000 км за счет перевозок поездами «shuttle-» и «unit-train» [9].

В Российской Федерации в качестве основного метода повышения эффективности железнодорожных перевозок зерновых грузов также рассматривается отправительская маршрутизация перевозок. В частности, в [10] предлагается четырехуровневая схема экспортных перевозок зерновых, которая включает элеваторы в сельских хозяйствах, линейные, узловые и портовые элеваторы. При этом между узловыми и портовыми элеваторами перевозки осуществляются отправительскими маршрутами.

Условия экспорта зерновых в Украине существенно отличаются от США и Российской Федерации. Причинами этого являются существенно меньшие средние расстояния перевозок, высокая концентрация выгрузки зерна в морских портах Одесского региона, состояние железнодорожного подвижного состава и др.

В Украине основным видом транспорта, обеспечивающим доставку зерна на экспорт в морские порты, является железнодорожный. На его долю приходится около 61 % экспортных перевозок зерна [4]. Автомобильный транспорт перевозит около 36 % зерна и используется преимущественно для доставки на расстояния до 250 км и на большие расстояния в период массовых перевозок. Доля речного транспорта в перевозке зерна на экспорт весьма незначительна и составляет около 3 % [4].

Одной из основных проблем современной системы железнодорожных перевозок зерновых является критический износ зерновозов, который превышает 90 % [11]. При этом обновление парка при сохранении современ-

ного технического обеспечения и технологии перевозок приведет к существенному увеличению стоимости перевозок и, как следствие, к потере доходов сельхозпроизводителями. В этой связи вопросы совершенствования технического обеспечения и технологии экспортных перевозок зерна являются весьма актуальными для экономики Украины.

Характерной особенностью железнодорожных перевозок в Украине является существенная распыленность погрузки зерна на большом числе промежуточных станций. В частности, как показали исследования, для 67 % станций среднесуточная погрузка не превышает 1 вагона в сутки [12]. Одним из наиболее эффективных методов совершенствования организации вагонопотоков является техническая маршрутизация, когда на нескольких элеваторах выполняется согласованная погрузка вагонов, а на технической станции собирается сквозной поезд, следующий в порт. Весьма перспективным методом также является организация движения грузовых поездов по расписанию между специализированными элеваторами, ориентированными на накопление экспортных партий зерна [13, 14].

В этой связи была поставлена задача – оценить эффективность различных вариантов организации вагонопотоков с зерновыми грузами, следующими в морские порты, на экспорт. Надо отметить, что условия обращения вагонов при перевозке зерна подвержены влиянию значительного числа случайных факторов. В этой связи показатели использования подвижного состава и показатели эффективности всей логистической цепи поставок также будут являться случайными величинами. Имитационное моделирование является мощным и эффективным средством исследования стохастических процессов. Поэтому для решения поставленной задачи исследования технологии организации вагонопотоков с зерном были использованы методы имитационного моделирования на ЭВМ.

Построение модели. При построении функциональной модели логистическая цепь поставки зерна от элеваторов к портам рассматривается как замкнутая транспортная система. Объектом обслуживания при этом являются вагоны, с которыми в процессе их оборота выполняются определенные технологические операции. В модели каждый вагон описывается структурой

$$v = \{i, t_n, t_k, s\},$$

где i – идентификатор вагона; t_n, t_k – соответственно, момент начала и окончания выполнения технологической операции; s – идентификатор состава.

В процессе функционального моделирования каждого вагона его общий оборот разбивается на этапы, продолжительности нахождения в которых моделируются как случайные величины.

Основными фазами обслуживания, в которых находится вагон от станции погрузки до припортовой станции выгрузки, являются:

- нахождение на станции погрузки;
- следование от станции погрузки до технической станции;
- нахождение вагона на технической станции;
- следование вагона от технической станции на припортовую станцию;

– нахождение вагона на припортовой станции под выгрузкой.

Порожние вагоны следуют в обратном направлении. Принципиальная схема функционирования имитационной модели представлена на рисунке 1.

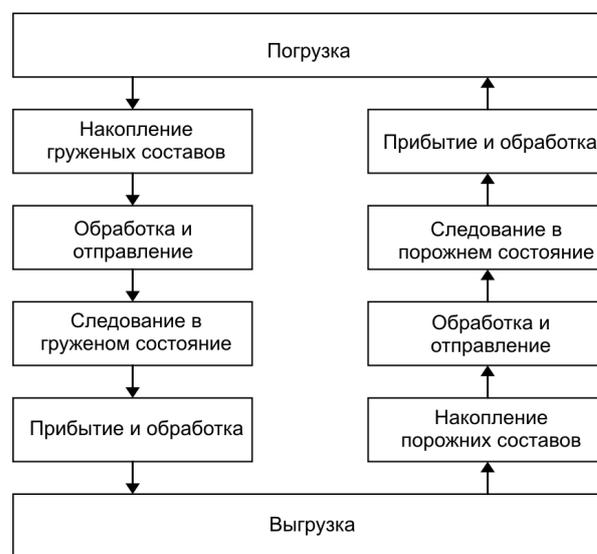


Рисунок 1 – Принципиальная схема имитационной модели следования вагонопотоков с зерном

В качестве аппаратов обслуживания в логистической системе доставки зерна железнодорожным транспортом рассматриваются подсистемы приема, грузовой работы, формирования и отправления железнодорожных станций, а также железнодорожные направления между станциями. Каждому аппарату обслуживания d_j в соответствие ставится множество вагонов V , находящихся в обработке, идентификатор следующего (в соответствии с технологией) аппарата обслуживания n , тип и параметры функции распределения случайной величины времени обслуживания (q_v, q_n):

$$d = \{V, n, q_v, q_n\}.$$

Изменение состояния аппаратов обслуживания выполняется по команде системного таймера с некоторым шагом t_c . В момент поступления вагона v_i на обслуживание определяется момент начала обслуживания t_k и рассчитывается момент окончания обслуживания

$$t_k = t_n + f(q_v, q_n).$$

Для упрощения модели при моделировании обслуживания составов для всех его вагонов устанавливается одинаковая продолжительность выполнения технологических операций. Технологические операции с вагонами считаются выполненными в случае, когда $t_k < t_c$.

Особым случаем является моделирование процессов накопления составов. При моделировании накопления составов по длине окончания выполнения операции определяется по достижению заданного числа вагонов в составе с законченными технологическими операциями. При моделировании накопления состава по времени (например, при организации движения поездов по расписанию) окончание выполнения операции выполняется в фиксированный момент времени для всех вагонов, для которых справедливо условие $t_k < t_c$. Все вагоны с

выполненными технологическими операциями переводятся в следующий аппарат (фазу) обслуживания.

Для параметризации имитационной модели были использованы результаты статистического анализа натуральных данных и результаты технологических расчетов. Для оценки продолжительности нахождения вагонов на станциях, а также в пути следования обработаны данные архива Автоматизированной системы управления грузовыми перевозками Укрзалызниці (АСУГП УЗ). Установлено, что эти случайные величины имеют логарифмически-нормальное распределение. Для примера, на рисунке 2 представлены гистограмма и функция плотности распределения случайной величины нахождения вагона на станции Нежин (Юго-Западная ж.д.) под погрузкой зерна, а на рисунке 3 – гистограмма и функция плотности распределения случайной величины продолжительности движения груженого вагона от станции Нежин до станции Черноморская (Одесская ж.д.).

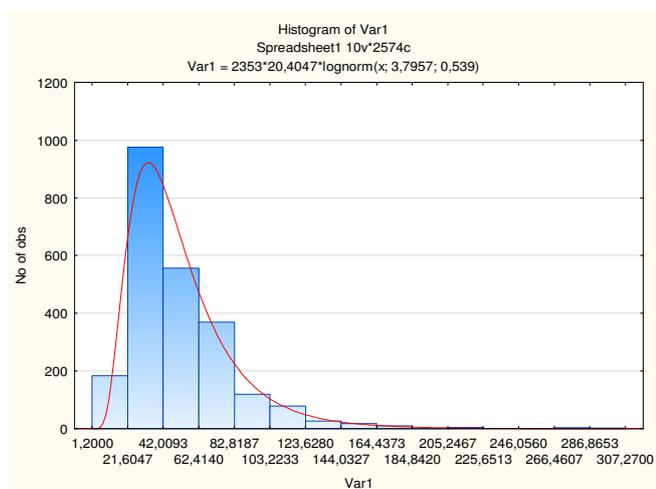


Рисунок 2 – Гистограмма и функция плотности распределения случайной величины продолжительности нахождения вагонов под погрузкой на станции Нежин

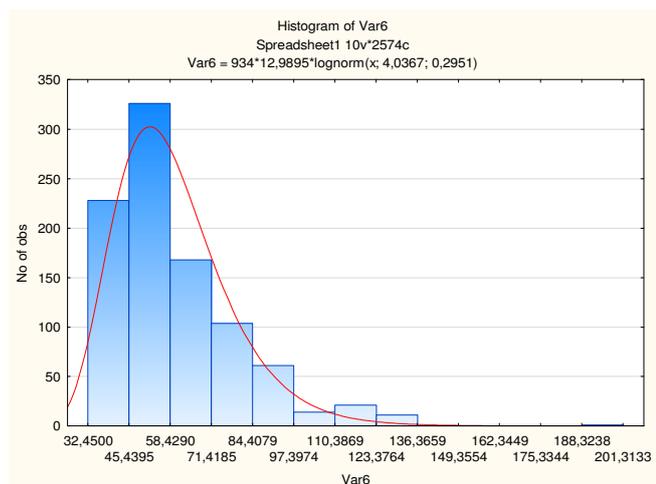


Рисунок 3 – Гистограмма и функция плотности распределения случайной величины продолжительности движения вагонов с зерном от станции Нежин до станции Черноморская

В процессе моделирования рассматривались следующие варианты организации движения вагонов с зерном:

- 1-й – отправление зерна повагонными отправками;
- 2-й – техническая маршрутизация перевозок зерна;

– 3-й – организация перевозок зерна отправительскими маршрутами;

– 4-й – организация перевозок зерна отправительскими маршрутами по расписанию с обеспечением точного времени отправления поездов за счет создания резервов времени;

– 5-й – организация перевозок зерна отправительскими маршрутами по расписанию с обеспечением точного времени отправления поездов за счет жесткого нормирования технологических операций на станциях.

Методы моделирования продолжительности нахождения вагонов в различных фазах оборота вагонов в зависимости от варианта представлены в таблице 1.

Таблица 1 – Методы моделирования продолжительности фаз оборота вагона для разных вариантов организации перевозок

Фазы оборота вагона	Варианты				
	1-й	2-й	3-й	4-й	5-й
Простой на станции погрузки	m_2	m_2	m_3	m_3	m_1
Движение груженого к технической станции	0	m_2	0	0	0
Простой груженого на технической станции	0	m_3	0	0	0
Движение груженого к припортовой станции	m_2	m_2	m_2	m_1	m_1
Простой на припортовой станции	m_2	m_3	m_3	m_3	m_1
Движение порожнего к технической станции	0	m_2	0	0	0
Простой порожнего на технической станции	0	m_3	0	0	0
Движение порожнего к станции погрузки	m_2	m_2	m_2	m_1	m_1

В таблице 1 введены следующие обозначения: 0 – данная фаза оборота вагона отсутствует для этого варианта; m_1 – продолжительность фазы является постоянной величиной; m_2 – продолжительность фазы моделируется как случайная величина с заданным законом распределения; m_3 – продолжительность определяется по результатам имитационного моделирования процесса.

Имитационная модель логистической цепи доставки зерна разработана на основе объектно-ориентированного подхода и реализована в виде программного комплекса «Nitki.exe», который позволяет моделировать процесс следования зерновозов от станций погрузки до припортовой станции выгрузки. Главное окно программы представлено на рисунке 4.

После окончания вагоном очередного цикла оборота фиксируются продолжительности нахождения его в каждой из подсистем. Далее эти данные используются для статистического анализа процесса перевозки зерна со станций погрузки в морские порты.

Оценка эффективности рассматриваемых вариантов выполнена на примере логистической системы перевозки зерна на припортовую станцию Черноморская со станций Нежин, Носовка и Бобровицы (Юго-Западная ж.д.). Указанные станции расположены на перегоне Нежин – Дарница в непосредственной близости одна от другой. Расстояние между ними не превышает 30 км. Среднее значение оборота вагона на маршруте от этих станций до станции Черноморская по данным АСУГП УЗ составляет 7,6 суток.

Рисунок 4 – Главное окно программного комплекса «Nitki.exe»

Для оценки эффективности различных вариантов организации перевозки зерна от станций погрузки Нежин, Носовка, Бобровицы до припортовой станции Черно-морская была выполнена серия экспериментов с имитационной моделью. Анализ результатов моделирования движения вагонов при перевозке зерна показывает, что при повагонных отправлениях зерновых (вариант 1) оборот вагонов составляет 7,8 суток, что практически совпадает с данными АСУГП УЗ; при технической маршрутизации перевозок (вариант 2) оборот может быть сокращен до 6,9 суток.

Концентрация грузопотоков на станции Носовка и организация отправительской маршрутизации с этой станции (вариант 3) позволяет сократить оборот вагонов до 5,7 суток. Отправление маршрутов со станции Носовка по расписанию при сохранении случайной продолжительности выполнения технологических операций и обеспечения соблюдения графика оборота составов за счет резервов времени (вариант 4) не является эффективным методом сокращения оборота вагонов и приводит к увеличению его продолжительности до 10,4 суток. В то же время при жестком контроле времени выполнения технологических операций (вариант 5) оборот вагонов может быть сокращен до трех суток при организации погрузки маршрутов через сутки.

Выводы. Увеличение объемов производства и экспорта украинского зерна в условиях значительной изношенности парка зерновозов требует от железных дорог Украины поиска новых эффективных подходов к организации перевозок зерновых грузов от линейных элеваторов к портовым терминалам. Одним из наиболее перспективных направлений повышения эффективности железнодорожных перевозок является отправительская маршрутизация, которая, совместно с организацией движения маршрутов по расписанию, позволяет существенно повысить показатели использования парка зерновозов и сократить их требуемый рабочий парк. Вместе с тем отправительская маршрутизация зерновых грузов требует концентрации их погрузки на узловых

станциях, а организация движения маршрутов по расписанию требует слаженной работы и четкого выполнения взаимных обязательств как от отправителей, так и от железной дороги. Оценку технико-экономических показателей логистической цепи поставки зерна от станций погрузки к портам целесообразно производить с использованием методов имитационного моделирования, которое является мощным инструментом исследования сложных динамических систем.

Выполненные с помощью разработанной имитационной модели исследования показали, что применение отправительской маршрутизации позволяет сократить оборот вагона в рассматриваемой логистической цепи поставок на 27 %, а применение «твердого» графика движения отправительских маршрутов с четким соблюдением технологического процесса на станциях погрузки и выгрузки позволяет сократить оборот вагона на 62 %, по сравнению с перевозкой повагонными отправлениями. Соответствующим образом сокращается и потребный парк зерновозов, необходимый для осуществления перевозок, что позволяет обновить парк грузовых вагонов и увеличить погрузочные способности элеваторов при сохранении логистических расходов на перевозку зерна на существующем уровне.

Список литературы

- 1 Государственная служба статистики Украины [Электронный ресурс] : офиц. сайт. – Режим доступа : <http://www.ukrstat.gov.ua>. – Дата доступа : 16.09.2015.
- 2 Программа «Зерно Украины-2015». – Киев : ДІА, 2011. – 48 с.
- 3 Украина вошла в тройку крупнейших экспортеров зерна [Электронный ресурс]. – Режим доступа : <http://www.epravda.com.ua/rus/news/2014/07/28/478366>. – Дата доступа : 19.09.2015.
- 4 **Рустамов, Р. Ш.** Оценка перспектив развития зерновой логистики в Украине / Р. Ш. Рустамов // Сб. науч. тр. Днепропетровского нац. ун-та ж.-д. трансп. Серия “Транспортные системы и технологии перевозок”. Вып. 8. – Днепропетровск : ДНУЖТ, 2014. – С. 127–133.

5 **Schnake, L. D.** Inland grain elevator operating costs and capital requirements / L. D. Schnake, C. A. Stevens, Jr. // *Bulletin* 644. – 1983. October – 32 p.

6 **Kenkel, P.** An Economic Analysis Of Unit-Train Facility Investment [Electronic resource] / P. Kenkel, S. Henneberry, H. N. Agustini // Selected Paper prepared for presentation at the Southern Agricultural Economics Association Annual Meeting, Tulsa, Oklahoma. – 2004. February 14–18. – Mode of access : <http://ageconsearch.umn.edu/bitstream/34748/1/sp04ke02.pdf>. – Date of access : 20.09.2015.

7 **Prater, M.** The Effects of Increased Shuttle-Train Movements of Grain and Oilseeds [Electronic resource] / M. Prater, A. Sparger, D. O'Neil, Jr. – Mode of access : <http://www.ams.usda.gov/sites/default/files/media/The%20Effects%20of%20Increased%20Shuttle-Train.pdf>. – Date of access : 20.09.2015.

8 **Sparger, A.** Transportation of U.S. Grains: A Modal Share Analysis, June 2015. U. S. Dept. of Agriculture, Agricultural Marketing Service [Electronic resource] / A. Sparger, N. Marathon. – Mode of access : <http://dx.doi.org/10.9752/TS049.06-2015>. – Date of access : 20.09.2015.

9 **Prater, M. E.** Grain and Oilseed Shipment Sizes and Distance Hauled by Rail. U.S. Department of Agriculture, Agricultural Marketing Service. Washington, DC. December 2013 [Electronic resource] / M. E. Prater, A. Sparger. – Mode of access : <http://dx.doi.org/10.9752/TS059.12-2013>. – Date of access : 20.09.2015.

10 **Дэльз, С. В.** Логистические подходы к оценке эффективности логистических схем доставки экспортного зерна / С. В. Дэльз // *Логистика*. – № 8(61). – М. : Изд-во «Агентство Маркет Гайд», 2011. – С. 44–46.

11 **Мямлин, С. В.** Проблемы и перспективы перевозки зерновых грузов железнодорожным транспортом в Украине / С. В. Мямлин, Д. Н. Козаченко, Р. В. Вернигора // *Залізничний транспорт України*. – 2013. – № 2. – С. 32–34.

12 **Козаченко, Д. Н.** Повышение эффективности экспортных железнодорожных перевозок зерна за счет концентрации грузопотоков / Д. Н. Козаченко, Р. В. Вернигора, Р. Ш. Рустамов // Развитие научной и инновационной деятельности на транспорте : Тез. докл. 77-й Междунар. науч.-практ. конф. – Харьков : УкрГУЖТ, 2015. – С. 106–107.

13 **Некрасевич, В. И.** Твердый график движения поездов – основа высокоэффективного использования локомотивного парка / В. И. Некрасевич // *Вестник Белорусского государственного университета транспорта: Наука и транспорт*. – 2007. – № 1(14). – С. 38–44.

14 Резервы времени при организации движения грузовых поездов по расписанию / Д. Н. Козаченко [и др.] // *Наука и прогресс транспорта. Вестник Днепропетровского национального университета железнодорожного транспорта*. – 2015. – № 2(56). – С. 105–115.

Получено 20.09.2015

D. N. Kozachenko, R. V. Vernigora, N. I. Berezovy, R. Sh. Rustamov. Evaluating the effectiveness of the technology of grain rail transportation using simulation.

The article discusses various options for transportation of grain cargoes from the loading station to the ports for export: wagonload, the shipper's routing, organization of freight trains on schedule and others. Evaluation of options for transportation performed using the developed simulation model.