

*М. А. Гассельберг, А. В. Синельщиков*

**ПРИМЕНЕНИЕ ИМИТАЦИОННОГО МОДЕЛИРОВАНИЯ  
ПРИ АНАЛИЗЕ ЭФФЕКТИВНОСТИ ПРОЦЕССОВ  
ПЕРЕГРУЗКИ ЗЕРНА**

*M. A. Gasselberg, A. V. Sinelshchikov*

**THE APPLICATION OF SIMULATION MODELING  
FOR THE ANALYSIS OF THE EFFICIENCY  
OF GRAIN TRANSFER PROCESSES**

Освещается проблема эффективности работы терминалов по перевалке зерновых грузов в портах Российской Федерации. Обоснована актуальность проблемы разработки предложений по повышению конкурентоспособности российских портов на Каспии. Обосновано применение имитационного моделирования как метода исследования сложных производственных систем, способствующего решению поставленной задачи.

**Ключевые слова:** имитационное моделирование, перевалка зерновых грузов, зерновой терминал, эффективность работы зерновых терминалов, технологические линии перевалки зерна.

The problem of the efficiency of grain terminals in the ports of the Russian Federation is covered. The actuality of the problem of the developing of proposals, concerning the competitive recovery of Caspian ports, is justified. The application of simulation modeling as an investigation technique to the researches of complex production systems, which can be considered as a contributory factor for the set-up problem, is justified.

**Key words:** simulation modeling, grain transfer, grain terminal, grain terminal efficiency, operation lines of grain transfer.

Зерно в настоящее время остается одним из конкурентоспособных товаров на мировом рынке. Спрос на зерно достаточно высок в странах Кавказа и Закавказья, в Иране, Турции, России, Белоруссии, Прибалтийских государствах, Польше. В номенклатуре морских перевозок зерновые грузы составляют 2 %.

По данным ООО «Международная зерновая компания», динамика экспорта зерна сохраняется положительной (2005/2006 гг. – 12 068 тыс. т; 2006/2007 гг. – 12 368 тыс. т; 2007/2008 гг. – 12 855 тыс. т). Небольшой спад, вызванный неурожаем зерновых, наблюдался в 2010/2011 гг., в связи с чем правительство Российской Федерации вводило эмбарго на экспорт зерновых культур до 01.07.2011 г. В настоящее время экспорт зерна осуществляется в прежних объемах. Через южные порты России экспортируется до 90 % зерна, из которых 80 % приходится на порт Новороссийска.

На основе существующих фактических данных о вводе элеваторных мощностей в регионах Российской Федерации составлен прогноз ввода элеваторных мощностей в Южном федеральном округе, тыс. т: 2010 г. – 165,80; 2011 г. – 182,27; 2012 г. – 198,73; 2013 г. – 190,50.

На построенных в советское время портовых элеваторах, рассчитанных на отгрузку зерновых судами дедвейтом до 10 тыс. т, применяют устаревшие технологии перевалки зерна с высокой материалоемкостью и энергоемкостью, что влияет на стоимость и скорость обработки грузов в портах. Вследствие этого предприятия не обладают достаточным экспортным потенциалом, их пропускная способность ограничена.

В этой связи актуальной остается задача повышения конкурентоспособности российских портов на Каспии, специализирующихся на перевалке зерна.

Зерновые культуры принято подразделять на три основные группы: злаки (хлебные – пшеница, рожь, овес, ячмень и просовидные – просо, кукуруза, сорго, рис), бобовые (горох, фасоль, соя, арахис) и масличные (подсолнечник, лен, конопля). Поскольку каждая группа имеет свои собственные характеристики, которые необходимо учитывать при выборе технологии перегрузки и проектировании перегрузочных комплексов, задача выбора наиболее эффективного технологического решения зачастую носит исследовательский характер.

Зерновой терминал представляет собой систему со сложной технической и организационной структурой [1, 2], каждый элемент которой оказывает непосредственное влияние на эффективность перегрузки, обработки и хранения зерна.

Основными направлениями по решению задачи по повышению эффективности функционирования перегрузочных комплексов могут являться:

1. Модернизация (совершенствование) технологии перевалки зерна при использовании резервов существующего на предприятии оборудования.
2. Модернизация (замена) оборудования перегрузочного комплекса.
3. Расширение номенклатуры перегружаемого груза с использованием нового оборудования и создания новых технологических линий.

Одним из современных методов анализа эффективности производственных процессов является имитационное моделирование.

Метод имитационного моделирования дает возможность одновременно рассматривать и оценивать несколько альтернативных вариантов технологических решений. Наиболее популярной системой имитационного моделирования в настоящее время является пакет Anylogic компании XJTechnologies.

С использованием пакета Anylogic создаются модели по каждому отдельному элементу технологической цепочки перевалки зерна. Применение имитационного моделирования позволяет:

1. Проанализировать динамику работы перегрузочного комплекса по перевалке зерна в течение продолжительного времени (1 года), а также воспроизвести динамику производственного процесса в ускоренном режиме с сохранением естественной временной последовательности производственных событий (2 часа машинного времени = календарный месяц).
2. С использованием имитационной модели выяснить максимальные расчетные и фактические характеристики пропускной способности.
3. Разработать рекомендации по использованию технологических цепочек в зависимости от планируемого груза.

Практическая реализация предложенного подхода была осуществлена для ОАО «Астраханский зерновой терминал». На предприятии существуют три технологические линии перевалки зерновых (рис. 1): линия прямой перегрузки зерна ж/д вагон-судно, линия вагон-крытый склад силосного типа (2 склада объемом 4 200 т каждый) и линия склад-судно.

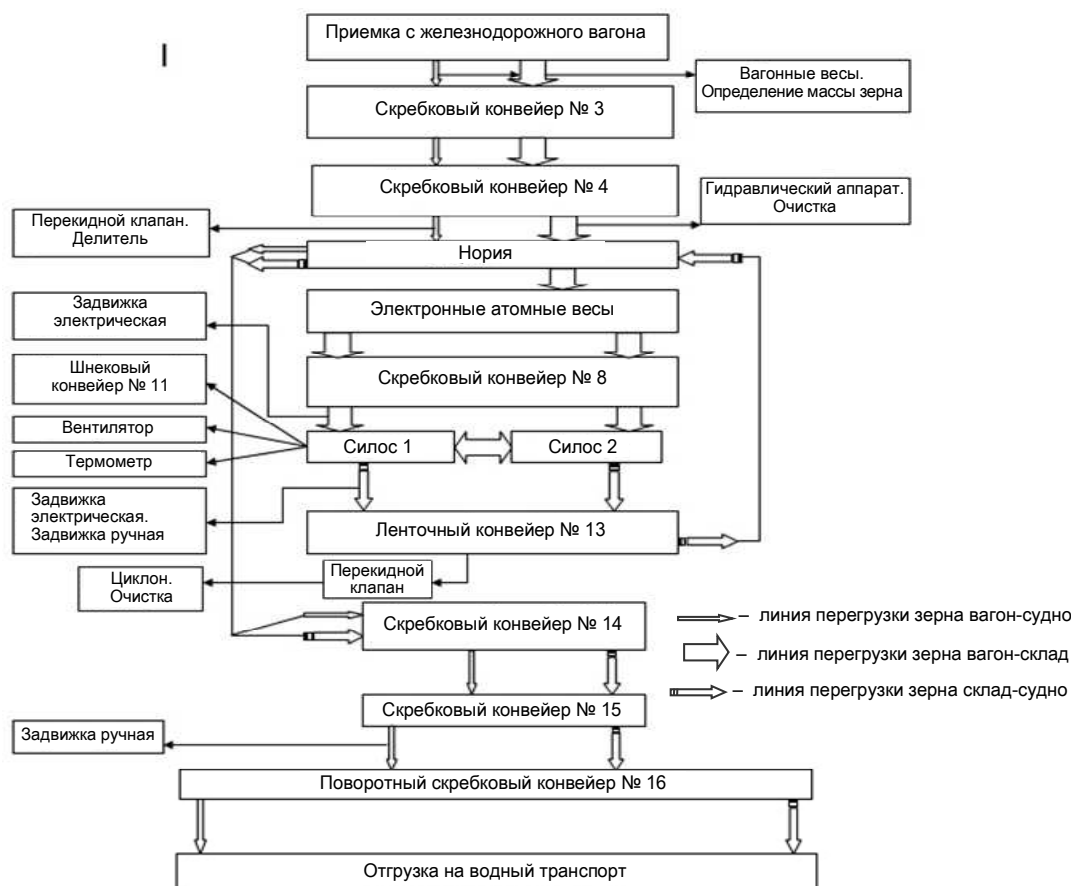


Рис. 1. Технологические линии перевалки зерна ОАО «Астраханский зерновой терминал»

Оборудование компании BORK (США) представлено очистительными устройствами, галереями ленточных и скребковых транспортеров, двумя нориями, пунктами электронного взвешивания. На предприятии строится новый крытый склад под масличные культуры, ориентировочный срок ввода в эксплуатацию – декабрь 2011 г.

Разработанная модель функционирования терминала включает (рис. 2):

1. Вагон-хоппер, вместимость – 70 т.
2. Судно, дедвейт – до 3 000 т.
3. Крытые склады силосного типа, объем – 4 200 т каждый.
4. Систему ленточных и скребковых конвейеров.
5. Норью.

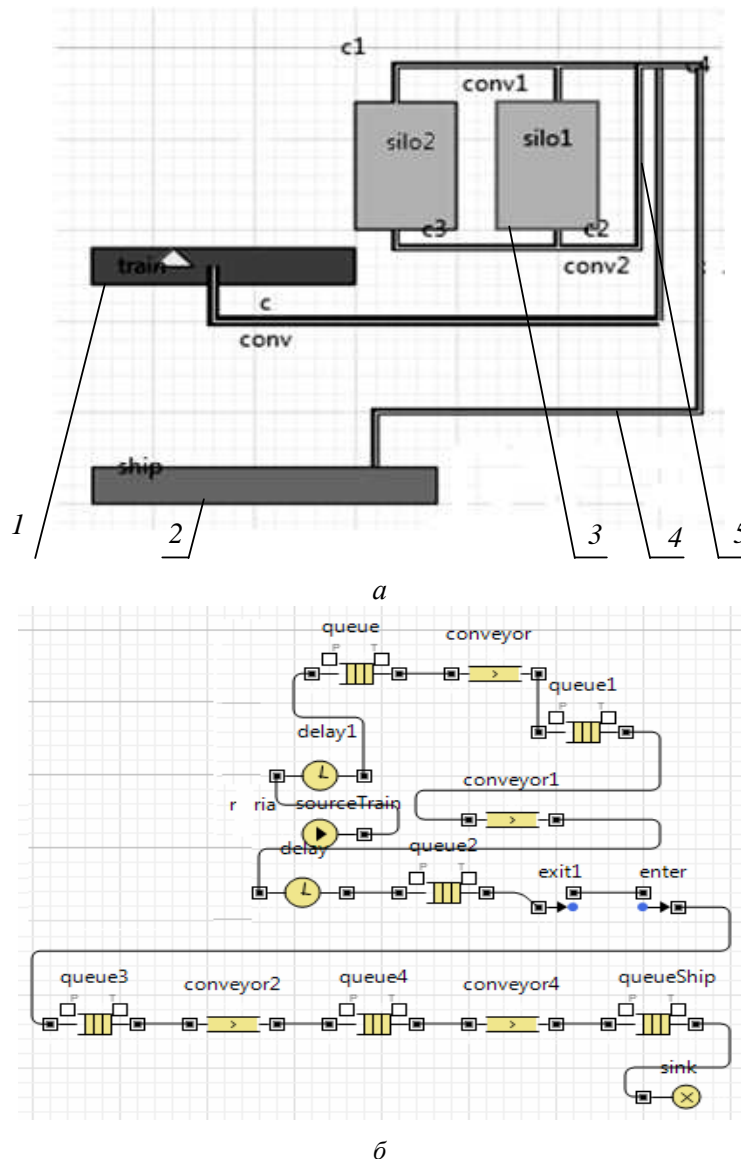


Рис. 2. Имитационная модель «Технологические линии перевалки зерна ОАО «Астраханский зерновой терминал»: *a* – анимационная схема: 1 – вагон-хоппер; 2 – судно; 3 – склад силосного типа; 4 – система конвейеров; 5 – нория; *б* – логическая блок-схема

При выборе блоков схемы имитационной модели учтены следующие параметры оборудования: для конвейеров ленточных и скребковых – длина  $l$ , м; скорость  $v$ , м/с; для нории – высота  $h$ , м, и скорость  $v$ , м/с; для складов – объем  $V$ , т; для перегружаемого зерна – погонная масса  $q$ , кг/м; для железнодорожного вагона – объем  $V$ , т; для судна – дедвейт  $deadweight$ , т.

Так, например, скребковый конвейер № 3, обозначенный на рис. 2, б «conveyor», имеет следующие параметры:  $l = 10,85$  м;  $v = 1$  м/с. Входящий грузопоток моделируется процессом, значения которого распределяются в соответствии с нормальным законом распределения (рис. 3):

$$f(x) = \frac{1}{\sqrt{2\pi\sigma^2}} \exp\left(-\frac{[x-\mu]^2}{2\sigma^2}\right), \quad (1)$$

где  $\mu$  – параметр сдвига;  $\sigma$  – среднее квадратическое отклонение.

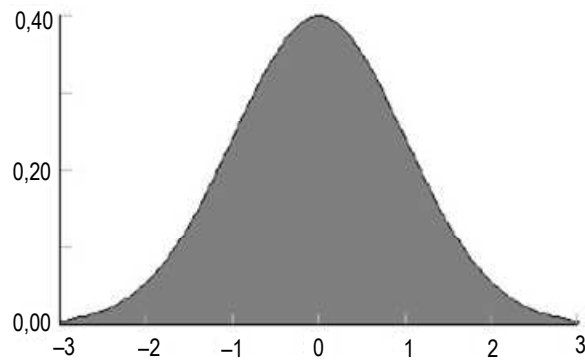


Рис. 3. График нормального распределения при  $\sigma = 1$ ,  $\mu = 0$

Значения при выгрузке зерна из железнодорожного вагона на конвейер моделируются в соответствии с законом распределения Эрланга (рис. 4):

$$f(x) = \frac{(x - \min)^{m-1}}{\beta^m \Gamma(m)} \exp\left(-\frac{[x - \min]}{\beta}\right), \quad (2)$$

где  $\min$  – минимальное значение величины  $x$ ;  $m$  – параметр формы, целое положительное;  $\beta$  – параметр масштаба,  $\beta > 0$ .

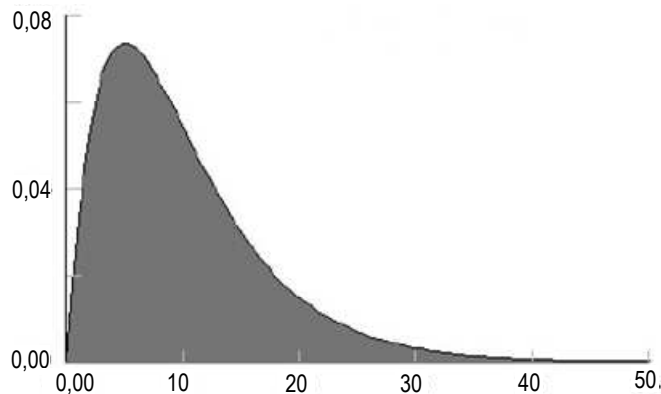


Рис. 4. График распределения Эрланга при  $\beta = 5$ ,  $\min = 0$

Так, в частности, в результате имитационного моделирования процесса перевалки зерна по технологической линии вагон-склад (силос) при проектной производительности 180 т/ч получены данные о количестве зерна, поступившего на склад терминала за 26 часов. При сравнении с фактическими данными, полученными в процессе перегрузки ячменя компанией GROSS на ОАО «Астраханский зерновой терминал» от 09.10.2011 за аналогичный временной отрезок, можно видеть, что показатели реальной выгрузки (рис. 5, а) и данные имитационной модели (рис. 5, б) (при погонной массе груза  $q = 0,05$  т/м, времени отгрузки  $t = 26$  ч, скорости конвейера  $v = 1$  м/с) совпадают с небольшой погрешностью.

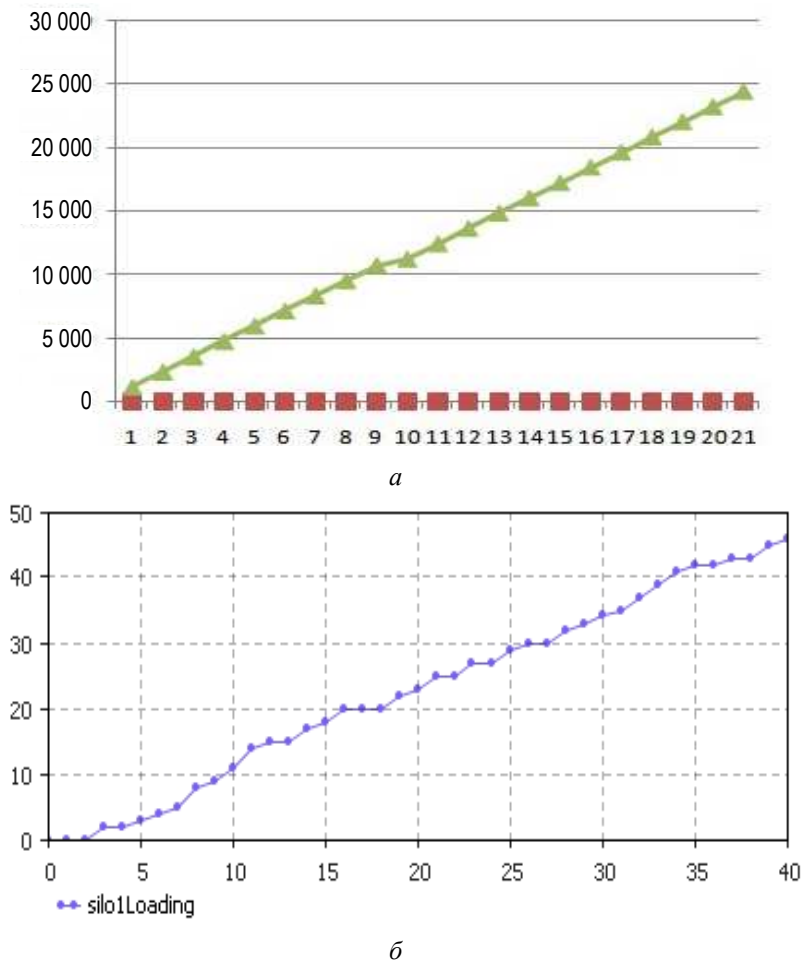


Рис. 5. Выгрузка ячменя: *a* – фрагмент фактической выгрузки от 09.10.2011; *б* – фрагмент данных имитационной модели

Таким образом, созданная имитационная модель перегрузки зерновых на терминале ОАО «Зерновой терминал» адекватна, и полученные экспериментально статистические данные могут использоваться для оптимизации перевалочных процессов, а также для прогнозирования эффективности работы терминала при смене оборудования или добавлении новых технологических линий.

СПИСОК ЛИТЕРАТУРЫ

1. Синельщиков А. В., Иванников А. М., Гассельберг М. А. Разработка предложений по повышению эффективности работы терминалов по перевалке зерновых грузов // Вестн. Астрахан. гос. техн. ун-та. – 2010. – № 2 (50). – С. 31–41.
2. [www.agronews.ru](http://www.agronews.ru).

Статья поступила в редакцию 1.11.2011

**ИНФОРМАЦИЯ ОБ АВТОРАХ**

**Гассельберг Маргарита Алексеевна** – Астраханский государственный технический университет; магистрант кафедры «Подъемно-транспортные машины, производственная логистика и механика машин»; mgasselberg@yandex.ru.

**Gasselberg Margarita Alekseevna** – Astrakhan State Technical University; Undergraduate of the Department "Lifting-and-Shifting Machines, Industrial Logistics and Machinery Mechanics"; mgasselberg@yandex.ru.

**Синельщиков Алексей Владимирович** – Астраханский государственный технический университет; канд. техн. наук, доцент; зав. кафедрой «Подъемно-транспортные машины, производственная логистика и механика машин»; laex@bk.ru.

**Sinelshchikov Alexey Vladimirovich** – Astrakhan State Technical University; Candidate of Technical Science, Assistant Professor; Head of the Department "Lifting-and-Shifting Machines, Industrial Logistics and Machinery Mechanics"; laex@bk.ru.