

*Представлено математичну модель зміни економічного прибутку логістичного системи під час перевезення вантажів автомобільним і залізничним транспортом. Виявлено закономірності зміни рівноцінної відстані перевезення вантажів автомобільним і залізничним транспортом, за допомогою розробки регресійних моделей під час перевезення вантажів в ізотермічних транспортних засобах при наявності й відсутності під'їзних колій*

*Ключові слова: рівноцінна відстань, автомобільний транспорт, залізничний транспорт, логістична система, економічний прибуток*

*Представлена математическая модель изменения экономической прибыли логистической системы при перевозке грузов автомобильным и железнодорожным транспортом. Выявлены закономерности изменения равноценного расстояния перевозки грузов автомобильным и железнодорожным транспортом, посредством разработки регрессионных моделей при перевозке грузов в изотермических транспортных средствах при наличии и отсутствии подъездных путей*

*Ключевые слова: равноценное расстояние, автомобильный транспорт, железнодорожный транспорт, логистическая система, экономическая прибыль*

# ЗАКОНОМЕРНОСТИ ИЗМЕНЕНИЯ РАВНОЦЕННОГО РАССТОЯНИЯ ПЕРЕВОЗКИ ГРУЗОВ АВТОМОБИЛЬНЫМ И ЖЕЛЕЗНОДОРОЖНЫМ ТРАНСПОРТОМ

**Ю. А. Давидич**

Доктор технических наук, профессор\*

**М. В. Ольхова**

Ассистент\*

E-mail: olhovamv@gmail.com

\*Кафедра транспортных систем и логистики

Харьковский национальный университет

городского хозяйства им. А.Н. Бекетова

ул. Революции, 12, г. Харьков, Украина, 61002

## 1. Введение

В последнее время можно констатировать увеличение объемов перевозки грузов в изотермических транспортных средствах. Объем перевозок грузов, требующих соблюдения температурного режима, в том числе скоропортящихся грузов, составил 54% от общего объема перевозок железнодорожным транспортом в Российской Федерации в 2010 г. Из них в изотермических вагонах различных типов перевезено 76% [1]. Статистическая информация касательно перевозок в изотермических вагонах по территории Украины в свободном доступе отсутствует. Результаты опроса экспертов рынка грузовых перевозок, позволяют утверждать об увеличении спроса на перевозки грузов в изотермических вагонах различных типов как автомобильным, так и железнодорожными видами транспорта. Таким образом, основными конкурентами в этих перевозках можно считать автомобильный и железнодорожный виды транспорта. Исследования по определению сфер рационального использования данных видов транспорта при условии их взаимозаменяемости ранее уже проводились, но с учетом развития концепций логистики, потеряли свою научную ценность и практическую значимость. Приведенное выше свидетельствует, что вопрос определения сферы рационального использования автомобильного и железнодорожного видов транспорта в настоящее время является актуальной научной задачей и представляет практический интерес. Одним из возможных вариан-

тов, определения сферы рационального использования видов транспорта, является нахождение равноценного расстояния перевозки при конкретных условиях.

## 2. Анализ последних исследований и публикаций

Вопросы выбора вида транспорта рассматривались в работах [2-10], при этом исследователи использовали различные критерии. Сравнение показателей доставки дерева автомобильным и железнодорожным транспортом в междугороднем сообщении из Carlisle в Chirk компанией Kronospan UK (Великобритания) представлено в работе [3]. В данном расчете внимание уделено экологическим факторам. Политика Министерства транспорта Великобритании направлена на стимулирование перевозки грузов железнодорожным и водным транспортом, и на уменьшение объема грузовых автомобильных перевозок в государстве. Это обусловлено большой значимостью таких критериев как экологичность и безопасность перевозок. [4]. Исследование железнодорожных и автомобильных терминалов для грузового транспорта представлено в работах [5-7]. В данных работах не учитываются невидимые выгоды и затраты при перевозке автомобильным или железнодорожным транспортом.

Анализ последних исследований и публикаций показал отсутствие исследований равноценного расстояния перевозки грузов автомобильным и железнодорожными видами транспорта в логистических

системах. Исследования равноценного расстояния, представленные в работах [8, 9], базируются на движеческих и начально-конечных операциях. Данный подход не учитывает ряд факторов, влияющих на выбор вида транспорта, например, сохранность груза, стоимость груза и др. В проекте [10] методика базируется также на данном подходе, но учитывает только иммобилизацию средств. Таким образом, актуальным и необходимым считается исследование равноценного расстояния перевозки грузов автомобильным и железнодорожным транспортом с учетом логистических требований.

### 3. Цель исследования

Целью исследования является определение закономерностей изменения равноценного расстояния перевозки грузов автомобильным и железнодорожным видами транспорта в логистической системе при наличии и отсутствии подъездных путей у грузоотправителя и грузополучателя.

### 4. Результаты исследования

Исследование проводилось с использованием методов математического моделирования. В качестве критериев функционирования логистической системы наибольшее распространение получили показатели, характеризующие экономический результат работы системы [11]. Данное исследование предполагает рассмотрение логистической системы без изменения инфраструктуры, соответственно исключает наличие инвестиционной составляющей. В связи с этим не целесообразным считается использование критерия чистой приведенной стоимости (NPV). В качестве критерия эффективности предлагается использовать экономическую прибыль. Математическая модель изменения экономической прибыли логистической системы при перевозке грузов автомобильным и железнодорожным видами транспорта имеет вид:

$$EP_{sys} = (D_{Vidpr} - C_{Vidpr}) + (D_{trans} - C_{trans}) + (D_{Oder} - C_{Oder}), \quad (1)$$

где  $D_{Vidpr}$  - доход грузоотправителя, у.е./мес;  $C_{Vidpr}$  - совокупные затраты грузоотправителя, у.е./мес;  $D_{trans}$  - доход транспортного участника, у.е./мес;  $C_{trans}$  - совокупные затраты транспортного участника, у.е./мес;  $D_{Oder}$  - доход грузополучателя, у.е./мес;  $C_{Oder}$  - совокупные затраты грузополучателя, у.е./мес.

Использование экономической прибыли в качестве критерия эффективности логистической системы при выборе вида транспорта позволяет учесть неявные выгоды и затраты логистической системы, которые оказывают влияние на принятие решения о выборе вида транспорта. К ним можно отнести сохранность груза, иммобилизацию денежных средств, своевременность доставки и др.

Для исследования выбора вида транспорта в логистической системе было выделено отдельные группы исследования: 1) по территориальному признаку; 2) по инфраструктурной составляющей (наличие или отсутствие подъездных путей), рис. 1.

Рассмотрение варианта, при котором отсутствуют подъездные железнодорожные пути у грузоотправителя, не считается актуальным, исходя из анализа работы последнего. Предприятия, объем готовой продукции или сырья которых составляет более 500 т/мес, в большинстве случаев, имеют на своей территории подъездные железнодорожные пути.



Рис. 1. Последовательность проведения эксперимента

Результаты расчета модели (1) при месячном объеме перевозок 2000 т автомобильным и железнодорожным видами транспорта изображены на рис. 2. Условиями эксперимента были приняты следующие: перевозка грузов осуществляется в пределах Украины, груз требует соблюдения температурного режима (изотермические транспортные средства), отсутствуют подъездные железнодорожные пути у грузополучателя, грузоподъемность транспортного средства и вагона – 20 т и 50 т соответственно. Вагоны находятся в собственности предприятий железных дорог. Разработанная модель является аналогом реально существующей логистической системы.

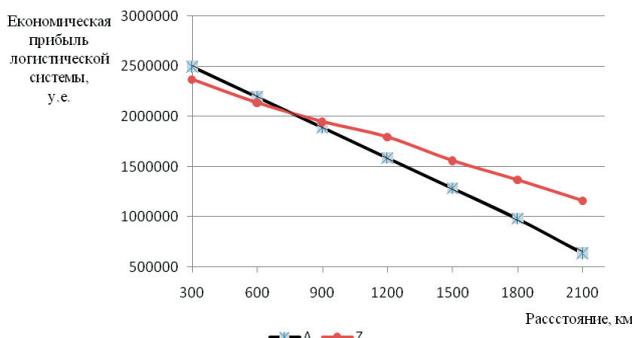


Рис. 2. Зависимость экономической прибыли логистической системы от расстояния перевозки автомобильным (А) и железнодорожным (Z) видами транспорта по Украине при отсутствии подъездных железнодорожных путей у грузополучателя

Диапазоны варьирования модели были приняты на основе анализа фактических показателей функционирования логистической системы (на примере пивной компании): объем перевозок груза за период,  $Q_{Vidpr} = 2000$  т/мес; коэффициент, который учитывает часть фактически полученного груза грузополучателем при перевозке автомобильным транспортом,  $k_{sx}^A = 0,948$ ; коэффициент, который учитывает часть фактически полученного груза грузополучателем при перевозке железнодорожным транспортом,  $k_{sx}^Z = 0,951$ ; тариф на транспортирование автомобильным транс-

портом на 1 км,  $T_{1km}^A = 1,5$  у.е./км; время на формирование заказа при транспортировании автомобильным транспортом,  $t_{of}^A = 2$  сут; время на формирование заказа при транспортировании железнодорожным транспортом,  $t_{of}^Z = 6$  сут; тариф на транспортирование железнодорожным транспортом на 1 км по Украине,  $T_{1km-UKR}^{trans(Z)} = 3,38$  у.е./км; стоимость одной тонны продукции у грузоотправителя,  $S_{real}^{Vidpr} = 362,5$  у.е./т; время транспортирования груза, время ожидания погрузки и время простоя под погрузкой на участке от грузовой железнодорожной станции к грузополучателю,  $t_{trans}^{Z-A} = 6$  ч.

Точка пересечения двух прямых указывает на одинаковое значение экономической прибыли логистической системы. Данную точку можно называть точкой равноценного расстояния, при котором логистической системе безразлично использование автомобильного или железнодорожного транспорта.

В ходе эксперимента были проанализированы расстояния перевозок грузов автомобильным и железнодорожным транспортом. Сопоставление расстояний между 110 городами Украины и России по автомобильным дорогам и железнодорожным путям позволило установить незначительное их отклонение, около 2%. Учитывая последнее, расстояние между грузоотправителем и грузополучателем принято одинаковым для автомобильного и железнодорожного сообщения. В сроке доставки грузов были выделены следующие элементы: время оформления заказа и время транспортировки. Это считается целесообразным, исходя из того, что данные показатели существенно отличаются для каждого вида транспорта, в связи с разными технологическими особенностями транспортного процесса. Для расчета времени транспортировки автомобильным и железнодорожным видами транспорта были разработаны регрессионные модели [12].

На следующем этапе были определены показатели, которые могут оказывать влияние на значение равноценного расстояния, обоснование которых приведено в работе [13]. В качестве таковых были выделены 13 факторов. Только два из них не изменяют значение равноценного расстояния: производственная мощность погрузочно-разгрузочных механизмов на складе грузоотправителя и на складе грузополучателя, рис. 3.

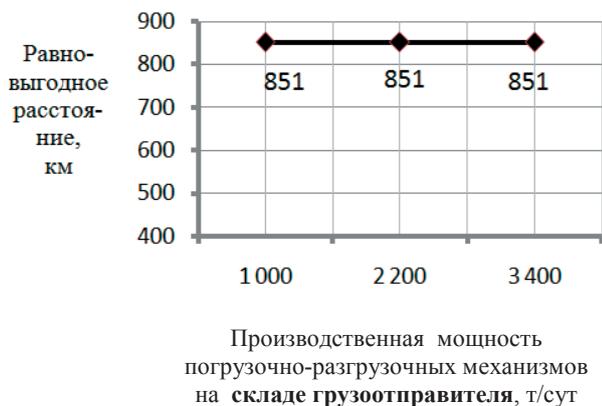
На основании данных полученных при проведении моделирования, представляется возможным математическое описание закономерностей между технологическими и экономическими параметрами транспортного процесса и равноценным расстоянием перевозок.

Для построения регрессионных моделей определения равноценного расстояния при разных условиях выбрана модель линейного типа. Для вычисления коэффициентов регрессии применяли метод наименьших квадратов. Характеристики параметров модели определяли с применением методов статистики [14].

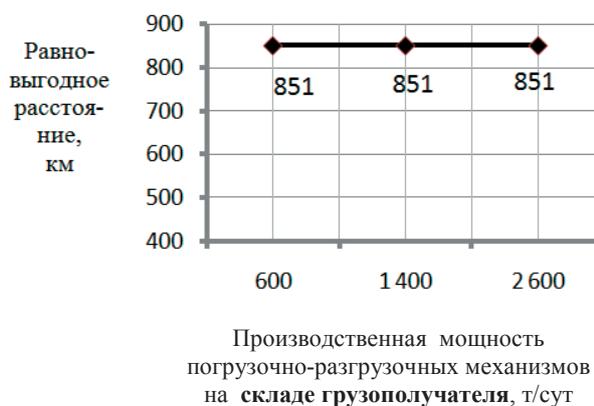
Модель изменения равноценного расстояния при магистральных грузовых перевозках по Украине при наличии подъездных железнодорожных путей имеет вид:

$$L_{UKR} = 7751,18 \cdot k_{sx}^A - 5464,74 \cdot k_{sx}^Z + \frac{1228,23}{Q_{Vidpr}} - 1617,08 \cdot T_{1km}^A - 21,86 \cdot t_{of}^A + 6,37 \cdot t_{of}^Z + 302,82 \cdot T_{1km-UKR}^{trans(Z)} \quad (2)$$

Из всех исследуемых факторов значимыми оказались только семь, о чем свидетельствует расчетные значения критерия Стьюдента, которые больше табличного значения (1,66), и отсутствие нуля в доверительном интервале каждого коэффициента модели. Расчетное значение критерия Фишера (2,51) превышает табличное (3162,65). Это говорит о том, что модель изменения равновыгодного расстояния при магистральных грузовых перевозках описывает результаты эксперимента лучше, чем простейшая, в которой, при любом наборе значений переменных, результатом является константа, которая равняется среднему значению. После разработки регрессионной модели проводили ее статистическую оценку. Теснота связи между зависимой переменной и факторами, которые влияют на ее уровень, определяли коэффициентом множественной корреляции, который составил 99,54. Полученное значение свидетельствует о довольно высокой степени тесноты связи между показателем равноценного расстояния и отобранными факторами. Оценка адекватности разработанной модели выполнялась по показателю средней ошибки аппроксимации, составила 7,85%.



а)



б)

Рис. 3. Зависимость равноценного расстояния перевозки груза от производственной мощности погрузочно-разгрузочных механизмов: а) на складе грузоотправителя; б) на складе грузополучателя

Модель изменения равноценного расстояния при магистральных грузовых перевозках по Украине при отсутствии подъездных железнодорожных путей имеет следующий вид:

$$L_{\text{UKR}}^{\text{No}} = 21651,7 \cdot k_{\text{sx}}^{\text{A}} - 18760,4 \cdot k_{\text{sx}}^{\text{Z}} + \frac{3445,15}{Q_{\text{Vidpr}}} - \\ - 2434,12 \cdot T_{1\text{km}}^{\text{A}} - 38,18 \cdot t_{\text{of}}^{\text{A}} + 11,29 \cdot t_{\text{of}}^{\text{Z}} + \\ + 346,62 \cdot T_{1\text{km}-\text{UKR}}^{\text{trans(Z)}} + 0,84 \cdot S_{\text{real}}^{\text{Vidpr}} + 94,6 \cdot t_{\text{trans}}^{\text{Z-A}} \quad (3)$$

Расчетное значение критерия Фишера (2,39) превышает табличное (1001,98). Коэффициент множественной корреляции составил 99,23, что свидетельствует о довольно высокой степени тесноты связи между показателем равноценного расстояния и отобранными факторами. Средняя ошибка аппроксимации составила 9,05%.

Анализ полученных моделей показал, что стоимость одной тонны продукции у грузоотправителя при наличии подъездных путей практически не изменяет значение равноценного расстояния (разница меньше 1 км), однако при отсутствии – увеличивает значение равноценного расстояния. Это связано с увеличением иммобилизационных затрат, которое происходит вследствие увеличения времени транспортирования груза.

Модель изменения равноценного расстояния при магистральных грузовых перевозках в международном сообщении Украина–Россия при наличии подъездных железнодорожных путей имеет следующий вид:

$$L_{\text{MIZ}} = 15508,8 \cdot k_{\text{sx}}^{\text{A}} - 15832,8 \cdot k_{\text{sx}}^{\text{Z}} + \frac{1119,31}{Q_{\text{Vidpr}}} - \\ - 1078,59 \cdot T_{1\text{km}}^{\text{A}} - 9,84 \cdot t_{\text{of}}^{\text{A}} + 6,73 \cdot t_{\text{of}}^{\text{Z}} + \\ + 517,93 \cdot T_{1\text{km}-\text{UKR}}^{\text{trans(Z)}} + 187,5 \cdot T_{1\text{km}-2}^{\text{trans(Z)}} + 1,23 \cdot l_{\text{UKR}}, \quad (4)$$

где  $T_{1\text{km}-2}^{\text{trans(Z)}}$  - тариф на транспортирование железнодорожным транспортом на 1 км от грузовой железнодорожной станции в Украине до грузовой железнодорожной станции в России, у.е./км;  $l_{\text{UKR}}$  - расстояние перевозки груза по Украине, км.

Расчетное значение критерия Фишера (2,39) превышает табличное (6705,67). Коэффициент множественной корреляции составил 99,88. Средняя ошибка аппроксимации равна 4,5%.

В данной модели рациональным считается выделение двух отдельных тарифов на транспортирование железнодорожным транспортом. Основанием для этого послужили особенности международных железнодорожных перевозок: тарифные ставки формируются отдельными странами и отличаются между собой. Усреднение данного показателя существенно повысит ошибку проведенных исследований. Вследствие этого введен еще один дополнительный фактор – расстояние перевозки груза по Украине.

Модель изменения равноценного расстояния при магистральных грузовых перевозках в международном сообщении Украина–Россия при отсутствии подъездных железнодорожных путей имеет следующий вид:

$$L_{\text{MIZ}}^{\text{No}} = 14631,3 \cdot k_{\text{sx}}^{\text{A}} - 14451,3 \cdot k_{\text{sx}}^{\text{Z}} + \frac{2126,44}{Q_{\text{Vidpr}}} - \\ - 1103,01 \cdot T_{1\text{km}}^{\text{A}} - 13,2 \cdot t_{\text{of}}^{\text{A}} + 4,62 \cdot t_{\text{of}}^{\text{Z}} + \\ + 416,19 \cdot T_{1\text{km}-\text{UKR}}^{\text{trans(Z)}} + 166,07 \cdot T_{1\text{km}-2}^{\text{trans(Z)}} + \\ + 0,87 \cdot l_{\text{UKR}} + 27,72 \cdot t_{\text{trans}}^{\text{Z-A}} + 0,34 \cdot S_{\text{real}}^{\text{Vidpr}}. \quad (5)$$

Расчетное значение критерия Фишера (2,35) превышает табличное (3274,73). Коэффициент множественной корреляции составил 99,8. Средняя ошибка аппроксимации составила 4,77%.

Представленные модели соответствуют условиям теоремы Гаусса-Маркова. Полученные результаты позволяют сделать вывод о допустимости использования данных моделей для определения равноценного расстояния при перевозке грузов в изотермических транспортных средствах автомобильным и железнодорожным видами транспорта.

## 5. Выводы

Анализ существующих исследований показал, что при определении сфер рационального использования автомобильного и железнодорожного видов транспорта использовались критерии затрат, экологический критерий, иммобилизация денежных средств в интересах отдельных участников транспортного процесса. При этом отсутствуют исследования касательно выбора вида транспорта в логистической системе с учетом доходов и совокупных затрат.

Представлена математическая модель изменения экономической прибыли логистической системы при магистральных перевозках грузов автомобильным и железнодорожным видами транспорта, которая в отличие от существующих, учитывает неявные затраты логистической системы.

Закономерности изменения равноценного расстояния перевозки грузов автомобильным и железнодорожным видами транспорта в логистической системе целесообразно рассматривать для четырех вариантов:

- 1) наличие подъездных путей у грузоотправителя и грузополучателя при перевозке грузов по территории Украины.
- 2) отсутствие подъездных путей у грузополучателя при перевозке грузов по территории Украины.
- 3) наличие подъездных путей у грузоотправителя и грузополучателя при перевозке грузов в международном сообщении Украина – Россия.
- 4) отсутствие подъездных путей у грузополучателя при перевозке грузов в международном сообщении Украина – Россия.

Выявлено, что значение равноценного расстояния перевозки грузов автомобильным и железнодорожным видами транспорта зависит от следующих факторов: коэффициент, который учитывает часть фактически полученного груза грузополучателем при перевозке автомобильным транспортом и железнодорожным транспортом соответственно; объем перевозок груза за период, т/мес; тариф на транспортирование автомобильным транспортом на 1 км; тариф на транспортирование железнодорожным

транспортом на 1 км по Украине; тариф на транспортирование железнодорожным транспортом на 1 км от грузовой железнодорожной станции в Украине до грузовой железнодорожной станции в России; время на формирование заказа при транспортировании автомобильным транспортом и железнодорожным транспортом соответственно; стоимость одной тонны продукции у грузоотправителя; время транспортирования груза, время ожидания погрузки и время простоя под погрузкой на участке от грузовой желез-

нодорожной станции к грузополучателю; расстояние перевозки груза по Украине.

Использование выявленных закономерностей позволит повысить эффективность работы логистической системы за счет оптимизации транспортного процесса.

Для этого считается целесообразным разработка практических рекомендаций по применению данных моделей в реальных условиях функционирования грузовых перевозок.

## Литература

1. Презентация инвестиционной возможности ОАО «Рефсервис» [Электронный ресурс] // Российские железные дороги. – Режим доступа: [http://rzd.ru/static/public/rzd?STRUCTURE\\_ID=5150&layer\\_id=3290&id=3839#1](http://rzd.ru/static/public/rzd?STRUCTURE_ID=5150&layer_id=3290&id=3839#1) – Загл. с экрана.
2. B. Starr McMullen. Research in Transportation Economics. [Текст] / B. Starr McMullen. // Vol.6 Transportation after deregulation. – 2001. - p. 160.
3. Achieving Supply Chain Efficiency through Backloading and Multi-modal Transport // Freight Best Practice. Case study, August 2010, p.12. Режим доступа: <http://www.dft.gov.uk>.
4. Freight // Department for transport. Режим доступа: <http://www.dft.gov.uk/topics/freight>. – Название с экрана.
5. Arnolda, P. Modeling a rail/road intermodal transportation system. [Текст] / P. Arnolda, D. Peetersa, I. Thomasa // Transportation Research Part E: Logistics and Transportation Review. 2004. - Vol. 40 (3), 255-270.
6. Athanasios Ballis, John Golias. Comparative evaluation of existing and innovative rail–road freight transport terminals [Текст] / Athanasios Ballis, John Golias // Transportation Research Part A: Policy and Practice. – 2002. - 36 (7), 593-611.
7. Milan, Janic. Modelling the full costs of an intermodal and road freight transport network [Текст] / Milan Janic // Transportation Research Part D: Transport and Environment. – 2007. - 12(1), 33-44.
8. Правдин, Н.В. Взаимодействие различных видов транспорта в узлах [Текст] / Н. В. Правдин, В. А. Негрей // Под общ. ред. Н.В. Правдина // – 2-е изд. перераб. и доп. – Мн: Выш. Школа, 1983. – 247с.
9. Тихончук, Ю. Н. Рациональное распределение перевозок между железнодорожным и автомобильным транспортом [Текст] / Ю. Н. Тихончук, Т. В. Елисеева, А. В. Каяшев //.– М.: Транспорт, 1972. – 136 с.
10. Выбор вариантов доставки грузов на основе равновыгодных расстояний с учетом иммобилизации средств [Электронный ресурс] // Инновации бизнесу. – Режим доступа: <http://www.ideasandmoney.ru/Ntrr/Details/147585>. – Загл. с экрана.
11. Рославцев, Д.М. Оцінка ефективності рішень в проектах модернізації логістичних ланцюгів [Текст] / Д. М. Рославцев // Восточно-европейский журнал передовых технологий. Вып. 5/3(47) – X.: Технологический центр, 2010. – с. 18-20.
12. Ольхова, М. В. Обґрунтування сфери раціонального використання автомобільного і залізничного видів транспорту: моделі визначення часу перевезення [Текст] / М. В. Ольхова // Тези доповідей ІХ Міжнародної науково-практичної конференції «Маркетинг та логістика в системі менеджменту». – Львів. – Вид-во Львівської політехніки, 2012. – С. 314.
13. Ольхова, М.В. Дослідження параметрів технологічного процесу перевезення вантажів автомобільним і залізничним видами транспорту [Текст] / М. В. Ольхова // Логістика промислових регіонів: зб. наук. праць за матеріалами V Міжнародної науково-практичної конференції. – Донецьк: ЛАНДОН-XXI, 2013. – С. 176-178.
14. N.R. Draper, H. Smith. (1998). Applied regression analysis. – 3rd ed. Wiley, 736p.