

advertising. Int. J. of Industrial Organization, 30:80{88. **4** D. Blei, A. Ng, Jordan, M. (2003). Latent dirichlet allocation. J. of Machine Learning Research, 3:993{1022. **5**. Cai, J.-F., Candès, E. J., Shen, Z. (2008). A singular value thresholding algorithm for matrix completion. SIAM J. on Optimization, 20:1956{1982. **6**. Cerrato, D., Jones, R., Gupta, A. (2011). Classification of proxy labeled examples for marketing segment generation. ACM SIGKDD Conf. on Knowledge Discovery and Data Mining. **7**. Chen, Y., Berkhin, P., Anderson, B., Devanur, N. R. (2011). Real-time bidding algorithms for performance-based display ad allocation. ACM SIGKDD Conf. on Knowledge Discovery and Data Mining. **8**. De Leeuw, J., Hornik, K., Mair, P. (2009). Isotone optimization in r:

Pool-adjacent-violators algorithm (pava) and active set methods. J. of Statistical Software, 32(5):1{24. **9**. Williams, D. Liao, X., Xue, Y., Carin, L., Krishnapuram, B. (2007). On classification with incomplete data. IEEE Trans. On Pattern Analysis And Machine Intelligence, 29. **10**. Menon, A., Chitrapura, K., Garg, S., Agarwal, D., Kota, N. (2011). Response prediction using collaborative filtering with hierarchies and side-information. ACM SIGKDD Conf. on Knowledge Discovery and Data Mining. **11**. Visa, S., Ralescu, A. (2005). Issues in mining imbalanced data sets - a review paper. Proc. of the 16th Midwest AI and Cognitive Science Conf., 67{73

Поступила (received) 25.12.2015

Відомості про авторів / Сведения об авторах / About the Authors

Савченкова Анастасія Юрївна – Студентка, Кафедра Комп'ютерних наук, Донецький національний технічний університет, пл. Шибанкова, 2, м. Красноармійськ, Донецька область, Україна, 85300,

Савченкова Анастасія Юрьевна – Студентка, Кафедра Компьютерных наук, Донецкий национальный технический университет, пл. Шибанкова, 2, г. Красноармейск, Донецкая область, Украина, 85300;

Savchenkova Anastasiya – Student, the Department of Computer Sciences, Donetsk National Technical University; Shybankova, 2., Krasnoarmeysk, Donetsk region, Ukraine, 85300; e-mail: nasstya05@gmail.ru

УДК 338.24.01

Е. А. КОВАЛЕВА

РЕГРЕССИОННАЯ МОДЕЛЬ СЕБЕСТОИМОСТИ ЭЛЕКТРОННЫХ МУЛЬТИМЕДИЙНЫХ ИЗДАНИЙ

Данная статья посвящена построению эконометрических моделей себестоимости электронных мультимедийных изданий на основании статистических данных издательского центра "Академия". В статье автор рассматривает эконометрические модели двух типов – аддитивную и мультипликативную. Каждая из моделей построена прямым пошаговым методом, на каждой итерации которого методом наименьших квадратов оценивались значения параметров модели, анализировались статистическая значимость коэффициента при переменной, введенной на текущей итерации, и значение скорректированного коэффициента множественной детерминации.

Ключевые слова: эконометрическая модель, себестоимость, электронные мультимедийные издания.

Введение. На сегодняшний день ХНЭУ им. С. Кузнеця активно занимается разработкой и внедрением в учебный процесс электронных мультимедийных изданий (ЭМИ) [1]. Этот процесс осуществляется в русле общих проводимых в отечественном образовании реформ, обусловленных переходом к новой образовательной парадигме, приоритетами которой является повышение качества подготовки специалистов и их соответствие уровню требований интенсивно развивающегося общества. Одним из перспективных путей повышения качества подготовки специалистов признается широкое внедрение в учебный процесс ЭМИ, позволяющих управлять процессами образовательной деятельности. К числу ЭМИ в том числе относятся электронные учебники и пособия (ЭУ и ЭП). Вопрос стоимости создания ЭУ и ЭП – один из ключевых, ответ на который может предопределить судьбу электронного учебного издания. Каких-либо регламентированных методик расчета стоимости создания электронных учебных изданий пока не создано [2]. В данном случае каждая команда разработчиков вынуждена создавать собственную методику расчета стоимости создания ЭУ и ЭП.

Так как создание ЭМИ является достаточно новым видом деятельности, вопрос себестоимости продуктов такого рода весьма сложен. С одной стороны, создание ЭУ и ЭП – достаточно трудоемкий и специфический процесс, требующий приложения большого

количества усилий [3]; с другой стороны, рынок диктует свои ограничения на цену ЭМИ.

Так как утвержденной или хотя бы общепринятой методики расчета стоимости создания ЭМИ нет, в данной статье автор предлагает свой вариант расчета себестоимости ЭМИ, используя эконометрические модели, концепции, приемы.

Анализ литературных данных и постановка проблемы. Для обоснованного выбора методологических подходов к моделированию себестоимости ЭМИ проанализировано достаточное количество работ, включающих опыт эконометрического моделирования большинства социально-экономических систем. Так, в работах [4 – 6] показано, что на сегодняшний день лучшие результаты дают именно эконометрические модели. Работы [7, 8] посвящены ценообразованию и себестоимости различных объектов так же используя эконометрический подход. Но ни одна из выше перечисленных работ не описывает себестоимость ЭМИ. Это объясняется тем, что ЭМИ достаточно новый вид продукции, себестоимость которого является не решенной задачей.

С другой стороны, существует достаточное количество статей, посвященных технологиям создания, развитию и практическому использованию ЭМИ как в учебном процессе, так и в коммерческой сфере [9 – 11].

© Е. А. Ковалева. 2015

Нужно отметить, что в данных работах вопросам себестоимости ЭМИ уделено недостаточное внимание, не имеющее математического подтверждения вообще.

Цели и задачи исследования. Исходя из проведенного анализа литературы в статье ставится следующая цель: разработать экономико-математическую модель себестоимости электронных мультимедийных изданий на основании статистических данных издательского центра «Академия» (Россия, г. Москва) и ХНЭУ им. С. Кузнеця (Украина, г. Харьков).

Для выше поставленной цели необходимо решить следующие задачи:

1. Отбор факторов (количественных показателей), тем или иным образом влияющих на результирующий признак – себестоимость ЭМИ.

2. Спецификация формы модели на основании графического представления исходных данных и теоретико-экономического анализа.

3. Оценка параметров модели с учетом отобранных факторов и выбранной формой модели.

4. На основе реальных данных провести расчет себестоимости электронного учебника издательского центра ХНЭУ им. С. Кузнеця.

Спецификация модели себестоимости ЭМИ.

Себестоимость любой продукции, включая ЭМИ – это денежное выражение непосредственных затрат предприятия на производство и реализацию продукции.

Проведя теоретический анализ непосредственных затрат на изготовление ЭМИ, а также специфики самой продукции, автором данной работы предлагаются следующие факторы, влияющие (прямо или косвенно) на стоимость реализации подобного программного продукта: стоимость труда команды разработчиков ЭМИ и привлекаемых внешних участников в процесс его реализации; стоимость лицензионного программного обеспечения, используемого для создания электронного учебного издания; объем одной публикации (количество слайдов) ЭМИ; стоимость тиражирования, распространения и хранения ЭМИ; стоимость сопровождения, переработки и переиздания ЭМИ.

Для формирования эффективной методики многофакторной оценки себестоимости ЭМИ с учетом построения прогнозной модели в данной статье пред-

лагается проведение анализа влияния вышеизложенных показателей на примере отдельного вида экономической деятельности издательского центра «Академия» (Россия, г. Москва). Данный анализ включает в себя основные методы статистического моделирования. Обработка собранной аналитической информации проводится с помощью корреляционно-регрессионного анализа. Фрагмент исходных данных, а так же показатели и обозначения, используемые при выполнении корреляционно-регрессионного анализа, приведены на рис. 1.

В результате проведения корреляционного анализа была получена матрица коэффициентов Пирсона (табл. 1). Пороговое значение значимости коэффициента корреляции, определяющее наличие стохастической связи в данном исследовании, было выбрано 0,4.

Таким образом, исследование результатов ранжирования показывает, что наибольшее влияние на результирующий признак Y (себестоимость ЭМИ) оказывают следующие показатели: X_2 (объем публикации), X_4 (затраты на хранение и распространение), X_5 (отчисления за использование лицензионного ПО); среднее влияние на результирующий признак Y оказывает показатель X_3 (средняя цена записи CD); и наименьшее влияние оказывает показатель X_1 (средняя стоимость оплаты труда разработчиков).

После того, как были выявлены наиболее существенные факторы, влияющие на себестоимость рассматриваемого объекта, был проведен подбор вида функциональной зависимости, т. е. выбор вида многофакторной регрессионной модели, основываясь на графическом отображении исходных данных (рис. 2).

От правильности этого выбора зависит, насколько построенная модель будет адекватна изучаемому явлению, т. е. будет ли она соответствовать ему при заданном уровне точности, что в свою очередь, предопределяет практическую ценность получаемых результатов.

Согласно рис. 2 можно использовать наиболее распространенную аддитивную модель, описывающуюся соотношением (1).

$$Y = \beta_0 + \sum_{j=1}^m \beta_j X_j . \quad (1)$$

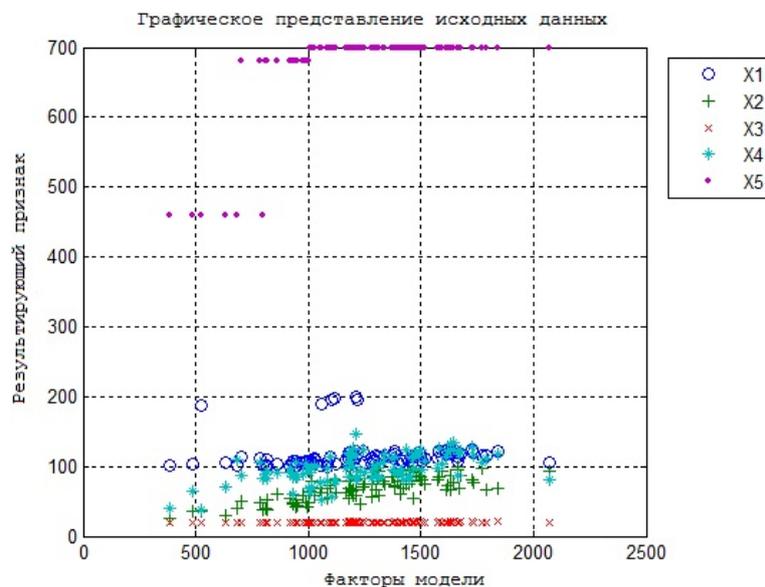
Таблица 1 – Корреляционная матрица Пирсона

Факторы	Затраты на производство (Y)	Средняя стоимость оплаты труда разработчиков (X1)	Объем публикации (количество слайдов) (X2)	Средняя цена записи CD (X3)	Затраты на хранение и распространение (X4)	Отчисления за использование лицензионного ПО (X5)
Y	1	-	-	-	-	-
X1	0,034	1	-	-	-	-
X2	0,774	0,089	1	-	-	-
X3	0,481	-0,119	0,383	1	-	-
X4	0,560	-0,157	0,426	0,703	1	-
X5	0,590	0,017	0,575	0,332	0,409	1

Затраты на производство (Y)	Средняя стоимость оплаты труда разработчиков (X1)	Объем публикации (количество слайдов) (X2)	Средняя цена записи CD (X3)	Затраты на хранение и распространение (X4)	Отчисления за использование лицензионного ПО (X5)
1011	107	64	20,33	92	700
799	102	37	20,04	83	460
995	107	41	19,87	95	680
1243	122	71	20,48	124	700
1507	108	80	20,13	96	700
947	102	41	20,26	106	680
1015	107	78	19,89	70	700
1169	109	63	19,92	97	700
1051	101	68	19,79	76	700
1372	116	84	20,23	112	700
1463	113	79	20,46	113	700
684	102	40	20,07	109	460
1251	106	75	20,23	91	700

1336	115	74	20,4	117	700
1412	109	60	20,26	93	700
1447	108	75	19,79	81	700
1593	114	94	20,33	103	700
1663	107	99	20,24	86	700
1114	198	81	19,83	79	700
863	104	61	19,97	92	680
932	107	49	20,1	85	680
978	105	58	20,01	89	680
1621	123	73	20,21	121	700
1199	119	59	20,4	125	700
999	105	49	19,66	69	680
935	103	46	19,37	61	680
1494	120	88	20,25	116	700

Рис. 1 – Исходные данные для построения модели

Рис. 2 – Зависимость исходных данных: \circ – фактор X1, $+$ – фактор X2, \times – фактор X3, $*$ – фактор X4, \bullet – фактор X5 от результирующего признака Y

С другой стороны, задача построения модели себестоимости ЭМИ является производственной задачей, для которой наиболее часто используются мультипликативные модели:

$$Y = \beta_0 \cdot \prod_{j=1}^m X_j^{\beta_j} . \quad (2)$$

Одним из преимуществ модели (2) является то, что параметры b_j ($j = \overline{1, m}$) имеют конкретный эко-

номический смысл – в таких моделях они являются коэффициентами эластичности.

Исходя из проведенного теоретического анализа автором было принято решение по построению модели многофакторной регрессии как вида (1), так и вида (2) с дальнейшим выбором одной из них, максимально удовлетворяющей соответствующим критериям качества моделей.

Оценка параметров и анализ адекватности моделей. Построение моделей (1) и (2) производилось прямым пошаговым методом. На каждой итерации пошагового метода выполнялись следующие действия: методом наименьших квадратов оценивались значения параметров модели, анализировались статистическая значимость коэффициента при переменной, введенной на данной итерации, и значение скорректированного коэффициента множественной детерминации. Если оказывалось, что переменную стоит вводить в модель, то проводился анализ остатков на наличие выбросов. Наблюдения, соответствующие остаткам, классифицированным как выбросы, удалялись. Для оставшихся наблюдений оценивались значения коэффициентов регрессии, после чего переходили к следующей итерации. В результате были по-

строены две модели, в которые вошли от трех до пяти факторов.

Таким образом, результат выполнения построения моделей вида (1) и (2) описывается соответствующими соотношениями (3) – (5):

- аддитивная модель после выбраковки незначимых членов модели:

$$\tilde{Y} = 10.81X_2 + 3.93X_4 + 0.88X_5 ; \tag{3}$$

- мультипликативная модель без учета корреляционной зависимости факторов с результирующим признаком:

$$\tilde{Y} = 0.02X_1^{1.08} X_2^{1.78} X_3^{2.54} X_4^{1.31} X_5^{1.86} ; \tag{4}$$

- мультипликативная модель после выбраковки незначимых членов модели:

$$\tilde{Y} = X_2^{1.80} X_4^{1.34} X_5^{1.83} . \tag{5}$$

Статистический анализ данных моделей приведен в табл. 2.

Таблица 2 – Эконометрические показатели моделей (3) – (5)

Вид модели	Аддитивная модель	Мультипликативная	
		Без учета данных табл. 1	С учетом данных табл. 1
Значимость членов модели	Все коэффициенты являются значимыми	0.02 не значим 1.08 не значим 1.78 значим 2.54 не значим 1.31 значим 1.86 значим	Все коэффициенты являются значимыми
RMSE	184.12	184.63	143.60
R ²	0.6793	0.7699	0.7674
R ² _{adj}	0.6658	0.7575	0.7576
F	67.08 (модель значима в целом)	62.24 (модель значима в целом)	104.49 (модель значима в целом)

Интерпретация коэффициентов модели (3). Коэффициент $\beta_2 = 10.81$ показывает, что увеличение объема публикации на каждые 10 слайдов приводит к увеличению себестоимости ЭМИ на 108 грн 10 коп; коэффициент $\beta_4 = 3.93$ показывает, что при увеличении затрат на хранение и распространение ЭМИ на 100 грн приводит к увеличению себестоимости последнего на 393 грн; коэффициент $\beta_5 = 0.88$ показывает, что изменение отчислений за использование лицензионного ПО на каждые 1000 грн приводит к увеличению себестоимости ЭМИ на 880 грн.

Анализ эконометрических показателей модели (3). Коэффициент детерминации $R^2 = 0.6793$ показывает, что данная модель объясняет 67.93% общей изменчивости себестоимости ЭМИ. Однако недостаток этого коэффициента состоит в том, что его значение не убывает с ростом числа объясняющих переменных. В этом смысле предпочтительней использовать для анализа модели скорректированный коэффициент детерминации $R^2_{adj} = 0.6658$ (66.58 %), который может

уменьшаться при введении в регрессионную модель переменных, не оказывающих существенного влияния на зависимую переменную. Дисперсионное отношение Фишера $F = 67.08$ показывает, что изменчивость расчетных значений почти в 67 раз превышает изменчивость помехи (остатков модели) и так как оно превышает его табличное значение ($F_t = 11.69$) при принятом уровне значимости 5%, то модель можно признать значимой в целом.

Аналогичным образом поддаются экономической обоснованности как коэффициенты моделей (4) и (5), так и их статистические показатели.

Для выбора оптимальной модели был выбран критерий *RMSE* – среднеквадратическая ошибка регрессии, которая рассчитывается как

$$RMSE = \sqrt{\frac{1}{n-m} \sum_{i=1}^n (Y_i - \tilde{Y}_i)^2} . \tag{6}$$

Как видно из формулы (6), *RMSE* показывает, насколько велика, в среднем, разница между действительными наблюдениями и значениями, предсказан-

ными моделью. По определению, чем меньше RMSE, тем точнее предсказания. Для приведенных выше трех моделей предпочтение необходимо отдать аддитивной модели (3) и мультипликативной модели (5).

Апробация модели. Построенные модели прошли апробацию на реальных объектах. Автору удалось добиться величины средней ошибки аппроксимации аддитивной модели (3) на уровне 8 % и муль-

типликативной модели (5) на уровне 10 %, что является, в принципе, неплохим результатом.

Для иллюстрации того, как проводилась апробация модели (3) в данной работе приведены расчеты себестоимости электронного учебника «Вища математика: математичний аналіз, лінійна алгебра, аналітична геометрія» (ISBN 978-966-676-568-3) издательского центра ХНЭУ им. С. Кузнеца (Украина, г. Харьков) по исходным данным, приведенным в табл. 3.

Таблица 3 – Затраты на создание электронного учебника «Вища математика: математичний аналіз, лінійна алгебра, аналітична геометрія»

Факторы, входящие в модель	Значения факторов, входящих в модель
объем публикации (X2)	1935 слайдов
затраты на хранение и распространение (X4)	143 грн
отчисления за использование лицензионного ПО (X5)	700 грн

Подставляя значение характеристик табл. 3 в уравнение (3), получим:

$$\tilde{Y} = 10.81 \cdot 1935 + 3.93 \cdot 143 + 0.88 \cdot 700 = 22095 \text{ грн.}$$

Таким образом, с помощью регрессионной модели (3) была получена величина себестоимости электронного учебника, которая составила 22095 грн.

В результате оценки этого учебника классическими методами экспертной оценки была получена следующая себестоимость, равная 20195 грн.

Вычислим относительную погрешность оценки с помощью регрессионной модели:

$$\varepsilon = \frac{22095 - 20195}{20195} \times 100\% = 9.4 \%$$

Полученное значение погрешности (9,4 %) свидетельствует о высоком качестве прогноза.

Выводы. В статье была рассмотрена и реализована методология построения эконометрических моделей различной формы, предназначенных для анализа и прогноза себестоимости, электронных мультимедийных изданий. Особенностью предложенной методологии эконометрического моделирования является пошаговая процедура построения эконометрических зависимостей и отбор лучших моделей на основании учета среднеквадратической ошибки регрессии.

В начале статьи приводится построение аддитивной модели, предназначенной как для теоретического описания важнейших факторов, влияющих на электронное мультимедийное издание, так и для осуществления прогнозных значений себестоимости ЭМИ, которые будут издаваться на Украине. Эта модель помогает понять структурные взаимосвязи, присущие современному ЭМИ и сформировать набор объясняющих переменных для результативного признака.

Далее в статье приводится построение двух мультипликативных производственных моделей, в одной из которых была предпринята попытка учесть большее количество объясняющих переменных по сравнению с аддитивной моделью. Однако, несмотря на доказанную значимость обеих моделей последняя была получена с набором незначимых коэффициентов

и отбракована, для дальнейшего анализа она не представляла особого интереса.

В заключение была проведена апробация первой модели, которая показала, что уравнение регрессии применимо для прогнозирования возможных ожидаемых значений результативного признака. Единственным недостатком такой модели можно считать следующее: нельзя подставлять значения факторного признака, значительно отличающиеся от входящих в базисную информацию, по которой вычислено уравнение регрессии. Автор рекомендует при определении значений факторов не выходить за пределы трети размаха вариации, как за минимальное, так и за максимальное значение признака-фактора, имевшееся в исходной информации.

Список литературы: 1. Анохин, В. Н. Интерактивность – главный признак электронных учебных изданий [Текст] / В. Н. Анохин // Матеріали 3 міжнародної науково-практичної конференції «Інформаційні технології та захист інформації». – 2012. – Харків: ХНЭУ. – С. 215–216. 2. Зеленко, Л. С. Разработка программного обеспечения для наполнения образовательного контента в среде lms moodle [Текст] / Л. С. Зеленко // Известия Самарского научного центра РАН. – 2014. – No 4–2. – С. 471–475. 3. Ковалева, Е. А. Разработка тренировочного упражнения решения систем линейных алгебраических уравнений в Adobe Captivate [Текст] / Е. А. Ковалева // Восточно-Европейский журнал передовых технологий. – 2013. – Т. 5, N 3(65). – С. 9–12. 4. Chen, H. (2014). Systemic risk and the interconnectedness between banks and insurers: An econometric analysis [Text] / H. Chen // Journal of Risk and Insurance. – 2014. – Vol. 81, No. 3. – P. 623–652. 5. Wells, K. (2014). Treatment research at the crossroads: the scientific interface of clinical trials and effectiveness research [Text] / K. Wells // American Journal of Psychiatry. – 2014. – No 2. – P. 123–125. 6. Уварова, І. С. Модель впливу міжнародних міграційних процесів на економіку України [Текст] / І. С. Уварова // Бізнес Інформ. – 2015. – No2. – С. 119–124. 7. Sbordone, A. M. Prices and unit labor costs: a new test of price stickiness [Text] / A. M. Sbordone // Journal of Monetary Economics. – 2002. – Vol. 49, No. 2. – P. 265–292. 8. Nakamura, E. Five facts about prices: A reevaluation of menu cost models [Text] / E. Nakamura, J. Steinsson // The Quarterly Journal of Economics, 2015. – P. 1415–1464. 9. Елистратова, Н. Н. Электронный учебник как средство и условие мультимедийного обучения в педагогике высшей школы [Текст] / Н. Н. Елистратова // ПЕДАГОГИКА. ОБРАЗОВАНИЕ. – 2014. – Т. 869. – С. 15. 10. Юркина, С. В. Использование информационно-коммуникационных технологий в организации обучения в начальной школе [Текст] / С. В. Юркина // Сборники конференций НИЦ Социосфера. – Vedecko vydavateľske centrum Sociosfera-CZ sro. – 2010. – No. 5. – С. 23–27. 11. Huggins, D. J. et al. Concepts in Toxicology: Development of Online Instructional Modules [Text] / D. J. Huggins, et al. // Chemistry International. – 2015. – Т. 37, No 1. – P. 12–14. 12. Семеновских, Т. Электронный учебник как средство e-learning обучения в вузе [Текст] / Т. Семеновских // КПЖ. – 2015. – No 6-2. – С. 5–8.

Bibliography (transliterated): 1. Anokhin, V. N. (2012). Interactive is a main sign of electronic educational editions. Materials 3 international naukovopraktichnoy conference «Information technologies and priv», Kharkov: KhNUE, 215–216. 2. Zelenko, L. S. (2014). Software for filling educational content among lms moodle. Proceedings of the Samara Scientific Center of the Russian Academy of Sciences, No 4–2, 471–475. 3. Kovaleva, E. A. (2013). Development of a training exercise for solving systems of linear algebraic equations in Adobe Captivate. Eastern European Journal of advanced technologies, V. 5, N 3 (65), 9–12. 4. Chen, H. (2014). Systemic risk and the interconnectedness between banks and insurers: An econometric analysis. Journal of Risk and Insurance, V. 81, No. 3, 623–652. 5. Wells, K. (2014). Treatment research at the crossroads: the scientific interface of clinical trials and effectiveness research. American Journal of Psychiatry, N 2, 123–125. 6. Uvarova, I. (2015) Model the impact of international migration on the economy of

Ukraine. Business Info, No2, 119–124. 7. Sbordone, A. M. (2002). Prices and unit labor costs: a new test of price stickiness. Journal of Monetary Economics, Vol. 49, No. 2, 265–292. 8. Nakamura, E., Steinsson, J. (2015). Five facts about prices: A reevaluation of menu cost models. The Quarterly Journal of Economics, 1415–1464. 9. Elistratova, N. N. (2014). Electronic textbook as a means and condition of media education in pedagogy of higher education. PEDAGOGY. EDUCATION, Vol. 869, 15. 10. Jurkova, S. V. (2010). Information and communication technologies in the organization of primary school. Collectors conferences SIC sociosphere, No. 5, 23–27/ 11. Huggins D. J. et al. (2015). Concepts in Toxicology: Development of Online Instructional Modules. Chemistry International, Vol. 37, No 1, 12–14. 12. Semenovskaya, T. (2015). Electronic textbook as a means of e-learning training in high school. CSW, No 6–2, 5–8.

Поступила (received) 20.11.2015

Відомості про авторів / Сведения об авторах / About the Authors

Ковалева Катерина Александровна – Кандидат технічних наук, преподаватель, Харьковский национальный экономический университет им. С. Кузнеця, Кафедра высшей математики и экономико-математических методов, пр. Ленина, 9-А, г. Харьков, Украина, 61166;

Ковальова Катерина Олександрівна – Кандидат технічних наук, викладач, Харківський національний економічний університет ім. С. Кузнеця, Кафедра вищої математики та економіко-математичних методів, пр. Леніна, 9-А, м Харків, Україна, 61166; e-mail: Kateryna.Kovalova@m.hneu.edu.ua.

Kovalova Kateryna – Lecturer, Candidate of technical science, Simon Kuznets Kharkiv National University of Economics, The department of Mathematics High society and economic-mathematical methods, Lenin Avenue, 9av, Kharkov, Ukraine, 61166; e-mail: Kateryna.Kovalova@m.hneu.edu.ua.

УДК 681.586:531.768:621.385.6

М. Ф. ЖОВНІР, О. О. ОЛІЙНИК

РОЗРОБКА ПРИСТРОЇВ НА ПАХ ДЛЯ ВИМІРЮВАННЯ ЛІНІЙНИХ ТА КУТОВИХ ПЕРЕМІЩЕНЬ. ЧАСТИНА 1.

Розглядаються вимірювальні перетворювачі (ВП) на поверхневих акустичних хвилях (ПАХ) для вимірювання лінійних та кутових переміщень з формуванням точної, проміжної та грубої шкали на основі фазового набігання ПАХ на різних частотах. Описані конструктивні особливості складових елементів перетворювачів. Для демонстрації метрологічної цінності розроблених ВП приведені результати розрахунків чутливості, похибок, роздільної здатності та інших метрологічних параметрів. Результати описаних підходів вимірювання фазового зсуву можуть бути використані для подальшого проектування прецизійних пристроїв та систем позиціонування, а також перетворювачів з широким динамічним діапазоном лінійних та кутових надмалих переміщень.

Ключові слова: пристрої на ПАХ, перетворювачі переміщення, вимірювання фазового зсуву, прецизійне позиціонування.

Вступ. Мікроелектронні пристрої, що використовують ефекти затримки поверхневих хвиль (електромагнітних, магнітостатичних, акустичних), перспективні не тільки для формування та оброблення інформаційних сигналів, але і для прецизійних вимірювань фізичних та механічних величин. В теперішній час приділяється велика увага вимірювальним перетворювачам (ВП) на поверхневих акустичних хвилях (ПАХ), які при відносно невисоких частотах (десятки-сотні мегагерц), у порівнянні з електромагнітними та магнітостатичними хвилями, забезпечують, завдяки малим довжинам хвиль, простоті їх збудження та приймання, високу чутливість перетворення інформаційних сигналів в широкому динамічному діапазоні при застосуванні частотних та фазових методів вимірювання. Такі перетворювачі можуть використовуватись для вимірювання напруженостей електричного та магнітного полів, сили та тиску, прискорення, крутного моменту, лінійних та кутових переміщень, вологості та температури, складу газового середовища тощо [1–6]. Якщо дія механічних та фізичних ве-

личин призводить до набігу фази ПАХ не більшому π , то в основі ВП на ПАХ доцільно застосовувати високостабільний ПАХ-генератор, що містить регульовані під впливом вимірювальних величин резонатор або лінію затримки на ПАХ. Застосування частотного метода вимірювання дозволяє отримувати високу роздільну здатність і точність [1–3, 5].

Однак, при необхідності вимірювання лінійних або кутових переміщень в динамічному діапазоні до 100...200 мм (360 кут. град.) необхідно застосовувати фазовий метод вимірювання. Для усунення багатозначності фазових вимірювань запропоновано метод вимірювання на основі використання фазового набігання кількох поверхневих акустичних хвиль, що поширюються на поверхні п'єзоелектричного звукопроводу на різних частотах, на яких вимірюються інформаційні параметри, що визначають положення рухомого приймача ПАХ [7]. Результати розрахунків показують [8], що при роздільній здатності $\psi_{\text{min}} = 0,1$ ел.град. та

© М. Ф. Жовнір, О. О. Олійник. 2015