

*Л. Ф. Панченко, М. В. Разорьонова, ДЗ «Луганський національний університет імені Тараса Шевченка»*

## **МОДЕЛЮВАННЯ СТРУКТУРНИМИ РІВНЯННЯМИ ЯК СКЛАДНИК ПІДГОТОВКИ ДОКТОРІВ ФІЛОСОФІЇ**

Панченко Л. Ф., Разорьонова М. В.

Моделювання структурними рівняннями як складник підготовки докторів філософії

Стаття присвячена питанням підготовки майбутніх докторів філософії до використання напряму прикладного аналізу – моделювання структурними рівняннями. Проаналізовано сілабуси програм підготовки докторів філософії провідних університетів світу. Виявлено зміст навчання моделювання структурними рівняннями майбутніх науковців в галузі наук про освіту та соціальних наук. Мета курсів: застосування SEM до дослідження проблем соціальних та поведінкових наук, розуміння переваг та вад методу, його обмежень, навчання методам оцінки, ідентифікації моделей, перевірки їх придатності, інтерпретації, критичне оцінювання наукових публікацій з цієї тематики, використання статистичного програмного забезпечення для виконання SEM, підготовка звітів з дослідження у відповідності із стандартами, які існують для досліджень та академічних публікацій. Аналізується динаміка популярності програмного забезпечення моделювання структурними рівняннями: AMOS SPSS, Lisrel, Mplus, EQS; динаміка популярності книг з тематики SEM на amazon.com. Обґрунтовується необхідність включення цих засобів в курси для майбутніх науковців ВНЗ України, які спеціалізуються в галузі освіти та соціальних наук.

*Ключові слова:* моделювання структурними рівняннями, SEM, підготовка докторів філософії, програмне забезпечення моделювання структурними рівняннями, Lisrel, Amos, R

Панченко Л. Ф., Разорьонова М. В.

Моделирование структурными уравнениями как составляющая подготовки докторов философии

Статья посвящена вопросам подготовки будущих докторов философии к использованию такого направления прикладного анализа как моделирование структурными уравнениями (SEM). Проанализированы силлабусы программ подготовки докторов философии ведущих университетов мира. Выведено содержание обучения моделирования структурными уравнениями будущих исследователей в области наук об образовании и социальных наук. Цель курсов:

применение SEM к исследованию проблем социальных и поведенческих наук, понимание преимуществ и недостатков метода, его ограниченности, обучение методам оценки, идентификации моделей, проверки их пригодности, интерпретации, критическое оценивание научных публикаций по этой тематике, использование статистического программного обеспечения для выполнения SEM, подготовка отчетов по исследованию в соответствии со стандартами, которые существуют для исследований и академических публикаций. Анализируется динамика популярности программного обеспечения моделирования структурными уравнениями: AMOS SPSS, Lisrel, Mplus, EQS; динамика популярности книг по тематике SEM на amazon.com. Обосновывается необходимость включения этих инструментов в курсы для подготовки будущих исследователей в вузах Украины.

*Ключевые слова:* моделирование структурными уравнениями, SEM, подготовка докторов философии, программное обеспечение моделирования структурными уравнениями, Lisrel, Amos, R

Наразі в Україні починається підготовка докторів філософії. Якісне наукове дослідження неможливо без системного опису явищ, які вивчаються; багатовимірність та багатоаспектність досліджуваних феноменів вимагає використання методів багатовимірного аналізу, які призначені для виявлення причинних зв'язків, латентних факторів тощо. Перспективним напрямком в галузі багатовимірного прикладного аналізу є структурне моделювання або моделювання структурними рівняннями, яке стає все більш популярним інструментом дослідників в галузі наук про освіту, психології та соціальних наук [1 – 4; 7; 9; 13; 19; 31; 32].

Методологія структурного моделювання отримала широкого визнання на Заході. Навчання основам структурного моделювання стало складовою фахової підготовки майбутніх дослідників, які спеціалізуються в галузі соціальних наук [1; 23 – 29]. В Росії ідеї структурного моделювання стосовно психології відображено в роботах О. Мітіної [3] і А. Наследова [4]. Використання SEM з акцентом на економічні дослідження розглядає український науковець А. Чорний [6]. На жаль, в Україні засоби структурного моделювання недостатньо використовуються у психолого-педагогічних та соціальних дослідженнях взагалі, та у підготовці майбутніх дослідників в університетах, зокрема.

*Мета статті* – дослідити зміст закордонних програм підготовки PhD в галузі психолого-педагогічних та соціальних наук стосовно вивчення моделювання структурними рівняннями, програмне забезпечення, яке використовується в цих курсах з метою обґрунтування включення цих засобів у відповідні курси з підготовки PhD в галузі наук про освіту та соціальних наук українських ВНЗ.

Структурне моделювання оформилося як напрям прикладного аналізу в 70 – 80-ті роки минулого сторіччя, розвинувши ідеї багатомірного регресійного та факторного аналізу. Його становлення пов'язано з іменами Р. Bentler, В. Byrne, G. Dunn, J. Ullman.

Моделювання структурними рівняннями (Structural Equation Modeling, скорочено SEM) дозволяє співвідносити змінні, які вимірюються в ході експерименту із гіпотетичними, латентними факторами, які були створені дослідником на стадії проектування експерименту. Ці методи дозволяють виділити різні типи зв'язку між змінними, оцінити їх статистичну значущість. Наочно структурні рівняння представляються у вигляді спеціальних діаграм шляхів (рис.1 – 2).

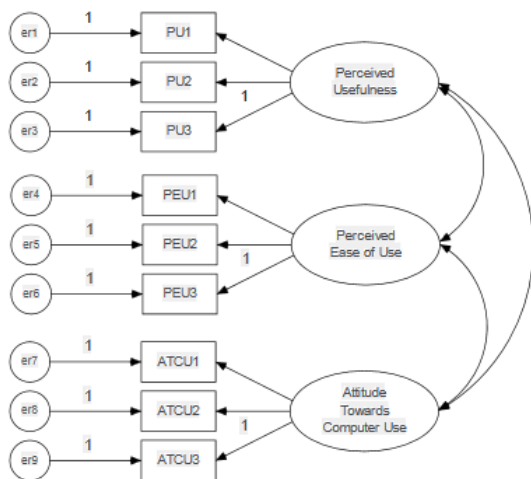


Рис.1.Вимірювальна модель

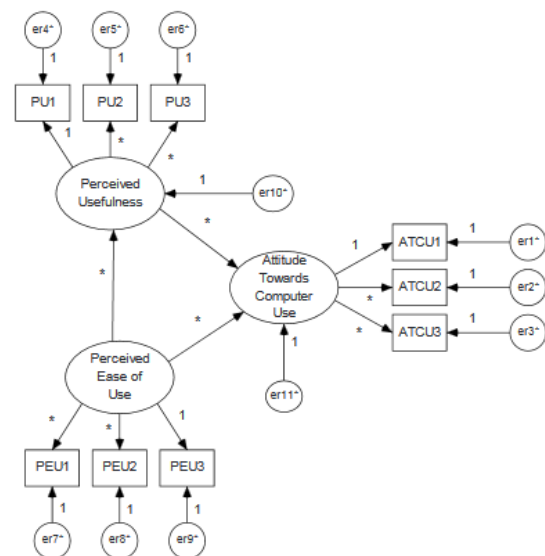


Рис.2.Структурна модель

Так, вимірювальна модель щодо вивчення ставлення користувача до використання комп'ютера, наведена на рис.1, має три фактори (латентні змінні):

сприймана корисність використання комп'ютера, сприймана легкість його використання, відношення до використання комп'ютера. Кожен фактор має по три індикатори, а кожен індикатор – помилку вимірювання ( $e_1 - e_9$ ). В структурній моделі (рис. 2) висувається гіпотеза, що ставлення користувача до використання комп'ютера (ATCU) є функцією корисності (PU) і простоти використання (PEU). Корисність (PU), в свою чергу знаходиться під впливом простоти використання (PEW). З іншого боку, корисність опосередковує ефект легкості використання на ставлення до використання комп'ютера [7].

Про зростання популярності методології SEM свідчить проведений нами експеримент. Якщо за запитом «structural equation modeling» для пошуку книг на Amazon.com (на 16.03.2013 р.) ми здобули 59 найменувань книг, то в 2016 (1.09.2016) – цей список досяг відмітки 175 книг (рис. 3).

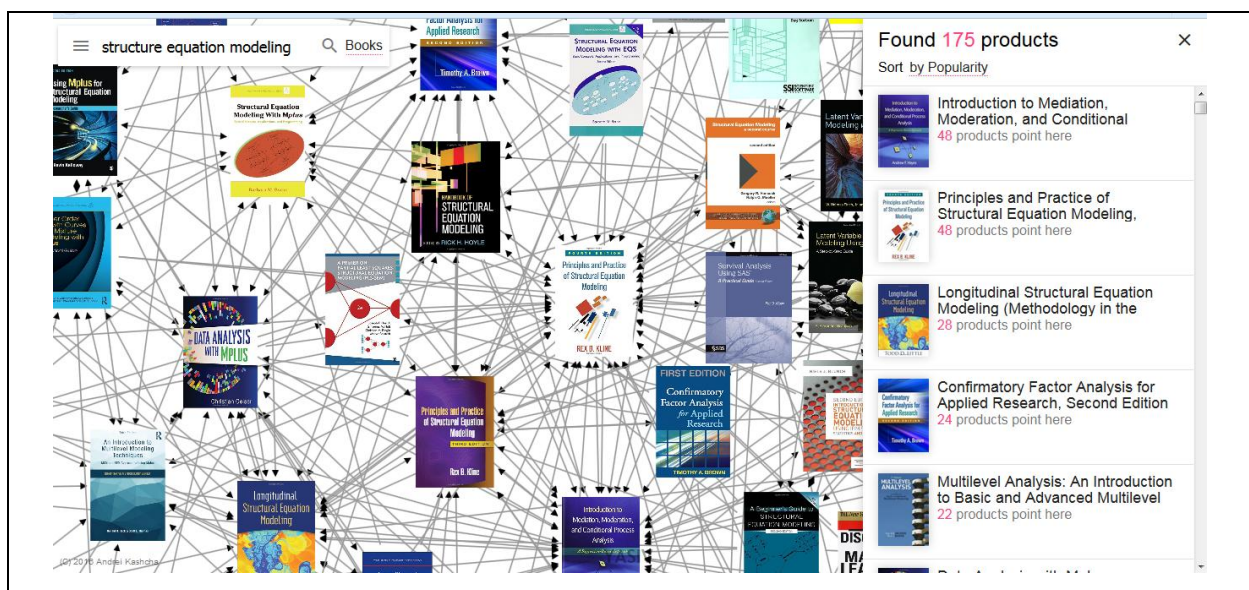


Рис. 3. Книги за запитом «structural equation modeling» на Amazon.com

Найбільш популярні дві книги, на які посилаються інші 48 книг зі списку. Перша – четверте видання бестселера «Принципи та практика моделювання структурними рівняннями» (Rex B. Kline «Principles and Practice of Structural Equation Modeling» [13]). Сайт-компаньйон цього видання забезпечує методичний супровід і пропонує завантажити синтаксис, дані та вихідні файли для всіх прикладів книги для виконання в середовищах Amos SPSS, EQS,

LISREL та Mplus. Друга – перше видання книги Andrew F. Hayes. Introduction to Mediation, Moderation, and Conditional Process Analysis: A Regression-Based Approach. На сайті компаньйоні видання ([www.afhayes.com](http://www.afhayes.com)) пропонується завантажити макрос PROCESS для SPSS и SAS, який обчислює усі приклади книги.

Серед наукових журналів є журнал повністю присвячений тематиці SEM: «Structural Equation Modeling: an interdisciplinary journal» (<http://www.tandfonline.com/toc/hsem20/current>). Статті, пов'язані з цією тематикою містять також журнали «Multivariate Behavior Research», «Psychological Methods» та «Sociological Methods & Research».

Аналіз кращих програм з підготовки PhD в галузі соціології згідно огляду Princeton Review's «Gourman Report of Graduate Programs» [18] показав обов'язкову наявність в них курсів з моделювання структурними рівняннями. В табл. 1 ми узагальнили використання різних програмних засобів SEM в курсах підготовки докторів філософії провідних університетів світу.

Таблиця 1

**Використання програмного забезпечення моделювання структурними рівняннями**

Посилання	Програмний засіб						
	AMOS SPSS	EQS	Mplus	Lis-rel	Open Mx	SAS	Паке-ти R
МООС «Structural Equation Model and its Applications» [12]				+			
«Сучасний соціальний аналіз» ВШЕ, Санкт-Петербург [2]			+				
«Structural equation modelling in educational research», Амстердамський університет [27]			+	+	+		
«Latent Structural Equation Modeling», університет Vaasa, Фінляндія [14]	+		+	+		+	+
SEM1, університет Орігон[20]	+		+				
«Structural equation modelling using LISREL and EQS» (SEM PhD workshop) [26]		+		+			
«Structural Equation Modeling in the IS Discipline», університет Mannheim [24]	+ smart PLS						

Продовження табл. 1

«Structural equation models for social and behavioral research», Iowa State University [28]							
«Structural Equation Models in the Social Sciences», університет Brown [29]				+			
«Causal analysis and structural equation modeling» [10]			+Stata				
«Structural Equations», University of Leuven, PhD in Statistics [30]				+			
«Structural Equation Modeling», School of Education University of Pittsburgh [23]			+			+	
«Structural equation modeling: Longitudinal models and multi-group models», University of Oslo [25]			+				
«Building and Testing Structural Equation Models In the Social Sciences», University of Michigan [8]	+	+		+			

Аналіз сілабусів курсів (табл. 1) засвідчив, що в цілому курси організовано в форматі семінарів. При цьому головна активність створюється на перетині лекцій, групових дискусій, застосування програмного забезпечення та інтерпретації результатів. Навчально-методичні матеріали доступні через систему управління навчанням Blackboard або Moodle. Кількість кредитів курсів знаходиться в межах від 1 до 6. 1 – 3 кредити, ввідні курси, 4 – 6 кредитів – поглиблені. Курси пропонуються в рамках підготовки докторів філософії в галузі педагогічних наук, психології, соціології, статистики, інформаційних систем та бізнесу, публічного здоров'я, спорту та ін. В якості програмного забезпечення використовується як пропрієтарне, так і вільне. В більшості курсів розглядається один програмний засіб як головний, та один – як додатковий. Але існують курси, в яких всебічно застосовуються декілька програмних засобів [14; 27]. Мета курсів: застосування SEM до дослідження проблем соціальних та поведінкових наук, розуміння переваг та вад методу, його обмежень, навчання методам оцінки, ідентифікації моделей, перевірки їх придатності, інтерпретації, критичне оцінювання наукових публікацій з цієї тематики, використання статистичного програмного забезпечення для

виконання SEM, підготовка звітів з дослідження у відповідності із стандартами, які існують для досліджень та академічних публікацій [22].

Наведемо приклад оцінювання роботи студентів в курсі [28]. Домашня робота з використанням статистичного програмного забезпечення – 8%; критичний огляд статей цієї тематики (4 огляди по 4–5 сторінок) – 30%; статистичний аналіз (4 звіти 12–15 сторінок) – 62%. Для критичного огляду наводяться параметри його оцінювання: наприклад, пояснити основну модель, яку автор оцінює (20% відмітки); обговорювання критичних помилок, які автор допустив (40%); пояснення як може бути коректно оцінено казуальний ефект (40%). Деякі програми пропонують в ході курсу екзамен та фінальний проект як власне міні-дослідження з використання SEM.

На рис. 4 представлено порівняльний аналіз популярності пошукових запитів щодо програмного забезпечення SEM: AMOS SPSS, Lisrel, Mplus, EQS з 2004 по 2012 рр.

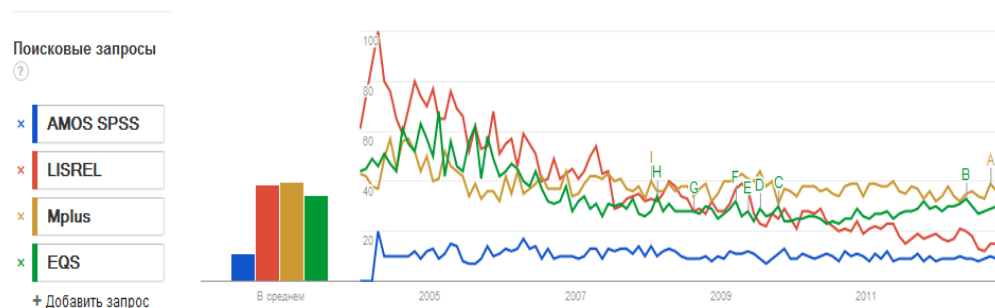


Рис. 4. Аналіз популярності пошукових запитів програмного забезпечення SEM: AMOS SPSS, Lisrel, Mplus, EQS

Як можна спостерігати з рис. 4, у 2004 році лідує Lisrel, популярність якого дещо знизилася, в той же час Mplus та EQS практично демонструють стабільність.

В останні роки ситуація змінилася (рис. 5). Популярність Lisrel та Amos SPSS практично зрівнялася.

Усі вищезазначені засоби є комерційними продуктами, хоча деякі з них і мають вільну студентську версію, але з досить обмеженими можливостями [11; 15; 16; 21].

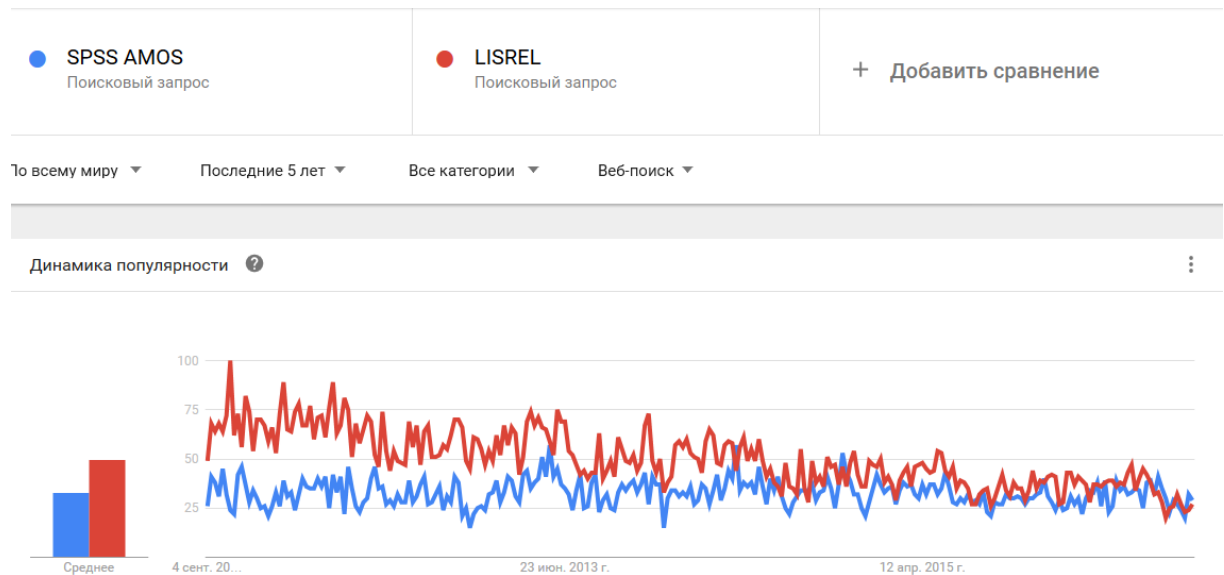


Рис.5. Порівняння популярності Lisrel та Amos SPSS

Серед вільного програмного забезпечення слід відзначити програмний засіб OpenMx, який розвивається зусиллями лабораторії Human Dynamics Lab психологічного факультету університету Вірджинія [17]. Розвиток OpenMx підтримується спільнотою OpenSEM, матеріали якої призначені для користувачів усіх типів програмного забезпечення.

Аналіз наукових джерел [1; 3; 9; 13; 31], навчальних програм провідних університетів світу [7; 8; 10; 18; 23–30] дозволили виокремити зміст підготовки майбутнього фахівця в галузі освіти до використання SEM. Це, в першу чергу, знання про методологію моделювання структурними рівняннями, та її спеціальні різновиди – аналіз путей та факторний аналіз. Студенти також повинні вивчати, як застосовувати SEM для багатьох груп, для лонгітюдних даних, нормально не розподілених даних та даних іншого типу. Студенти мають розуміти як застосовувати методи SEM для відповідей на дослідницькі питання в поведінкових науках, соціальних науках, освіті. Важливе місце в курсі – формування в студентів вміння читати, розуміти, критично оцінювати та інтерпретувати наукові статті, в яких застосовується методологія SEM. Мета практичних занять – формування вмінь підготовки та обробки даних за допомогою комп’ютерних програм для моделювання структурними рівняннями (LISREL, M-PLUS, AMOS, OpenMx). Вимоги до попередньої підготовки



студентів до опанування методології SEM стосуються знайомства з традиційними статистичними методами, зокрема з регресійним та факторним аналізом, вміннями працювати з сучасними статистичними пакетами SAS, SPSS. Ми пропонуємо в якості програмного забезпечення обрати два програмних засоби. По-перше, AMOS, зважаючи на його популярність та зв'язок з SPSS, який фактично став стандартом у підготовці соціологів. По-друге, середовище R, як вільне, відкрите, та те, що містить пакети з просунутих методів аналізу, в тому числі з SEM. До того ж, в розроблених нами курсах з аналізу даних для студентів різних спеціальностей університету [5] вже використовуються SPSS та R, отже буде забезпечено послідовність у навчанні.

*Висновки.* Підготовка майбутніх дослідників (докторів філософії) вимагає застосування ними багатовимірних методів дослідження взагалі, та використання методології SEM, зокрема. Використання методології SEM сприяє розвитку системного, модельного та критичного мислення, дозволяє моделювати і вивчати явища у їх взаємозв'язку, розуміти вплив латентних факторів на явища, які вивчаються.

В результаті дослідження було обґрунтовано необхідність включення засобів SEM у курси з підготовки докторів філософії в українських ВНЗ, виокремлено зміст навчання методології SEM, проаналізовано динаміку популярності програмних засобів методології SEM, використання відповідних засобів в закордонних програмах підготовки PhD, запропоновано використання відповідного програмного забезпечення (AMOS SPSS, R).

*Подальший розвиток* роботи в цьому напрямі – створення навчально-методичного забезпечення моделювання структурними рівняннями у вигляді дистанційного курсу в системі MOODLE для навчання майбутніх дослідників в галузі педагогіки та соціальних наук.

## Література

1. **Крамер Д.** Математическая обработка данных в социальных науках: современные методы / Дункан Крамер. – М. : Издательский центр «Академия»,

2007. – 288 с.

2. **Магистерская** программа «Современный социальный анализ» [Электронный ресурс]. – Режим доступа : <http://spb.hse.ru/sociology/magsoc/>.

3. **Митина О. В.** Моделирование латентных изменений с помощью структурных уравнений / О. В. Митина // Экспериментальная психология. – 2008. – №1. – С. 131 – 148.

4. **Наследов А. Д.** IBM SPSS STATISTICS 20 и AMOS: профессиональный статистический анализ данных. – СПб. : Питер, 2013.– 416 с.

5. **Панченко Л.Ф.** Практикум по анализу данных. – Луганск, Изд-во ГУ «ЛНУ имени Тараса Шевченко», 2013. – 269 с.

6. **Чорний А.** Моделювання латентних змінних: розвиток, сучасний стан та перспективи // Вісник Київського нац. ун-ту імені Тараса Шевченка. Сер. Економіка. – 2011. – С. 41 – 43.

7. **Application** of Structural Equation Modeling in Educational Research and Practice [Electronic resource]. Edited by Myint Swe Khine. Sense Publishers, 2013. – Access mode : <https://www.sensepublishers.com/media/1694-application-of-structural-equation-modeling-in-educational-research-and-practice.pdf>.

8. **Building** and Testing Structural Equation Models (SEM) In the Social Sciences (University of Michigan ) [Electronic resource]. – Access mode : [http://si.isr.umich.edu/sites/default/files/sem\\_SY688-feb2016.pdf](http://si.isr.umich.edu/sites/default/files/sem_SY688-feb2016.pdf).

9. **Byrne B. M.** Structural Equation Modelling with LISREL, PRELIS, and SIMPLIS. Mahwah, NJ: Lawrence Erlbaum Associates, 1998.

10. **Causal analysis** and structural equation modeling [Electronic resource]. – Access mode: <http://hec.unil.ch/attachments/doctorats/syllabus-cours-doctoraux/syllabus-causal-analysis-and-structural-equation-modeling-spring-2016.pdf>.

11. **EQS** – Structural Equation Modeling Software [Electronic resource]. – Access mode : <http://www.mvsoft.com/eqs60.htm>.

12. **Kit Tai Hau.** Structural Equation Model and its Applications [Electronic resource]. – Access mode : <https://www.coursera.org/course/sem>.

13. **Kline R.** Principles and Practice of Structural Equation Modeling /Rex B. Kline. – N.-Y. : The Guilford Press., 2010. – 427 p.
14. **Latent** Structural Equation Modeling [Electronic resource]. – Access mode : <http://lipas.uwasa.fi/~sjp/Teaching/sem/lectures>.
15. **Mels G.** LISREL for Windows: Getting Started Guide / Gerhard Mels [Electronic resource]. – Access mode : <http://analysis3.com/LISREL-for-Windows-Getting-Started-Guide---Gerhard-Mels-pdf-e3871.pdf>.
16. **Mplus** [Electronic resource]. – Access mode : <http://www.statmodel.com>.
17. **OpenMx** - Advanced Structural Equation Model [Electronic resource]. – Access mode : <http://openmx.psyc.virginia.edu>.
18. **Ranking** of U.S. Sociology Ph.D. Programs [Electronic resource]. – Access mode : <https://www.socialpsychology.org/gsociol.htm>.
19. **Sei-Ching Joanna Sin.** Modeling the impact of individuals' characteristics and library service levels on high school students' public library usage: A national analysis // Library & Information Science Research. – Vol. 34. – Issue 3. – July 2012. – P. 228–237.
20. **SEM1** [Electronic resource]. – Access mode : [https://education.uoregon.edu/sites/default/files/syllabus\\_edld\\_633\\_sem1\\_winter\\_2014.pdf](https://education.uoregon.edu/sites/default/files/syllabus_edld_633_sem1_winter_2014.pdf).
21. **SmartPLS** [Electronic resource]. – Access mode : <http://www.smartpls.de/>.
22. **Standards** for Reporting non Empirical Social Science Research in Publications of the American Educational Research Association (AERA) // Educational Researcher. Vol. 35, No. 6, P. 33–40.
23. **Structural** Equation Modeling [Electronic resource]. – Access mode : <http://www.education.pitt.edu/academicdepartments/Courses/coursedetail.aspx?dept=PSYED&cn=3417>.
24. **Structural** Equation Modeling in the IS Discipline [Electronic resource]. – Access mode : [http://eris.bwl.uni-mannheim.de/education/archive/spring\\_2012/phd/semispring12/](http://eris.bwl.uni-mannheim.de/education/archive/spring_2012/phd/semispring12/).

25. **Structural** equation modeling: Longitudinal models and multi-group models [Electronic resource]. – Access mode : <http://www.uio.no/studier/emner/uv/uv/UV9215/>.

26. **Structural** equation modelling (SEM) using LISREL and EQS. Research Methods Workshop at AIB-UKI conference in York 2014 [Electronic resource]. – Access mode : <http://www.aib-uki.org/portals/0/docs/2014-phd-syllabus-sem@aibuki-york.pdf>.

27. **Structural** equation modelling in educational research [Electronic resource]. – Access mode : <http://studiegids.uva.nl/web/sgs/nl/c/8529.html>.

28. **Structural** equation models for social and behavioral research [Electronic resource]. – Access mode : <http://www.soc.iastate.edu/dpeters/pubs/soc613-syllabus-SS16.pdf>.

29. **Structural** Equation Models in the Social Sciences [Electronic resource]. – Access mode : [https://selfservice.brown.edu/ss/bwckctlg.p\\_disp\\_course\\_detail?cat\\_term\\_in=201420&subj\\_code\\_in=SOC&crse\\_num\\_in=2260E](https://selfservice.brown.edu/ss/bwckctlg.p_disp_course_detail?cat_term_in=201420&subj_code_in=SOC&crse_num_in=2260E).

30. **Structural** Equations [Electronic resource]. – Access mode : [https://onderwijsaanbod.kuleuven.be/syllabi/e/G0B65BE.htm#activetab=doelstellingenn\\_idp14549072](https://onderwijsaanbod.kuleuven.be/syllabi/e/G0B65BE.htm#activetab=doelstellingenn_idp14549072).

31. **Teo T.** Structural Equation Modeling in Educational Research / Timothy Teo, Myint Swe Khine. Rotterdam/Boston/Taipei : Sense Publishers, 2009. – P.3–10. [Electronic resource]. – Access mode : <https://www.sensepublishers.com/media/985-structural-equation-modeling-in-educational-research.pdf>.

32. **Usluel Y. K.** A Structural Equation Model for ICT Usage in Higher Education /Usluel Y. K., Akar, P., & Baş, T // Educational Technology & Society. – 2008. – №11 (2). – P. 262–273.

Panchenko L. F., Razorenova M. V.

The Structural Equation Modeling as a Component of PhD Training

The article discussed the questions of structural equation modeling as a component of applied analysis. The syllabuses of PhD SEM courses of leading universities are analyzed. Course objective: using structural equation modeling methodology to study the problems of social and behavioral science, understanding

the strengths and flaws of the method and its limitations, teaching methods of assessment, identification models, test their validity, interpretation, critical evaluation of scientific publications on this subject, using statistical software to perform structural equation modeling analysis, preparation of research reports in accordance with the standards of research and academic publications. The dynamics of popular software of structural equations modeling: AMOS SPSS, Lisrel, Mplus, EQS and popular books of structural equations modeling subject (amazon.com) are discussed. The necessity of including structural equation modeling in the courses for high school of Ukraine for PhD training program in the field of education and social sciences is founded.

*Key words:* structural equation modeling, PhD training program, software structural equation modeling, Lisrel, Amos, R

#### Відомості про авторів

*Панченко Любов Феліксівна* – доктор педагогічних наук, професор кафедри фізико-технічних систем та інформатики ДЗ «Луганський національний університет імені Тараса Шевченка». Коло наукових інтересів: інформаційні технології в освіті, аналіз даних, статистичні методи.

*Разорьонова Марина Валентинівна* – кандидат педагогічних наук, доцент, докторант ДЗ «Луганський національний університет імені Тараса Шевченка». Коло наукових інтересів: управління освітою, управління кадровим персоналом, інформаційні технології в освіті.

Стаття надійшла до редакції 07.06.2016 р.  
Прийнято до друку 24.06.2016 р.

*L. F. Panchenko, M. V. Razorenova, SI "Luhansk Taras Shevchenko National University"*

## **THE STRUCTURAL EQUATION MODELING AS A COMPONENT OF PhD TRAINING**

Panchenko L. F., Razorenova M. V.

The Structural Equation Modeling as a Component of PhD Training

The article discussed the questions of structural equation modeling as a component of applied analysis. The syllabuses of PhD SEM courses of leading universities are analyzed. Course objective: using structural equation modeling methodology to study the problems of social and behavioral science, understanding the strengths and flaws of the method and its limitations, teaching methods of assessment, identification models, test their validity, interpretation, critical evaluation of scientific publications on this subject, using statistical software to perform structural equation modeling analysis, preparation of research reports in accordance with the standards of research and academic publications. The dynamics of popular software of structural equations modeling: AMOS SPSS, Lisrel, Mplus, EQS and popular books of structural equations modeling subject (amazon.com) are discussed. The necessity of including structural equation modeling in the courses for high school of Ukraine for PhD training program in the field of education and social sciences is founded. Key words: structural equation modeling, PhD training program, software structural equation modeling, Lisrel, Amos, R.

The PhD training has recently started in Ukraine. High-quality scientific research is not impossible without the systematic description of the phenomena studied; multidimensionality of the phenomena studied requires the use of multivariate analysis methods that are designed to identify causal relationships, latent factors and so on. A promising direction in the multivariate applied analysis is structural modelling or simulation of structural equation modelling, which is becoming an increasingly popular tool for researchers in education science, psychology and social sciences [1 – 4; 7; 9; 13; 19; 31; 32].

Structural modeling methodology is widely recognized in the West. Studying the basics of structural modeling was part of the professional training of future

researchers who specialize in the social sciences [1; 23 – 29]. In Russia, the idea of structural modeling in relation to psychology is reflected in the works of O. Mitina [3] and A. Naslyedova [4]. Use of SEM with an emphasis on economic research is described by Ukrainian scientist A. Chorny [6]. Unfortunately, in Ukraine the structural modeling means are not applied enough in psychological, pedagogical and social studies in general and in training future researchers in universities, in particular.

The article is aimed at investigating the content of foreign PhD training programs in the field of psycho-pedagogical and social sciences regarding the study of structural equations modelling, the software used in these courses in order to justify the inclusion of these assets in the related PhD training courses in education science and social science in Ukrainian universities.

Structural modeling took shape as the direction of applied analysis in the seventies and eighties of the last century, and developed the ideas of multivariate regression and factor analysis. Its formation is associated with the names P. Bentler, B. Byrne, G. Dunn, J. Ullman.

Structural equation modeling (abbreviated SEM) allows to correlate variables measured during the experiment with hypothetical, latent factors that were established by the researcher at the design stage of the experiment. These methods can provide different types of connection between variables to assess their statistical significance. Intuitively, structural equation represented by specialized path diagrams (Fig.1 – 2).

Thus, the measurement model of the study of the attitude of the user to use the computer shown in Figure 1 has three factors (latent variables): perceived usefulness of computer use, perceived ease of use, and attitude to computer use. Each factor has three indicators, and each indicator – measurement error (e1-e9). In the structural model (Fig. 2) hypothesis is proposed that the attitude of the user to use the computer (ATCU) is a function of the utility (PU) and ease of use (PEU). Usefulness (PU), in turn, is influenced by ease of use (PEW). On the other hand, utility mediates the effect of ease of use in relation to computer use [7].

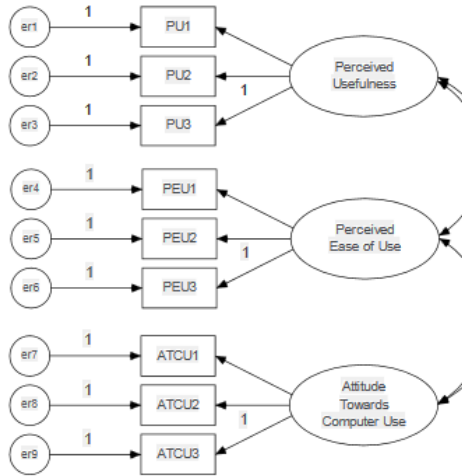


Fig.1.Measurement model



Fig.2.Structure model

The experiment we conducted shows the growing popularity of SEM methodology. The book search for «structural equation modeling» on Amazon.com (on 3/16/2013 ) gave 59 titles, while in 2016 (1/9/2016) – the number reached 175 books (Fig. 3).



Fig 3.Books for «structural equation modeling» query at Amazon.com

The most popular two books are referenced by 48 other books from the list. The first is the fourth edition of the bestseller “Principles and Practice of Structural Equation Modeling” (Rex B. Kline [13]). Site companion of this publication provides methodological support and offers to download the syntax, data and source files for



all the examples from the book to carry out in the environments Amos SPSS, EQS, LISREL and Mplus. The second is the first edition of “Introduction to Mediation, Moderation, and Conditional Process Analysis: A Regression-Based Approach” by Andrew F. Hayes. Online Companion Edition ([www.afhayes.com](http://www.afhayes.com)) offers to download macros for SPSS and SAS, which calculates all the examples the book.

Among scientific journals there are those that are entirely devoted to the subject of SEM: “Structural Equation Modeling: an interdisciplinary journal” (<http://www.tandfonline.com/toc/hsem20/current>). “Multivariate Behavior Research”, “Psychological Methods” and “Sociological Methods & Research” also contain the articles related to this topic.

Analysis of the best programs for PhD training in sociology according to Princeton Review's “Gourman Report of Graduate Programs” [18] showed the obligatory presence of the courses in structural equations modelling. In Table 1 we summarized the use of various SEM software in PhD training of the leading universities.

Syllabus courses analysis (tab.1) showed that generally the courses are organized in the form of seminars. Thus the main activity is created at the intersection of lectures, group discussions, software application and interpretation of the results. Educational materials are available through Blackboard or Moodle learning management system. Credits number ranges from 1 to 6: 1-3 credits for introductory courses, and 4-6 credits for advanced courses. Courses are offered for Ph.D training in educational sciences, psychology, sociology, statistics, information systems and business, public health, sports and others. Both proprietary and free software is used for the courses. Most courses consider one main software tool and one additional. But there are courses which require the comprehensive use of several software [14; 27]. Course objective is to use SEM to study the problems of social and behavioral science, to understand the strengths and flaws of the method and its limitations, training evaluation methods, identification models, test their validity, interpretation, critical evaluation of scientific publications on the subject, using statistical software to perform SEM preparation of research reports in accordance with the standards that exist for research and academic publications [22].

Table 1

Links	Software						
	AMOS SPSS	EQS	Mplus	Lisrel	Open Mx	SAS	R Packa- ge
MOOC “Structural Equation Model and its Applications” [12]				+			
Modern social analysis, St. Petersburg [2]			+				
“Structural equation modelling in educational research”, Amsterdam university [27]			+	+	+		
“Latent Structural Equation Modeling”, Vaasa, Finland [14]	+		+	+		+	+
SEM1, Oregon university [20]	+		+				
“Structural equation modelling using LISREL and EQS” (SEM PhD workshop) [26]		+		+			
“Structural Equation Modeling in the IS Discipline”, Mannheim university [24]	+						
“Structural equation models for social and behavioral research”, Iowa State University [28]							
“Structural Equation Models in the Social Sciences”, university Brown [29]				+			
“Causal analysis and structural equation modeling” [10]			+Stata				
“Structural Equations”, University of Leuven, PhD in Statistics [30]				+			
“Structural Equation Modeling”, School of Education University of Pittsburgh [23]			+			+	
“Structural equation modeling: Longitudinal models and multi-group models”, University of Oslo [25]			+				
“Building and Testing Structural Equation Models In the Social Sciences”, University of Michigan [8]	+	+		+			

Here is an example of evaluation of student performance during the course [28]. Homework using statistical software – 8%; critical review of articles on the subject (4 reviews of 4-5 pages) – 30%; statistical analysis (4 reports of 12-15 pages) – 62%. For a critical review the evaluation parameters are provided: for instance, explanation of the basic model evaluated by the author (20% of the grade); discussion of critical errors made by the author (40%); explanation of correct evaluation of casual effect (40%) [28]. Some programs offer exam and final project in the form of independant mini-survey on the use of SEM during the course.

Fig. 4 presents a comparative analysis of popular search query of SEM software: AMOS SPSS, Lisrel, Mplus, EQS from 2004 to 2012.

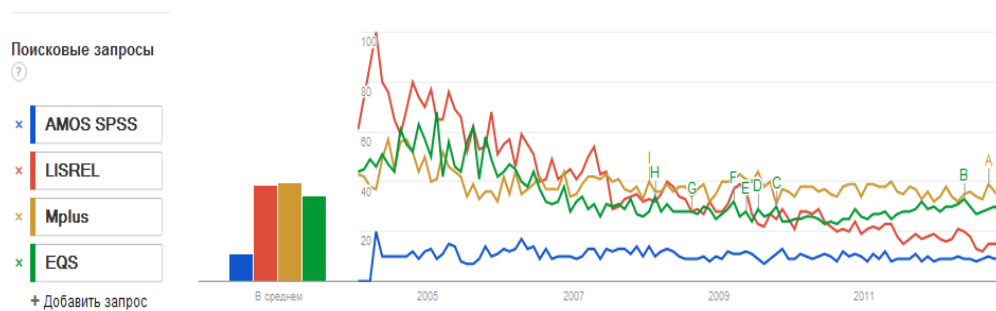


Fig 4. Analysis of popular SEM software: AMOS SPSS, Lisrel, Mplus, EQS

As Fig. 4 shows that in 2004 the leader is Lida Lisrel, whose popularity has since slightly declined, while Mplus and EQS and demonstrate stability. In recent years the situation has changed (Fig. 5). Popularity of Lisrel SPSS and Amos is almost equal.

All these tools are commercial products, though some of them have a free student version with very limited opportunities [11; 15; 16; 21].

Among free software tools those worth mentioning is OpenMx developed by th Human Dynamics Lab of Psychology Faculty of the University of Virginia [17]. OpenMx development is supported by the OpenSEM community, whose materials are intended for users of all types of software.



Fig. 5. Popularity of Lisrel and SPSS Amos

The analysis of scientific sources [1; 3; 9; 13; 31], curriculums of the leading universities [7; 8; 10; 18; 23–30] allows to distinguish the content of training of future educators to use SEM. First of all, it is the knowledge of the methodology of structural equation modeling and its special varieties - path analysis and factor analysis. Students must also learn how to use SEM for multiple groups, longitudinal data, not normally distributed data and data of other types. Students need to understand how to use SEM techniques to answer research questions in behavioral sciences, social sciences, and education. An important role in the course belongs to – formation of students’ ability to read, understand, critically evaluate and interpret scientific articles that use the SEM methodology. The aim of practical classes is to develop the skills to prepare and process data using computer programs for structural equations modelling (LISREL, M-PLUS, AMOS, OpenMx). Requirements for preliminary student training in mastering the SEM methodology involve traditional statistical methods, including regression and factor analysis, ability to work with modern statistical packages SAS and SPSS. We suggest to choose two software tools to work. First, it is AMOS, because of its popularity and connection with SPSS, which effectively became the standard in the training of sociologists. Second, the R environment, a free and open tool that includes packages with advanced methods of

analysis, including SEM. In addition, the data analysis courses that we developed for university students of various majors [5] already use SPSS and R, which ensures consistency in training.

*Conclusions.* The training of future researchers (PhD) requires their use of multivariate research methods in general, and the use of SEM methodologies, in particular. The use of SEM methodology promotes systematic, model and critical thinking, and allows to simulate and study the phenomena within their relationships, to understand the impact of latent factors on the phenomena studied.

The study proved the need to include the SEM tools into the PhD training courses in Ukrainian universities, singled out the content of teaching SEM methodologies, analyzes the popularity dynamics of SEM methodologies tools and appropriate software used in foreign PhD training programs, proposed the use of appropriate software (AMOS SPSS , R).

Further research direction is the creation of teaching materials for structural equation modeling as a distance course in MOODLE system for training future researchers in the field of education and social sciences.

## References

1. **Kramer D.** Matematicheskaya obrabotka dannykh v sotsial'nykh naukakh: sovremennyye metody [Mathematical Data Processing in Social Sciences: Modern Methods]. Moscow, Publishing Center "Academy". 2007. 288 p. (rus)

2. **Magisterskaya** programma «Sovremennyy sotsial'nyy analiz» (Yelektronniy resurs) [Master's Program "Contemporary Social Analysis". Electronic resource]. Access mode: <http://spb.hse.ru/sociology/magsoc/> (rus)

3. **Mitina O. V.** Modelirovaniye latentnykh izmeneniy s pomoshch'yu strukturnykh uravneniy [Modeling of Latent Changes Using Structural Equations]. Experimental Psychology. 2008. Pp. 131 – 148. (rus)

4. **Nasledov A. D.** IBM SPSS STATISTICS 20 i AMOS: professional'nyy statisticheskiy analiz dannykh [IBM SPSS STATISTICS 20 and AMOS: Professional

Statistical Data Analysis]. Saint Petersburg, Piter Publishing House. 2013. 416 p. (rus)

5. **Panchenko L. F.** Praktikum po analizu dannykh [Training Manual on Data Analysis]. Luhansk, Publishing House of Luhansk Taras Shevchenko National University. 2013. 269 p. (rus)

6. **Chorny A.** Modeliuvannia latentnykh zminnykh: rozvytok, suchasnyi stan ta perspektyvy [Latent Variables Modelling: Development, Current State and Prospects]. The Herald of Taras Shevchenko National University of Kyiv. *Series: Economics. 2011. Pp.* 41 – 43. (ukr)

7. **Application** of Structural Equation Modeling in Educational Research and Practice [Electronic resource]. Edited by Myint Swe Khine. Sense Publishers, 2013. – Access mode: <https://www.sensepublishers.com/media/1694-application-ofstructural-equation-modeling-in-educational-research-and-practice.pdf>.

8. Building and Testing Structural Equation Models (SEM) In the Social Sciences (University of Michigan) [Electronic resource]. – Access mode: [http://si.isr.umich.edu/sites/default/files/sem\\_SY688-feb2016.pdf](http://si.isr.umich.edu/sites/default/files/sem_SY688-feb2016.pdf).

9. **Byrne B. M.** Structural Equation Modelling with LISREL, PRELIS, and SIMPLIS. Mahwah, NJ: Lawrence Erlbaum Associates, 1998.

10. **Causal** analysis and structural equation modeling [Electronic resource]. – Access mode: <http://hec.unil.ch/attachments/doctorats/syllabus-cours-doctoraux/syllabus-causal-analysis-and-structural-equation-modeling-spring-2016.pdf>.

11. **EQS** – Structural Equation Modeling Software [Electronic resource]. – Access mode : <http://www.mvsoft.com/eqs60.htm>.

12. **Kit** Tai Hau. Structural Equation Model and its Applications [Electronic resource]. – Access mode : <https://www.coursera.org/course/sem>.

13. Kline R. Principles and Practice of Structural Equation Modeling /Rex B. Kline. – N.-Y. : The Guilford Press., 2010. – 427 p.

14. **Latent** Structural Equation Modeling [Electronic resource]. – Access mode : <http://lipas.uwasa.fi/~sjp/Teaching/sem/lectures>.

15. **Mels G.** LISREL for Windows: Getting Started Guide / Gerhard Mels [Electronic resource]. – Access mode : <http://analysis3.com/LISREL-for-WindowsGetting-Started-Guide---Gerhard-Mels-pdf-e3871.pdf>.
16. **Mplus** [Electronic resource]. – Access mode : <http://www.statmodel.com>.
17. **OpenMx** – Advanced Structural Equation Model [Electronic resource]. – Access mode : <http://openmx.psyc.virginia.edu>.
18. **Ranking** of U.S. Sociology Ph.D. Programs [Electronic resource]. – Access mode : <https://www.socialpsychology.org/gsociol.htm>.
19. **Sei-Ching** Joanna Sin. Modeling the impact of individuals' characteristics and library service levels on high school students' public library usage: A national analysis // Library & Information Science Research. – Vol. 34. – Issue 3. – July 2012. – P. 228–237.
20. **SEM1** [Electronic resource]. – Access mode : [https://education.uoregon.edu/sites/default/files/syllabus\\_edld\\_633\\_sem1\\_winter\\_2014.pdf](https://education.uoregon.edu/sites/default/files/syllabus_edld_633_sem1_winter_2014.pdf).
21. **SmartPLS** [Electronic resource]. – Access mode : <http://www.smartpls.de/>.
22. **Standards** for Reporting non Empirical Social Science Research in Publications of the American Educational Research Association (AERA) // Educational Researcher. Vol. 35, No. 6, P. 33–40.
23. **Structural** Equation Modeling [Electronic resource]. – Access mode : <http://www.education.pitt.edu/academicdepartments/Courses/coursedetail.aspx?dept=PSYED&cn=3417>.
24. **Structural** Equation Modeling in the IS Discipline [Electronic resource]. – Access mode : [http://eris.bwl.uni-mannheim.de/education/archive/spring\\_2012/phd/semispring12/](http://eris.bwl.uni-mannheim.de/education/archive/spring_2012/phd/semispring12/).
25. **Structural** equation modeling: Longitudinal models and multi-group models [Electronic resource]. – Access mode : <http://www.uio.no/studier/emner/uv/uv/UV9215/>.
26. **Structural** equation modelling (SEM) using LISREL and EQS. Research Methods Workshop at AIB-UKI conference in York 2014 [Electronic resource]. –

Access mode : <http://www.aib-uki.org/portals/0/docs/2014-phd-syllabussem@aibuki-york.pdf>.

27. **Structural** equation modelling in educational research [Electronic resource]. – Access mode : <http://studiegids.uva.nl/web/sgs/nl/c/8529.html>.

28. **Structural** equation models for social and behavioral research [Electronic resource]. – Access mode : <http://www.soc.iastate.edu/dpeters/pubs/soc613-syllabusSS16.pdf>.

29. **Structural** Equation Models in the Social Sciences [Electronic resource]. – Access mode : [https://selfservice.brown.edu/ss/bwckctlg.p\\_disp\\_course\\_detail?cat\\_term\\_in=201420&subj\\_code\\_in=SOC&crse\\_numb\\_in=2260E](https://selfservice.brown.edu/ss/bwckctlg.p_disp_course_detail?cat_term_in=201420&subj_code_in=SOC&crse_numb_in=2260E).

30. **Structural** Equations [Electronic resource]. – Access mode : [https://onderwijsaanbod.kuleuven.be/syllabi/e/G0B65BE.htm#activetab=doelstellingenn\\_idp14549072](https://onderwijsaanbod.kuleuven.be/syllabi/e/G0B65BE.htm#activetab=doelstellingenn_idp14549072).

31. **Teo T.** Structural Equation Modeling in Educational Research / Timothy Teo, Myint Swe Khine. Rotterdam/Boston/Taipei : Sense Publishers, 2009. – P.3–10. [Electronic resource]. – Access mode : <https://www.sensepublishers.com/media/985-structural-equation-modeling-in-educational-research.pdf>.

32. **Usluel Y. K.** A Structural Equation Model for ICT Usage in Higher Education /Usluel Y. K., Akar, P., & Baş, T // Educational Technology & Society. – 2008. – №11 (2). – P. 262–273.

Панченко Л. Ф., Разорьонова М. В.

Моделювання структурними рівняннями як складник підготовки докторів філософії Стаття присвячена питанням підготовки майбутніх докторів філософії до використання напряму прикладного аналізу – моделювання структурними рівняннями. Проаналізовано сілабуси програм підготовки докторів філософії провідних університетів світу. Виявлено зміст навчання моделювання структурними рівняннями майбутніх науковців в галузі наук про освіту та соціальних наук. Мета курсів: застосування SEM до дослідження проблем соціальних та поведінкових наук, розуміння переваг та вад методу, його обмежень, навчання методам оцінки, ідентифікації моделей, перевірки їх придатності, інтерпретації, критичне оцінювання наукових публікацій з цієї тематики, використання статистичного програмного забезпечення для виконання SEM, підготовка звітів з дослідження у відповідності із стандартами



, які існують для досліджень та академічних публікацій. Аналізується динаміка популярності програмного забезпечення моделювання структурними рівняннями: AMOS SPSS, Lisrel, Mplus, EQS; динаміка популярності книг з тематики SEM на amazon.com. Обґрунтовується необхідність включення цих засобів в курси для майбутніх науковців ВНЗ України, які спеціалізуються в галузі освіти та соціальних наук. Ключові слова: моделювання структурними рівняннями, SEM, підготовка докторів філософії, програмне забезпечення моделювання структурними рівняннями, Lisrel, Amos, R Панченко Л. Ф., Разоренова М. В. Моделирование структурными уравнениями как составляющая подготовки докторов философии Статья посвящена вопросам подготовки будущих докторов философии к использованию такого направления прикладного анализа как моделирование структурными уравнениями (SEM). Проанализированы syllabus программы подготовки докторов философии ведущих университетов мира. Выявлено содержание обучения моделирования структурными уравнениями будущих исследователей в области наук об образовании и социальных наук. Цель курсов: применение SEM к исследованию проблем социальных и поведенческих наук, понимание преимуществ и недостатков метода, его ограниченности, обучение методам оценки, идентификации моделей, проверки их пригодности, интерпретации, критическое оценивание научных публикаций по этой тематике, использование статистического программного обеспечения для выполнения SEM, подготовка отчетов по исследованию в соответствии со стандартами, которые существуют для исследований и академических публикаций. Анализируется динамика популярности программного обеспечения моделирования структурными уравнениями: AMOS SPSS, Lisrel, Mplus, EQS; динамика популярности книг по тематике SEM на amazon.com. Обосновывается необходимость включения этих инструментов в курсы для подготовки будущих исследователей в вузах Украины. Ключевые слова: моделирование структурными уравнениями, SEM, подготовка докторов философии, программное обеспечение моделирования структурными уравнениями, Lisrel, Amos, R.

#### Information about the authors

*Liubov F. Panchenko* – Doctor of Pedagogical Sciences, Professor of the Department of Physics and Technical Systems and Computer Science, SI “Luhansk Taras Shevchenko National University”. Research interests: information technologies in education, data analysis, statistical methods.

*Maryna V. Razoronova* – Candidate of Pedagogical Sciences, Associate Professor, doctoral student, SI “Luhansk Taras Shevchenko National University”. Research interests: management education, personnel management, information technology in education.

The article was received by the Editorial Office on 07.06.2016  
The article was put into print on 24.06.2016