

Подход к измерению параметров зрелости процессов

А. С. Землякова¹, В. В. Яценко²

Санкт-Петербургский государственный электротехнический университет

«ЛЭТИ» им. В.И. Ульянова (Ленина)

¹st.jimmy13@yandex.ru, ²berater51@list.ru

Аннотация. Исследование посвящено проблеме измерения латентных и явных переменных, характеризующих уровень зрелости процессов организаций отраслей ИТ и сферы услуг. Управление процессами невозможно без информации об их состоянии. При этом, некоторые важные для менеджмента свойства процессов могут быть оценены исключительно косвенными, а не прямыми измерениями. Отмеченные сложности в измерении латентных и явных переменных могут быть преодолены с помощью применения известных статистических методов исследования структур взаимодействия. Знание структуры взаимодействия переменных, влияющих на зрелость процессов, позволяет менеджменту целенаправленно совершенствовать систему управления. Результаты данной работы могут быть также полезны для исследователей, занимающихся вопросами определения структуры взаимодействия латентных и явных переменных.

Ключевые слова: зрелость процесса; измерение процесса; моделирование структурными уравнениями; модель измерения

I. ВВЕДЕНИЕ

Получение информации об изменении статуса управляемого объекта (процесса, системы) по результатам воздействия на него, является фундаментальным условием целенаправленного управления. В отраслях ИТ получили распространение модели зрелости процессов, изначально разработанные для определения возможностей организаций-разработчиков программного обеспечения для нужд Министерства обороны США [1]. Использование моделей зрелости и определение уровня зрелости процессов также нацелено на получение информации о состоянии процессов организации. Уровень зрелости процесса – это степень улучшения процессов в заранее определенном наборе областей процессов, в которых достигнуты все установленные совокупности целей [2].

Преимуществом использования моделей зрелости, в отличие от простого определения статуса процесса и сбора обратной связи после воздействия на него, является наличие точно определенных направлений улучшений для процесса на каждом конкретном уровне. То есть, после определения места процесса в конкретной модели зрелости, менеджмент организации, помимо информации об уровне зрелости процесса, имеет информацию о действиях, которые необходимо предпринять, чтобы улучшить процесс. Или информацию об областях, в которых нужно действовать для перехода на следующий уровень зрелости процесса.

Таким образом, использование моделей зрелости является одним из способов получения информации о

состоянии процессов, а также о возможных областях улучшения процессов для организаций из отраслей ИТ и сферы услуг.

II. ЛАТЕНТНЫЕ И ЯВНЫЕ ПЕРЕМЕННЫЕ И ИХ СВЯЗЬ

В рамках данного исследования определение уровня зрелости процессов рассматривается с точки зрения внутренних факторов, то есть изучается гипотеза о том, что на уровень зрелости процессов влияют внутренние факторы организации. Данная гипотеза будет проверяться с помощью построения и оценки согласованности структурной модели [3].

В связи с этим проявляется проблема определения связи внутренних факторов организации с уровнем зрелости процесса, так как зачастую внутренние факторы, например, такие как поддержка руководства, культура организации и т. д., могут быть оценены исключительно косвенно.

Под латентными переменными понимаются гипотетические конструкты, созданные исследователем с целью понимания исследуемой области [4]. Связь конструктов между собой определяется гипотезой исследования. Существует несколько определений латентных переменных [5], но в рамках данной работы достаточно использовать следующее: «гипотетические конструкты, которые не могут быть напрямую измерены» [5]. Латентные переменные разделяют на экзогенные и эндогенные. Эндогенная латентная переменная может быть определена через другие латентные переменные, то есть попадает под влияние другой латентной переменной. Экзогенная латентная переменная независима, то есть, в гипотезе исследования нет никаких других переменных, влияющих на нее [4, 5]. Латентные переменные можно рассматривать также по времени получения – априорные и апостериорные латентные переменные. Априорные латентные переменные – это те переменные, которые были выделены до получения и обработки данных (то есть, были представлены в гипотезе изначально). Апостериорные латентные переменные – это те переменные, которые получены по результатам обработки данных, например, в результате эксплораторного факторного анализа, для апостериорных латентных переменных не будет известна структура взаимодействия [6].

Явные переменные – это измеримые переменные [4, 5]. Явные (измеримые) переменные являются частью проявления латентных переменных, то есть их появление объясняется наличием влияния латентных переменных [6]. При этом явные переменные содержат случайные

или систематические ошибки измерения в отличие от латентных (эндогенных) переменных [4, 7].

Особая зависимость между латентными и явными переменными отражается при рассмотрении структуры их взаимодействия. Так как в гипотезе исследования явные переменные подразумеваются следствием влияния латентной переменной, то обычно они частично или полностью взаимно коррелируют [8].

III. МОДЕЛИРОВАНИЕ СТРУКТУРНЫМИ УРАВНЕНИЯМИ

Измерить латентную переменную возможно с помощью определения значений явных переменных, которые выражают ее влияние. Моделирование структурными уравнениями включает в себя подтверждающий (конфирматорный) факторный анализ – тип моделирования структурными уравнениями, который имеет дело конкретно с моделями измерений, т. е. отношениями между явными и латентными переменными или факторами [9, 10]. В общем виде отношения между явными и латентными переменными, исследуемые с помощью моделирования структурными уравнениями, можно выразить уравнением (1).

$$Y = \lambda * X + \zeta, \quad (1)$$

где Y – явная переменная, X – латентная переменная, λ – коэффициент регрессии, ζ – переменная остатков [11].

Моделирование структурными уравнениями также называется анализом ковариационных структур [11], причинно-следственным моделированием, путевым анализом (конфирматорный факторный анализ и путевой анализ могут использоваться самостоятельно) [7, 11, 12]. Отличием конфирматорного факторного анализа является необходимость построения гипотезы о структуре взаимодействия переменных (факторов) до сбора информации для проверки гипотезы [9, 12]. В рамках конфирматорного факторного анализа происходит оценка расхождения между эмпирической ковариационной матрицей (полученной на основе собранных данных) и ковариационной матрицей исследуемой (гипотетической) модели [12]. Оценка расхождения обычно анализируется с учетом индексов согласия модели, например, хи-квадрат и число степеней свободы (χ^2 и df), квадратный корень среднеквадратической ошибки аппроксимации (RMSEA) и т.д. [10].

А. Подход к измерению латентных переменных

Латентные переменные – это представления гипотетических конструктов. При этом, одна латентная переменная может быть под влиянием других латентных переменных, например, в данном исследовании, зрелость бизнес-процессов организации зависит от других неизмеримых латентных переменных (они будут названы далее).

Согласно [11], после определения гипотетических конструктов для измерения необходимо определить смысл гипотетического конструкта (фактора). Выбор определения для исследуемого фактора поможет определить последующие действия в исследовании, в

том числе, что относить к исследуемому фактору, каким методом можно собрать информацию по исследуемому фактору [11].

Следующим шагом может быть определение размерности (шкалы) данного фактора [11]. Латентные факторы не имеют под собой определенной размерности по своей природе и состоят из общей дисперсии [12]. Явные переменные имеют размерность, например, явная переменная «возраст организации» измеряется с помощью определения количества лет существования организации, переменная «размер организации» измеряется с помощью определения количества сотрудников в организации. Обычно латентному фактору присваивается размерность (шкала) явной переменной-индикатора путем, например, установления коэффициента регрессии равным 1. Таким образом, латентный фактор получает ту же дисперсию, как и у явной переменной-индикатора от части общей дисперсии [12]. Каждый латентный фактор в исследуемой модели должен иметь размерность [6].

Определение метода сбора информации по исследуемому фактору – это важный этап, который относится к проектированию процесса измерения. Цель процесса измерения – получение количественного значения величины, которое можно интерпретировать, на основании которого можно принимать необходимые действия. Определение метода сбора информации тесно связано, в том числе, со способом последующего анализа информации. В данном случае, при использовании моделирования структурными уравнениями для анализа, собранные данные должны быть количественными. Метод сбора информации также определяется с учетом исследуемого гипотетического конструкта. По каким-то явным переменным-индикаторам латентного фактора, например, «возраст организации», «размер организации» информация об организациях-участниках исследования может быть собрана самостоятельно из открытых источников. Обычно информация собирается с помощью анкет, то есть подразумевается, что определенные ответы респондента выражают влияние латентного фактора [11]. В случае данного исследования информацию о явных переменных «возраст организации», «размер организации» планируется собирать в рамках общей анкеты у сотрудников организаций. Однако, при отсутствии ответа в данных вопросах допускается самостоятельное дополнение информации об организации участнике из открытых и достоверных источников.

Связь между несколькими исследуемыми переменными можно представить в виде модели измерения. Модель измерения отражает структуру, которая связывает латентные факторы с одной или несколькими явными переменными. Модель измерения может быть представлена в виде системы линейных уравнений или в виде путевой диаграммы [11]. Помимо модели измерения существует также модель латентных факторов, которая отражает только последовательность влияния латентных факторов друг на друга, то есть не содержит явных переменных и связей с ними. Обе модели, и модель измерения, и модель латентных факторов, несмотря на разный вид, являются структурными и создаются для отображения структуры взаимодействия всех элементов в исследуемой гипотезе

[11]. Их совмещение позволяет получить общую модель структурных уравнений.

В. Путьевые диаграммы

Путьевая диаграмма (модель путей) – графическое представление системы линейных уравнений, которое используется для более наглядного отображения исследуемой гипотезы (в виде модели) [5, 7, 9, 11]. Система уравнений и путьевая диаграмма равноценны. Пример путьевой диаграммы представлен на рис. 1.

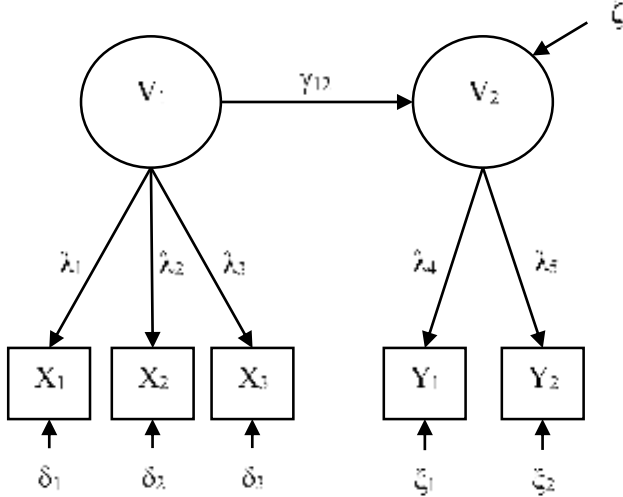


Рис. 1. Пример путьевой диаграммы [4, 11]

На рис. 1 приведены следующие обозначения:

- V_1 – экзогенная латентная переменная, V_2 – эндогенная латентная переменная,
- ζ – переменные остатков (может рассматриваться как ошибка измерения либо как особенность переменной, которую данная модель не учитывает) [5, 11],
- $\gamma_{12}, \lambda_1, \lambda_2, \lambda_3, \lambda_4, \lambda_5$ – коэффициенты регрессии [11, 12],
- X_1, X_2, X_3, Y_1, Y_2 – явные переменные,
- $\delta_1, \delta_2, \delta_3, \xi_1, \xi_2$ – переменные остатков (случайные или систематические ошибки измерения или ошибки в уравнении) [11].

Модель с рис. 1 можно также представить в виде системы линейных уравнений (2).

$$V_2 = V_1 * \gamma_{12} + \zeta, \quad (2)$$

$$X_1 = \lambda_1 * V_1 + \delta_1,$$

$$X_2 = \lambda_2 * V_1 + \delta_2,$$

$$X_3 = \lambda_3 * V_1 + \delta_3,$$

$$Y_1 = \lambda_4 * V_2 + \xi_1,$$

$$Y_2 = \lambda_5 * V_2 + \xi_2.$$

Модели, как и латентные переменные, могут быть априорными и апостериорными. Обычно для выражения гипотезы исследования строится априорная путьевая диаграмма, которая проверяется с помощью метода моделирования структурными уравнениями на соответствие исходным данным и затем корректируется до получения наилучшей согласованности [7]. Апостериорная модель – это модель, которая построена после проверки на соответствие исходным данным.

Априорная модель, выражающая гипотезы исследования авторов данной работы представлена на рис. 2 [3]. Обозначения коэффициентов регрессии опущены, чтобы избежать нагромождений.

На рис. 2 приведены следующие обозначения:

- Латентные переменные: LO (Learning orientation) – ориентация на обучение, INN (Innovativeness) – новаторство, КМ (Knowledge management) – управление знаниями, МІ (Management innovation) – управленческие инновации, ІТ (IT infrastructure) – наличие ІТ-инфраструктуры, ORGC (Organisational culture) – организационная культура, MAT (Business process maturity levels) – уровни зрелости бизнес-процессов организации,
- Явные переменные: SIZE (Firm size) – размер организации, AGE (Firm age) – возраст организации, $A_{1-3}, B_1, C_{1-2}, D_{1-3}, E_1, F_{1-4}, G_{1-3}$ – явные переменные для измерения латентных переменных,
- Переменные остатков: $\delta_{1-3}, \xi_1, \varepsilon_{1-2}, \gamma_{1-3}, \mu_1, \sigma_{1-4}, \tau_{1-3}, \zeta_{1-3}$.

Явные переменные $A_{1-3}, B_1, C_{1-2}, D_{1-3}, E_1, F_{1-4}, G_{1-3}$ представляют собой набор утверждений, согласие или несогласие с которыми позволит оценить степень присутствия латентного фактора в рассматриваемом массиве данных.

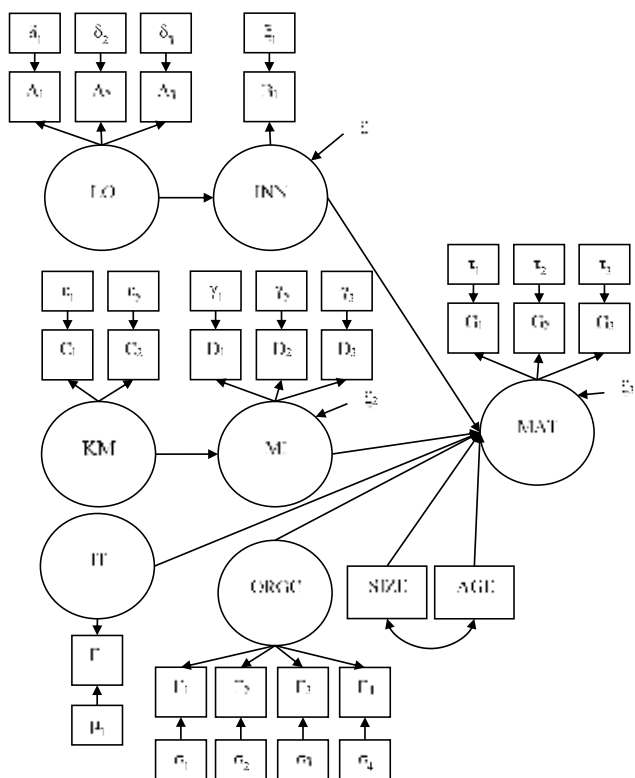


Рис. 2. Путевая диаграмма взаимодействия переменных, влияющих на зрелость процессов

IV. ЗАКЛЮЧЕНИЕ

В рамках работы рассмотрены понятия и особенности латентных и явных переменных. Представлен статистический метод для исследования структур взаимодействия – моделирование структурными уравнениями, приведен пример путевой диаграммы.

Предложена путевая диаграмма взаимодействия переменных, влияющих на зрелость процессов, основанная на предварительных исследованиях латентных факторов, влияющих на уровень зрелости процессов в организации. Для данной путевой диаграммы на основе собранного массива данных будут определены путевые коэффициенты – конкретные значения каждой стрелки, аналогичные факторным нагрузкам в факторном анализе.

Полученные численные значения, отражающие влияние факторов на уровень зрелости процессов, позволят впоследствии применять эти знания при формировании управленческих решений, подходящих для отдельной организации. Результаты исследования полезны для руководства организаций, стремящихся к более целенаправленному управлению бизнес-процессами и повышению зрелости процессов.

СПИСОК ЛИТЕРАТУРЫ

- [1] Humphrey W.S. Characterizing the software process: a maturity framework. IEEE Software, 1988, vol. 5, no. 2, pp. 73-79. DOI: 10.1109/52.2014
- [2] CMMI Product Team, "CMMI for Services, Version 1.3", Software Engineering Institute, Carnegie Mellon University, Pittsburgh, Pennsylvania, Technical Report CMU/SEI-2010-TR-034 (2010). Available at: <http://resources.sei.cmu.edu/library/asset-view.cfm?AssetID=9665> (Accessed 9 February 2022)
- [3] Zemlyakova A.S., Jaschenko V.V., Dukeov I.I. Soft Measurement of Process Improvement Potential. 2021 XXIV International Conference on Soft Computing and Measurements (SCM). Saint Petersburg, 2021, pp. 157-160. DOI: 10.1109/SCM52931.2021.9507105
- [4] Bentler P. Multivariate Analysis With Latent Variables: Causal Modeling. Annual Review of Psychology, 1980, vol. 31, pp. 419-456. DOI: 10.1146/annurev.ps.31.020180.002223
- [5] Митина О.В. Моделирование латентных изменений с помощью структурных уравнений // Экспериментальная психология. 2008. Том 1. № 1. С. 131–148.
- [6] Bollen K. Latent Variables In Psychology And The Social Sciences. Annual review of psychology, 2002, vol. 53, pp. 605-34. DOI: 10.1146/annurev.psych.53.100901.135239
- [7] Наследов А.Д. Структурное моделирование каузальных гипотез: исследование педагогических стереотипов оценивания младших школьников // Вестник Санкт-Петербургского университета. Серия 12: Психология. Социология. Педагогика. 2011. № 1. С. 305-313.
- [8] Cohen P., Cohen J., Teresi J., Marchi M., Velez C. N. Problems in the Measurement of Latent Variables in Structural Equations Causal Models. Applied Psychological Measurement, 1990, vol. 14, n. 2, pp. 183–196. DOI:10.1177/014662169001400207
- [9] Brown T.A. Confirmatory Factor Analysis for Applied Research. New York, The Guilford Press Publ., 2006. 475 p.
- [10] Yashchenko V.V., Zemlyakova A.S. The model of implementing the problem solving process in the field of quality in Russian organizations. XXIII Mezhdunarodnaya konferentsiya po myagkim vychisleniyam i izmereniyam [Proc. 23th Int. conference on Soft Computing and Measurements], Saint Petersburg, 27-29 May, 2020. Saint Petersburg: ETU "LETI", 2020, T. 1, pp. 277-280. (In Russian).
- [11] Bollen K. Structural Equations with Latent Variables 1st Edition. Hoboken, The Wiley-Interscience Publ., 1989. 514 p.
- [12] Ullman J.B. Structural equation modeling: reviewing the basics and moving forward. Journal of Personality Assessment, 2006, vol. 87, n. 1, pp. 35-50. DOI:10.1207/s15327752jpa8701_03. PMID: 16856785