

СТРУКТУРНЫЕ УРАВНЕНИЯ - метод моделирования отношений между несколькими переменными - зависимыми (далее - ЗП) и независимыми (далее - НП), измеренными и латентными, непрерывными и дискретными, - оформившийся в 1970-х в работах статистиков (К. Йореског и Д. Сёрбом), социологов (Г.

Блэлок, О. Дункан), эконометристов (А. Голдбергер) и психометристов (П. Бентлер). В литературе С.У. иногда выступают под именем анализа ковариационных структур, моделирования симультанных уравнений и каузального моделирования (последнее обозначение не только неудачно, но и ошибочно). Отношения между переменными представляются в виде системы линейных уравнений, обычно в матричной форме.

В отличие от традиционной прикладной статистики, в которой моделируются связи между переменными или индивидами, С.У. оценивает отношения между матрицами ковариаций между переменными. Основная цель анализа - проверка соответствия теоретических моделей эмпирическим данным. В этом случае оценивается расхождение между выборочной ковариационной матрицей и матрицей, предсказанной моделью. Другими целями могут быть оценка прямых и опосредованных эффектов, параметров модели, общей дисперсии, объясняемой моделью, надежности и валидности индикаторов, различий между группами, кривых латентного роста в лонгитюдных исследованиях. Качество моделей оценивают с помощью индексов пригодности (статистически значимые показатели указывают на непригодность модели для описания данных), большинство из которых основаны на статистиках  $\chi^2$  и максимального правдоподобия; ряд индексов скорректирован на объем выборки, количество оцениваемых параметров или степеней свободы; используются статистики, производные от остатков (ошибок) модели.

В своей полной форме С.У. включают три типа переменных: латентные (теоретические конструкты), измеряемые и ошибки. Отношения между переменными в модели представлены структурными параметрами. Слово "структурный" означает, что параметры не просто описывают реальность, а отражают теоретически заданные (иногда каузальные) связи между переменными.

В С.У. выделяют две частных модели: модель латентных переменных, чаще, несмотря на тавтологию, называемую структурной, и модель измерения. Структурная модель представляет собой систему регрессионных уравнений, известную под названием путевого анализа (см.

Анализ регрессионный). В отличие от регрессионного в путевом анализе несколько НП

могут одновременно влиять на несколько ЗП, и последние могут влиять друг на друга.

Регрессионный анализ позволяет статистически контролировать влияние переменных и является основным средством исследования каузальных отношений в неэкспериментальных науках, к которым относится социология. Снятие ограничений на связи между зависимыми переменными, достигнутое в путевом анализе, делает метод адекватным для моделирования многомерных социальных систем.

Модель измерения, заимствованная из психометрики, позволяет учитывать ошибку измерения, оценивать надежность и валидность индикаторов латентных переменных (конструктов). Большинство понятий социологии - статус, власть, неравенство, образование и др. - являются конструктами. Эксплицитное введение в модель ошибок измерения позволяет получать более валидные оценки эффектов, а пренебрежение ошибками приводит к искажениям оценок, предвидеть которые в общем случае невозможно.

Модель измерения представляет собой конфирматорный факторный анализ (см. Валидность).

Ковариационный, дисперсионный и некоторые другие методы анализа можно также представить как частный случай С.У. В последние годы разработаны модели для латентных механизмов, генерирующие отсутствующие значения (напр., отказы респондентов). Указанные особенности делают метод уникальным и беспрецедентно универсальным.

Предположениями модели С.У. являются многомерная нормальность переменных, в том числе отсутствие экстремальных значений, и линейность связей между переменными. В случае нарушений линейности переменные преобразуются (логарифм, возведение в степень, обратные значения). Еще одним требованием, необходимым для недвусмысленной оценки параметров, является идентифицируемость, т. е. превышение количества единиц наблюдения (ковариаций) над количеством оцениваемых параметров. Во многих случаях для целей идентификации приходится фиксировать некоторые параметры (устанавливать их равными определенным значениям).

Для начинающих исследователей трудность в освоении С.У. связана с тем, что в общей форме они представляются на языке матричной алгебры, а в простых моделях - на языке ковариационной матрицы. Имеется много компьютерных программ для структурного моделирования: EQS, LISCOMP, LISREL, COSAM, AMOS и др. Модули для структурного анализа включены в профессиональные пакеты статистических программ (SAS, SPSS, STATISTICA и др.).

Наиболее популярна программа LISREL, разработанная Йорескогом и Сёрбомом. LISREL

состоит из трех программ, одна из которых (PRELIS) предварительно преобразует сырые данные в форму ковариационных матриц, а две другие оценивают модели, заданные на языке матриц (LISREL) или уравнений (SIMPLIS). Принятая авторами система обозначений восьми типов матриц параметров (матрица коэффициентов регрессий латентных ЗП на другие латентные ЗП, матрица коэффициентов регрессий латентных ЗП на латентные НП, матрица факторных нагрузок латентных ЗП на индикаторы, то же для латентных НП переменных, матрица ковариаций между латентными НП, матрица ковариаций между ошибками предсказания ЗП, матрица ковариаций между ошибками измерения ЗП, то же для НП) с помощью латинских и греческих букв часто используется в зарубежной социологической литературе "по умолчанию".

Бум анализа с использованием С.У. наблюдался в зарубежной социологии в 1980 - начале 1990-х и к настоящему времени сменился периодом разочарования и недоверия. Частично это связано с неграмотной интерпретацией С.У. как средства обнаружения и верификации каузальных связей (см. Каузальное моделирование), частично с большой сложностью и высокими требованиями к статистической и математической подготовке исследователей. Последнее ограничение частично снято с появлением нового поколения гибких программ, позволяющих задавать модели графически, посредством нажатия кнопок мыши (AMOS в SPSS и особенно EQS) и появлением новых, более простых формулировок. Напр., в модели Бентлера используются только 3 типа матриц вместо 8 у Йорескога и Сёрбома.

С.В. Сивуха