

Андрей Константинович Колесников, профессор, ректор Пермского государственного гуманитарно-педагогического университета, кандидат физико-математических наук,

Ирина Павловна Лебедева, профессор философско-социологического факультета Пермского национального исследовательского университета, доктор педагогических наук

О РОЛИ МЯГКИХ И ЖЁСТКИХ МОДЕЛЕЙ В СОЦИАЛЬНО-ПЕДАГОГИЧЕСКОМ ИССЛЕДОВАНИИ

В статье ставится проблема исследования и аналитического представления причинных связей в социально-педагогических системах. Раскрывается роль мягких и жёстких моделей в реализации качественного и количественного подходов к изучению причинности в сфере высшего образования. Приводятся примеры жёстких и мягких моделей, характеризующих образовательную деятельность вузов и удовлетворённость потребителей качеством их услуг.

Для любого научного исследования актуальна проблема причинности, один из важных аспектов которой связан с изучением взаимоотношения причины и случайности. В современной науке сложилось представление о том, что статистические законы являются наиболее глубокой и общей формой описания явлений окружающего мира. В процессе поиска закономерностей развития социально-педагогических систем случайность как фундаментальное понятие выполняет методологическую функцию. Стохастический характер этих закономерностей предполагает использование статистических методов, которые рассматриваются нами

с позиции их роли для выявления причинных отношений¹.

Применение математического аппарата требует формализации предмета познания, приводящей к конкретизации поставленной задачи до уровня установления специфических причин. Эффективность её решения в значительной мере определяется исходными содержательными идеями и концепциями и предполагает не только выявление типа причинно-следственной связи, но и характе-

¹ Kolesnikov A.K., Lebedeva I.P. Investigation of causality based on complex use of statistical methods (case study of social research). Quality & Quantity. 2012, DOI: 10.1007/s11135-012-9702-7.

ра взаимодействия причины и следствия. Возникает необходимость изучения изменений состояний системы с помощью фиксации её параметров в динамике. В результате исследования динамики таких взаимодействий во всём их многообразии и сложности может оказаться возможным определение направленности соответствующих изменений.

Причинно-следственные связи для конкретной совокупности состояний системы возникают под влиянием её предыдущих состояний и целенаправленного воздействия определённых факторов. Учитывая это, а также определённые параметры функционирования системы, можно выдвинуть гипотезу о характере причинных связей. В социально-педагогическом исследовании особое значение имеет её обоснованность. Основания для выдвижения гипотезы о причинно-следственных отношениях можно найти, рассматривая этапы научного метода познания с позиции систематизации и структурно-количественного анализа выявленных эмпирических фактов. Количественная формулировка качественно установленных фактов позволяет представить гипотезу в конструктивном виде, выдвигая предположение о характере связей между величинами.

Фундаментальный принцип проверки гипотезы о причинных связях основан на кибернетической модели «чёрного ящика». Однако в социально-педагогическом исследовании её применение весьма ограничено. Во-первых, подобные абстракции не оправдывают себя, так как далеки от реальности. Во-вторых, они отражают функциональные зависимости, которые характеризуют лишь отдельные стороны поведения системы. В-третьих, в соответствии с данной моделью

осуществляется постановка эксперимента, проведение которого является довольно сложным процессом, требующим учёта всех существенных факторов, способных повлиять на точность и научную ценность результата. Разработано множество способов исключения влияния посторонних переменных в условиях эксперимента. Однако невозможно добиться полного контроля исследуемого фактора и нивелировать воздействие случайных факторов.

В итоге полученный результат оказывается приближенным. Для социально-педагогической системы (т.е. образовательной системы, интегративные взаимосвязи которой обусловлены взаимодействием субъектов образовательного процесса с социальной средой) типична ситуация, когда практически невозможно даже выделить влияние различных факторов. В отношении их могут быть лишь определённые теоретические предположения, в которых полученные эмпирические данные не соотносятся с условиями эксперимента. В эксперименте же моделируется определённая ситуация, отличающаяся от реальной в силу действия неучтённых случайных факторов. Отсюда следует ограниченность эксперимента для исследования социально-педагогических (или образовательных) систем и необходимость использования неэкспериментальных данных.

В случае экспериментальных данных, учитывая воздействия на систему (входные параметры) и их результаты (выходные параметры) в динамике считают, что вторые являются следствием первых. Действительно, для решения некоторых частных задач этого достаточно, если правильно определена совокупность входных и выходных параметров

(что совсем нетривиально). Тогда остаётся построить лишь подходящую статистическую зависимость. Простота модели «чёрного ящика» является кажущейся, поскольку рассмотрение обратной связи, т.е. влияния следствия на причину и взаимодействий между ними, приводит к существенному усложнению исходной модели, необходимости проведения лонгитюдного исследования, оценки интегративных эффектов и выявления тенденций в изменении состояний системы.

Для неэкспериментальных данных традиционно рассматривают корреляционный анализ как основу возникновения гипотезы о причинной связи. Учитывая множество факторов, определяющих взаимосвязь показателей, эта гипотеза может оказаться маловероятной. Повысить её обоснованность с тем, чтобы сделать продуктивным последующий анализ данных, возможно, если учитывать временной фактор и обеспечить необходимую полноту и структурированность показателей, которые в полной мере должны отражать исследуемое явление. Определение типа связей между ними позволяет наметить процедуру дальнейшего анализа данных. Для объяснения связей применяют факторный анализ, предназначенный для выявления латентных факторов.

Таким образом, причинные отношения в исследовании социально-педагогических систем отражают, прежде всего, определённые тенденции в их функционировании и развитии, поиск которых предполагает интеграцию качественного и количественного подходов. В рамках качественного подхода решаются задачи понимания и интерпретации полученной информации и затем — её концептуализации. Количественный подход

используется с целью объяснения причинности и измерения взаимосвязей, что и определяет содержание операций в процессе его реализации. Получение научного знания с позиции указанного подхода должно быть доказательно и последовательно построено на основе эмпирических данных.

Следуя логике научного метода, эти подходы взаимно дополняют друга и в единстве реализуемых ими стратегий исследования способствуют выявлению причинно-следственных отношений. Возникает проблема интеграции этих подходов, которая обусловлена:

- переходом от концептуальной к формальной (в частности, математической) модели;
- интерпретацией математической модели.

Однако механизмы такой интеграции не разработаны в силу сложности перехода от концептуальной к математической постановке задачи, который всегда сопровождается потерей качественного содержания изучаемого явления. А поскольку образовательные системы слабо формализуемы, то такая потеря неизбежна. Актуальна проблема её минимизации, которая может быть решена за счёт целесообразной интеграции качественного и количественного подходов при ведущей роли первого. Одним из способов её осуществления является использование мягких моделей для аналитического представления причинных связей. Они имеют вероятностный характер, определяемый стохастической природой социальных явлений и процессов. Это предполагает выполнение определённых требований, относящихся к реализации выборочного метода (в частности, в связи с переносом результатов

исследования с выборки на генеральную совокупность), корректное применение выбранного статистического метода и правильную интерпретацию полученных результатов.

С помощью мягких моделей фиксируются общие тенденции, а жёсткие модели получают по отношению к локальным условиям. Если построен целый класс жёстких моделей, которые применимы к идеализированным ситуациям, то на их основе можно получить мягкую модель, приближенно описывающую общую тенденцию. Тогда полученные мягкие модели являются научно обоснованными и практически полезными. В этом смысле мягкие модели служат приближенным описанием класса жёстких моделей. Но для образовательных систем построение последних не всегда не только целесообразно, но и даже возможно. Интерпретация жёстких моделей осуществляется на математическом языке. Мягкие же модели допускают только качественную интерпретацию.

Приведём пример. В реальном процессе обучения фактически реализуются некие статистические взаимосвязи между параметрами сложности и трудности предмета изучения:

$$T_i = Ti(x_1, x_2, x_3, \dots, x_n),$$

где T_i — параметры трудности, x_1, x_2, \dots, x_n — параметры сложности, представляющие собой количественные характеристики предмета изучения. Так, для учебных текстов x_1 — характеристика «размеров» (объёма) текста, x_2 — объединённая и усреднённая оценка всего набора и структуры объектов текста (основных понятий, символов, терминов); x_3 — аналогичная оценка его логических конструкций (принципиально важные

для понимания смысла текста взаимосвязи объектов)².

В простейшем случае эти взаимосвязи могут иметь вид регрессионного уравнения:

$$T = ax_1 + vx_2 + cx_3 + d.$$

Причём все коэффициенты уравнения должны быть положительны в силу очевидной тенденции: чем больше по величине показатели сложности, тем больше трудность. Интерес же представляют локальные модели таких взаимосвязей, полученные для конкретных условий (учебной дисциплины, темы, контингента обучаемых), в которых коэффициенты a, v, c оценены и равны определённым числам. В случае адекватной модели (в соответствии с определёнными статистическими критериями) данную модель можно использовать для прогнозирования трудности по показателям сложности, определяя рациональные способы их вариации с учётом поставленных дидактических целей. Такой прогноз (с определением величины доверительного интервала) имеет большое значение для организации процесса обучения в силу его временных рамок. Указанные модели являются жёсткими, и они применимы для ограниченных и однозначно зафиксированных локальных условий. При их изменении изменится и модель (величина коэффициентов a, v, c), но общая тенденция взаимосвязи, как свидетельствуют результаты исследований, между ними сохранится.

Обратим внимание на то, что учебные тексты, в частности, математические, допускают необходимую для моделирования формализацию. Параметры сложности в полной мере отражают их структуру (существенные

² Пехлецкий И.Д. Сложность и трудность учебных текстов и задач / И.Д.Пехлецкий. Пермь: Изд-во Перм. гос. пед. ун-та, 2008. 101 с.

связи, важные для познания изучаемого предмета). Однако не каждая образовательная система допускает аналогичную степень формализации. Поэтому жёсткие модели не всегда адекватно отражают её сущность. Тогда для моделирования взаимосвязей между параметрами структуры этой системы более подходящими будут мягкие модели.

Например, представляет интерес общая тенденция взаимосвязи между обучаемостью и факторами, её определяющими. Если учитывать приобретённые обучаемым познавательные возможности после взаимодействия с предметом изучения, можно выделить три уровня обучаемости: детерминированный (запоминание материала, действие по заданным алгоритмам), технологический (овладение методами использования новых знаний в разных практических ситуациях), методологический (овладение методологией применения полученных знаний). Учитывая природу обучаемости, естественно предположить, что её уровень зависит не от отдельного фактора, а от комплекса факторов, гармонично взаимосвязанных друг с другом и относящихся к различным сферам (интеллектуальной, мотивационной и др.). Очевидно, что влияние этих факторов на разные компоненты обучаемости может быть существенно разным. Сравнительные оценки этого влияния были получены на основе линейных множественных регрессионных уравнений.

В результате выяснилось, что ведущую роль для методологической обучаемости играют познавательный интерес, компоненты невербального интеллекта и качество знаний. Для детерминированной и технологической обучаемости значимость указанных факторов другая: на первый план высту-

пает качество знаний, затем — познавательный интерес и показатели интеллекта. Причём теснота связей для методологической обучаемости меньше, чем для детерминированной и технологической, что естественно объясняется большей стохастичностью закономерностей, связанных с высшими уровнями функционирования психики.

В данном случае получено множество статистически точных математических моделей соответствующих взаимосвязей в разных выборках учащихся. Обозначенная тенденция действия факторов обучаемости отражает в целом суть зафиксированных в них взаимосвязей. Для указанной ситуации важно выявление и ранжирование факторов, влияющих на каждый уровень обучаемости для школьников. Количественные оценки такого влияния не имеют особого смысла в силу слабой формализуемости и динамичности рассматриваемых познавательных процессов.

Возникает вопрос: «Всегда ли мягкие модели отражают универсальные тенденции?». Как показали результаты исследований обучаемости студентов, общая направленность изменений под воздействием этих же факторов остаётся прежней, но характер их влияния меняется. Как выяснилось, существенное изменение образовательной среды и возраста обучаемых привело к тому, что ведущим фактором обучаемости во всех выборках студентов для методологической обучаемости является интеллект. Поэтому можно очертить определённые границы применения мягких моделей, определяемые однородностью выборки по отношению к существенным параметрам для данного исследования. Сохранение направленности взаимодействия причины и следствия при любых

вариациях мягких моделей может служить обоснованием истинности причинных отношений. Однако такая ситуация не всегда имеет место. В предпринятом нами исследовании лояльности потребителей при изменении образовательной услуги менялась и направленность действия факторов, влияющих на лояльность.

Таким образом, построение так называемых жёстких моделей для локальных условий функционирования образовательной системы недостаточно для отражения причинных связей в ней, поскольку они обладают свойством «насыщения» и поэтому сохраняют свою полезность для определённого диапазона изменения значений факторных признаков. Локальный характер таких моделей свидетельствует о неустойчивости причинных связей или точнее — их динамичности. В некоторых случаях построение жёстких моделей не только нецелесообразно, но и просто невозможно, например, для качественных признаков. Тогда мягкую модель для качественных данных можно попытаться рассмотреть без соотнесения её с классом соответствующих жёстких моделей, построенных для количественных показателей.

Покажем на примере анализа социально-педагогической эффективности образовательной услуги роль мягких моделей в исследовании причинных отношений. Эта эффективность оценивается, в частности, на основе взаимосвязей показателей лояльности и удовлетворённости потребителей образовательной услугой как субъективной характеристики её качества. Выборку составили выпускники четырёх ведущих вузов г. Перми (N=342). Для оценки удовлетворённости изучением конкретной учебной дисциплины разработана специальная анкета в соответ-

ствии с теорией подтверждения/неподтверждения, которая проводится анонимно. Показатели удовлетворённости отражали как педагогический аспект образовательной услуги (содержание, способы его усвоения, виды деятельности), так и социальный (имидж) и экономический (стоимость)³.

Лояльность по отношению к образовательной услуге определялась в шкале наименований:

0. Намерение перейти в другую образовательную организацию (к конкуренту).

1. Намерение вновь обратиться в образовательную организацию.

2. Намерение получить другую услугу в той же организации.

3. Намерение рекомендовать образовательную организацию другим потребителям.

Для получения оценок эффективности образовательной услуги получены взаимосвязи показателей удовлетворённости исполнением услуги (условием и процессом с её результатом) для разных групп студентов, отличающихся по лояльности. По результатам корреляционного анализа можно утверждать:

— структура взаимосвязей субъективных показателей качества услуги непосредственно не соотносится с характером лояльности потребителей, что актуализирует продолжение их более глубокого исследования на основе получения количественных оценок лояльности и их соотнесения с объективными (отражающими содержание) характеристиками соци-

³ Колесников А.К., Лебедева И.П. Удовлетворенность потребителей образовательными услугами высшей школы: математическое моделирование причинности/Проблемы теории и практики управления. 2013, №3. С.125-131.

ально-педагогической эффективности услуги;

— учёт оценок важности свойств услуги потребителем при подсчёте индекса удовлетворённости не меняет структуру данных взаимосвязей.

На основе таких результатов не удалось получить характеристики социально-педагогической эффективности образовательной услуги. Однако можно попытаться выполнить «ремонт» данных, переведя в другую шкалу оценки лояльности. Возникает вопрос о его правомерности. Для некоторых методов, показавших эффективность при решении практических задач, отсутствуют строгие доказательства корректности их использования. Например, это относится к регрессионному анализу данных, полученных в результате дихотомизации номинальных признаков. При этом делается допущение о том, что за анализируемыми номинальными и порядковыми признаками как бы «стоят» некоторые числовые переменные.

Поэтому условно указанным утверждениям были присвоены баллы с учётом степени положительного отношения к организации и предоставляемой ей услуги: 0,1,2,3. В результате предпринят регрессионный анализ, в котором в качестве зависимой переменной выступала лояльность, а в качестве независимых переменных — удовлетворённость следующими свойствами образовательной услуги: И — «имидж», С — «стоимость», Р — «результат овладения знаниями и умениями», П — «процесс исполнения услуги» (усреднённый показатель по нескольким свойствам процесса исполнения услуги).

Адекватными по F-критерию Фишера, и все коэффициенты значимы по t-критерию

Стьюдента, оказались следующие линейные уравнения:

$$Л = 0,13И - 0,10С + 1,77$$

$$Л = 0,17Р - 0,10С + 1,58$$

Учитывая способы получения первичных показателей, данные модели по своей сути являются мягкими, и поэтому величину коэффициентов уравнения некорректно интерпретировать. Можно считать, что в этих моделях зафиксированы простейшие тенденции (учитывая направление связи по знаку коэффициентов при переменных). Они заключаются в следующем:

— чем выше имидж и меньше стоимость, тем лояльность выше;

— чем лучше результат и меньше стоимость, тем лояльность выше.

Кроме того обращает на себя внимание отсутствие связей лояльности с характеристиками процесса исполнения услуги.

Следует заметить, что не во всех случаях целесообразен подобный перевод данных из одной шкалы в другую. Если, например, в качестве переменной рассматривается «вуз», то его выполнение просто лишено смысла. Однако если конкретизировать признак и представить его в виде совокупности переменных даже качественных, то, возможно, это и будет иметь смысл. В таком случае на основе мягких моделей можно выдвинуть гипотезы о причинных отношениях и определить перспективность продолжения исследования в соответствующем направлении. Оно было продолжено нами на разных выборках студентов после разработки способов измерения социально-педагогической эффективности образовательной услуги, позволяющих получать данные для построения жёстких моделей. Причём в каждой выборке они оказались

разными, что подчёркивает их локальный характер.

Одно из основных назначений математических моделей — прогнозирование изменений зависимой переменной при соответствующих вариациях независимой переменной. При их высокой статистической точности можно полагать, что в будущем влияние независимых переменных на зависимую переменную будет аналогичным. Очевидна ограниченность прогностических свойств мягких моделей, поскольку они могут быть использованы только для весьма приближенной (качественной) экстраполяции тенденций без получения оценок надёжности и точности прогноза. В то время как построение жёстких моделей имеет целью прогнозирование на их основе. Но при этом даже «жёсткую модель всегда надлежит исследовать на структурную устойчивость полученных при её изучении результатов по отношению к малым изменениям модели (делающим её мягкой)»⁴.

В любом случае при построении модели делают ряд статистических предположений. Их истинность часто остаётся под вопросом. Поэтому вместо вопроса «идеально ли модель согласуется с данными?», более уместным будет следующий: «согласуется ли она достаточно хорошо, чтобы получить новую информацию об объекте исследования, объяснить структуру данных и быть полезной для практического применения?». Идеальное соответствие модели данным не означает, что она верна. Можно построить другие модели, так же хорошо согласуемые с исходными данными. Отсюда необходимость правильной

интерпретации, определения научной и практической ценности полученной модели и возможностей прогнозирования на её основе.

Наиболее перспективной, как нам представляется, для исследования причинности является иерархическая комбинация мягких и жёстких моделей в виде последовательности этапов комплексного статистического анализа эмпирических данных. Эти этапы отражают возникновение причинно-следственных связей для фиксированной совокупности состояний системы с учётом её предыдущих состояний и целенаправленного воздействия специфических факторов. Сочетание мягких и жёстких моделей определяется задачами исследования, при решении которых нельзя не иметь в виду, что объективно присущая социальной системе неопределённость функционирования может усиливаться благодаря использованию неадекватных способов исследования причинности.

Таким образом, мягкие модели рассматривают, прежде всего, с позиции их практической значимости, поскольку они определяют общие ориентиры в развитии социально-педагогической системы. «Попытки заменить мягкое моделирование жёстким обычно приводят к иерархии всё более сложных и громоздких математических построений, ...реальная ценность которых зачастую не превосходит в сущности простых (хотя без математики и не очевидных) выводов, основанных на анализе именно простейших моделей...»⁵. Поэтому ключевым моментом в исследовании причинных связей является верификация модели и оценка её значимости для решения конкретной практической задачи. Если выделенные и зафиксированные

⁴ Арнольд В.И. «Жёсткие» и «мягкие» математические модели. Доклад на семинаре при Президентском Совете РФ. <http://mat.1september.ru/articles/2009/06/09> (доступ 31.01.13).

⁵ Там же.

в количественной форме причинные отношения повышают эффективность её решения, тогда их целесообразно рассматривать как вариант модели таких отношений.

Учитывая специфику социально-педагогической системы, может быть сформирована методика анализа причинности на основе сочетания мягких и жёстких моделей взаимосвязей факторов (в том числе латентных). Для случая неэкспериментальных данных она предполагает:

1. Формирование совокупности критериев как результативных признаков, в соответствии с которыми оценивается достижение поставленной цели.

2. Конкретизация критериев в виде системы показателей, достаточно полно описывающих предмет исследования в рамках выбранной концепции, и разработка способов их измерения.

3. Фиксирование иерархии основной структуры системы в соответствии с выделенными критериями.

4. Поиск латентных факторов, соответствующих каждому уровню иерархии, и исследование их структуры.

5. Определение направленности взаимодействия факторов и причинных отношений между ними.

6. Моделирование взаимосвязей между факторами и результативным признаком.

Предположим, комплекс критериев сформирован и иерархически структурирован. Приведём пример моделирования взаимосвязей латентных факторов с учётом их иерархии⁶. В рамках исследования, фрагмент кото-

рого описан в предыдущем примере, удовлетворённость отдельной образовательной услугой оценивалась аналогично, а в целом профилем подготовки — с помощью ещё одной специально разработанной анкеты.

Результаты корреляционного анализа индексов удовлетворённости профилем подготовки свидетельствуют о целесообразности проведения факторного анализа. В итоге выделен один общий фактор (метод главных компонент, «вес» 73,3%) во всей выборочной совокупности, в который вошли все переменные с высокими отрицательными нагрузками. Он обозначен как «Дефицит общей удовлетворённости профилем подготовки».

Рассмотрим результаты факторного анализа для характеристик отдельных образовательных услуг на завершающем этапе обучения в вузе. Выделены два общих фактора. Первый фактор (вес 65,2%) имеет высокие положительные нагрузки от всех остальных переменных, кроме «Содержание программы интересно» и «Изложение содержания программы доступно». Второй фактор имеет значимые положительные нагрузки от этих двух переменных (вес 25,6%). Первый фактор обозначен как «Удовлетворённость процессом и результатом оказания образовательной услуги», а второй — «Удовлетворённость содержанием образовательной программы». Выделенные факторы объясняют структуру взаимосвязей между характеристиками образовательной услуги.

В данном случае оказывается важной совокупность процессуальных характеристик оказания образовательной услуги и её результат, а затем — доступность и интересность её содержания. Учитывая последовательность действия выделенных факторов, имеет смысл фиксирование и аналитическое

⁶ Колесников А.К., Лебедева И.П. Удовлетворённость потребителей образовательными услугами высшей школы: математическое моделирование причинности/Проблемы теории и практики управления. 2013, №3. С.125-131.

представление причинных отношений выразить в виде регрессионного уравнения:

$F = 0,47 * F_2$ $N = 40$; $R = 0,47$; $p < 0,05$, где F — фактор «Дефицит общей удовлетворённости профилем подготовки»; F_2 — «Удовлетворённость содержанием образовательной программы».

Данная однофакторная линейная модель означает, что с увеличением удовлетворённости интересностью и доступностью содержания образовательной программы на 1 балл дефицит общей удовлетворённости уменьшается на 0,47 балла.

Возможен и более детальный регрессионный анализ, когда в случае зависимой переменной выступают отдельные характеристики удовлетворённости профилем подготовки. Из полученных нами уравнений ясно, что чем выше удовлетворённость содержанием программы, тем выше удовлетворённость в целом профилем подготовки, освоением программы и развитием способностей. Причём для развития способностей более важную роль играют процессуальные характеристики оказания услуги и результат.

Для других характеристик удовлетворённости профилем подготовки (качество ресурсного обеспечения образовательной программы, престижность вуза, перспективы профессиональной деятельности) не удалось построить адекватных регрессионных моделей. Все характеристики удовлетворённости профилем подготовки в полученных уравнениях являются внешними по отношению к содержанию образовательной услуги. Однако в данном случае можно утверждать, что интегративный результат удовлетворённости профилем подготовки в значительной мере определяется интересностью и доступностью содержания образовательных про-

грамм. А для удовлетворённости изучением конкретных дисциплин важную роль играют процессуальные характеристики.

Можно допустить существование и других моделей, особенно при изменении исходного комплекса характеристик образовательной услуги. Практическая полезность построенных моделей, их соответствие реальной образовательной практике открывают дополнительные возможности её совершенствования в соответствии с выявленными соотношениями. Как оказалось, при изменении условий (выборки) величина коэффициентов уравнений незначительно меняется, но вид зависимости остаётся прежний. Поэтому данные соотношения можно рассматривать как общие тенденции взаимодействия факторов, иерархически связанных с разными подсистемами в системе показателей удовлетворённости.

Ориентация на простоту мягких моделей, с одной стороны, упрощает их интерпретацию и делает удобными для практического применения. С другой стороны, наиболее простыми являются линейные модели, которые, как правило, на небольшом ограниченном участке изменения независимых переменных могут приближенно заменять нелинейную модель. Отсюда противоречие: ограниченность описания социальной реальности с помощью линейных моделей не соответствует сути обобщения взаимосвязи класса жёстких моделей.

Поясним это на примере, учитывая, что мягкие модели так же, как и жёсткие, необязательно являются линейными. Нередко встречаются ситуации, когда линейные модели адекватны с точки зрения математических критериев, но не имеют целесообразной содержательной интерпретации. В выпол-

ненных нами исследованиях взаимосвязей показателей удовлетворённости исполнением услуги и оценками её важности потребителями получены линейные и нелинейные (квадратичные) модели в разных выборках. А для общей выборки адекватной оказалась линейная модель (она могла быть и нелинейной). В данном случае возникает необходимость кроме этой общей содержательно интерпретируемой мягкой модели рассматривать статистически более точные жёсткие модели в отдельных выборках. Хотя и доминирует общая линейная тенденция, но она слишком упрощает ситуацию, так как особенности каждой выборки, которые привели к разным моделям, могут представлять самостоятельный интерес.

Следует заметить, что математические модели служат аналитическим представлением причинных связей, которые уже определены, поскольку одни переменные (независимые) рассматриваются как факторы (причины), а другие — зависимые переменные — выступают как их следствия. Поэтому любая модель представляет собой некий результат научного исследования, связанного с поиском причинных отношений в социально-педагогической системе. Сама по себе

логика этого поиска, в частности, с применением комплекса статистических методов, заслуживает отдельного рассмотрения.

Таким образом, исследование причинности на основе математического моделирования имеет аспектный характер и эффективно в определённых границах, устанавливаемых исследователем, исходя из содержательной постановки задачи. Но даже в этих границах экстраполяция не только выявленных количественных соотношений, но и обобщающих их качественных тенденций представляет теоретический и практический интерес: открываются перспективы расширения возможностей перехода от простейшей формы математизации научного знания, связанной с количественным анализом и количественной формулировкой качественно установленных фактов, характерной для социально-педагогических исследований, к её более развитой форме — построению специальных математических моделей. Причём специфика образовательных систем делает необходимым использование целесообразного сочетания мягких и жёстких моделей, которое, следуя логике развития современной науки, важно рассматривать с позиции исследования причинности.