
РЕШЕНИЕ ПРОБЛЕМЫ ВЕРИФИКАЦИИ ДАННЫХ ПРИ ЭКОНОМИКО-МАТЕМАТИЧЕСКОМ АНАЛИЗЕ УЧРЕЖДЕНИЙ ЗДРАВООХРАНЕНИЯ

Ковалёв Сергей Петрович, канд. техн. наук

Сороколетов Павел Валерьевич, д-р техн. наук

Яшина Елена Романовна, д-р мед. наук

Генералов Андрей Вячеславович, канд. экон. наук

Фучежи Александр Петрович, асп.

Российская академия народного хозяйства и государственной службы (РАНХиГС) при Президенте Российской Федерации, пр-т Вернадского, 82, стр. 1, Москва, Россия, 119571; e-mail: SorokoletovPV@yandex.ru

Цель: анализ учреждений здравоохранения. *Обсуждение:* для оценки проводимой реформы здравоохранения необходим объективный анализ качества лечения и финансовой устойчивости медицинских учреждений. Инструментом такого анализа являются экономико-математические модели, реализованные в виде программ для ЭВМ. Для получения достоверных результатов моделирования в модель должны быть загружены достоверные и полные начальные данные. Сбор корректных данных и их верификация являются сложной и до настоящего времени слабо формализованной задачей. На примере исследования большого числа клиник с помощью созданной авторами системы medAudit всесторонне рассмотрены проблемы искажения и недостаточности данных при экономико-математическом моделировании и прогнозировании. *Результаты:* формализована модель феномена «сопротивления медицинской среды», препятствующего объективному анализу в условиях современного разграничения полномочий клинического и финансово-экономического менеджмента медучреждений. Предложена комплексная методика сбора достоверных исходных данных, коррекции непреднамеренных либо сознательных искажений данных, заполнения лакун в предоставленных медучреждением данных. Показано, что применение методики позволяет получать адекватные результаты моделирования даже при частичной неполноте и дисперсии значений параметров модели, обеспечить приемлемый уровень доверительности при оценке финансовой устойчивости и прогнозе развития медучреждений в условиях полного перехода на страховой принцип финансирования здравоохранения.

Ключевые слова: финансовая устойчивость, реформа здравоохра-

нения, экономико-математическая модель, клиника, медучреждение, верификация данных, экстраполяция, лакуны, коррекция параметров модели, адекватность модели, финансовый менеджмент больницы, клинический персонал.

DOI: 10.17308/meps.2015.8/1288

Введение

Для оценки успешности проводимой в России реформы здравоохранения необходим объективный анализ качества лечения и финансовой устойчивости медучреждений. Такой анализ осуществим с помощью специализированных информационно-аналитических систем (ИАС), представляющих собой надстройки над медицинскими информационными системами (МИС), которыми сегодня оснащено большинство клиник.

Авторами была разработана экономико-математическая модель medAudit, реализованная в 2013-2014 гг. в виде программной системы для поддержки принятия решений (ППР) главного врача. Апробация проведена на примере бюджетных медучреждений Главного медицинского управления (ГМУ) УДП РФ [1].

Основная идея заключалась в построении гибридной нечеткой модели параметров стационара и поликлиники, характеризующих, в отличие от управленческих и бухгалтерских программ, все стороны работы многофункционального медучреждения: лечебную, организационную, управленческую, инфраструктурную, финансовую. Оптимизационная модель из 120 параметров, попарно связанных системой из 200 уравнений [2], позволила прогнозировать финансовую устойчивость и анализировать влияющие на нее факторы менеджмента, бюджетной политики и макроэкономики.

Проведенные в 2014 г. исследования доказали значимость и нетривиальность получаемых результатов. В частности, руководству ГМУ и ряда федеральных министерств был продемонстрирован прогнозный сценарий деградации наиболее технически оснащенных больниц вследствие тотального перехода на т.н. одноканальное финансирование в рамках обязательного медицинского страхования (ОМС) [3]. Пример результата моделирования финансового баланса одной из крупнейших в нашей стране клинических больниц на рисунке наглядно показывает нарастание убытков в связи с отказом от бюджетного финансирования при одновременной необходимости соблюдения требований президентской «дорожной карты» по заработной плате медицинского персонала.

В целях распространения опыта модели и программной системы medAudit на более широкий спектр медучреждений Академией народного хозяйства и государственной службы (РАНХиГС) при Президенте РФ было выполнено государственное задание на НИР 2015 г. В рамках НИР на выборке из 14 бюджетных, частно-государственных и частных клиник было проведено моделирование и оценка адекватности, устойчивости и чувствительности модели. Исследования показали, что исходная модель, построенная

на примере ГМУ, не учитывала ряд параметров и явлений, характерных для современного состояния здравоохранения.

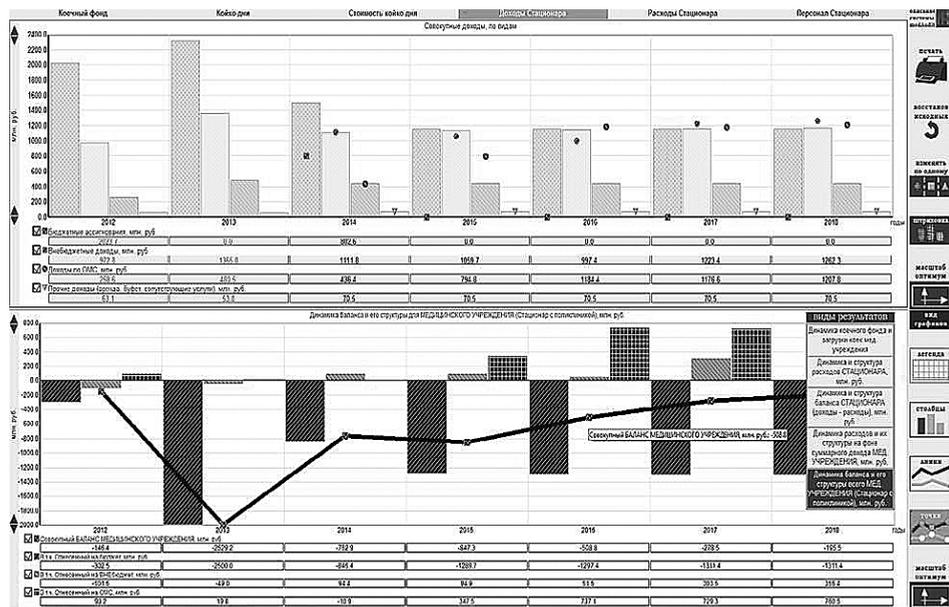


Рис. Пример результатов моделирования финансовой устойчивости в medAudit. Черная линия в нижней части экрана показывает дефицитность сводного бюджета стационара и поликлиники, некомпенсированного страховыми выплатами ОМС при переводе учреждения на «одноканальное» финансирование

В результате проведенных в 2015 г. исследований [4] набор параметров модели был расширен почти до 500. Были введены ряды специальных статистически определяемых коэффициентов, учитывающих реальные социально-экономические факторы: процент собираемости страховых выплат, динамику цен и тарифов, цикличность загрузки коек, искажения при подаче медицинской статистики и т.п. Модифицированная модель реализована в виде облачной online версии системы medAudit (свидетельство о государственной регистрации программы для ЭВМ № 2015612874 от 26.02.2015).

Одним из важных результатов стала формализация проблемы искажений и недостаточности данных для экономико-математического моделирования. Даже самая совершенная и адекватная внешней среде модель не может быть абсолютно устойчивой к произвольной дисперсии входных параметров. Добиться корректных результатов при моделировании таких сложных объектов, как медучреждения, в неоднозначных условиях реформы здравоохранения и макроэкономических всплесков можно за счет двух составляющих методики подготовки исходных данных:

- построения модели «сопротивления среды» для реалистичной оценки степени искажений, внесенных в исходные данные человеческим фактором;
- применения процедур статистически достоверной коррекции иска-

женных и дополнения пропущенных исходных данных, строго согласованных с особенностями различных групп входных параметров модели.

Настоящая статья раскрывает основные положения предложенной модели оценки сопротивления медицинской среды попыткам строгого экономико-математического анализа с использованием средств medAudit, описывает классы параметров медицинских учреждений и подходящие для них алгоритмы и процедуры верификации и корректировки.

Полученное авторами во втором полугодии 2015 г. экспериментальное сравнение прогнозных результатов на 2015 г., сделанных ранее (2013-2014), подтвердило, что при условии соблюдения описанной далее методики подготовки исходных данных точность прогнозирования лежит в пределах 5% отклонения от фактических значений.

Компоненты методики решения проблемы искажения и недостаточности данных

Для понимания источников трудностей, с которыми сталкиваются аналитики при попытках сбора адекватных данных, необходимых для точного экономико-математического моделирования финансовой устойчивости и потенциала развития медучреждения, необходимо четко осознавать природу таких трудностей.

Одним из фундаментальных факторов этой природы является взаимодействия между медицинским звеном управления и финансово-экономическим менеджментом в условиях разграничения их полномочий в медучреждениях на современном этапе. Как показал опыт проведенных авторами исследований, именно степень сотрудничества между персоналом медучреждения дает возможность построить адекватную модель с помощью инструментов, подобных ППР medAudit, и успешно применять ее в дальнейшем для оптимизации производственной и финансовой деятельности. Финансовые менеджеры играют важную роль в этой проблеме, но они не могут решать ее самостоятельно, поскольку именно медицинский персонал: врачи, медсестры и специалисты в области здравоохранения осуществляют расходование ресурсов и которые, как показал наш опыт обследования на примере большого числа медучреждений, нуждаются в более глубоком понимании финансовых последствий своих действий.

В нынешний непростой для здравоохранения период ответственность за качество лечения, предлагаемого медучреждением, а значит – его способность привлекать новых пациентов, получать высокий финансовый результат от своей деятельности лежит на всех клинических и финансовых работниках.

Отметим также, что наблюдаемая нами в некоторых исследуемых медучреждениях тенденция к сокращению расходов без сохранения или улучшения результатов может дать ложную «экономю» и иметь отрицательное влияние на эффективность лечения и ухода за пациентами. Поэтому важно, чтобы эффективное взаимодействие происходило на каждом уровне клинического и управленческого персонала.

Первый компонент методики решения проблемы искажений и недостаточности данных – формализованная модель сотрудничества финансового менеджмента и медицинского персонала при руководстве медицинским учреждением.

Расплывчатая лингвистическая переменная «эффективное взаимодействие» не годится для математического моделирования. Для строгой оценки предлагается описать ее как нечеткую функцию F – критерий эффективности со значениями в диапазоне $[0,1]$, и поставить ей в соответствие множество входных параметров модели, разделенных на классы, с коэффициентами достоверности для каждого класса. Формализованная модель сотрудничества финансового менеджмента и медицинского персонала при руководстве медицинским учреждением является первым элементом предложенной методики решения проблемы искажений и недостаточности данных. Критерий $F = f(P_1, P_2, P_3, P_4, P_5)$ имеет четыре пороговых уровня в зависимости от наличия или отсутствия одного из пяти наблюдаемых признаков, выраженных здесь двоичными атрибутами P_i .

Таблица 1

Фрагмент набора пороговых уровней критерия F – эффективности взаимодействия менеджмента и клинического персонала медучреждения

Признаки P_i	Пороговое значение критерия F	Пример выбора коэффициента достоверности (C_r) для классов входных параметров модели medAudit
$P_1 = 1$ Обмен отчетными данными: только на стратегическом уровне (Главный врач – финансовый директор и т.п.) $P_1 = 2$ Присоединение к обмену данными «снизу вверх», вовлекающее широкие клинические и финансовые группы персонала на уровне заместителей главного врача, главного бухгалтера, начальника планово-экономического отдела и т.п. Примечание: в исследованной выборке медучреждений эти признаки есть везде.	0,25	Параметры загрузки коечного фонда стационара, посещаемости поликлиники, $C_r > 0,9$ Финансовые параметры, выгружаемые из бухгалтерских систем медучреждения (например, расходы на выплаты сотрудникам), $0,7 > C_r > 0,5$ Параметры расходов, загружаемые из МИС (например, расходов материалов и медикаментов на процедуры), $0,5 > C_r > 0,3$
$P_1 = 1, P_2 = 1, P_3 = 1$ Есть вовлеченность «снизу-вверх», ведется совместная работа между клиническими и финансовыми группами руководящего персонала клинического учреждения $P_4 = 0$ Взаимодействие не происходит на постоянной основе, только когда требуется, например, координация действий для конкретного ввода в эксплуатацию новой операционной, объекта инфраструктуры, согласование и утверждение проекта контроля качества и т.п.	0,50	Параметры загрузки коечного фонда стационара, посещаемости поликлиники, $C_r = 1,0$ Финансовые параметры, выгружаемые из бухгалтерских систем медучреждения (например, расходы на выплаты сотрудникам), $0,9 > C_r > 0,7$ Параметры расходов, загружаемые из МИС (например, расходов материалов и медикаментов на процедуры), $0,7 > C_r > 0,5$

Признаки P_i	Пороговое значение критерия F	Пример выбора коэффициента достоверности (C_r) для классов входных параметров модели medAudit
$P_1 = 1, P_2 = 1, P_3 = 1$ $P_4 = 1$ Ведется периодическая совместная работа между клинической и финансовой командами и это является нормой, по крайней мере, для руководителей клинических подразделений и дирекции (аппарата главного врача). Например, финансовый менеджер является неотъемлемым участником всех клинических совещаний, объединяющих руководителей клинических подразделений медучреждения. Существует план-график такой работы совместной работы. Примечание: в полной мере достигнуто только в одной из 14 обследованных больниц.	0,75	Параметры загрузки коечного фонда стационара, посещаемости поликлиники, $C_r = 1,0$ Финансовые параметры, выгружаемые из бухгалтерских систем медучреждения (например, расходы на выплаты сотрудникам), $C_r = 1,0$ Параметры расходов, загружаемые из МИС (например, расходы материалов и медикаментов на процедуры), $0,9 > C_r > 0,7$
$P_1 = 1, P_2 = 1, P_3 = 1, P_4 = 1$ $P_5 = 1$ Есть зафиксированная в бизнес-процессах и отраженная в документообороте (отчетность, оперативная деятельность) норма повседневного взаимодействия между клинической и финансовой частью персонала. «Менеджеры по финансам» регулярно обмениваются данными о своих действиях и результатах, как неотъемлемой части производственного процесса, с клиницистами. Обе профессиональные группы разделяют ответственность за стоимость и качество оказываемых медицинских услуг на регулярной основе, чтобы улучшить привлекательность медучреждения для пациентов и страховых компаний, и, соответственно, добиться высокой степени финансовой устойчивости независимо от меняющихся условий внешней (в т.ч. макроэкономической) среды. Примечание: не зафиксировано ни в одном из обследованных медучреждений [4].	1,00	Параметры загрузки коечного фонда стационара, посещаемости поликлиники, $C_r = 1,0$ Финансовые параметры, выгружаемые из бухгалтерских систем медучреждения (например, расходы на выплаты сотрудникам), $C_r = 1,0$ Параметры расходов, загружаемые из МИС (например, расходов материалов и медикаментов на процедуры), $C_r = 0,9$

Более 70% опрошенных нами клиницистов и 90% финансовых специалистов показали, что, по их мнению, данная модель эффективности взаимодействия, несмотря на простоту, отражает реальное положение дел. А с точки зрения описываемой здесь проблемы – позволяет частично формализовать и учесть три основных препятствия при сборе адекватных данных и последующей верификации модели финансовой устойчивости (табл. 2). Отметим, что именно «клиницисты», а не менеджмент в большинстве случаев и в большей степени, обращали внимание на перечисленные факторы, которые затрудняют применение ЭС ППР типа medAudit в медучреждениях.

Сравнение трех основных препятствий при сборе адекватных данных и верификации модели финансовой устойчивости в определении различных участников

Формулировка аналитиков medAudit	Мнение финансового менеджмента	Мнение клиницистов
Отсутствие основ финансовой осведомленности и навыков понимания финансовых результатов своей непосредственной работы среди клиницистов	Изменчивость данных о себестоимости и данных о доходах в течение каждого отчетного периода (соответственно, периода моделирования в системе medAudit)	Наличие достоверных данных, доступных для всех групп работников многопрофильного медицинского учреждения, а не только для финансового менеджмента
Отсутствие надежных данных по затратам на уровне клинических отделений	Отсутствие надежных данных о затратах	Регулярная публикация сведений о достижениях и поощрениях среди всех лучших специалистов-клиницистов и сотрудников финансового блока
Плохая презентация финансовых и клинических данных со стороны обеих групп менеджмента	Отсутствие основ финансовых знаний среди клиницистов	Общее видение перспектив развития больницы и общая корпоративная культура, отсутствие ощущения «элитарности» со стороны финансового блока

Как видно из сравнения описаний, факторы, названные и осознаваемые всеми группами участников исследований, совпадают с точностью до порядка их упоминания, т.е. их приоритетности, по мнению самих специалистов медицинских учреждений.

Однако оценка достоверности исходных данных медучреждения, в основе которой лежит описанный числовой критерий эффективности взаимодействия клинического и финансового менеджмента, еще не позволяет добиться достоверных результатов моделирования.

Второй компонент методики – контроль полноты и системности в организации данных. Наличие в медучреждении МИС еще не гарантирует полноту и достоверность введенных в нее данных. Ряд обследований [4] показал, что младшие врачи в пределах своей компетенции зачастую неточно производят записи. Это влечет за собой неточный учет закодированной в МИС информации на уровне интеграции данных о деятельности подразделения и далее – искажения в рассчитываемых затратах и доходе на подразделение, которые учитываются уже финансовыми менеджерами при оценке показателей работы клиники. Более того, в ряде случаев, когда речь идет о подтверждении страховых случаев, некорректные или неточные записи напрямую вели к убыткам, т.к. снижали коэффициент оплаты со стороны страховых компаний.

Поэтому для успешной борьбы с неполнотой, бессистемностью и искажением данных аналитик, использующий экономико-математический инструмент класса medAudit, при заполнении первичных параметров модели должен следовать обязательным правилам:

1. Для всех вводимых данных и интегральных показателей необходимо указывать точное время получения этих данных, что необходимо для корректного отнесения соответствующих финансовых данных к периодам моделирования при построении рядов данных в модели.

2. Для эффективного взаимодействия с коллегами-аналитиками финансовые менеджеры должны генерировать высококачественные данные на своевременной основе, а в случае выявления несоответствий – проводить индивидуальные обсуждения с врачами, при необходимости привлекая также средний медперсонал.

3. Результирующие данные, пригодные для формирования параметров модели medAudit, должны быть описаны в аналитической форме, свободной от медицинского жаргона.

4. Необходима проверка качества финансовой отчетности: все финансовые данные должны быть сбалансированы с производственными показателями работы больницы.

5. Необходимо высокое качество интегрированных данных. Как показало проведенное исследование, в настоящее время большинство данных при формировании модели извлекается из отдельных источников, даже в пределах одной МИС. Наличие надежных комплексных источников данных, их синхронизация дают возможность справиться с проблемами противоречивости данных, извлеченных из различных локальных систем медучреждения, ориентированных на клинических и финансовых специалистов.

Следует особо отметить, что соблюдение этих простых правил – залог доказательности экономико-математической модели для лица, принимающего решения (ЛПР). Все исследованные медицинские организации сообщали такие данные нелегко, и «сопротивление среды» при передаче данных встречалось в разной степени везде. Для снижения «сопротивления среды» на основании опыта проведенных исследований можно рекомендовать всем аналитикам, использующим инструментарий medAudit, уже на самом раннем этапе сбора первичных данных для построения модели вовлекать в эту работу:

- заведующих отделами платных услуг;
- специалистов, ответственных за медицинскую статистику и контроль качества оказания медицинских услуг;
- главного врача и генерального директора (финансового менеджера);
- бизнес-аналитика или финансового аналитика из планово-экономического отдела (ПЭО), бухгалтерии медучреждения;
- в обязательном порядке – старший сестринский персонал, сервисных менеджеров;
- в обязательном порядке – администраторов МИС;
- фармацевтов, ответственных за обеспечение клинических подразделений медикаментами.

Практическая работа с медицинскими учреждениями показала, что даже при условии успешной минимизации «сопротивления среды» и количественного учета фактора эффективности взаимодействия клинического и финансового менеджмента редко удается достичь абсолютной полноты исходных данных. Чаще всего это относится к «чувствительным» финансовым показателям расходной части бюджета медицинского учреждения. Вместе с тем точность и адекватность работы модели в значительной степени зависят от полноты первичных данных [3].

Поэтому необходимым третьим компонентом предлагаемой методики является интерполяция пропусков исходных данных и применение принципов экстраполяции и косвенной оценки для короткого прогнозирования значений параметров.

Этот компонент реализован в виде специального модуля интерполяции и экстраполяции программного комплекса medAudit online [4]. Модуль позволяет заполнять пропуски (лакуны) в данных, выявлять тренды и экстраполировать данные на будущие периоды моделирования.

В основу его алгоритмов положен модифицированный подход к формированию прогнозов с помощью классической модели экстраполяции, в которой традиционно исходят из статистически складывающихся тенденций динамики параметров. В модели medAudit экстраполируются значения параметров четырех основных модулей системы («макрэкономика», «поликлиника», «стационар», «микрэкономика» [2]). Степень реальности прогноза и доверительный интервал всегда обусловлены корректностью выбора пределов экстраполяции и стабильностью динамики оцениваемого параметра, а также комплексным характером модели такого сложного объекта, как медицинское учреждение. Поэтому основу описываемого третьего компонента методики составляет стратегический алгоритм выбора последовательности шагов для статистического анализа и экстраполирования:

1) определение пространства решений задачи, формирование списков зависимых и независимых друг от друга параметров модели;

2) последовательный перебор списка независимых параметров и формирование гипотез о возможной динамике каждого прогнозируемого параметра;

3) учет фактор-коэффициентов (ФК), корректирующих динамику параметра на основе региональной специфики и статистики (заболеваемости, сезонности, собираемости страховых платежей и т.п.), определение периодов необходимой экстраполяции и допустимого диапазона изменения величины параметра;

4) последовательный перебор списка зависимых параметров согласно описанию всей системы параметров модели, анализ сочетаемости различных единиц измерения, относящихся к каждому экстраполируемому первичному параметру и в отдельности каждому зависимому от него (вторичному) параметру;

5) обновление и систематизация данных, в том числе достроенных с помощью методов экстраполяции, сведение их в соответствующие таблицы значений параметров, проверка однородности и сопоставимости данных как по единицам измерения, так и по сомасштабности значений (нельзя распространять экстраполяцию на связанные параметры, значения которых отличаются на порядок и более);

6) последовательный запуск процедур статистического анализа и непосредственной экстраполяции, формирование тенденций динамики анализируемых параметров модели;

7) фиксация полученного прогноза значений параметров по каждому из периодов моделирования, для которых проводилась экстраполяция, визуальное фиксирование результатов моделирования на графиках и панелях моделирования.

Для повышения точности экстраполяции применен следующий набор приемов:

- коррекция части общей динамики параметра (тренда изменения значений параметра) с учетом реального анализируемого аналога исследуемого объекта, например, аналогичного по проектной мощности и региональным особенностям клинического учреждения;
- учет динамики, выраженной фактор-коэффициентами, которые входят в уравнение расчета по экстраполируемому параметру. Например, учет фактор-коэффициентов сезонной загрузки коечного фонда стационара и собираемости платежей страховых компаний при заполнении лакун в данных параметра доходов от числа пролеченных пациентов по линии ОМС;
- расчет тренда изменения зависимого (вторичного) параметра модели на основе вычисления приближенных зависимостей между двумя или несколькими связанными с ним параметрами, для которых имеются более полные данные для всех периодов моделирования. Традиционно в экономических моделях экстраполяции под трендом принято понимать характеристику основной закономерности движения измеряемой либо вычисляемой величины во времени, в предположении, что описывающая ее изменение система уравнений не содержит случайных величин. При разработке экстраполяционных моделей тренд выражается в виде доминантной компоненты прогнозируемого временного ряда значений параметра, на нее накладываются другие составляющие компоненты, имеющие меньшие порядки величин;
- нахождение значений параметров на базе зависимостей между двумя или несколькими экстраполируемыми параметрами по их значениям на основе метода наименьших квадратов путем минимизации суммы квадратов отклонений между фактическими значениями и расчетными, вычисленными по уравнениям модели, связывающим эти параме-

тры (метод обеспечивает усреднение влияния неучтенных в уравнениях модели факторов).

Анализ данных, полученных при исследовании 14 выбранных медицинских учреждений, показал, что при экстраполивании значений параметров на будущие периоды моделирования ни один из использованных методов экстраполяции не дает точных результатов на срок более 5 лет. Это закономерно и обусловлено тем, что метод исходит из прошлого и настоящего ряда данных, и происходит накопление погрешности. Поэтому следует особо подчеркнуть, что применяемые в модели medAudit методы экстраполяции дают адекватные результаты на перспективу прогнозирования не более 5 лет. Традиционно в математической статистике экстраполяцию принято описывать оператором общего вида $P(t+l) = f(P(t))$, где $P(t+l)$ экстраполируемое значение параметра; l – число периодов моделирования, на которое происходит упреждение; $P(t)$ – уровень значения параметра, принятый за доминантный компонент для периода t . Под числом периодов упреждения в модели medAudit понимается дискретный отрезок времени от момента, для которого имеются последние данные параметра, до момента, к которому относится его вычисляемое значение. В зависимости от выбранного исследователем типа периодов моделирования в системе medAudit это упреждение может быть выражено числом лет, кварталов или месяцев [3]. Конкретный выбор процедур, последовательно запускаемых на шаге б описанного выше алгоритма общей стратегии, зависит от класса параметров, для каждого из которых разработаны свои варианты процедур экстраполяции (табл. 3).

Таблица 3

Фрагмент классификации параметров в модели финансовой устойчивости медицинских учреждений и соответствия классов процедурам коррекции данных, применяемым в соответствии с гипотезами об их динамике

Класс параметров экономико-математической модели медучреждения	Пример параметра	Выбор процедуры для заполнения лагун и экстраполяции
Параметры модели, средние значения которых не имеют существенной тенденции к изменению	Пример: численность коечного фонда стационара для государственного медицинского учреждения, устанавливаемая учредителем либо нормативами Министерства здравоохранения	Процедура экстраполяции на основе среднего значения временного ряда, принимается $P(t+1) = AVG(P(t))$, т.е. экстраполируемое значение параметра равно известному среднему значению параметра за прошлый период моделирования. Доверительные границы для средней величины значения параметра при небольшом числе периодов моделирования (например, при режиме моделирования по годам за 5 лет) можно определить по формуле $P(t+1) = AVG(P(t)) \pm t_{n-1} S_p$, где t_{n-1} – значение t-статистики Стьюдента с n-1 степенью; S_p – среднеквадратичная ошибка средней величины параметра P.

Класс параметров экономико-математической модели медучреждения	Пример параметра	Выбор процедуры для заполнения лакун и экстраполяции
Параметры, экстраполируемые на один шаг вперед	Например, параметры числа пациентов (пролечившихся по полисам ОМС, ДМС, бюджетных и пр.) за следующий период моделирования (обычно при квартальном шаге моделирования).	Для такой краткосрочной экстраполяции применяется процедура адаптивного или экспоненциального скользящего среднего: $AVG(P(t+1)) = M(t)$ либо $AVG(P(t+1)) = N(t)$, где $M(t)$ – адаптивное скользящее среднее значение; $N(t)$ – экспоненциальное среднее значение.
Параметры, для которых принята гипотеза об известном среднем темпе роста	Например, параметры себестоимости койко-дня, средней себестоимости посещения и т.п. параметры финансовой группы, связанные с известными макроэкономическими показателями. В первую очередь – темпами инфляции, динамикой тарифов на услуги ЖКУ, топливный газ, электроэнергию, теплоснабжение.	Для параметров, входящих в эту группу, в модели использована процедура экстраполяции на основе среднего темпа. В основу расчета при этом положен известный средний темп прироста значения, поэтому экстраполируемое значение параметра получается на основе формулы: $AVG(P(t+1)) = P(t)T_p^2$, где T_p^2 – средний темп роста, $P(t)$ – доминантная компонента значений экстраполируемого параметра. Здесь принята гипотеза динамики величины по геометрической прогрессии или по экспоненте. Исследования, проведенные на модели medAudit в 2015 году, показали, однако, что в ряде случаев фактическая динамика параметров этой группы выражена другими зависимостями, что чаще всего обусловлено субъективными факторами, связанными с работой экономического блока медицинского учреждения. В этих случаях, характерных в основном для формы государственных бюджетных учреждений здравоохранения (ГБУЗ), экстраполяция по среднему темпу нарушает основную гипотезу о том, что динамика следует тренду, наблюдавшемуся в прошлом [4].

Статистическая надежность всех трех типов описанных выше процедур может быть оценена с помощью коэффициента вариации: $V = \frac{d}{AVG(P(t))} \times 100\%$, где d – среднеквадратичное отклонение, $AVG(P(t))$ – среднее значение ряда значений параметра для выбранного диапазона периодов моделирования. Отметим, что предложенные процедуры могут считаться статистически надежными, так как в ходе экспериментальных исследований на всех выбранных медучреждениях значение коэффициента вариации не превышало 10%.

Число классов параметров медучреждения и соответствующих им процедур коррекции на основе гипотез о динамике в модели medAudit пре-

вышает два десятка, и их описание выходит за рамки статьи, поэтому кратко представим наиболее важные классы параметров.

Параметры модели, для которых принята гипотеза о единственном доминантном факторе

К этой группе мы относим параметры модели, которые зависят в основном от единственного фактора, называемого в связи с этим доминантным. Как показали исследования выборки медучреждений, к таким параметрам могут быть отнесены, в частности, параметры затрат на медикаменты, мягкие материалы, сервисное обслуживание диагностического оборудования и т.п. Их динамика определяется в основном изменением курса рубля к двум базовым валютам, доллару и евро, используемым при оплате импортных материалов и препаратов. Они составляют на сегодняшний день не менее 60% от общего объема всех медикаментов и материалов, закупаемых средним медучреждением.

Для параметров, отнесенных к этой группе, в модели использованы процедуры экстраполяции, основанные на применении хорошо известных однофакторных прогнозирующих функций. Подходящие для каждого конкретного параметра модели *medAudit* однофакторные функции были подобраны эмпирически, на основе сопоставления ранее вычисленных значений и фактических значений параметров, полученных в дальнейшем при исследовании новых периодов. Теоретически степенные функции могут описывать любые процессы изменения параметра *p* в зависимости от номера периода моделирования *t*. Однако корреляционное отношение степенного полинома стремится к единице по мере увеличения числа степеней полинома до числа уровней ряда значений параметра. При этом линия регрессии приближается к фактическим уровням показателя за прошедшие периоды моделирования. Поэтому для экстраполяции нецелесообразно использовать полином выше третьей степени, что также обусловлено задачей разумного ограничения вычислительной сложности алгоритма. Поэтому в качестве прогнозирующей функции в стратегии экстраполяции в системе *medAudit* используются процедуры расчета на основе трех основных разновидностей полинома: линейной, параболической и полинома третьего порядка. Однофакторная линейная процедура отражает постоянный абсолютный прирост на константу *C* за период (арифметическую прогрессию). Параболическая функция или степенной полином второго порядка подходит для описания увеличения абсолютного прироста за период моделирования на постоянную величину $\sim C^2$, а полиномиальная функция третьего порядка дает S-образную зависимость с двумя точками перегиба. Степенная функция наиболее подходит для параметров, рост значений которых ускоряется при $C > 1$ и замедляется при $C < 1$. Логарифмическая функция предполагает гипотезу сокращения абсолютного роста значений параметра за каждый последующий период моделирования. Функции Торнквиста, Конюса, комбинация линейной и логарифмической функций соответствуют гипотезе

затухающего роста абсолютного прироста значения параметра за каждый последующий период моделирования. Гиперболическая функция подходит для тех параметров, когда в начальный период моделирования абсолютные уровни значений параметра резко уменьшаются, а на последующих периодах моделирования этот процесс постепенно затухает.

Такое поведение характерно для класса бухгалтерских финансовых параметров, связанных с учетом значений доходов или расходов, например, уплаченных за период налогов, нарастающим итогом.

Параметры модели medAudit, удовлетворяющие гипотезе о многих влияющих факторах

Для экстраполяции таких параметров, для которых нельзя указать доминирующий фактор (например, средняя себестоимость посещения поликлиники, себестоимость койко-дня стационара) можно использовать многофакторные прогнозирующие функции. Прогнозируемые параметры $P(t)$, где t – номер периода моделирования, можно рассматривать как функцию нескольких факторов, являющихся аргументами функции. При этом мы используем специальным образом линеаризованную многофакторную модель [3]:

$$P(t) = a_0 + a_1x_1(t) + a_2x_2(t) + \dots + a_jx_j(t) + \dots + a_mx_m(t)$$
 с коэффициентами a_0, a_j при $j = 1, 2, \dots, m$; где $x_j(t)$ – факторы, влияющие на экстраполируемый параметр модели $P(t)$, при $j = 1, 2, \dots, m$; $t = 1, 2, \dots, n$, хотя изначально модель финансовой устойчивости не является линейной.

Это обусловлено необходимостью минимизации времени реакции программной системы medAudit на изменение входного параметра при моделировании по принципу «что если?», и, следовательно, уменьшением вычислительной сложности алгоритмов.

Факторы, выражаемые аргументами используемых экстраполирующих функций, должны отвечать по крайней мере одному из следующих условий:

- явно отражаются в собранных первичных данных модели medAudit;
- определяются на основе анализа первичных данных,
- имеют оценки значений на прогнозируемый период моделирования;
- удовлетворяют ограничению на число факторов f по сравнению с числом периодов моделирования $T : N_f < T / 3$, т.е. число аргументов многофакторной экстраполирующей функции не превышает одной трети числа периодов моделирования (ряда значений экстраполируемого параметра);
- линейно независимы.

В нашей стратегии экстраполяции мы полагаем факторы линейно-зависимыми, если коэффициент корреляции менее 0,5. Из набора коррелирующих факторов (параметров модели, связанных с экстраполируемым параметром) для экстраполяции оставляется имеющий меньший коэффициент корреляции. Проведенные расчеты на фактических данных, полученных для исследованных медицинских учреждений в период 2015 г., показали, что

многофакторная экстраполяция может быть использована для прогнозирования не более чем трехгодичных периодов упреждения.

Параметры, для которых используется метод экспоненциального сглаживания

В эту группу параметров модели финансовой устойчивости медучреждения medAudit online вошли те, для которых можно сделать достаточно близкий к факту прогноз ожидаемых величин. В основном это параметры численности прикрепленного контингента, числа посещений за период, загрузка коек и т.п.

В этом случае лакуны в исходных данных заполняются путем вычисления взвешенных средних величин для экстраполируемого периода и сглаженных значений для предыдущего периода моделирования. Обработка начинается с конечного периода моделирования и продолжается назад к началу ряда, представляя собой простую экспоненциальную модель для т.н. временных рядов с устойчивым трендом и малыми периодическими колебаниями. Для некоторых параметров, таких, например, как поквартальная загрузка коечного фонда стационара, наблюдается очевидная картина периодичности (определяемая сезонным уровнем заболеваемости, в частности) и случайных флуктуаций. В связи с этим в разработанной нами процедуре для экстраполяции параметров, относящихся к этой группе, экспоненциальная модель расширена с включением в нее двух компонент: компоненты устойчивого тренда и периодической компоненты.

Параметры модели, содержащие периодический фактор

Для экстраполирования значений таких параметров разработана модифицированная процедура, в которой берется сглаженное значение в период t с учетом периодической компоненты параметра. Периодичность моделирования должна совпадать при этом с периодом экстраполяции. Обычно при моделировании финансовой устойчивости рассматривались годовые и квартальные периоды.

Параметры, на которые влияют периодические и случайные (статистически неопределенные) факторы

К таким параметрам относятся все параметры, связанные с произвольным фактором психологии и тактики работы менеджмента, профессионализмом персонала и т.п. Например, параметры стоимости посещения, койко-дня, отпускной цены медикаментов из аптечного ларька поликлиники. Для таких параметров, в случае заполнения лакун в исходных данных или вычисления прогнозных значений, оценка производится с учетом как периодической, так и случайной компонент:

$$AVG(P(t)) = \frac{aP(t)}{f(t-1)} + (1-a)(AVG(P(t-1)) + \mu(t-1)),$$

где $\mu(t-1)$ представляет собой оценку случайной компоненты в период моделирования $(t-1)$, а значение $\mu(t)$ за текущий период определяется так:

$$\mu(t) = \text{const}(AVG(P(t)) - AVG(P(t - 1))) + (1 - \text{const})\mu(t - 1),$$

где *const* – постоянный коэффициент сглаживания для случайной компоненты параметра, лежащий в интервале [0,1].

Параметры математической модели финансовой устойчивости, имеющие случайные флуктуации в исходных данных

Во многих случаях при сборе реальных данных возникают ошибки, случайно привносимые персоналом медучреждения при заполнении таблиц значений параметров модели. В ряде случаев это, к сожалению, может также носить характер сознательного искажения представляемых исходных данных. В этих случаях в рядах значений параметра возникают отклонения от тенденции, периодичности, компоненты доминантного фактора и т.п., которые не могут быть объяснены на формулах аналитической модели либо подтверждены статистически. В этих случаях можно использовать процедуру авторегрессии для коррекции флуктуаций и приведения значений экстраполируемого параметра к границам интервалов достоверности. На первом шаге работы процедуры полагается, что отклонения значений параметра представляют собой случайные колебания временного ряда в каждый период моделирования t . Затем для такой случайной величины строится уравнение авторегрессии линейного вида для остатков значений временного ряда. Такого рода случайные переменные распределены со средним значением 0 и конечным рассеиванием (дисперсией), подчиняясь закону стохастического линейного разностного уровня 1-го порядка с постоянными коэффициентами для Марковского процесса.

Заключение

В ходе экономико-математического анализа и оценки финансовой устойчивости медицинских учреждений в период реформы здравоохранения исследователям приходится сталкиваться с искажением и пропуском значений данных для ряда параметров, не входящих в стандартные годовые статистические отчеты медучреждения.

Это относится, например, практически ко всем параметрам себестоимости (посещения, среднего чека, койко-дня лечения в стационаре и т.п.). Также лакуны в исходных данных возникают при переходе от годового периода моделирования к квартальному и от квартала к месяцу, т.к. не все данные учета выверяются подразделениями финансово-экономического блока клиник и поступают в МИС с нужной периодичностью. Поэтому предложенная методика сбора и верификации данных будет полезна не только пользователям системы medAudit, но и любым аналитикам при объективной оценке факторов нестабильности финансового положения, отсутствии инновационного потенциала многофункциональных медучреждений в условиях реформы здравоохранения.

Сформулированные в работе признаки и приемы преодоления «сопротивления среды», процедуры коррекции искаженных данных и заполнения лакун, формализованная модель взаимодействия аналитиков, клиницистов

и менеджмента медучреждения в процессе исследования финансовой устойчивости могут быть применены для улучшения экономико-математических моделей учреждений здравоохранения.

Список источников

1. Генералов А.В., Сороколетов П.В., Яшина Е.Р. Инструменты анализа, прогноза и планирования показателей функционирования медицинского учреждения на примере экспертной системы medAudit // *Кремлевская медицина. Клинический вестник*, 2014, no. 2, с. 63-71.
2. Ковалёв С.П., Сороколетов П.В., Генералов А.В. *Методика анализа, прогноза и планирования показателей функционирования медицинского учреждения в экспертной системе medAudit®*. Москва, Альянс Медиа Стратегия, 2013.
3. Ковалев С.П., Сороколетов П.В., Яшина Е.Р., Генералов А.В. *Системы поддержки принятия решений для обеспечения финансовой устойчивости медицинских организаций*. Москва, Дело, 2015.
4. Ковалев С.П., Сороколетов П.В., Яшина Е.Р., Генералов А.В. *Инновационное развитие медицинской организации в период реформирования системы здравоохранения : отчет о НИР гос. задания Российской академии народного хозяйства и государственной службы при Президенте РФ на 2015 г.* Москва, РАНХиГС, 2015.

SOLUTION OF THE PROBLEM OF VERIFICATION DATA IN ECONOMIC-MATHEMATICAL ANALYSIS OF HEALTH CARE INSTITUTIONS

Kovalev Sergey Petrovich, Cand. Sc. (Eng.)

Sorokoletov Pavel Valerievich, Dr. Sc. (Eng.)

Yashina Elena Romanovna, Dr. Sc. (Med.)

Generalov Andrey Viacheslavovich, Cand. Sc. (Econ.)

Fucheji Alexander Petrovich, graduate student

The Russian Presidential Academy of National Economy and Public Administration (RANEPA), Prospect Vernadskogo, 82/5, Moscow, Russia, 119571

Purpose: analysis of healthcare institutions. *Discussion:* one of the basics for health care reform success is an ability to analyze of treatment quality and financial stability for hospitals and other medical institutions. There are numerous economic-mathematical models and software for such kind of analysis. Reliable and full source data for any modelling procedures is a good basement for managers and specialists to trust the results. Complete data collecting and their further verification is a very difficult as well as poorly formalized task. The article considers the problems of distortion and lack of data in economic-mathematical modeling and forecast basing on the authors experience for some large hospitals investigation with authors' medAudit® model and decision support system. *Results:* the «medical environment resistance» phenomenon and its formal model are described in details explaining the main reasons decreasing that economic analysis quality because of lack of engagement and strong differentiation between clinical and financial management nowadays. The described integrated approach and methods let analytics to get more reliable source data, to provide data verification for purposes of comprehensive hospitals economy analyses and forecast in case of hard «environment resistance» responsible for some data lack and distortion. It is proved that medAudit® software application and methods described here allow more robust and adequate hospital financial modeling, even in cases of model parameters partial incompleteness and distortion.

Keywords: financial stability, health care reform, economic and mathematical model, clinic, health facility, verification of the data, extrapolation, gaps, correction of model parameters, the adequacy of the model, financial management of the hospital, clinical staff.

Reference

1. Generalov A.V., Sorokoletov P.V., Iashina E.R. Instrumenty analiza, prognoza i planirovaniia pokazatelei funktsionirovaniia meditsinskogo uchrezhdeniia na primere ekspertnoi sistemy medAudit. *Kremlevskaia meditsina. Klinicheskii vestnik*, 2014, no. 2, pp. 63-71. (In Russ.)
2. Kovalev S.P., Sorokoletov P.V., Generalov A.V. *Metodika analiza, prognoza i planirovaniia pokazatelei funktsionirovaniia meditsinskogo uchrezhdeniia v ekspertnoi sisteme medAudit®*. Moscow, Al'ians Media Strategii, 2013. (In Russ.)
3. Kovalev S.P., Sorokoletov P.V., Iashina E.R., Generalov A.V. *Sistemy podderzhki priniatiia reshenii dlia obespecheniia finansovoi ustoychivosti meditsinskikh organizatsii*. Moscow, Delo, 2015.
4. Kovalev S.P., Sorokoletov P.V., Iashina E.R., Generalov A.V. *Innovatsionnoe razvitie meditsinskoi organizatsii v period reformirovaniia sistemy zdravookhraneniia : otchet o NIR gos. zadaniia Rossiiskoi akademii narodnogo khoziaistva i gosudarstvennoi sluzhby pri Prezidente RF na 2015 g.* Moscow, RANKhiGS, 2015.