

УДК 370.153.1

СПОСОБНОСТЬ ИНДИВИДОВ К АППРОКСИМАЦИОННО-ПРОГНОСТИЧЕСКОЙ ДЕЯТЕЛЬНОСТИ КАК СРЕДСТВО ОЦЕНКИ ПРОФЕССИОНАЛЬНОЙ ПРИГОДНОСТИ СПЕЦИАЛИСТОВ

© А.А. Арзамасцев, Н.А. Зенкова

Arzamastsev A.A., Zenkova N.A. Individual ability for approximating and forecasting as a means of evaluating professional suitability. The article discusses how to measure the ability for simulation and forecast implementation in a given data domain by individuals so as to evaluate their professional suitability.

Стремление к прогнозированию является естественным свойством индивида и используется им в повседневной жизни и профессиональной сфере. Примерами прогностической деятельности могут быть: умение предвидеть ситуацию, координация групповых действий при выполнении какой-либо совместной работы и спортивных играх, планирование финансовой деятельности, управление большим коллективом или сложным механизмом, ориентация в условиях недостаточной видимости, учет природных условий и т. д.

Несомненным является и тот факт, что в своей прогностической деятельности индивид использует «внутреннюю» модель предметной области, используя которую он и строит прогнозы, как бы проигрывая возможные ситуации или развитие событий.

С другой стороны, возможность моделирования и осуществления прогнозов в заданной предметной области (ПО) в значительной степени характеризует профессиональную пригодность специалиста, его способность к координации действий, пониманию принципов функционирования данной системы. По этой причине можно рассматривать количественную оценку способности моделирования ПО индивидом как средство оценки его профессиональной пригодности. Подобная система оценок вполне может являться модулем в компьютерно-ориентированной технологии оптимального проектирования образовательного процесса, разрабатываемой на кафедре компьютерного и математического моделирования Тамбовского государственного университета им. Г.Р. Державина [1].

Биологические принципы формирования моделей индивидом в настоящее время не являются изученными. Имеется мнение, что они могут формироваться благодаря имитации реальных явлений в сознании человека в виде связей, существующих в нейронных сетях. Наличие таких сетей является установленным фактом [2]. Некоторые сомнения такой способ представления информации вызывает лишь в той связи, что моделирование более или менее сложного явления должно сопровождаться при таком подходе многослойной сетевой структурой с огромным количеством настроечных параметров (коэффициентов), каждый из которых должен выбираться путем минимизации некоторой целевой функции. Остается неясным, каким образом в процессе обучения человека какому-либо роду деятельности осуществляется настройка этих коэффици-

ентов, какой вид имеет целевая функция, каким образом на биологическом уровне осуществляется ее минимизация.

В соответствии с другим представлением о формировании подобных моделей, последние «образуются» путем некоторой процедуры, называемой сменой сцен. При таком подходе память оперирует не с отдельными отображениями деталей какого-либо явления, а с их функциональными единицами – объектами. Объект наделен некоторыми свойствами (форма, цвет, компоновка, способность к движению в пространстве, как отдельных его деталей, так и всего объекта в целом; способность к вступлению во взаимодействие с другими объектами; способность к выдаче некоторых сигналов во внешнее, по отношению к самому объекту, пространство). Объект также наделен как совместно с другими объектами, так и индивидуально определенными правилами взаимодействия и взаимодействия со средой. В процессе реконструкции сцен, операционная система индивида как бы прокручивает, «запускает» объекты по заданным правилам, и, таким образом, индивид воспроизводит (моделирует) реальное явление. Эти идеи получили широкое распространение в настоящее время также и в связи с внедрением объектно-ориентированного программирования, главными достоинствами которого являются: инкапсуляция (объединение в одном объекте данных и операций над ними), наследование (возможность построения новых дочерних классов объектов на основе родительских путем изменения их свойств), полиморфизм (означает, что в дочерних классах могут быть изменены операции, разрешенные в родительском классе). Подобный подход к пониманию процессов построения «внутренней» модели индивидом кажется авторам настоящей работы более реалистичным, однако, и он имеет существенные ограничения, связанные, например, со способами записи «правил» для объектов, необходимостью сложных математических преобразований для их анимации (оживления) и рядом других.

Таким образом, можно сделать вывод, что, несмотря на то, что физико-биологические принципы функционирования человеческой памяти в настоящее время не являются полностью изученными, не оставляет сомнения тот факт, что индивид (человек) обладает ярко выраженной способностью к моделированию как в



Рис. 1. Схема прогнозирования свойства объекта индивидом

повседневной бытовой сфере, так и в профессиональной деятельности.

В общем виде схема моделирования и построения прогнозов в заданной предметной области показана на рис. 1. Вначале индивид внимательно изучает поведение объекта, выражающееся в изменении интересующего свойства (ряда свойств). В соответствии с этими изменениями и сообразуясь со своим внутренним представлением о структуре и «механизме» объекта индивид выстраивает собственную модель развития объекта (ПО). Вначале такая модель отражает свойства объекта лишь в общих чертах (неадаптированная модель объекта). Однако со временем, наблюдая за новыми изменениями, происходящими в объекте, и внося некоторые изменения в структуру самой модели, механизм ее функционирования и т. д. (т. е. производя коррекцию модели), адаптирует ее к реальному процессу. В итоге индивид, приобретя определенный опыт и знания в данной предметной области, имеет полностью адаптированную модель объекта, так что с ее помощью можно осуществлять прогноз интересующего свойства объекта (рис. 1).

Таким образом, процесс работы индивида с моделью какого-либо объекта или явления включает два этапа. Первый можно охарактеризовать как построение адекватной модели процесса по предистории. На этом этапе индивид выдвигает гипотезу о структуре и механизме явления и по результатам аппроксимации с помощью этой модели фактических данных проводит ее адаптацию. На втором этапе индивид использует свойство модели быть адекватной реальному процессу для прогноза. На этом этапе он может проектировать еще несостоявшиеся события, предвидеть их развитие и т. д.

На рис. 2 показана схема адаптации модели индивидом к некоторой предметной области (ПО) или объекту.

На первом этапе индивид изучает поведение объекта. Он ведет наблюдение за вектором входных координат и за интересующими его свойствами, изучает отклики. В соответствии с этими наблюдениями и своим внутренним представлением о возможной структуре и «механизме» объекта индивид формирует гипотезу о модели этого объекта (ПО), т. е. выявляет структуру связей между входными и выходными координатами. На основании этой гипотезы строится модель. Вначале такая модель обычно отражает свойства ПО лишь в общих чертах. Однако со временем, внося некоторые изменения, индивид адаптирует ее к реальному процессу.

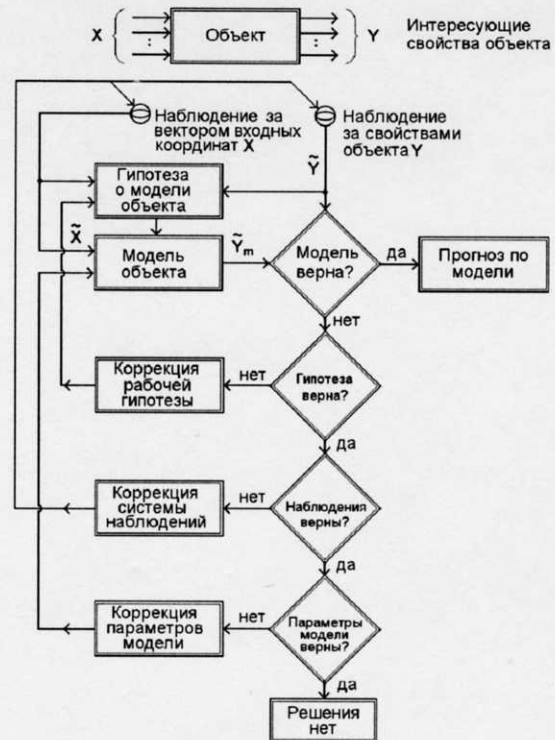


Рис. 2. Схема моделирования предметной области (объекта) индивидом

Подвергая модель адекватным воздействиям и наблюдая за изменениями интересующего свойства, он делает вывод о соответствии (несоответствии) ее реальному процессу. В случае несоответствия индивид анализирует возможные причины неадекватности. При этом он последовательно проверяет правильность и корректирует, в случае необходимости, рабочую гипотезу, систему наблюдений и параметры модели. В итоге, индивид либо имеет уже полностью адаптированную модель объекта (ПО), так что с ее помощью можно осуществлять прогноз интересующих свойств, либо констатирует тот факт, что он не в состоянии этого сделать.

Таким образом, становится очевидным, что: 1) в своей прогностической деятельности индивид использует способность к моделированию явлений, объектов, предметных областей и т. д.; 2) процесс прогнозирования включает в себя два этапа: построение модели и ее адаптации (мы называем этот этап аппроксимационным на том основании, что на нем происходит приближенное описание фактических данных о свойствах объекта реакциями модели, которые всегда являются лишь приближенными к фактическим данным); использование модели – прогнозирование; 3) процесс адаптации модели включает как минимум проверку исходной гипотезы, результатов наблюдений, параметров модели; иногда такой поиск не является результативным; 4) по всей видимости, способность индивида быстро и точно проводить поиск структуры модели, ее адаптацию к фактическим данным (аппроксимацию фактических данных) и ее использование на практике позволяет в значительной степени судить о профессиональных качествах индивида, так как именно способность к предвидению развития ситуации и характеризует его глубину понимания механизма ПО.

РАБОЧАЯ ГИПОТЕЗА

В качестве рабочей гипотезы настоящего исследования принято следующее положение. Способность индивида к аппроксимационно-прогностической деятельности в заданной предметной области характеризует его профессиональную пригодность.

Такая гипотеза выдвинута нами на том основании, что хорошая способность к прогнозированию, по существу, означает, что у индивида сформировалась адекватная модель предметной области, а это и есть лучшая характеристика его профессионального мастерства.

МАТЕРИАЛЫ И МЕТОДЫ ИССЛЕДОВАНИЯ

С целью проверки рабочей гипотезы было предпринято исследование способности индивидов к абстрактной аппроксимационно-прогностической деятельности. Под словом «абстрактной» мы имеем в виду, что как аппроксимация, так и прогнозирование не были в нашем случае привязаны к какой-либо конкретной сфере человеческой деятельности (например, математике, экономике, социологии и т. д.). Исследовались две группы индивидов. Первую группу составляли студенты первого курса физико-математического факультета Тамбовского государственного университета им. Г.Р. Державина в количестве 100 человек. В дальнейшем эту группу будем именовать «студенты». Во вторую группу вошли преподаватели и аспиранты этого же факультета в количестве 15 человек. В дальнейшем эту группу будем для краткости именовать «специалисты» на том основании, что в нее входили научные работники и преподаватели физико-математических дисциплин, имеющие ученые степени кандидата и доктора наук, ученые звания доцента и профессора, публикации по специальности в центральных (в том числе РАН) и международных журналах, международных гранты. Студенты тестировались во время своего первого семестра обучения в университете (ноябрь – декабрь 2000 г.). В этот период они еще не знали, в соответствии с программой обучения, ни основ численных методов, ни методов математического моделирования, статистической обработки и т. д. (эти дисциплины изучаются лишь со второго курса). В тестировании принимали участие студенты специальностей «Физика» и «Математика». Возраст тестируемых 16–18 лет. В группу специалистов входили преподаватели различных кафедр возрасте 23–55 лет. Время тестирования – январь 2001 г.

В целом тест включал в себя имитацию зависимости фактических значений фактора F_2 от фактора F_1 , представленных в виде точек на графиках (см. приложение 1). Тестируемым предлагалось провести аппроксимацию данных эмпирических зависимостей, не пользуясь при этом никакими математическими методами, а сообразуясь лишь с собственной интуицией. Фактически это означало, что осуществлялась проверка умения строить модель изображенного на графиках процесса и осуществлять адаптацию ее к фактическим данным. Поскольку задача тестируемым не была четко математически сформулирована (ее математическая формулировка означала бы подталкивание тестируемых к применению того или иного известного математического метода аппроксимации, например, метода наименьших квадратов, наибольшего правдоподобия и т. п.), перед каждым заданием тестируемым предлагался графиче-

ский пример, наглядно иллюстрирующий, что от них требуется в ходе выполнения данного задания. Тест состоял из трех частей. В первой части тестируемым предлагалось построить линейную модель для корреляционных полей данных с различными коэффициентами корреляции $0,38 < r < 0,99$, во второй части – нелинейную, для корреляционных полей данных с коэффициентами корреляции $0,41 < r < 0,9$. Тестируемым предлагалось провести линии так, чтобы они наилучшим образом, по их мнению, соответствовали результатам измерения. В третьей части тестируемым предлагалось спрогнозировать поведение нескольких зависимостей, показанных линиями, продолжая эти линии для нескольких последующих значений фактора F_1 . В первой и второй частях было дано по четыре задания, где точками показаны результаты измерения величины F_2 при различных значениях величины F_1 . В третьей части тестируемым предлагали шесть различных заданий.

В качестве контрольного варианта для сравнения результатов тестируемых использовали аппроксимацию зависимостей по известному методу наименьших квадратов (МНК), который стал в настоящее время практически стандартом при обработке данных [3, 4]. Для этой цели использовали специально разработанную программу, написанную на языке Turbo Pascal 7.0. Статистическую обработку данных осуществляли в Microsoft Excel 97.

ПОЛУЧЕННЫЕ РЕЗУЛЬТАТЫ И ИХ ОБСУЖДЕНИЕ

На рис. 3 а) – д) показано сравнение аппроксимаций зависимостей между факторами F_1 и F_2 , выполненных по линейной модели группой «студенты» и по МНК. Точками на этих графиках показано среднее значение для всей группы. Величины дисперсий также показаны на рисунках (они соответствуют приблизительно 70-процентному доверительному интервалу). Если для некоторых точек размер дисперсии не указан, это означает, что ее значение пренебрежимо мало по сравнению со средним.

Из рис. 3 а) видно, что при высоких коэффициентах корреляции между факторами F_1 и F_2 ($r = 0,99$) аппроксимация, выполненная группой «студенты», практически не отличается от результатов, полученных по МНК. Это, в свою очередь, указывает на хорошие способности индивидов данной группы к аппроксимационной деятельности при существовании детерминированной линейной связи между факторами. По мере снижения коэффициента корреляции (см. рис. 3 б) – д)), способность индивидов к аппроксимации ухудшается. Так, из рис. 3 б) следует, что уже при коэффициенте корреляции $r = 0,87$ между факторами F_1 и F_2 такая способность начинает исчезать, о чем свидетельствует расхождение результатов, полученных по МНК, и доверительных интервалов для всей группы «студенты». Отметим также, что с уменьшением r возрастают индивидуальные различия в аппроксимационной способности для этой группы, о чем свидетельствует увеличение дисперсии. Так, при $r = 0,99$ среднее значение дисперсии составляет всего 0,19 (рис. 3 а)), при $r = 0,87$ оно возрастает до 0,43 (рис. 3 б)), принимая при $r = 0,6$ значение 0,54 (рис. 3 в)) и при $r = 0,38$ значение 0,69 (рис. 3 д)). Этот факт объясняется тем, что при низких коэффициентах корреляции между факторами F_1 и F_2 у индивидов существует больше вариантов для выбора аппроксимационной модели (см. рис. 4). Можно счи-

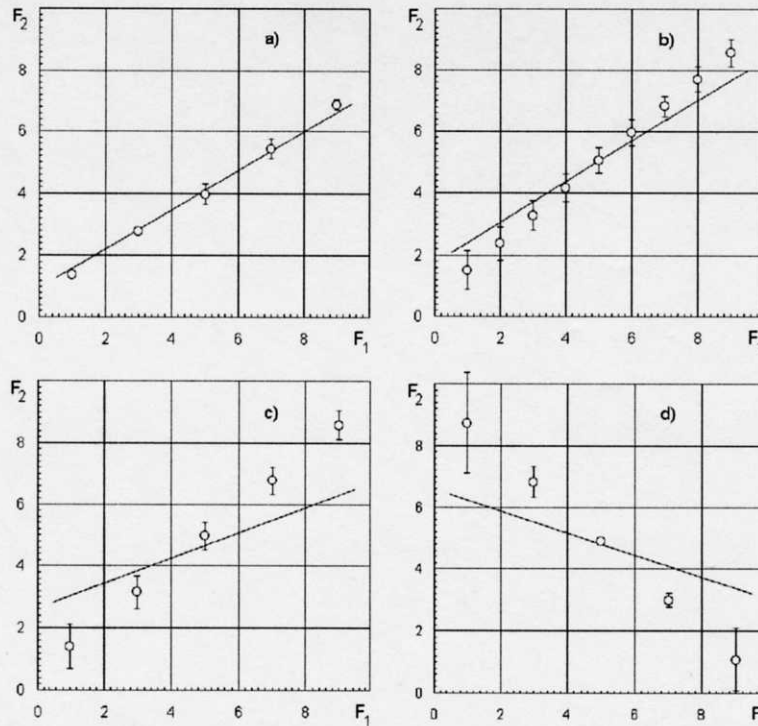


Рис. 3. Изменения фактора F_2 в зависимости от значений фактора F_1 . Прямая линия – аппроксимация по методу наименьших квадратов. Точки и доверительный интервал – аппроксимация, выполненная на основе интуиции группой индивидов (студенты, 100 чел.): а) – коэффициент корреляции данных (абсолютное значение) $r = 0,99$; б) – $r = 0,87$; в) – $r = 0,6$; д) – $r = 0,38$

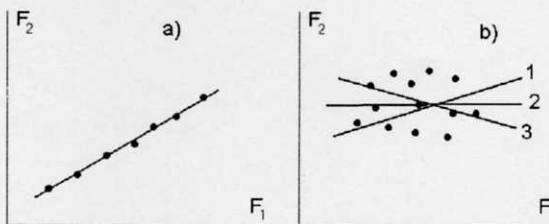


Рис. 4. При высоких значениях коэффициентов корреляции – а) существует меньше возможностей для выбора аппроксимационной модели, чем при низких – б). Цифрами 1, 2 и 3 обозначены различные варианты выбора модели

тать, что для рассматриваемой группы индивидов $r = 0,87$ представляет собой некоторое пороговое значение, при снижении которого ее представители утрачивают способность к аппроксимационной деятельности.

На рис. 5 а) – д) показано сравнение аппроксимаций зависимостей между факторами F_1 и F_2 , выполненных с помощью нелинейной модели этой же группой индивидов и по МНК. В качестве нелинейной зависимости в расчете по МНК использовали полином второй степени.

Из рис. 5 а) следует, что тенденция, имевшая место в случае линейной зависимости, сохраняется и в данном случае: при достаточно высоком коэффициенте корреляции между факторами F_1 и F_2 , аппроксимация, выполненная группой индивидов, близка к результатам, полученным по МНК; дисперсия в этом случае также мала. По мере снижения коэффициента корреляции у зависимости F_1 от F_2 (рис. 5 б) – д)), начинает возрастать дисперсия, о чем свидетельствует значительное увеличение ее среднего значения на рисунках.

Так, при коэффициенте корреляции между фактическими данными $r = 0,89$ среднее значение дисперсии составляет 0,27; при $r = 0,57 - 0,8$; при $r = 0,46 - 1,3$; при $r = 0,41$ оно достигает 2,14, т. е. возрастают индивидуальные различия в данной группе.

Необходимо отметить, что средние значения (точки на графике) для всей группы «студенты» достаточно близки к результатам, полученным по МНК, а также то, что непрерывная линия, построенная по результатам МНК, почти везде попадает в доверительные интервалы. Это указывает на тот факт, что вместе группа индивидов «студенты» способна построить адекватные модели процессов, изображенных на рис. 5 б) – д). Однако индивидуально большая часть представителей данной группы справляется с этим заданием неудовлетворительно, о чем свидетельствуют значительные доверительные интервалы.

Результаты аналогичных исследований для группы «специалисты» приведены на рис. 6 и 7. Принципиальное отличие от соответствующих результатов, полученных для группы «студенты» (рис. 3, 5), заключается в том, что практически во всех случаях (рис. 6, 7) имеет место низкое значение дисперсии. Специалисты, используя имеющийся опыт, построили практически одинаковые линейные и нелинейные модели. Индивидуальные различия в этой группе минимальны. При использовании линейной модели пороговый уровень в группе «специалисты» снижается до $r = 0,6$. В то же время, при использовании нелинейных моделей, во всем диапазоне коэффициентов корреляции между факторами F_1 и F_2 ($0,41 \leq r \leq 0,89$) «специалистами» получены результаты, хорошо коррелирующие с МНК.

Особый интерес представляет построение моделей обеими группами в случае низких коэффициентов кор-

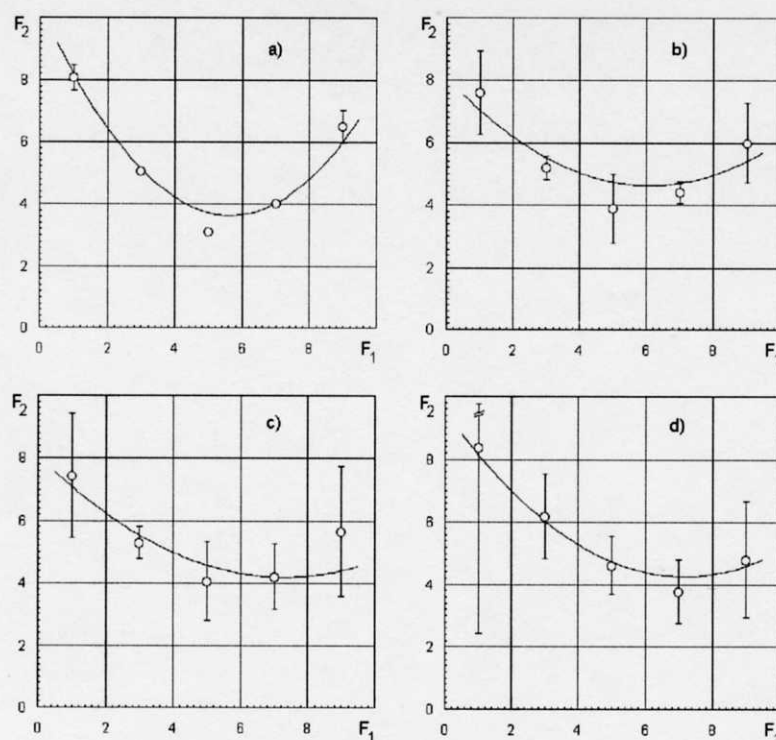


Рис. 5. Изменения фактора F_2 в зависимости от значений фактора F_1 . Непрерывная линия – аппроксимация по методу наименьших квадратов параболической зависимостью. Точки и доверительный интервал – аппроксимация, выполненная на основе интуиции группой индивидов (студенты, 100 чел.): а) – коэффициент корреляции данных $r = 0,89$; б) – $r = 0,57$; в) – $r = 0,46$; д) – $r = 0,41$

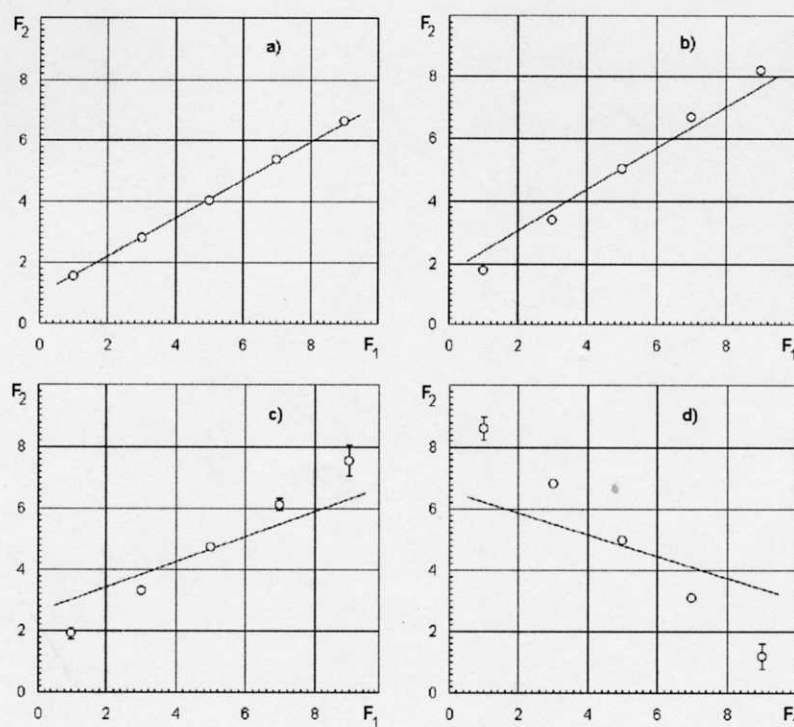


Рис. 6. Изменения фактора F_2 в зависимости от значений фактора F_1 . Прямая линия – аппроксимация по методу наименьших квадратов. Точки и доверительный интервал – аппроксимация, выполненная на основе интуиции группой индивидов (специалисты, 15 чел.): а) – коэффициент корреляции данных (абсолютное значение) $r = 0,99$; б) – $r = 0,87$; в) – $r = 0,6$; д) – $r = 0,38$

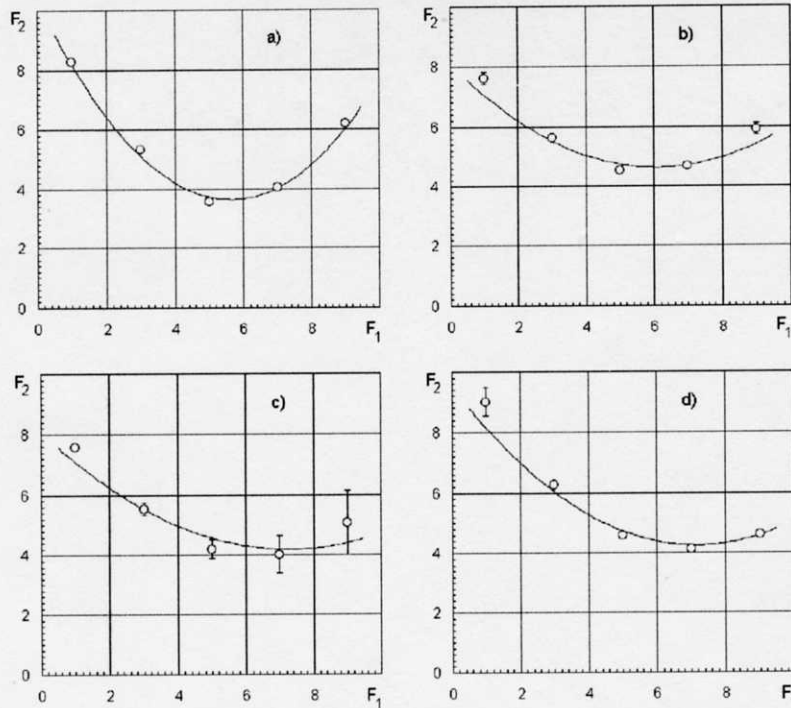


Рис. 7. Изменения фактора F_2 в зависимости от значений фактора F_1 . Непрерывная линия – аппроксимация по методу наименьших квадратов параболической зависимостью. Точки и доверительный интервал – аппроксимация, выполненная на основе интуиции группой индивидов (специалисты, 15 чел.): а) – коэффициент корреляции данных $r = 0,89$; б) – $r = 0,57$; в) – $r = 0,46$; д) – $r = 0,41$

реляции между фактическими данными (факторы F_1 и F_2). Так, на рис. 3 д) и 6 д) показано построение линейной модели группами «студенты» и «специалисты» соответственно при $r = 0,38$. Из-за большого возможного числа вариантов для выбора модели (см. рис. 4), как «студенты» в среднем, так и «специалисты» решили эту проблему неудовлетворительно. Однако средние значения для обеих групп почти полностью совпадают, т. е. аппроксимационные модели построены одинаково (но неверно). Если различия в решениях первой группы весьма существенны, то представители второй группы проявили «единодушие» в выборе неудовлетворительного решения. Среднее значение дисперсии для группы «студенты» составляет 0,69, а для группы «специалисты» – 0,2.

При построении нелинейной модели при $r = 0,41$ «студенты» в группе удовлетворительно справились с задачей, о чем свидетельствует близость средних значений (точки на графике) и непрерывной линии, построенной по МНК. Специалисты и в решении этой проблемы были единодушны – их решение практически не отличается от полученного по МНК при минимальных индивидуальных различиях. Среднее значение дисперсии для группы «студенты» составляет 2,14, а для группы «специалисты» оно всего 0,2. Возможно, что «студенты» и «специалисты» лучше справились с заданием на построение нелинейной модели по причине того, что при ее выборе имеется больше степеней свободы, чем в линейном случае.

ЗАКЛЮЧЕНИЕ

Таким образом, на основе выполненных исследований установлено:

1) при решении абстрактных задач, связанных с аппроксимационно-прогностической деятельностью, способность индивидов к моделированию ПО снижается с уменьшением корреляции фактических данных;

2) существует некоторое пороговое значение уровня корреляции фактических данных, при снижении которого построение модели индивидом становится невозможным; уровень этого значения различается у специалистов и неспециалистов;

3) отличительным свойством группы «специалисты» является высокая степень корреляции в сравнении с точными математическими методами аппроксимации (например, МНК) и низкая дисперсия результатов моделирования в группе;

4) отличительным свойством «неспециалистов» является низкая степень корреляции в сравнении с точными математическими методами аппроксимации, существенные индивидуальные различия в выборе модели и высокий пороговый уровень коэффициента корреляции фактических данных, позволяющих строить модель ПО.

По нашему мнению, указанные свойства индивидов возможно использовать в системе оценок профессиональной пригодности специалистов [1].

ЛИТЕРАТУРА

1. Арзамасцев А.А., Китаевская Т.Ю. Оптимальное проектирование и повышение эффективности процесса обучения в системе высшего образования: постановка задач и обобщенный алгоритм решения // Вестн. ТГУ. Сер. Естеств. и технич. науки. Тамбов, 1999. Т. 4. Вып. 4. С. 412–417.
2. Эндрю А. Искусственный интеллект. М.: Мир, 1985. 264 с.
3. Корн Г., Корн Г. Справочник по математике для научных работников и инженеров. М.: Наука, 1970. 720 с.
4. Тюрин Ю.Н., Макаров А.А. Анализ данных на компьютере. М.: Финансы и статистика, 1995. 384 с.

Тест на выявление способностей индивидов к аппроксимационным и прогностическим действиям

Уважаемый коллега, кафедра компьютерного и математического моделирования ТГУ им. Г.Р. Державина обращается к Вам с просьбой по возможности корректно и тщательно выполнить задания предлагаемого теста. Он посвящен выявлению способностей человека к интерполяционно-аппроксимационным действиям и прогнозированию. Мы будем признательны также, если Вы укажете свою фамилию, номер группы, факультет и дату заполнения теста.

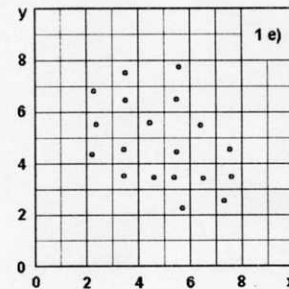
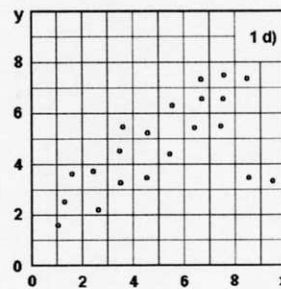
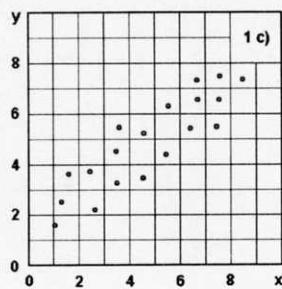
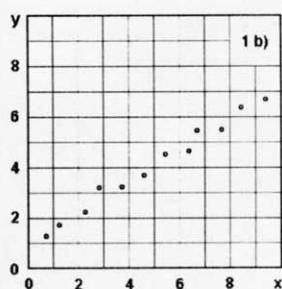
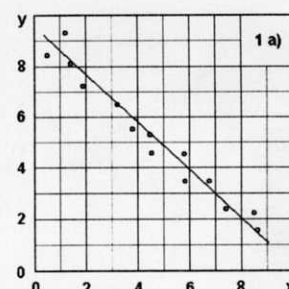
Ф.И.О. _____ Группа _____

Факультет _____ Дата выполнения теста _____

1. Линейные зависимости

На рис. 1 а) точками показаны результаты измерения величины Y при различных значениях величины X . Экспериментатор провел прямую линию таким образом, что это в наилучшей степени (по его мнению) соответствует результатам измерений.

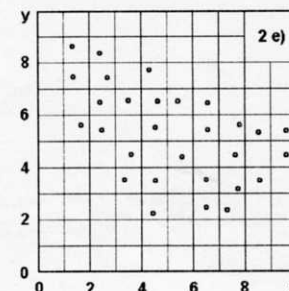
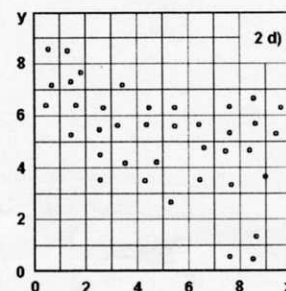
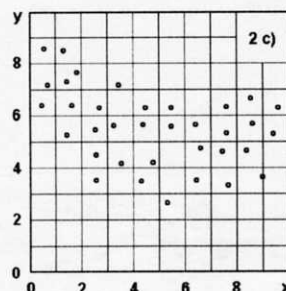
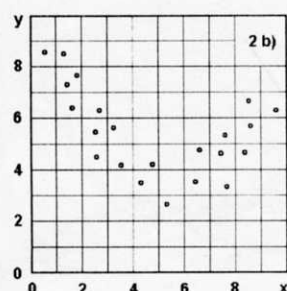
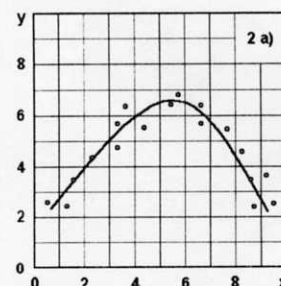
Задание: для рисунков 1 б) – е) проведите прямые линии так, чтобы они наилучшим образом (по вашему мнению) соответствовали результатам измерений.



2. Нелинейные зависимости

На рис. 2 а) точками показаны результаты измерения величины Y при различных значениях величины X . Экспериментатор провел линию таким образом, что это в наилучшей степени (по его мнению) соответствует результатам измерений.

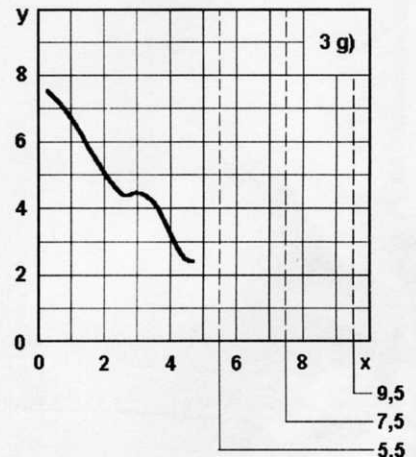
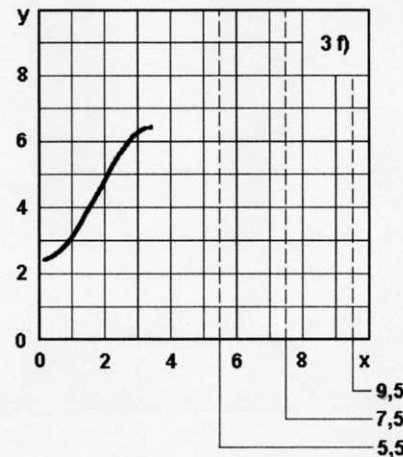
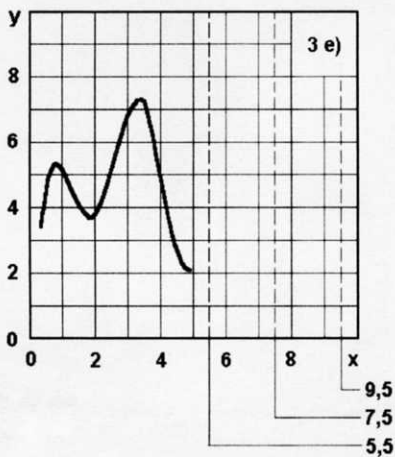
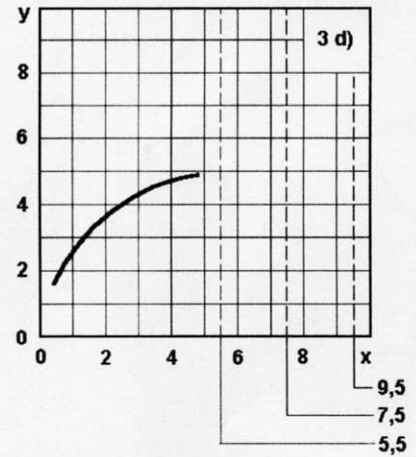
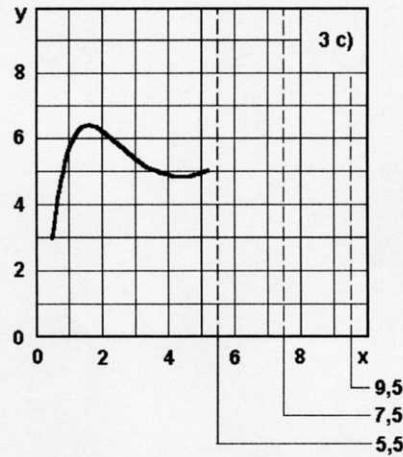
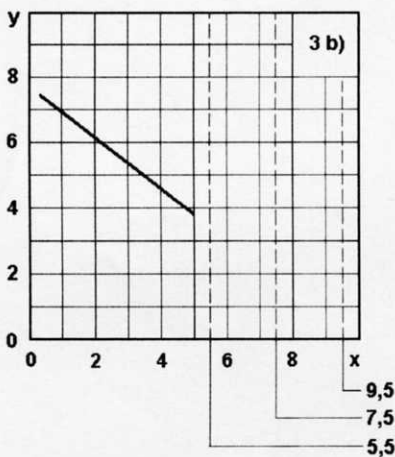
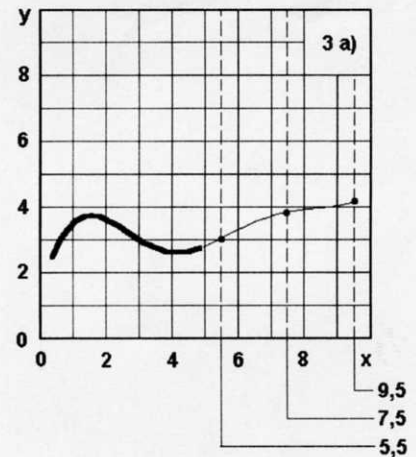
Задание: для рис. 2 б) – е) проведите линии так, чтобы они наилучшим образом (по вашему мнению) соответствовали результатам измерений.



3. Прогнозирование

На рис. 3 а) жирной линией показана известная зависимость Y от X . Аналитик сделал прогноз поведения этой зависимости для значений $X=5,5$; $X=7,5$ и $X=9,5$. Соответствующие значения показаны жирными точками.

Задание: сделайте тонкой линией прогноз для зависимостей, показанных на рис.3 б)- г) и покажите точками значения Y для $X=5,5$; $X=7,5$ и $X=9,5$.



Благодарим Вас за участие в эксперименте!

Поступила в редакцию 26 марта 2001 г.