

# ВСЕВОЛОД ВЛАДИМИРОВИЧ ШАКИН

Любые знания должны быть полезны: ты будешь использовать в своей работе только то, что ты знаешь. Ничего, кроме того, что ты знаешь, ты в своей работе использовать не сможешь.

*В.В. Шакин*

«Великому синтезатору математической и медицинской мысли Севе Ш. от Светы и Славы, 18/III-72.»

*Надпись на форзаце книги А.В. Шубникова  
Симметрия в науке и искусстве*

«Jó!», что по-венгерски означает: «хорошо!»

*В.В. Шакин*

Портрет Всеволода Владимировича можно создать по очень многим источникам. Даже по надписям на форзацах подаренных ему книг и по посвящениям на первых страницах рукописей. Один приведенных эпитафий хороший тому пример. Всеволод Владимирович дарил себя и свои обширные знания всем, кому посчастливилось работать с ним, и был всегда открыт к общению. Надписи на книгах в его библиотеке рассказывают, что он самый лучший учитель математики и автор многочисленных идей.

Всеволод Владимирович Шакин родился 18 марта 1941 года в Рязани. Его отец, Владимир Иванович, учитель по профессии, отслужил в Советской Армии 36 лет, мать, Любовь Алексеевна, занималась домашними делами и воспитанием сына. В 1958 году Всеволод Шакин окончил Коломенскую школу с серебряной медалью (в его библиотеке есть 1-й том «Курса дифференциального и интегрального исчисления» Фихтенгольца, полученный за победу на математической олимпиаде). В поисках наиболее востребованной профессии после школы он поступил в Московский энергетический институт, на факультет автоматики и вычислительной техники. Окончил МЭИ в 1964 году, получив диплом с отличием. По окончании МЭИ был распределен стажером-исследователем в Институт биологической физики АН СССР в Пущино, а затем перераспределен в Институт проблем передачи информации АН для сдачи вступительных экзаменов в очную аспирантуру, которую успешно закончил в 1967 году. В 1971 году в Ученом совете Института биологической физики успешно защитил диссертацию на соискание ученой степени кандидата физико-математических наук. В 1974 году его пригласили в Институт телекоммуникаций в Будапеште на Келдышевскую стажировку, и он проработал в Венгрии три года. С 1980 по 1985 год Всеволод Владимирович работал в Лаборатории математического обеспечения разработок Всесоюзного НИИ медицинского приборостроения. В 1985 году он начал работать в Вычислительном центре Академии наук, где заведовал Сектором математического моделирования в экологии и медицине.

Трудно сказать, насколько эта краткая справка описывает его работу, потому что помимо этого он преподавал в МГУ, затем в МНЭПУ, в нескольких других институтах и руководил аспирантскими работами на ВЦ. Он объездил с рассказами о своей науке почти весь мир. Так, по крайней мере, мне показалось, когда в самолете ему попался атлас, в котором он стал отмечать те места, где побывал. Поэтому более справедливо было бы рассказать о его стиле мышления и о темах, которые его увлекали.

Всеволод Владимирович — автор многих интересных работ. Первые его работы посвящены обработке электрокардиограмм и распознаванию образов, созданию биологических и медицинских моделей. Затем в круг его научных интересов вошла экология: моделирование и анализ сложных эколого-экономических систем. Большинство его идей, о которых будет сказано, относятся к циклу работ «моделирование биосистем в экстремальных условиях».

Всеволод Владимирович был уникальным генератором красивых решений. Часто он приходил на работу и говорил: «Я тут думал о нашей задаче, и где-то в половине пятого утра мне пришло одно решение...», и показывал записи. В основном это были строчки формул, но когда он начинал их пояснять, он доставал свои цветные ручки и рисовал большие диаграммы. Есть несколько рисунков, которые мне запомнились, и без попытки оценить их значимость и глубину тех суждений, которые за ними стояли, я попытаюсь их воспроизвести.

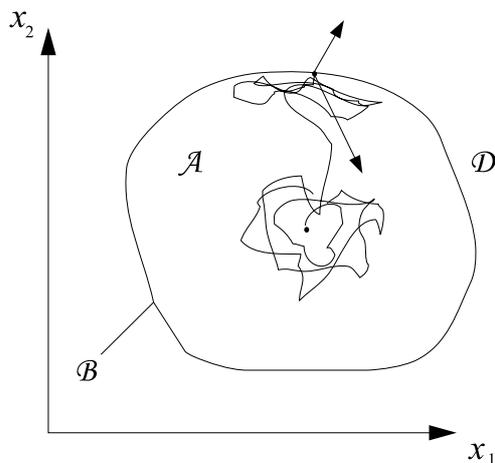


Рис. 1: Поведение биосистемы в экстремальных условиях

Первый рисунок — поведение биосистемы в экстремальных условиях. Жизнь биосистемы описывается набором параметров, образующих фазовое пространство. Можно предположить, что  $x_1, x_2$  — концентрация кислорода в крови и частота сердечных сокращений. Параметры биосистемы, изменяясь во времени, образуют траекторию жизни системы. Фазовое пространство разбито на три непересекающихся области: жизни  $\mathcal{A}$  — *alive*, смерти  $\mathcal{D}$  — *dead* и границу между ними  $\mathcal{B}$  — *boundary*. В каждый момент времени можно вычислить расстояние от вектора состояния системы до границы между жизнью и смертью. Гипотеза: в точке Чебышева (точке, максимально

удаленной от границ  $\mathcal{B}$  внутри области  $\mathcal{A}$ ) энтропия системы максимальна; в то время как у границы поведение системы становится ригидным, жестким, эффективная размерность траектории снижается. Вторая гипотеза: положение границы  $\mathcal{B}$  зависит от траектории системы. Интуитивно, гипотезы справедливы: после экстремального состояния система приспосабливается, а при отсутствии экстремальных состояний система атрофируется. Таким образом, имея результаты измерений, можно выяснить, насколько система далека от границы, и спрогнозировать ее дальнейшее поведение.

Для выяснения эффективной размерности Всеволод Владимирович использовал сингулярное разложение как наиболее удобный инструмент. В работе он пользовался, по крайней мере, четырьмя собственными модификациями этого мощного алгоритма. Сингулярное разложение представляет произвольное линейное отображение как композицию вращения, растяжения и снова вращения. Количество ненулевых элементов на диагонали матрицы растяжения есть эффективная размерность сегмента траектории. На рисунке 2 показан пример — траектория системы с аттрактором Лоренца и одно из подмножеств ее сегментов, находящихся в пространстве меньшей размерности.

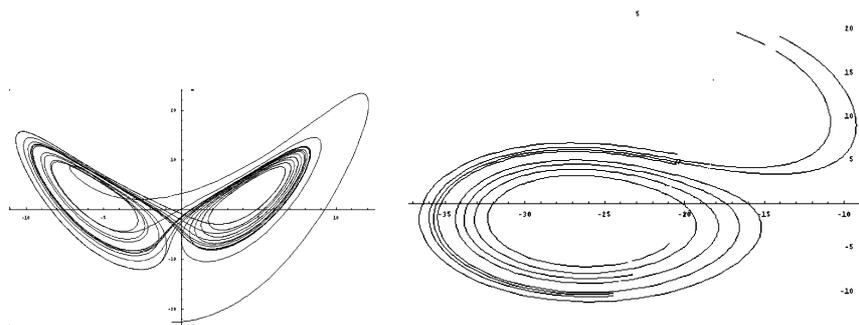


Рис. 2: Траектория системы с аттрактором Лоренца и подмножество ее сегментов

Гипотеза поведения биосистемы в экстремальных условиях работает не только в случае с живыми организмами. Ее удалось обнаружить также в экологических и в социальных системах. Немаловажен вопрос, решаемый при анализе модели поведения: как управлять системой, не дать ей выйти на границы жизни? Для ответа на этот вопрос Всеволод Владимирович использовал модель управления с обратной связью. Ему нередко приходилось моделировать работу больших сложных объектов, например, заповедников. Роль этой модели заключалась не в том, что можно тут же, за один шаг, вычислить все параметры такого объекта, а в том, что при разговоре с заказчиком и его экспертами с ее помощью можно было точно указать, что мы собираемся делать и к каким последствиям это может привести.

На рисунке 3 показана функциональная схема модели управления. Она состоит из четырех элементов: модели принятия решения, модели объекта, модели порождения данных и модели оценки результатов наблюдений. Субъект управления — лицо, принимающее решение, действия которого заключаются в выборе такого оптимального

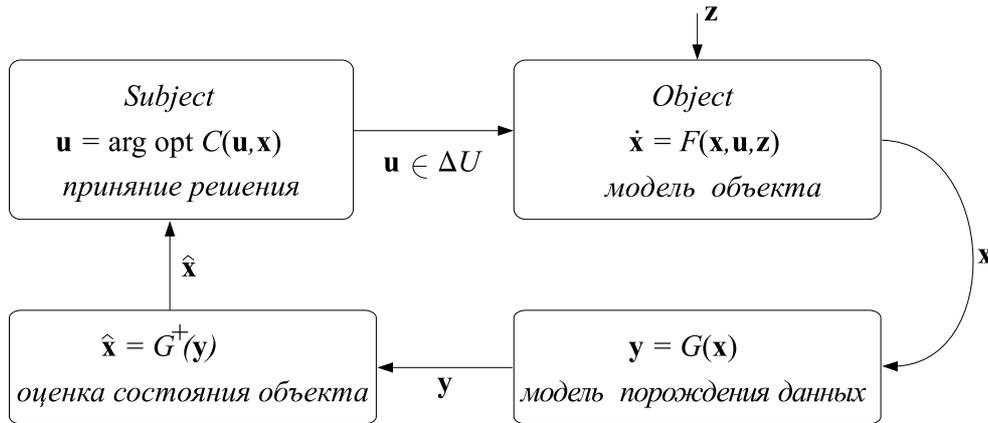


Рис. 3: Функциональная схема модели управления

управляющего воздействия  $\mathbf{u}$ , при котором за некоторое время система принимает заданное состояние. Условием управления ставится ограничение на ресурсы. Другими словами, управляющее воздействие  $\mathbf{u} \in \Delta U$  выбирается из множества допустимых вариантов управления.

Объект управления имеет текущее состояние  $\mathbf{x} \in \mathcal{A}$  на множестве состояний (область жизни) и экологическую нишу  $N \subset \mathcal{A}$  — норму жизни объекта (например, нишу экосистемы). Модель  $\dot{\mathbf{x}} = F(\mathbf{x}, \mathbf{u}, \mathbf{z})$  — описание связи между управлением, внешним воздействием и состоянием объекта. При моделировании внешних воздействий часто рассматривались различные сценарии — последовательности внешних воздействий, с целью прогноза: «каким должно быть оптимальное управление, если внешние события будут разворачиваться по одному из сценариев?»

Состояние объекта  $\mathbf{x}$  — вообще говоря, ненаблюдаемая переменная. Те данные, которые мы имеем — это результаты измерений  $\mathbf{y}$ . Модель  $\mathbf{y} = G(\mathbf{x})$  описывает связь между внутренним состоянием объекта и результатами мониторинга. Для принятия же решения нужна оценка состояния  $\hat{\mathbf{x}}$ , а чаще нужна функция от оценки состояния — интегральный индикатор качества жизни объекта.

Вышеприведенная модель наглядно показывает суть процесса управления: чтобы управлять, надо прежде всего наблюдать и затем выбирать оптимальный вариант управления при том условии, что эти варианты существуют.

Одно из применений этой модели — эконометрический прогноз основных показателей экономики России. Даны следующие наборы векторов: состояние объекта управления  $\mathbf{y}_t = \langle y_t^{(1)}, \dots, y_t^{(m)} \rangle^T$  в моменты времени  $t = 0, \dots, n$ , управляющие воздействия  $\mathbf{u}_t = \langle u_t^{(1)}, \dots, u_t^{(k)} \rangle^T$  и неуправляемые воздействия  $\mathbf{z}_t = \langle z_t^{(1)}, \dots, z_t^{(l)} \rangle^T$ . Задача состоит в том, чтобы подобрать такую последовательность управляющих воздействий  $\mathbf{u}_{t_0}, \dots, \mathbf{u}_{t_n}$ , удовлетворяющих ограничениям  $\mathbf{u}_t \in \Delta U$  которая бы при некотором внешнем сценарии обеспечивала бы через  $n$  шагов заданное состояние  $\bar{\mathbf{y}}_{t_n}$ .

Назначим модель векторной авторегрессии. Полная форма модели управления

имеет вид

$$\mathbf{y}_t = \sum_{\tau=0}^r (A_{\tau} \mathbf{y}_{t-\tau} + B_{\tau} \mathbf{u}_{t-\tau} + C_{\tau} \mathbf{z}_{t-\tau}) + \mathbf{m} + \varepsilon_t.$$

В этой модели  $A_{\tau}, B_{\tau}, C_{\tau}$  — матрицы коэффициентов,  $\mathbf{m}, \varepsilon_t$  — векторы среднего значения и ошибок. Всеволод Владимирович предложил простое решение нахождения оптимального управления, которым статистики, при создании авторегрессионных моделей, ранее не пользовались. Так как нас интересует только управление, сократим модель до  $\mathbf{y}_t = G_t U_t + H_{t,\tau}$ , собрав все константы в матрицу  $H_{t,\tau}$ . Оптимальное управление можно получить в явном виде как решение обратной задачи  $\mathbf{u}_t = G_t^+ (\mathbf{y}_t - H_{t,\tau})$ , имея настроенные матрицы  $G_t, H_{t,\tau}$  и обращенную матрицу  $G_t^+$ . Критерием оптимальности положен критерий динамического программирования: стоимость управления на данном шаге и стоимость управления на всех последующих шагах должна быть минимальной.

Вернемся к модели управления. Очевидно, что определить такие множества, как множество состояний объекта, множество воздействий и модели взаимосвязей между ними весьма сложно. Поэтому при построении модели там, где это необходимо, применяются экспертные суждения. Всеволод Владимирович говорил, что эксперт может быть узан по пяти признакам. Эксперт — это:

- 1) человек, обладающий глубокими знаниями в своей предметной области;
- 2) он имеет измеряемые данные и объективные факты;
- 3) он признан другими экспертами как эксперт в своей области;
- 4) он знает, где достать деньги для финансирования исследований;
- 5) он просто хороший человек, с которым приятно работать.

На базе проекта по анализу работы заповедников, выполненных под его руководством в 1999–2003 годах, возникла теория согласования экспертных оценок. Но родилась эта теория задолго до этого. В начале 70-х годов Всеволод Владимирович вел проект для ЦК ВЛКСМ по оценке качества работы первичных комсомольских организаций Советского Союза. Требовалось найти передовиков и указать отстающих комсомольского движения, то есть построить ранжированный список организаций. Ему дали список организаций, список показателей и отчеты о проделанной комсомольцами работе — данные. Всеволод Владимирович назначил модель, вычислил оценку качества для всех организаций и отправил результаты заказчику. Но ему сказали: «Это ранжирование сделано неверно». Тогда он спросил: «А как, по-вашему, нужно ранжировать?» Ему дали примерный список, и через некоторое время он вернул уточненные оценки с комментарием: «Главный критерий ваших оценок — это ...» Его спросили: «А откуда вы знаете?» Он представил работу, которую опубликовали под грифом «для служебного пользования» в Академии общественных наук, предварительно вычистив из нее все численные результаты. Главный критерий заказчика был прост: самые хорошие организации — те, у кого папка с отчетами о проделанной работе толще.

Суть теории согласования экспертных оценок заключается в следующем. Дан список объектов и список показателей и дана таблица результатов измерений. Было бы

просто ввести какую-либо модель и найти оценки качества — интегральные индикаторы объектов, если бы не эксперты, которые знают предмет лучше, чем аналитики, назначающие модель. Эксперты могут, во-первых, оценить сами объекты, а, во-вторых, оценить важность показателей. Итак, имеем матрицу результатов измерений  $A$ , вектор экспертных оценок качества объектов  $\mathbf{q}_0$  и вектор экспертных оценок важности показателей  $\mathbf{w}_0$ . Можно предположить, что эксперты выставляют свои оценки согласно данным, т.е.  $\mathbf{q}_0 = A\mathbf{w}_0$ . Однако часто это далеко не так. Рассмотрим два пространства оценок, показанные на рисунке 4.

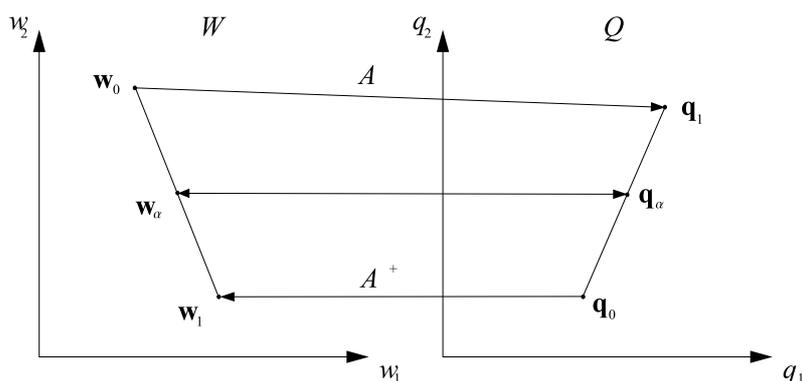


Рис. 4: Два пространства экспертных оценок

Здесь  $W$  и  $Q$  — пространства оценок важности показателей и пространство оценок качества объектов. Линейный оператор  $A$  отображает начальную экспертную оценку важности показателей из  $W$  в  $Q$ , а псевдообратный оператор  $A^+$  выполняет обратное отображение. По оценкам качества можно найти веса важности показателей, а по весам показателей можно найти оценки качества объектов. Всеволод Владимирович предложил ввести параметр доверия  $\alpha \in [0, 1]$  к оценкам в этих двух пространствах. Тогда стало возможным находить непротиворечивые оценки, выставляя этот параметр:

$$\begin{aligned}\mathbf{q}_\alpha &= \alpha\mathbf{q}_0 + (1 - \alpha)A\mathbf{w}_0, \\ \mathbf{w}_\alpha &= (1 - \alpha)\mathbf{w}_0 + \alpha A^+\mathbf{q}_0.\end{aligned}$$

Такое решение позволило получить обоснованные и не противоречащие реальным данным оценки объектов и соединило вместе данные и экспертные мнения.

Для того чтобы экспертам было проще обосновывать свои оценки, Всеволод Владимирович часто предлагал несколько простых приемов. Первый прием — построение дерева предпочтений по матрице парных сравнений. Рассмотрим четыре объекта, например: яблоко, персик, груша, банан. Будем ставить плюс в таблицу, если мы предпочитаем объект в строке объекту в столбце, и минус — в противном случае. Очевидно, что матрица антисимметрична. Пусть наши вкусы соответствуют рисунку 5.

Построим дерево, где одна вершина доминирует другую, если их отношение «строка-столбец» обозначено плюсом и найдем рейтинг объектов. С помощью этого приема

	Я	П	Г	Б
Я	·	+	+	+
П	-	·	-	+
Г	-	+	·	+
Б	-	-	-	·

Рис. 5: Матрица парных сравнений

эксперт, создавший рейтинг объектов, может проконтролировать себя, построив дерево предпочтений либо на всем множестве объектов, либо на тех его подмножествах, в которых он испытывает затруднение.

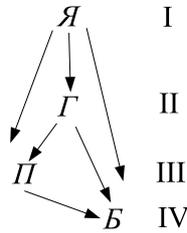


Рис. 6: Дерево предпочтений

Не всегда удается избежать циклических связей в дереве предпочтений. В качестве контрпримера Всеволод Владимирович приводил список из трех объектов — здоровье, счастье, богатство. Что важнее? Счастье? Но без здоровья не будет счастья, трудно быть счастливым в болезни. Здоровье? Но для того, чтобы быть здоровым, нужно питаться, заниматься спортом, нормально жить, а без денег это невозможно. Богатство? Но зачем человеку богатство, когда нет счастья? Получается вот такой круг интересов.

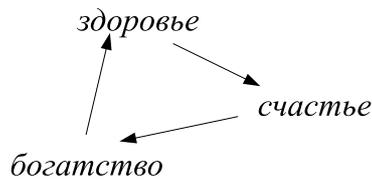


Рис. 7: Круг интересов

Второй прием получения адекватных экспертных оценок — построение расслоения Парето. Оно основано на известных свойствах Парето-оптимального фронта и заключается в следующем. Есть список объектов, список показателей и матрица данных. Пусть  $x_1, x_2$  — пространство показателей, см. рис. 6. Парето-оптимальный фронт в этом пространстве — множество, в котором каждый объект не доминирован ни одним другим объектом. Говорят, что вектор (объект) **a** доминирует вектор **b**, если

все элементы **a** не меньше соответствующих элементов **b**. В первый класс расслоения Парето попадают те объекты, которые входят в Парето-оптимальный фронт всего множества, во второй класс расслоения попадают те, которые входят в Парето-оптимальный фронт всего множества за исключением объектов первого слоя, и так далее.

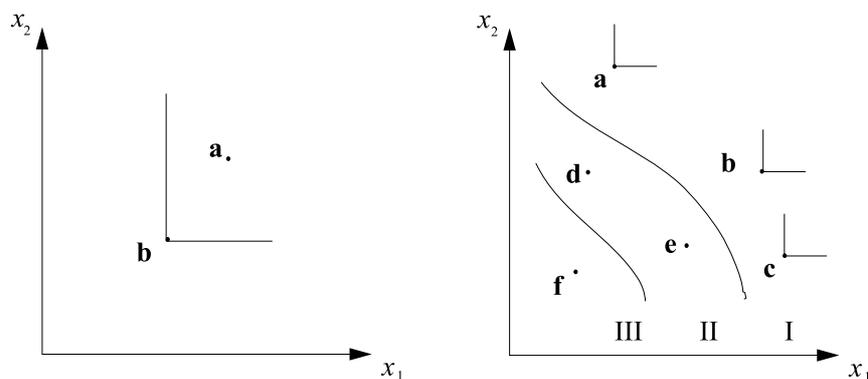


Рис. 8: Расслоение Парето

Сильная сторона расслоения Парето — инвариантность к монотонным преобразованиям. Оценки, полученные таким путем, будут адекватными при неточных данных, каковыми часто являются экспертные оценки.

С помощью теории поведения биосистем в экстремальных условиях и теории согласования экспертных оценок было выполнено много проектов: Построение интегральных индикаторов качества жизни и качества экологической ниши, Индекс потенциальной опасности продуктов питания в России, Анализ эффективности работы государственных заповедников, обработка «плохих» данных бывшего Советского Союза и другие.

Последний проект, которым Всеволод Владимирович занимался, находясь уже в клинике института Гематологии РАМН — создание системы анализа историй болезней пациентов. Основная идея этой системы — классификация больных по историям болезней. Гипотеза, выдвинутая врачами, заключалась в том, что болезни одинакового типа имеют сходную траекторию, но протекают с различной длительностью, чем он и воспользовался при разработке классифицирующих функций и показал в последней статье, что класс больных острой лейкемией не противоречит этой гипотезе.

Мне очень приятно (*utile cum dulce!* — одна из его фраз) вспоминать Всеволода Владимировича, моего учителя, коллегу и друга, у которого всегда была свежая идея, который любил компьютеры, вычислительные методы и великолепно знал математику, покупал в зарубежных командировках хлеб с колбасой на обед, громко рассказывал о своей науке в больших компаниях, рисовал цветными ручками большие диаграммы, анализировал прошедшее, строил планы на будущее и всегда здоровался крепким рукопожатием.

Вадим Стрижов, ВЦ РАН