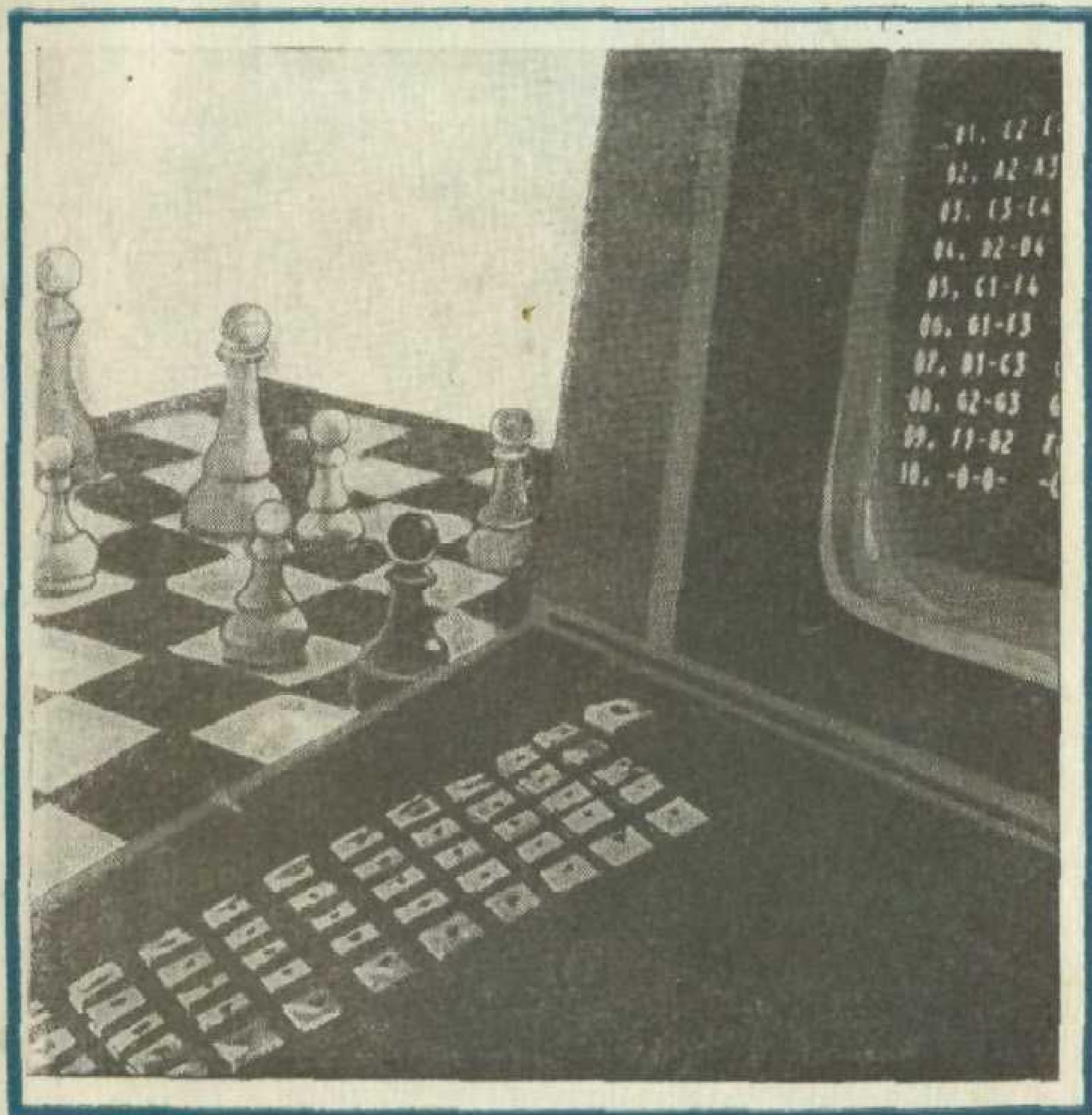


Г. М. АДЕЛЬСОН-ВЕЛЬСКИЙ, В. Л. АРЛАЗАРОВ,
А. Р. БИТМАН, М. В. ДОНСКОЙ

МАШИНА ИГРАЕТ В ШАХМАТЫ



АКАДЕМИЯ НАУК СССР
Серия «Наука и технический прогресс»

**Г. М. АДЕЛЬСОН-ВЕЛЬСКИЙ,
В. Л. АРЛАЗАРОВ,
А. Р. БИТМАН, М. В. ДОНСКОЙ**

**МАШИНА
ИГРАЕТ В ШАХМАТЫ**



ИЗДАТЕЛЬСТВО «НАУКА»

Москва 1983

**А 29 Адельсон-Вельский Г. М., Арлазаров В. Л.,
Битман А. Р., Донской М. В. Машина играет
в шахматы. М.: Наука, 1983. 208 с.**

Книга посвящена одной из проблем искусственного интеллекта — созданию для ЭВМ программ, играющих в шахматы. Основной принцип таких программ — перебор позиций — является частным случаем общего метода перебора, широко применяемого при решении задач дискретной математики.

Авторы книги — специалисты в области программирования, создатели шахматной программы «Кайсса» — первого чемпиона мира среди машин.

24.5

Ответственный редактор
доктор технических наук
А. Ф. ВОЛКОВ

А $\frac{2405000000-413}{042(02)-83}$ 296-83-IV

© Издательство «Наука», 1983 г.

ОТ РЕДАКТОРА

Книга «Машина играет в шахматы» написана не шахматистами (хотя один из авторов — А. Р. Битман — шахматный мастер), а специалистами в области программирования, в задачу которых входило рассказать о трудностях создания шахматных программ и достигнутых в этой области успехах.

Почти все авторы книги начали работу над своей (да и не только своей) первой шахматной программой еще в 60-х годах. Ими под руководством А. С. Кронрода была создана шахматная программа ИТЭФ, выигравшая в 1967 г. первый в истории матч шахматных программ у программы Стэнфордского университета (США) со счетом 3:1. В то время других шахматных программ, игравших по всем правилам, не существовало, да и на эти большинство специалистов смотрело как на излишне дорогие игрушки. Термин «искусственный интеллект» еще не вошел в обиход, и смысл создания шахматных программ был далеко не ясен.

Авторский коллектив книги в начале 70-х годов создал в Институте проблем управления шахматную программу «Каисса», ставшую базой для различных экспериментов над переборными алгоритмами. В процессе игры программы по ходу партии на доске возникают непредвиденные ситуации, в которых программа должна хорошо ориентироваться. Любая партия дает более разнообразный и неожиданный набор позиций для изучения поведения программы, нежели отобранные человеком позиции. Анализ партий, сыгранных машиной, позволяет выявить недостатки или достоинства конкретных алгоритмов игры программы.

Первым крупным экспериментом с «Каиссой» стал матч по переписке с читателями газеты «Комсомольская правда», длившийся весь 1972 год. Из двух сыгранных партий одну выиграла читателями, а другая закончилась вничью. Сила, в которую играла «Каисса», многих удивила. В 1974 г. М. В. Донской, один из авторов про-

граммы, представлял ее на Первом чемпионате мира по шахматам среди машин в Стокгольме. Многие из того, что было в «Каиссе» в то время уникальным, — обдумывание хода за время противника, передача информации от хода к ходу в течение партии, объем и устройство дебютной справочной — сейчас есть в каждой «уважающей себя» шахматной программе. В результате «Каисса» победила в этом чемпионате и заняла высокие места в последующих.

Как следствие этих научных экспериментов авторами программы были построены различные методы сокращения перебора, которые могут быть внедрены в прикладные задачи. Основные идеи этих методов изложены в книге.

Работа над шахматной программой — хорошая школа для программиста. Простота правил шахматной игры дает возможность относительно легко построить техническую часть программы, а сложность и творческие возможности понимания игры дают простор индивидуальности программиста. Желающие попробовать себя в роли шахматного программиста найдут в книге необходимую информацию.

Авторский коллектив «Каиссы» не единственная группа, работающая над этой интересной проблемой. В Советском Союзе такая работа проводится в ВНИИ-энергетики (Москва), где под руководством М. М. Ботвинника ведутся работы над программой «Пионер», в Вычислительном Центре Сибирского отделения АН СССР (г. Новосибирск), где В. А. Бутенко сделал программу «Эврика», а также в Институте кибернетики АН УССР (г. Киев), Вычислительном центре АН АрмССР (г. Ереван) и других научных центрах.

В заключение хотелось бы отметить, что авторы книги известны не только по работе над шахматной программой. Г. М. Адельсон-Вельский — крупный специалист в области дискретной математики, один из первых советских программистов. Ему, в частности, принадлежит (совместно с Е. М. Ландисом) изящная конструкция уравновешенного бинарного дерева для организации быстрого поиска информации. В. Л. Арлазаров — руководитель авторского коллектива советской системы управления базами данных ИНЕС, широко используемой в стране.

Эти разносторонние интересы авторов книги сказались на широкой применимости изложенных в ней методов сокращения перебора для различных прикладных задач, решаемых переборными методами.

ВВЕДЕНИЕ

Зачем машины играют в шахматы и какое отношение их игра имеет к науке? Попробуем ответить на этот вопрос.

Чтобы искусственно воспроизвести некоторое явление природы, надо иметь достаточно глубокие знания о нем, и, наоборот, стараясь воспроизвести явление, можно углубить эти знания. Многие математики, кибернетики и программисты надеются получить лучшее представление о том, что такое человеческий разум, в процессе моделирования некоторых сторон его деятельности. Другие просто хотят, чтобы машина находила разумные решения в сложных ситуациях, когда точный способ выбора лучшего решения неизвестен, но человек (достаточно опытный) такое решение находит, хотя и не может строго сформулировать правила, по которым он действует. Так возникло научное направление, называемое «проблемы искусственного интеллекта». Его задачей является создание автоматов, выполняющих более или менее интеллектуальную работу. Однако пока в точности неизвестно, какая работа является интеллектуальной, поэтому цели работы таких автоматов ученые выбирают, исходя из своих представлений, которые они не умеют обосновать столь убедительно, как бы им хотелось.

Проблемами искусственного интеллекта занимаются давно. Испанский философ и теолог Р. Луллий еще в XIII в. описал проект логической машины*, которую он собирался использовать, чтобы открывать теологические истины, и попытался ее построить**. Более скром-

* Логическими машинами называются механические или электронные устройства для выполнения логических операций: оценки и преобразования формул, доказательства теорем, преобразования информации и пр.

** Машина Луллия была описана и осмеяна Дж. Свифтом в «Путешествии Гулливера» (1726 г.) — впрочем, вместе с другими научными достижениями лапутян: улавливанием солнечных лучей при помощи зеленого огурца (фотосинтез?!), открытием спутников Марса (на самом деле они были открыты через 100 лет после выхода книги), и др.

ный, но зато более убедительный результат — создание формальных логических исчислений — был получен в конце XIX—начале XX в. (работы Дж. Пеано, Б. Рассела и А. Уайтхеда, Д. Гильберта и др.*), а в 1913 г. автор системы аксиом теории множеств Э. Цермело впервые строго доказал, что любая шахматная позиция имеет объективную оценку, не зависящую от того, как в дальнейшем будут играть противники.

По систематическое исследование проблем искусственного интеллекта стало возможным только после появления цифровых вычислительных машин с программным управлением. Они были созданы для работы, которую считали интеллектуальной: научно-исследовательских и инженерных расчетов большого объема, бухгалтерских расчетов, учета, статистики. Машины выполняют эту работу во много раз быстрее и лучше людей, но она не является творческой. Энтузиасты надеялись довольно скоро получить убедительное доказательство возможности машинного моделирования работы, содержащей, по их мнению, элементы творчества: машинного перевода с одного языка на другой, узнавания объекта по его графическому изображению, решения арифметических задач, заданных текстом на естественном языке (точнее, понимания такого текста). В качестве конкретного примера творческой работы, которую сможет выполнять машина, часто приводили игру в шахматы (в частности, о шахматных программах писал основатель теории информации К. Шеннон).

Первые опыты показали следующее. Вопреки мнению пессимистов «первого поколения» (по существу, стоявших на позиции непознаваемости технологии мышления, особенно творческого) создать программы, кое-как справляющиеся с такими задачами, оказалось вполне возможно. Однако лингвистические программы одни предложения (в основном те, которые имелись в виду при создании программы) переводят правильно, другие — не очень, третьи — вовсе неверно, а четвертые — никак. Программы для распознавания образов определяют, какая деталь из списка, содержащего несколько десятков объ-

* Создать формальное логическое исчисление пытался еще Г. В. Лейбниц. Значительно позднее такие попытки делал профессор Оксфордского университета Ч. Доджсон, более известный под именем Льюиса Кэрролла — автора сказочных повестей «Алиса в стране чудес» и «Алиса в Зазеркалье».

ектов, изображена на фотографии, по неспособны определить, что изображенной на фотографии детали в этом списке нет. Шахматная программа выбирает ходы, разрешенные шахматными правилами, она даже способна решить шахматную задачу о мате в два хода (но не этюд!), однако партии ее оставляют желать лучшего.

Каждую программу можно усовершенствовать, чтобы она не делала данной конкретной ошибки и некоторых других, более или менее аналогичных. Однако процесс совершенствования происходит очень медленно: «... в грамм добыча, в год труды», — как сказал Маяковский. Для поэзии такое положение нормально, но избалованные успехами XX в. деятели науки были весьма разочарованы. Поэтому через 10 лет после начала систематического исследования проблем искусственного интеллекта ожидание быстрых успехов сменилось сетованиями на сложность решаемых задач. «Новые» пессимисты дают содержательное описание некоторых трудностей, не позволяющих в настоящее время создать хорошие программы. В этом состоит их полезный и даже необходимый вклад в исследование проблем искусственного интеллекта.

Приведем пример пессимистического рассуждения. Пусть требуется решить такую задачу: «У Коли, Миши, Жени и Лены по два яблока, у Маши на одно яблоко больше, у Нины не больше яблок, чем у Маши, и у девочек вдвое больше яблок, чем у мальчиков. Кто из ребят мальчики и кто девочки?». Чтобы ее решить, нужно не только иметь математические знания и сведения из семантики, что Коля и Миша — мужские имена, Лена, Маша и Нина — женские, а Женя может быть и тем, и другим, но и уметь сопоставлять эти знания, относящиеся к очень различным областям. Такой информации, которая при случае может понадобиться, но нужно при этом лишь небольшое количество ее элементов, очень много, и перебирать все сочетания этих элементов весьма «накладно». Нужны подходы к трудно формализуемой задаче о представлении знаний в виде, с которым машина может эффективно работать.

Имеется принципиальная возможность справиться с трудностями проблем искусственного интеллекта, но нельзя недооценивать этих трудностей и ждать «чудес» в ближайшее время. Знания человека и опыт их использования возникли в длительном и сложном процессе

развития человека и общества. Задачи, решение которых мы хотим поручить машине, не могут решить и люди, не имеющие соответствующих навыков. Так, многие не решат приведенной выше задачи*. Поэтому не нужно удивляться тому, что пока не видны способы научить машину их решать. Однако не надо дожидаться, пока новые основополагающие идеи придут со стороны, например из психологии или физиологии мозга. Успехи современной науки (например, расшифровка генетического кода) показывают, что для решения сложных проблем необходимы идеи всех научных направлений, имеющих к ним отношение.

При решении конкретных задач нашего направления не надо обязательно предварительно узнавать, как решает их человек. Некоторые вообще считают, что проблемы искусственного интеллекта — это собрание задач, объединенных одним признаком — отсутствием адекватных и достаточно эффективных алгоритмов решения, причем неизвестно даже: такие алгоритмы существуют, но пока не найдены, или их вообще нет. Логики называют такое определение отрицательным: задачи объединены признаком, которого у них нет (эффективным алгоритмом решения).

Найти в них положительное общее и создать программы их решения, пусть не вполне адекватного, но лучшего или, по крайней мере, не худшего, чем человеческое, — вот несомненно важная и интересная научная проблема, а имеет ли она отношение к исследованию технологии мышления покажет будущее.

Нельзя недооценивать уже достигнутых успехов. Например, создана программа, довольно хорошо «понимающая» арифметические задачи в текстовом выражении на естественном языке. Кроме задач из учебников арифметики, она справляется с некоторыми логическими головоломками, например с задачей «Шел Кондрат в Ленин-

* Решение состоит в следующем. Если Женя мальчик, то у мальчиков Коли, Миши и Жени шесть яблок, а у девочек не больше восьми (два у Лены, три у Маши и не больше трех у Нины), т. е. их не вдвое больше. Другое предположение не приводит к противоречию: у мальчиков четыре яблока, а у девочек восемь: по два у Жени и Лены, три у Маши и одно у Нины. Значит, Женя — девочка.

град» *. Одна из программ для распознавания графических изображений со своей прямой задачей справлялась неудовлетворительно, но на основе разработанных для ее создания методов была составлена программа, различающая по данным косвенных измерений нефтесосные и водоносные геологические пласты лучше человека. Наконец, недавно с помощью машины была решена знаменитая проблема четырех красок, над которой математики тщетно бились около 100 лет **.

Программу, играющую в шахматы, впервые предложил создать К. Шеннон в 1950 г. С конца 50-х годов машины играют в шахматы. По-видимому, следующие причины обусловили популярность шахматной тематики среди специалистов, занимающихся проблемами искусственного ин-

* У К. И. Чуковского есть чудесное стихотворение-задача:

Шел Кондрат
В Ленинград,
А навстречу — двенадцать
ребят,
У каждого по три лукошка,
В каждом лукошке — кошка,
У каждой кошки —
двенадцать котят,

У каждого котенка
В зубах по четыре мышонка.
И задумался старый Кондрат:
«Сколько котят и мышат
Ребята несут в Ленинград?»

Авторский ответ:

Глупый, глупый Кондрат!
Он один шагал в Ленинград.
А ребята с лукошками,

С мышами и кошками
Шли навстречу ему —
В Кострому!

Стихотворный текст задачи был введен в машину. Та, конечно, не ответила стихами, но ее ответ гласил: «Вопрос задачи — сколько котят и мышат ... в Ленинград. В условиях задачи нет — котят и мышат ... в Ленинград».

** Будем считать страны на географической карте соседними, если у них есть общий участок границы, а не точка, в которой соприкасаются несколько стран. Более 100 лет назад было высказано предположение, что любую плоскую карту можно раскрасить в четыре цвета так, чтобы соседние страны были окрашены в разные цвета. Для конкретных карт найти такую раскраску легко, но доказать, что нельзя выдумать карту, страны которой не раскрашиваются в четыре цвета, долго не удавалось. Математики назвали эту задачу проблемой четырех красок и долго пытались ее решить, чтобы уяснить топологические свойства плоскости. Недавно гипотеза о четырех красках была доказана, причем при доказательстве были существенным образом использованы результаты машинной работы (потребовавшей около 1500 часов машинного времени). Хотя, строго говоря, не ясно, имеют ли решенные машиной задачи отношение к проблемам искусственного интеллекта, этот успех возбудил новые надежды.

теллекта (во всем мире создано около сотни шахматных программ и библиография по вопросам шахматного программирования содержит более 150 названий).

1. Цели шахматной программы можно сформулировать с достаточной точностью. Описание ситуаций — различных шахматных позиций и ходов из них проще формализовать, чем описание ситуации во многих других задачах, имеющих отношение к проблемам искусственного интеллекта. Есть основания рассчитывать на сравнительно простую формализацию соображений, пользуясь которыми программа будет выбирать ходы.

2. Почти все верят, что достаточно сильная игра программы будет убедительно свидетельствовать об успешном моделировании, по крайней мере, элементов творческого мышления.

3. Существуют объективные критерии оценки успехов шахматной программы, имеющие много градаций — результаты соревнований с людьми и другими программами, а также анализ сыгранных партий и выбранных ходов.

4. Возможен анализ процессов выбора хода программой из конкретных позиций, чтобы определить причины выбора плохих ходов и наметить пути усовершенствования программы. Таким образом, есть основания рассчитывать на постепенное повышение качества игры.

В пунктах 3 и 4 отмечены особенности задачи шахматного программирования, выгодно отличающие ее, например, от задач машинного доказательства теорем (не человеко-машинного, каким было доказательство гипотезы о четырех красках) или автоматического управления сложными процессами, для которых неясно, как формулировать задачи на промежуточных этапах, когда программы, способные на некоторую деятельность в нужном направлении, уже созданы, а до хорошей (по-настоящему) программы еще далеко.

5. Пока в процессе создания и усовершенствования шахматных программ рождаются методы, имеющие более широкие области применения (может быть, включающие не только проблемы искусственного интеллекта). Некоторые из них имеют прикладное значение. Так, для игровой программы была создана информационная справочная система (так называемое уравновешенное дерево), которая теперь применяется при автоматизации планирования и управления (АСУ), а также при автоматизации программирования (в некоторых трансляторах

с алгоритмических языков). М. М. Ботвинник с сотрудниками решают задачи о планировании ремонта электротехнического оборудования, используя идеи своей шахматной программы.

«Побочные» приложения работы по программированию игры в шахматы (и в другие игры) интересны, но сколько-нибудь подробный рассказ о них не входит в цели книги. Мы рассчитываем на читателя, интересующегося тем, как шахматное программирование справляется со своими «прямыми обязанностями». Мы прокомментируем несколько партий, сыгранных машинами. Те, кто наблюдал машинную игру, обычно задавали многочисленные вопросы на тему: почему машина в этой позиции выбрала (или отвергла) данный ход. Хотя в отличие от игры человека имеется возможность точно выяснить, что именно «думала» машина, выбирая ход, ответить на такие вопросы нелегко: при выборе хода машина просматривает огромное количество позиций — порядка нескольких сот тысяч, и человек не в состоянии проследить за всем процессом просмотра.

Выбор хода всегда зависит от многих обстоятельств, и потому возможны различные ответы на вопрос о причине шахматной ошибки. Нам нужен не любой ответ, а такой, который поможет избегать многочисленных ошибок и не вызовет других, также многочисленных. Мы не всегда находим такие ответы. В этом одна из причин медленного прогресса шахматных программ. Другая причина состоит в чисто программистских трудностях создания большой и достаточно сложной системы программ.

Мы покажем, как решаются главные задачи шахматной программы: выбор хода из заданной позиции и реализация последовательности таких выборов — разыгрывания шахматной партии. Расскажем о различных алгоритмах выбора хода, причем сделаем это на конкретных примерах. Остановимся на некоторых вопросах разыгрывания дебютов и эндшпилей. Так как время работы программы ограничено (контроль времени в турнирах шахматных программ такой же, как и в соревнованиях шахматистов, — впрочем, и в случае более мягких правил проблема контроля времени все равно бы стояла), необходимо автоматическое его распределение — в книге уделено некоторое внимание этой и другим вспомогательным проблемам

Мы предполагаем, что читатель играет в шахматы и знает шахматную нотацию, однако больших требований к его квалификации не предъявляем. Все приводимые в книге шахматные примеры просты и довольно подробно разбираются; сведения из шахматной теории почти не нужны, а те, что нужны, объясняются. Точно так же материал книги (кроме 3-го раздела IV главы) не требует специальных математических знаний. Хотя некоторые методы решения проблем программирования игры в шахматы связаны с серьезными математическими исследованиями*, в книге о них говорится на уровне обычного здравого смысла, с иллюстрацией сказанного шахматными примерами. Читатель также может иметь лишь самые общие сведения о принципах работы современных вычислительных машин. Только в начале I главы речь будет идти о некоторых технических аспектах работы шахматной программы и потребуются несколько бóльшие познания в этой области. Соответствующие места книги можно пропустить или понимать весьма приблизительно — это не мешает каждому заинтересованному читателю извлечь для себя нечто полезное из остального текста.

* Желающим ознакомиться с этими математическими вопросами мы рекомендуем книгу: *Адельсон-Вельский Г. М., Арлазаров В. Л., Донской М. В. Программирование игр.* М.: Наука, 1978.

Глава I

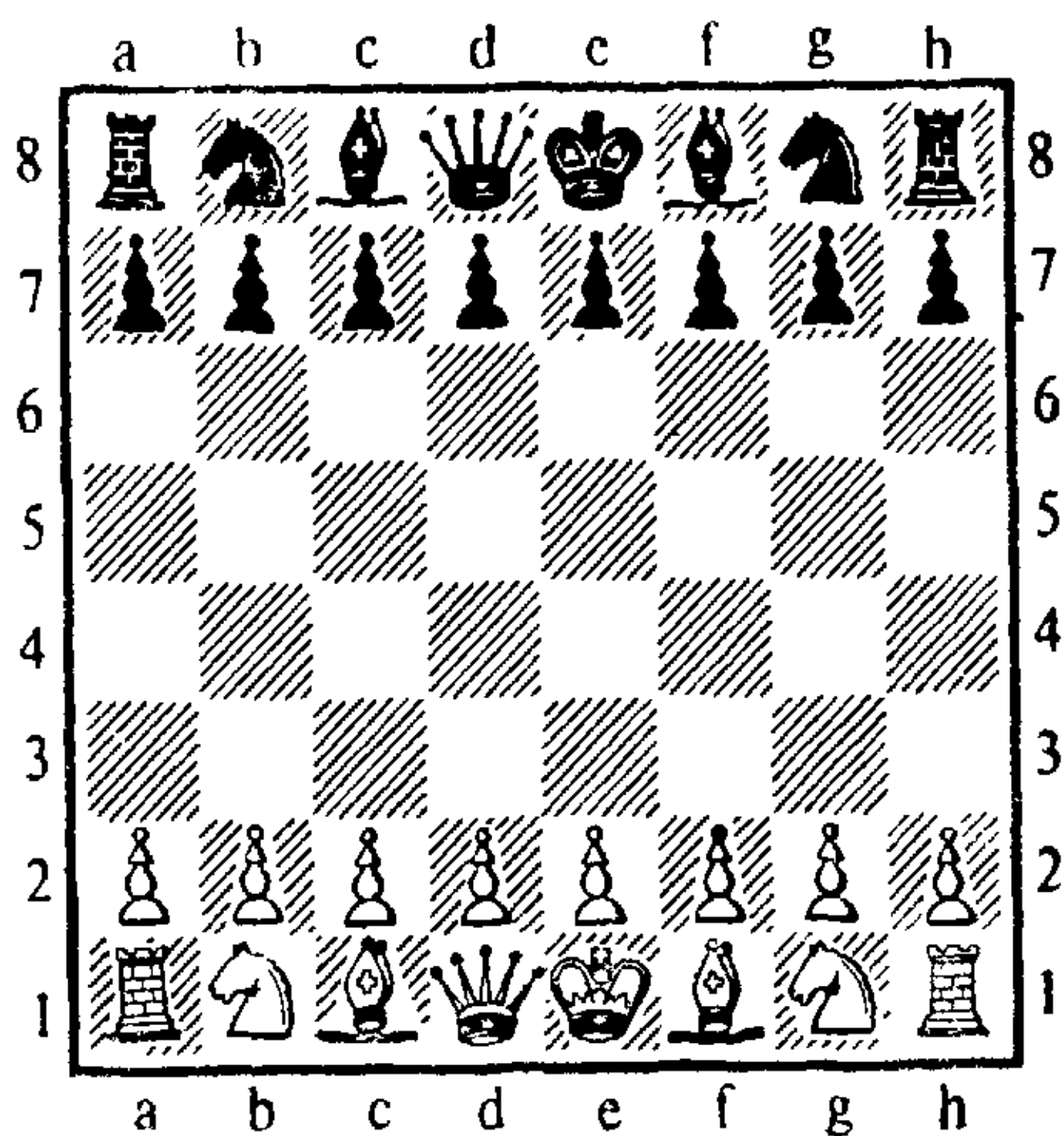
ШАХМАТНАЯ ПРОГРАММА — ТЕОРИЯ И РЕАЛЬНОСТЬ

КАК НАУЧИТЬ МАШИНУ ИГРАТЬ В ШАХМАТЫ КОЕ-КАК

Игра машины в шахматы состоит в том, что она выбирает ходы из предложенных ей или возникающих в партии позиций. Физическим перемещением фигур на доске машина не занимается. Информация о позиции часто задается набором пробивок на перфокартах, описывающих расположение фигур и очередь хода (а также дополнительные сведения: право на рокировку каждой стороны, возможность взятия на проходе, повторения позиций в партии, возможность применить правило пятидесяти ходов) или последовательность ходов, ведущих в данную позицию из начальной, изображенной на диаграмме 1. Выбранный ход печатает автоматическое печатающее устройство или машина высвечивает его на дисплее (телевизоре, которым может управлять и машина, и оператор). При игре машины с человеком ходы шахматиста удобно вводить с пульта управления ЭВМ или с дисплея, а позиции, возникающие после машинных ходов, машина определяет сама. При соревнованиях машин (точнее, программ) «хорошим тоном» считается непосредственный обмен выбранными ходами через каналы связи.

Как же составить шахматную программу? Ведь машина построена для того, чтобы считать. Работу по созданию хороших шахматных программ полезно начинать с составления программы, играющей кое-как, лишь бы машина не нарушала правил игры. Ниже описывается вариант такой программы. Она достаточно проста: читатель, если он программист, может написать ее без особого труда.

Занумеруем все поля шахматной доски, как это показано на рис. 1. Такой способ нумерации очень похож на применяемый в шахматной нотации, только вертикали



70	71	72	73	74	75	76	77
60	61	62	63	64	65	66	67
50	51	52	53	54	55	56	57
40	41	42	43	44	45	46	47
30	31	32	33	34	35	36	37
20	21	22	23	24	<u>25</u>	26	27
10	11	12	13	14	15	16	17
00	01	02	03	04	05	06	07

1

Рис. 1. Шахматная доска «с точки зрения» машины

вместо букв латинского алфавита обозначены цифрами и меняются они не от 1 до 8, а от 0 до 7. Пусть каждому полю доски соответствует определенное место в памяти машины и номер поля является его адресом. Место в памяти используется для указания, какая фигура стоит на рассматриваемом поле в позиции, из которой надо сделать ход. Однако программе приходится иметь дело и с другими позициями, описанными таким же способом. Поэтому номер поля является относительным адресом информации о нем. Истинный машинный адрес машина вычисляет сама, прибавляя этот номер к адресу начала информации об интересующей ее в данный момент позиции.

Система кодирования для дальнейшего не имеет значения. Поэтому вместо машинного языка будем пользоваться естественным человеческим языком (русским). В памяти машины указано только, какая фигура стоит на каждом поле или же что данное поле свободно. Найти какое-нибудь свободное поле или, например, поле, занятое черным королем, и т. д. — некоторое занятие для машины. Мы будем предполагать, что такие, а также более сложные задачи (выяснить, что данное поле не свободное, т. е. занято все равно какой фигурой; найти «поле превращения данной пешки» и пр.) решаются при помощи стандартных подпрограмм. Проблемы создания такой достаточно удобной системы подпрограмм мы в этой книге касаться не будем.

Допустимые по шахматным правилам ходы из данной позиции можно найти следующим образом. Сначала рас-

смотрим ходы просто как возможные перемещения фигуры на доске: таким образом мы в дальнейшем придем к важному понятию одного и того же хода из разных позиций. Ходы дальнобойных фигур — слона, ладьи, ферзя определяются не только начальным расположением этой фигуры, но и расположением других фигур. Выделим подклассы ходов по лучам: вертикалям — вверх и вниз, горизонталям — влево и вправо, диагоналям — влево и вправо вверх, влево и вправо вниз. Например, в позиции на диаграмме 1 есть следующие ходы по диагонали вправо вверх с поля 23 (в шахматной нотации с поля d3): на поля 34, 45, 56 и 67.

Отметим некоторые условия, необходимые для допустимости хода: 1) на поле, откуда ход, должна стоять соответствующая фигура; 2) на поле, куда ход, не должна стоять фигура своего цвета; 3) на поле, куда ход, не должен стоять король противника; 4) после хода свой король не должен оказаться под шахом. В основном эти условия являются достаточными. Для допустимости пешечных ходов и рокировок требуются дополнительные условия. Одни из них аналогичны приведенным (поле, куда идет пешка, должно быть свободно, а то, куда пешка бьет, — занято фигурой противника и т. д.), другие связаны с «историей», т. е. предыдущими ходами (неподвижность короля и ладьи до рокировки, правило взятия на проходе). Этими тонкостями мы заниматься не будем.

Забудем пока о 3-м и 4-м условиях допустимости ходов (3-е, имеющееся в шахматном кодексе, вообще излишне). Первый этап работы нашей программы — выписать все ходы, удовлетворяющие остальным условиям допустимости. Последовательно просматриваем* поля 00, 01, ... 07, 10, ... 77. Если поле не занято своей фигурой, переходим к просмотру следующего поля, в противном случае сначала «порождаем» все ходы расположенной на нем фигуры, т. е. выписываем их в отведенное для этого место в памяти машины (причем ведем счет количества всех порожденных ходов). Если фигура дальнобойная, то по очереди порождаем ходы по лучам: для слона — диагоналям, для ладьи — вертикалям и горизонталям, для ферзя — по всем.

* При описании алгоритма в тексте для удобства употребляется форма первого лица, хотя речь идет об алгоритмах, выполняемых машиной.

Как порождаются ходы по лучу? Номер первого из них отличается от номера поля «откуда», а номера следующих — от номеров предыдущих на одну и ту же зависящую только от направления луча величину. Их значения указаны ниже:

Лучи дальнобойных фигур и короля

По горизонтали вправо	+1
По диагонали вправо вверх	+11
По вертикали вверх	+10
По диагонали влево вверх	+9
По горизонтали влево	-1
По диагонали влево вниз	-11
По вертикали вниз	-10
По диагонали вправо вниз	-9

Лучи коня

Вправо вверх	+12
Вверх вправо	+21
Вверх влево	+19
Влево вверх	+8
Влево вниз	-12
Вниз влево	-21
Вниз вправо	-19
Вправо вниз	-8

Прибавим эту величину к номеру поля «откуда» и изучим полученное число. Возможны следующие случаи.

1. На доске нет поля с таким номером, т. е. наше число отрицательно или больше 77, или его последняя цифра 8 либо 9. Тогда хода по лучу нет.

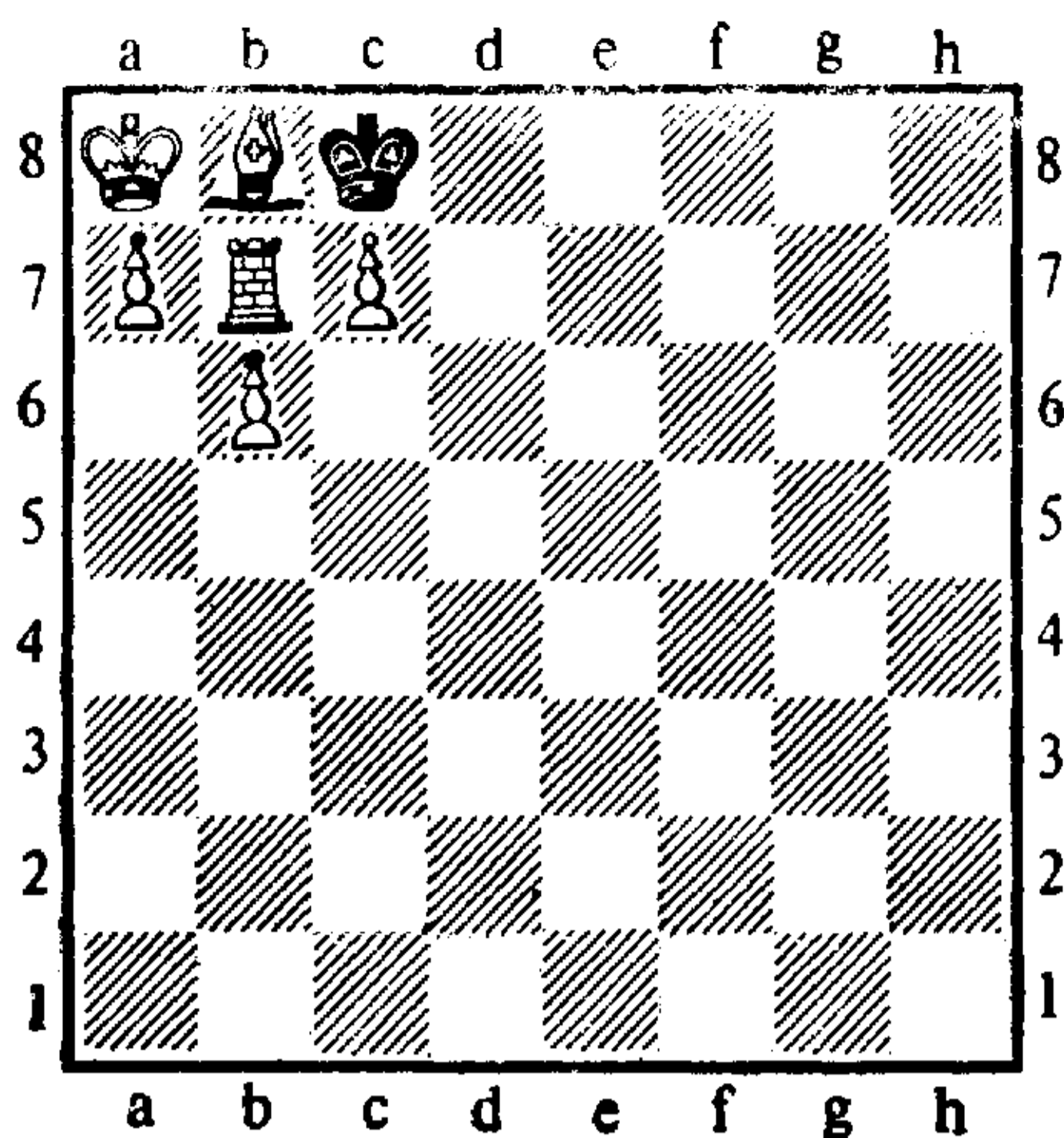
2. Поле с таким номером занято, и притом нашей фигурой. Тогда хода тоже нет.

3. Поле занято, однако фигурой противника. Тогда есть ход фигуры, стоящей на поле «откуда», причем номер поля «куда» — рассматриваемый.

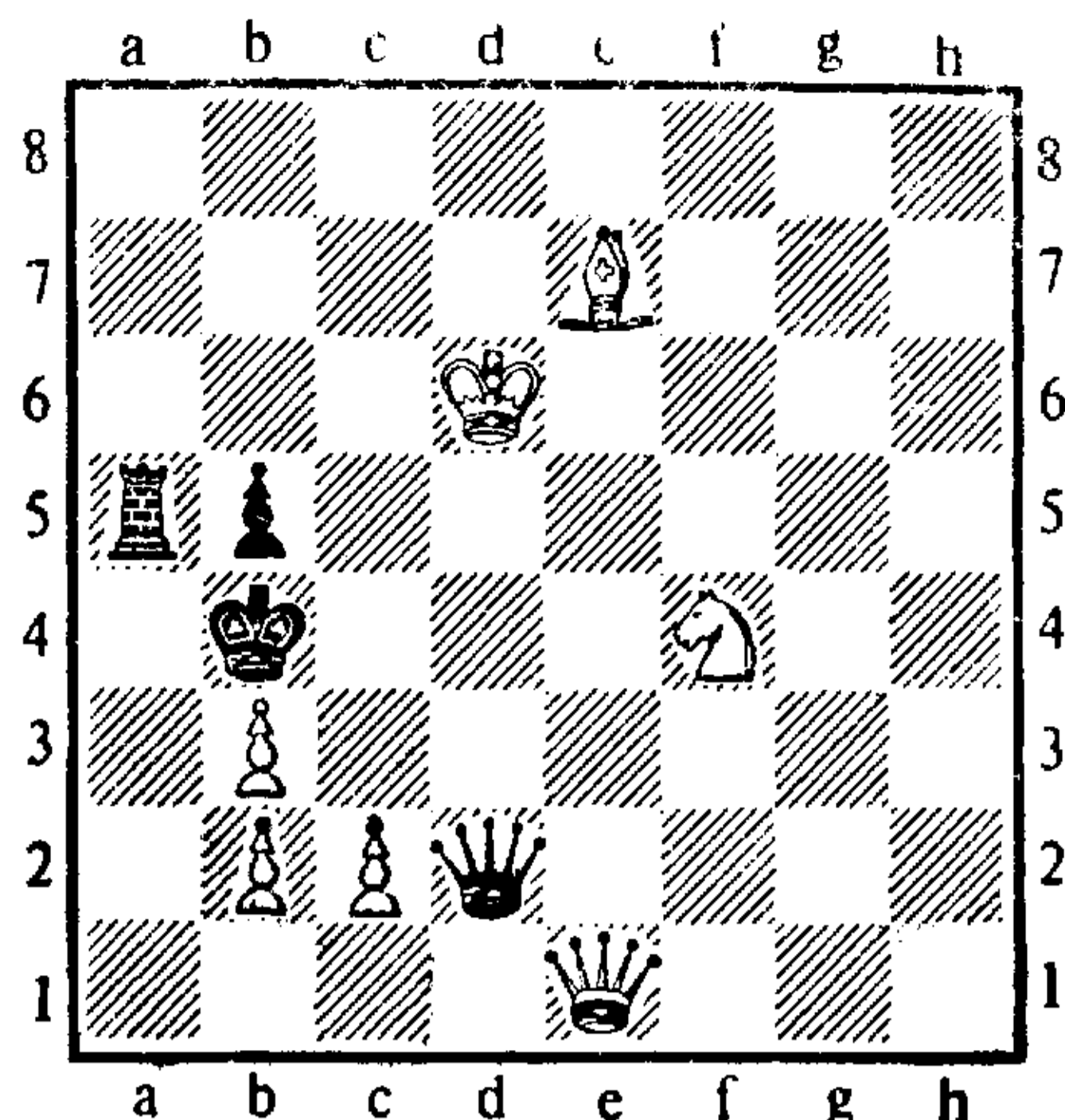
4. Поле свободно. Тогда есть такой же ход.

Если ход есть, т. е. в 3- и 4-м случаях, мы записываем его в память в виде пары чисел — номеров полей «откуда» и «куда». В 1-, 2- и 3-м случаях больше ходов по рассматриваемому лучу нет. Нужно перейти к следующему лучу или следующему полю «откуда» либо, если номер последнего был 77, закончить порождение ходов и перейти к следующему этапу работы программы — выбору хода. В 4-м случае могут быть еще ходы по лучу. Поэтому прибавляем к потенциальному полю «куда» еще раз ту же величину и повторяем все сначала.

Легко найти также ходы коней и короля. Разница лишь в том, что каждый луч для них состоит только из одного поля. У этих фигур по 8 лучей, причем лучам короля соответствуют те же величины, что и лучам ферзя,



2



3

а лучам коня величины $+21$, $+12$, -8 , -19 , -21 , -12 , $+8$ и $+19$. Таким образом, конь с поля 67 (h7) может пойти на поля 46, 55 и 75, если на них нет своих фигур, а полей 88, 79, 59, 48 и 86 на доске нет. Не останавливаясь на способах порождения других ходов, заметим лишь, что взятие на проходе можно породить вместе с другими пешечными взятиями, для чего после прыжка пешки через поле нужно временно (на один ход) оставить на нем «след» — код, отличающийся как от кодов фигур, так и от кода свободного поля. Порождение рокировок (длинной, короткой или обеих), если они возможны, — это отдельная часть подпрограммы порождения ходов.

Перейдем к выбору хода. Все выписанные ходы занумерованы. Если их нет, как в позиции на диаграмме 2, то сразу переходим к исследованию, мат это или пат. Начнем рассматривать ходы по очереди. Прежде всего, ход нужно выполнить: изменить состояние полей «откуда» и «куда», а при рокировках изменить состояние четырех полей. Кроме того, при первом движении ладьи надо запомнить факт потери соответствующей рокировки, при первом движении короля — потерю обеих рокировок, при пешечном прыжке — занести на промежуточное поле «след», а на следующем ходу стереть его. Однако наш ход, возможно, еще не будет выбран машиной. Поэтому создается новая доска: на места в памяти машины, соответствующие ее полям, переносим коды исходной доски, а затем меняем коды нескольких полей. Как правило, на

поле «куда» переносится код с поля «откуда», на которое заносится код «свободное поле».

Теперь проверяем, не стоит ли после хода наш король под шахом (эта часть программы будет описана менее подробно). Можно последовательно, как и в предыдущей части программы, порождать ходы — на этот раз противника — и проверять, не стоит ли на их поле «куда» наш король. Если да, то он под шахом и соответствующий наш ход не допустим. Переходим к ходу со следующим номером, выполняем его, т. е. создаем соответствующую доску, и т. д. В противном случае шаха нашему королю нет и ход допустим. Мы его выбираем, т. е. переносим созданную после него доску на место исходной доски, чтобы играть дальше. Кроме того, сообщаем о нем: печатаем, показываем его на дисплее, передаем по каналу связи.

Если же мы перебрали все ходы и допустимых среди них не оказалось, то нам либо мат, либо пат. Нужно проверить, не стоит ли наш король под шахом в исходной позиции. Делаем это аналогичным способом и определяем результат игры.

Чтобы можно было играть партию, нужно предусмотреть и другой режим работы программы: выполнение хода, выбранного противником. Не будем его подробно описывать, расскажем только, из каких этапов он состоит. Некоторые из них совпадают с описанными выше этапами выбора хода машиной или близки к ним. Так как современная машина умеет читать не только цифры, двоичные и десятичные, но и буквы, ход вводится в нее обычной шахматной нотацией. Это удобно и для игры с машиной, и для отладки программы. Прежде всего мы переводим сообщение о ходе на понятный машине язык, т. е. определяем номера полей «откуда», «куда» и код идущей фигуры.

После этого можно бы выполнить ход — создать возникшую после него позицию. Однако с такой программой намучаешься: стоит оператору нажать не на ту клавишу — и в памяти машины возникнет не та позиция, которая стоит на доске (а чаще всего даже не позиция, а «бог знает что»), причем ошибка будет обнаружена не сразу, а тогда, когда ее уже невозможно исправить и продолжать партию. Поэтому необходим контроль введенного в машину хода. Мы порожаем, как и в предыдущем режиме, все ходы из позиции, в которой выбор хода принадлежит противнику. Затем проверяем, есть ли среди

ных введенными в машину и переведенный на ее язык ход. Если же такого хода нет, то машина требует вмешательства человека.

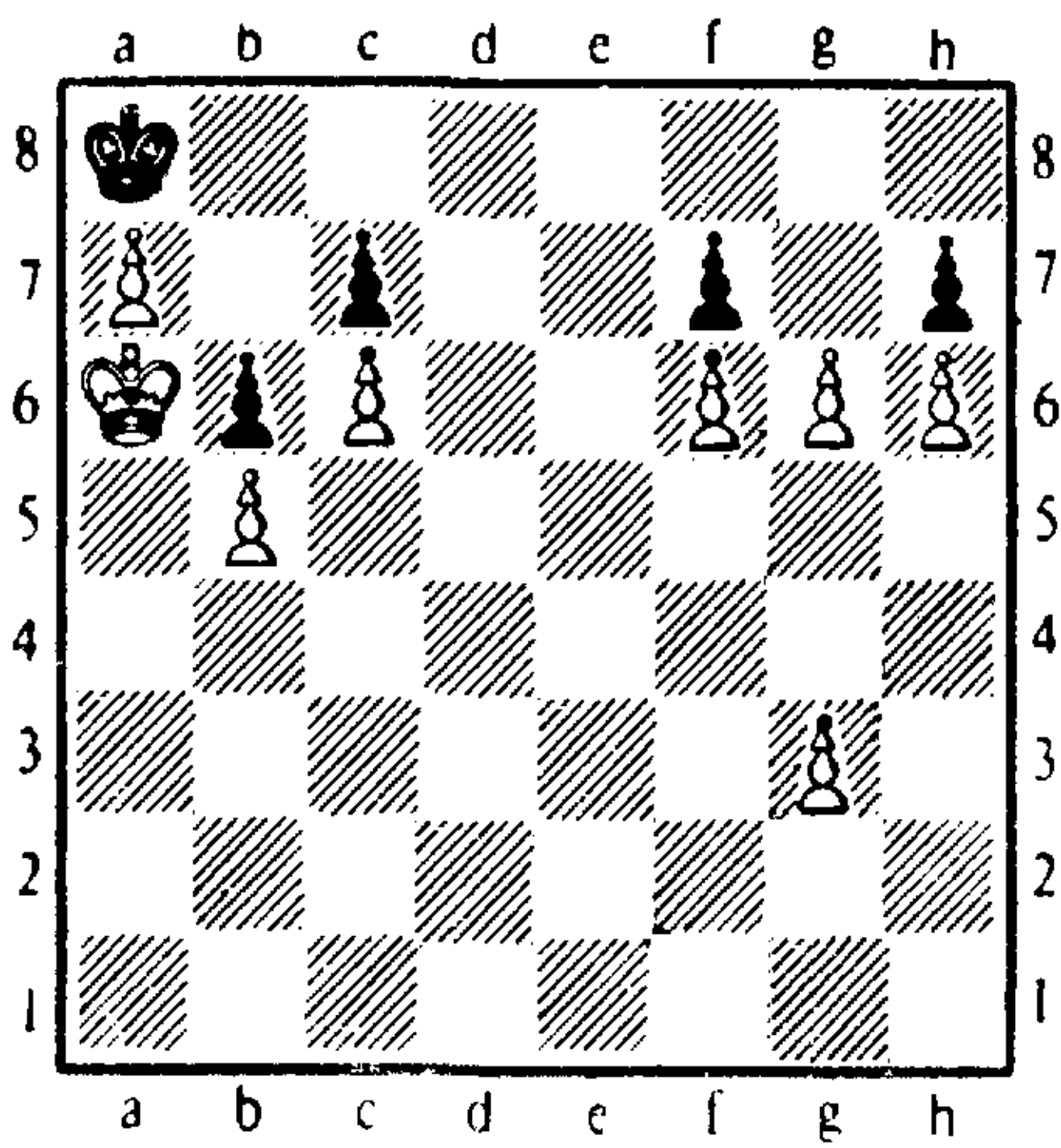
Наконец, программа должна содержать переключения режимов: перехода от выбора хода к ожиданию, а затем восприятию хода противника и от последнего к выбору хода из новой позиции.

Программа, подобная описанной, будет играть. Правда, она не сдастся ни в какой позиции и не предложит ничью, но этого не умеют делать и участники Третьего чемпионата мира среди шахматных программ, проходившего в 1980 г. С точки зрения шахматистов ходы нашей программы будут выглядеть совершенно случайными. Однако из позиции на диаграмме 3 она обязательно даст мат.

ЧТО ТАКОЕ ЛУЧШИЙ ХОД И КАК ЕГО НАЙТИ

Пусть дана позиция, изображенная на диаграмме 4. Нас интересует, как может протекать дальнейшая игра. Для ответа на этот вопрос построим так называемое дерево игры из данной позиции (рис. 2). Его по традиции изображают растущим не так, как деревья в лесу, а сверху вниз. Оно состоит из веточек, называемых (почему-то) дугами, и их сочленений — вершин. Каждая вершина — позиция, которая может возникнуть в ходе дальнейшей игры, а дуга — ход из верхней смежной с ней вершины, т. е. позиции, в нижнюю. Первоначально заданная позиция расположена вверху. Она называется корнем дерева игры, а позиции с определенным по шахматным правилам результатом — концевыми вершинами дерева, или заключительными позициями.

Осмотрев дерево игры, можно убедиться, что после хода 1. g4 белые могут выиграть, а остальные ходы из нашей позиции (1. gf, 1. g7 и 1. gh) ведут к ничьей. Вывод, основанный на таких неопровержимых соображениях, называется сделанным при помощи полного перебора. Однако для него совсем не обязательно просмотреть все позиции дерева игры. Из позиции на диаграмме 5 белые могут пойти пешкой f7 и превратиться в какую-либо фигуру. После хода 1. f8Ф черным пат, после 1. f8Л белые имеют достаточный для выигрыша перевес, а после 1. f8К+ или 1. f8С — недостаточный, так как король и легкая фигура не матуют одинокого короля противника. Если белые делают первый



4

ход королем, то черные отвечают 1. ...Krg7 и выигрывают пешку f7. Следовательно, 1. f8Л — единственно выигрывающий ход. На рис. 3 показана часть дерева игры, осмотр которой позволяет сделать такой вывод.

При помощи полного перебора можно искать ответ не только на вопрос о достижимости главной цели шахматной игры — мата любой стороне. Если нет возможности осмотреть достаточно большую часть дерева игры, попробуем выяснить, нельзя ли достичь каких-либо промежуточных целей. Рассмотрим, например, позицию на диаграмме 6 и зададим вопрос, какое соотношение материала будет через два хода. Осматривая часть дерева игры с корнем в данной позиции, изображенную на рис. 4, мы можем узнать следующее.

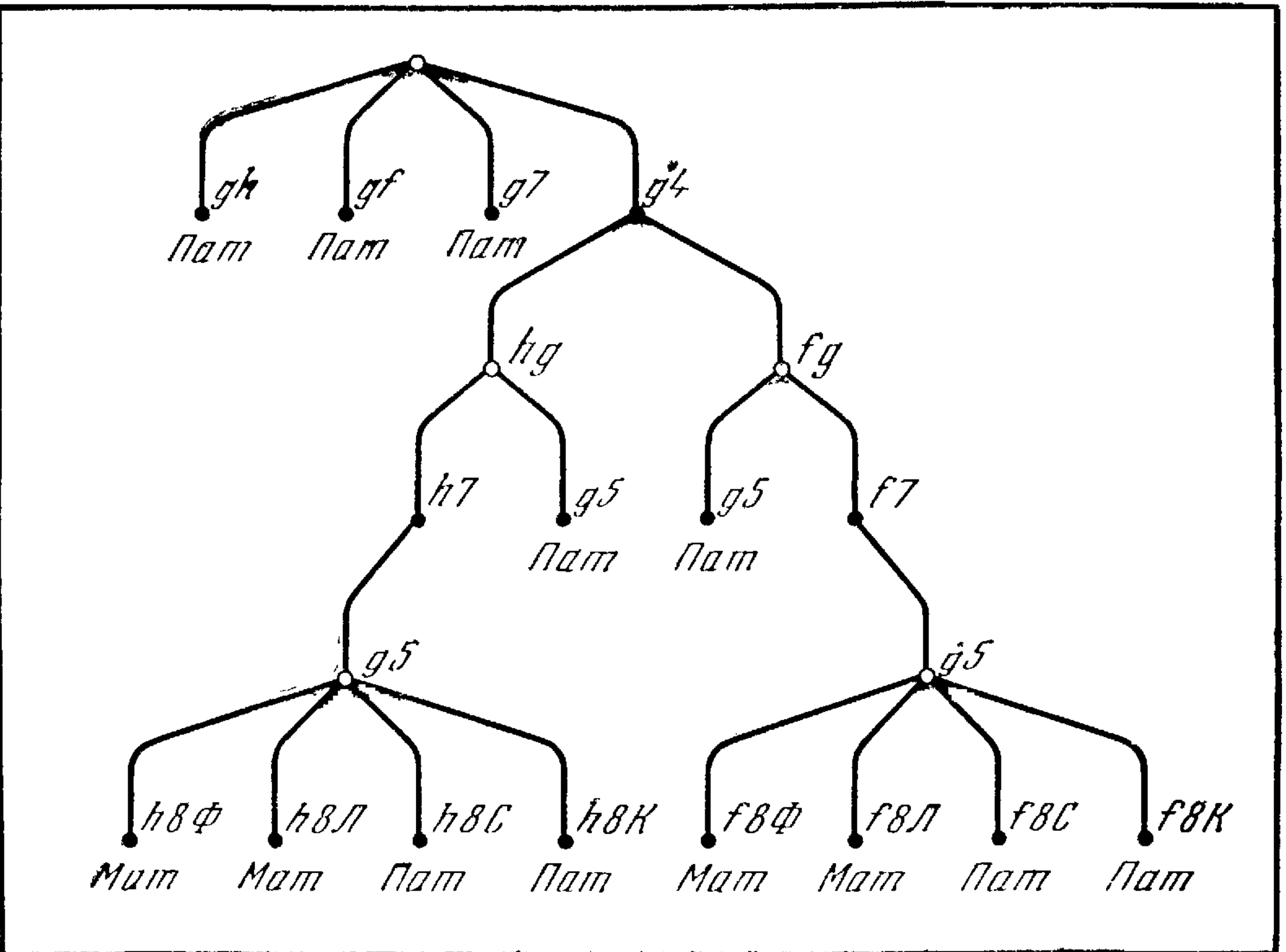
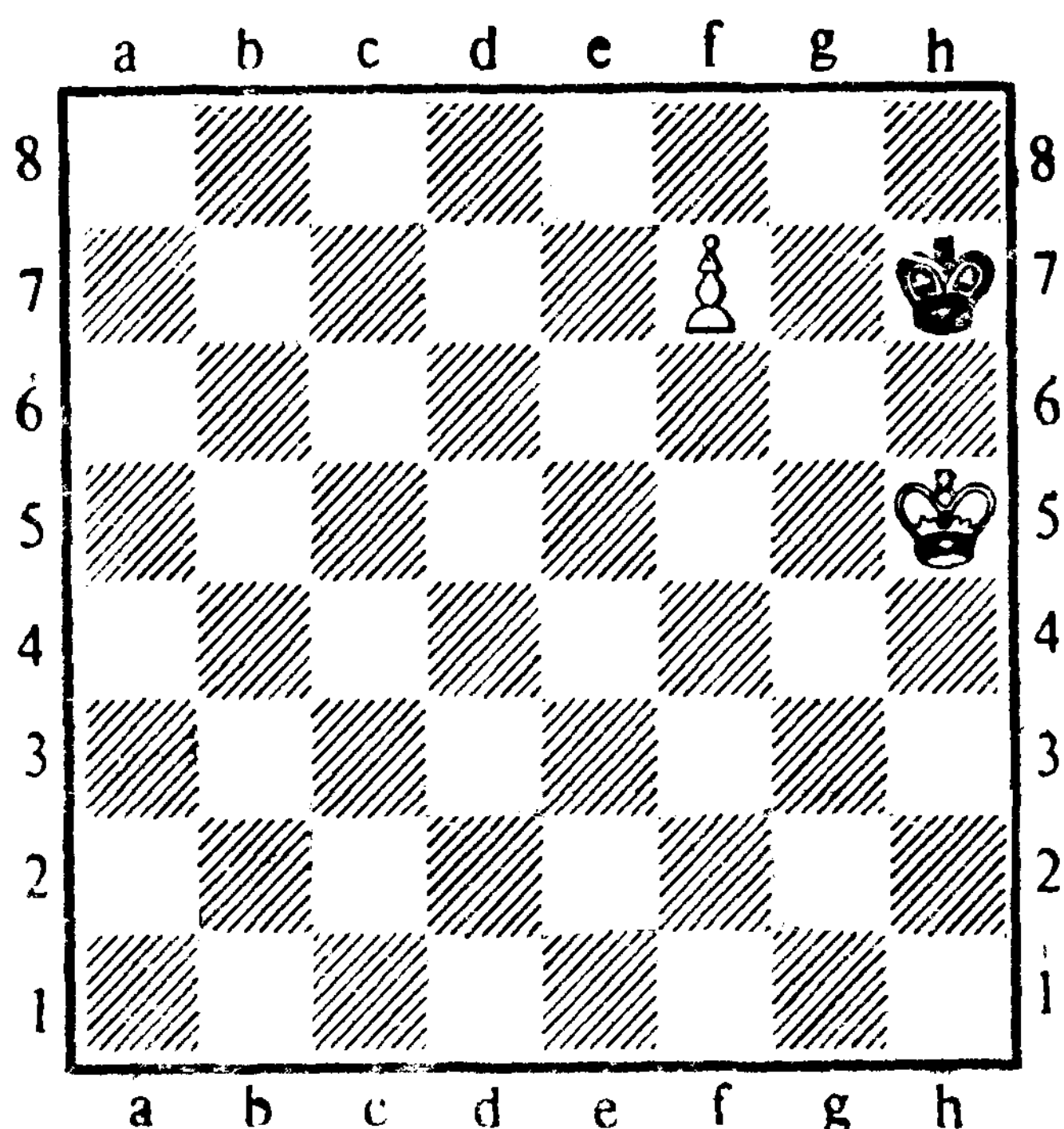
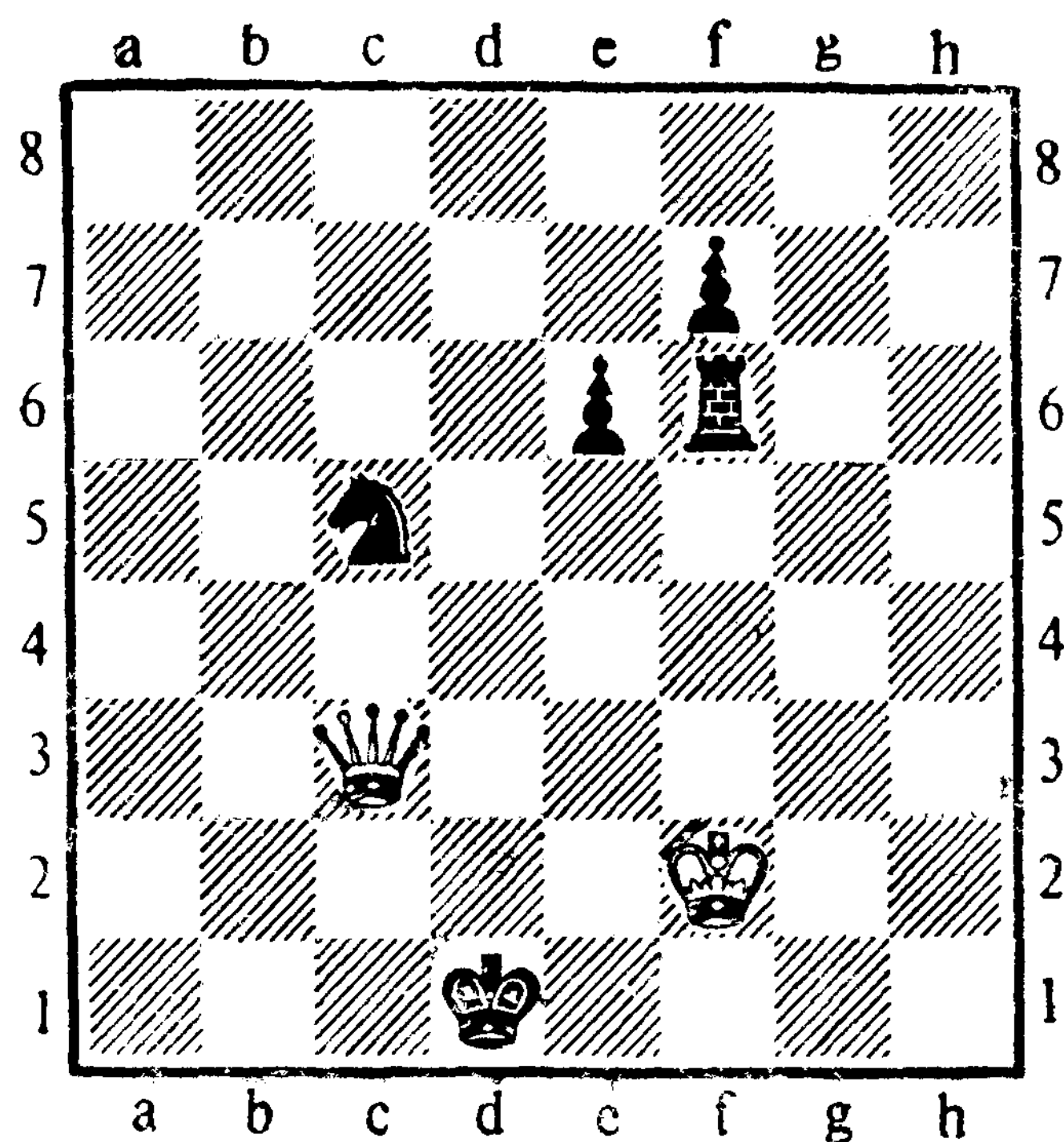


Рис. 2. Полное дерево игры



5



6

На 1. Ф:f6 черные могут ответить 1. ...Ке4+ и, когда наш король уйдет от шаха, 2. ...К:f6. Они выиграют ферзя за ладью и, вероятно, партию.

На 1. Фf3 следует ответ 1. ...Л:f3+ с тем же исходом.

На 1. Крг3 также можно ответить 1. Ке4, выиграть ферзя и партию.

На 1. Крг2 или g1 можно играть 1. ...Лf5. После этого вариантов много, и исход их неясен. Во всяком случае, белые и черные могут не дать противнику изменить в свою пользу через два хода существующее соотношение материала: ферзь против ладьи, коня и двух пешек.

На 1. Кре3 черные должны ответить 1. ...Кb3, 1. ...Ке4, 1. ...Лf3 или 1. ...Лf2. Иначе белые играют 2. Фd2×

После 1. ...Кb3 белые выигрывают коня ходом 2. Ф:b3 или ладью ходом 2. Ф:f6.

После 1. ...Ке4 придется ограничиться выигрышем коня 2. Кр:e4.

После 1. ...Лf3+ нужно брать ладью 2. Кр:f3. Иначе черные ходом 2. ...Л:c3 возьмут ферзя (при ответе 2. Крд4) за ладью.

На 1. ...Лf2 нельзя ответить 2. Кр:f2 из-за 2. ...Ке4+ и 3. ...К:c3. Однако можно выиграть коня ходом 2. Ф:c5 и ладью ходами 2. Фа1+ и 3. Кр:f2.

Возможные исходы (промежуточные) естественным образом упорядочены: для белых лучше всего дать мат, затем выиграть ладью, коня, остаться с существующим соотношением материала, проиграть ферзя за ладью и

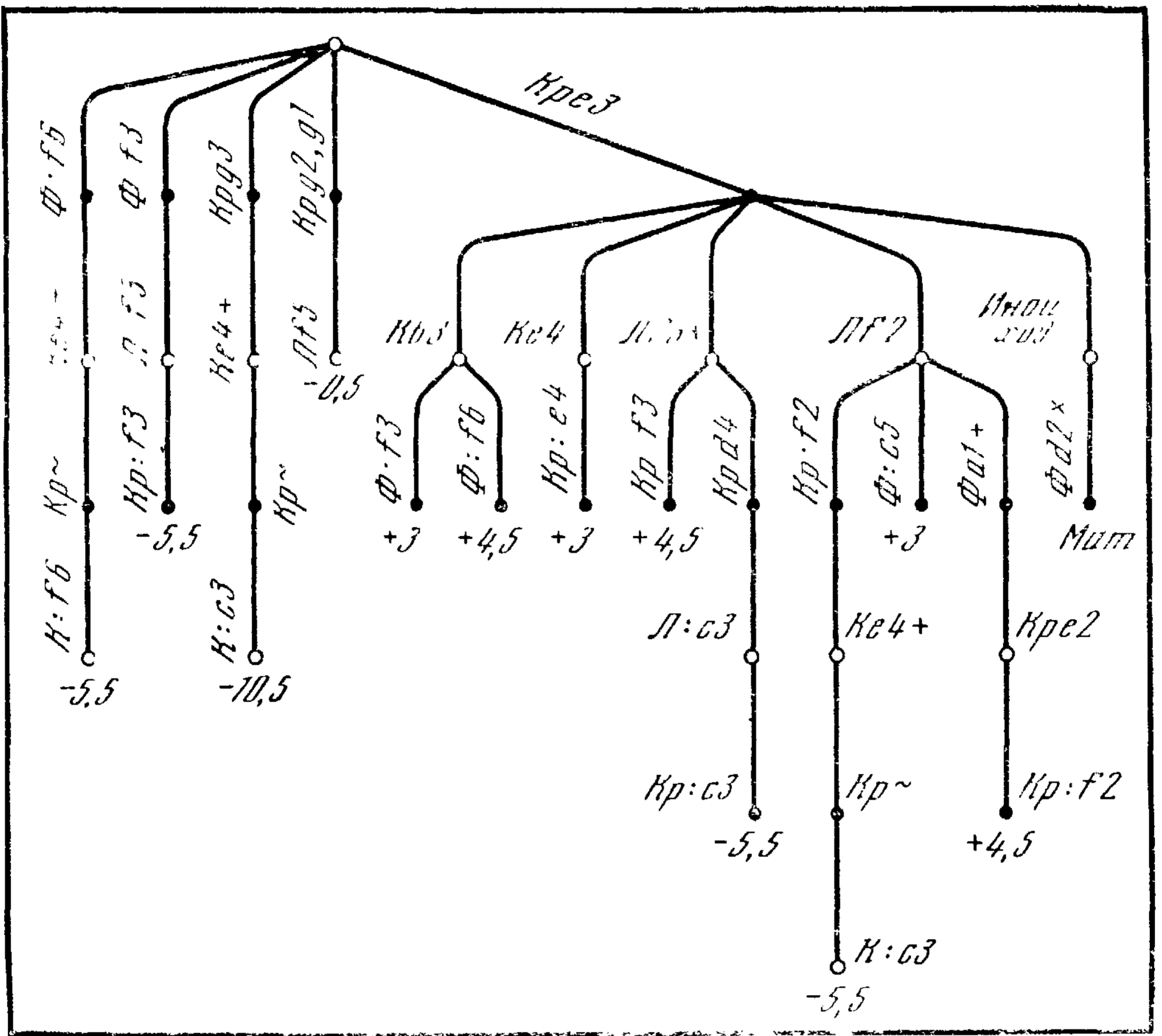
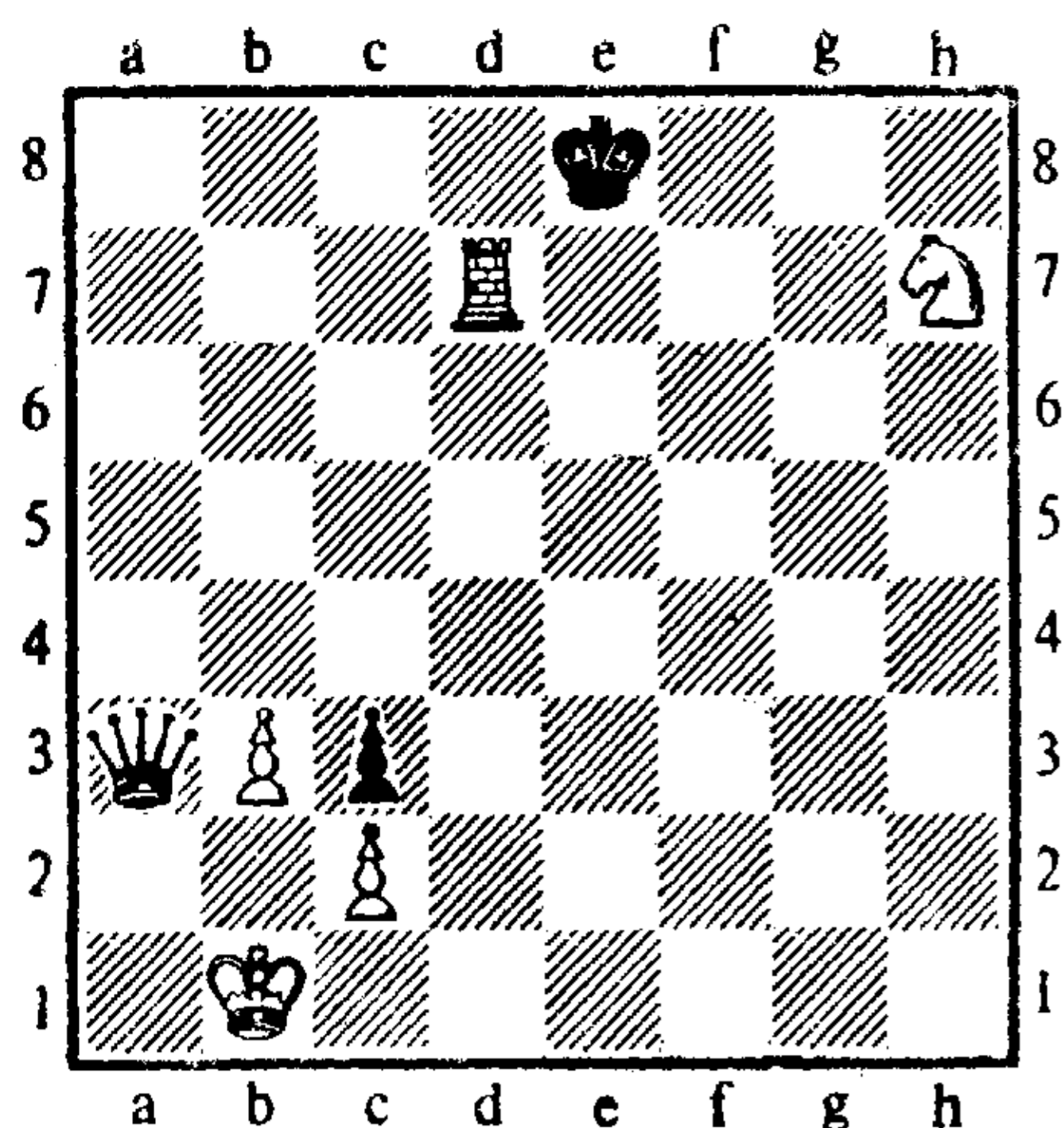


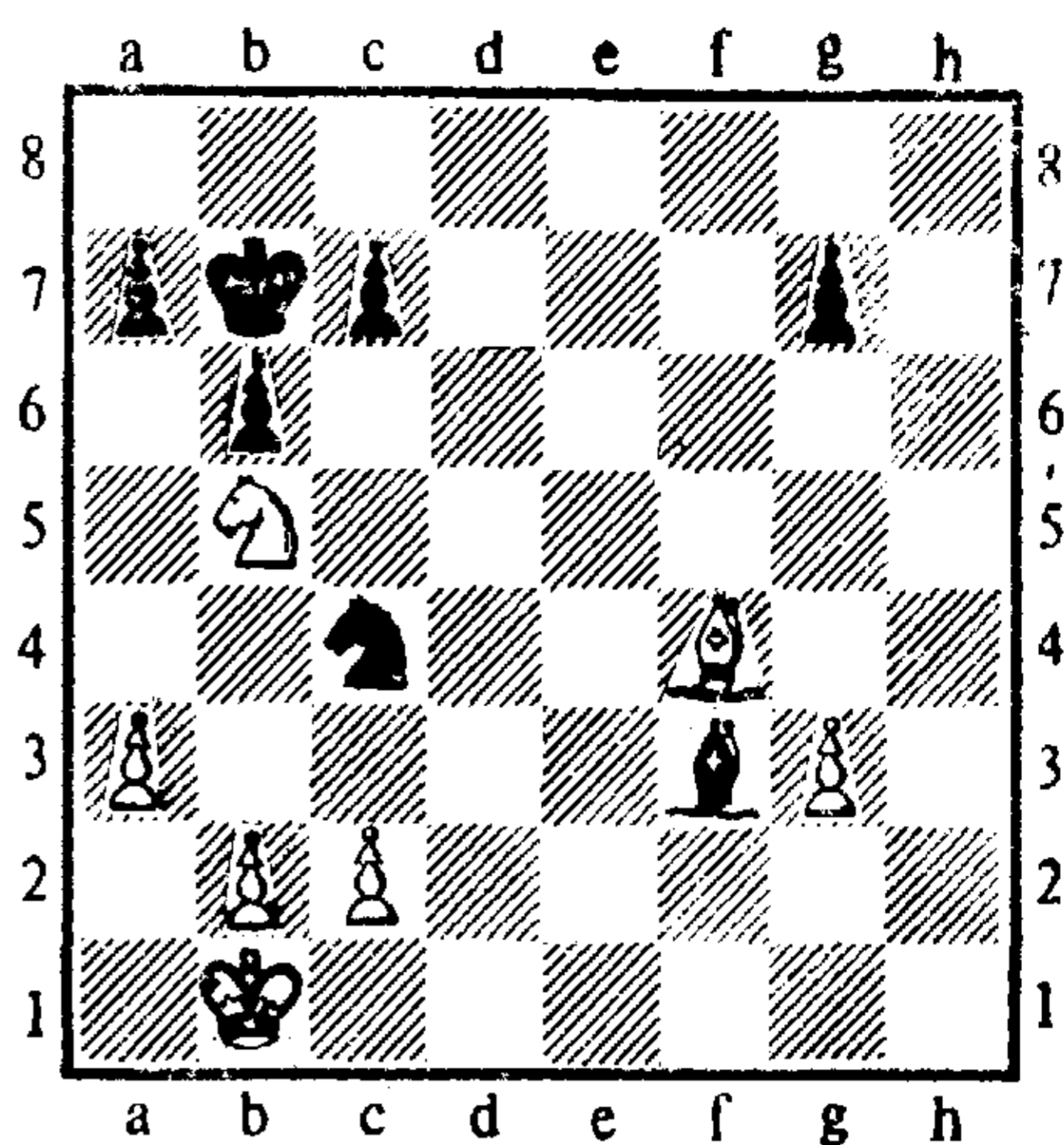
Рис. 4. Неполное дерево игры, определяющее соотношение материала

чистого ферзя. Поставим в соответствие этим исходам численные оценки соотношения материала, считая, как обычно, что легкая фигура стоит 3,5 пешки, ладья — 5 пешек, а ферзь — 2 ладьи. Таким образом, существующее соотношение материала с точки зрения белых равно $-0,5$ (выигрыш ладьи $+4,5$; коня $+3$; проигрыш ферзя за ладью $-5,5$; чистого ферзя $-10,5$). Так как мат лучше любого соотношения материала, то позициям, где он достигнут, можно приписать бóльшую оценку, чем при максимально возможном материальном выигрыше, равном 128.

У позиций есть две оценки — за белых и за черных. При нашем способе их определения они отличаются только знаком. Если не указано, за какую сторону дается оценка, это — оценка за сторону, которой принадлежит очередь хода в данной позиции. Будем называть ее оценкой за себя (оценка за другую сторону называется оцен-



7



8

кой за противника). Соотношение материала в позиции легко рассчитать, но вычисленное соотношение мы будем приписывать только тем позициям, где ни белые, ни черные не могут быстро изменить его в свою пользу. В других случаях оценкой позиции будет лучшее соотношение материала, какого может добиться одна сторона при наибольшем противодействии другой. Для ее определения некоторые варианты нужно просмотреть на глубину, бóльшую, чем два хода.

На рис. 4 оценки позиций проставлены рядом с соответствующими вершинами дерева игры. Их значения удовлетворяют условию, которое можно использовать для вычисления: если из позиции можно сделать хотя бы один ход, то ее оценка равна максимальной из оценок позиций, куда из нее можно пойти (имеются в виду оценки этих позиций за сторону, чья очередь хода в данной позиции, т. е. не за себя). Такой способ вычисления оценок называется правилом Цермело (по имени немецкого математика, который первым его сформулировал). Если же из позиции нельзя сделать ни одного хода или такие ходы не надо рассматривать, то оценку позиции легко определить: в первом случае непосредственно из шахматных правил, во втором — из соображений, по которым разрешенные этими правилами ходы не рассматриваются.

Правилом Цермело можно пользоваться, не зная оценок всех позиций, максимуму которых равна вычисляемая оценка: позиция после ходов. 1. Крe3 Кd7 имеет оценку, бóльшую +128, так как можно пойти 2. Фd2×, а лучшего, чем мат, исхода игры в шахматы не бывает.

Численные характеристики оценок позиций можно определять разными способами. При учете успехов шахматистов в турнирах оценку позиций, где мы дали мат противнику, считают равной 1, позиций, где мат объявили нам, — 0, а ничейным позициям приписывают $1/2$. Такая оценка не поощряет машину дать мат, если можно сделать другой ход, не упускающий выигрыша: оценки позиций после обоих ходов одинаковы. Чтобы исправить это, можно ценить мат тем выше, чем раньше он достигнут.

Некоторые позиции все шахматисты оценивают одинаково. В примере на диаграмме 4 белые могут дать мат в три хода, значит позиция выиграна за них. На диаграмме 7 изображена позиция, из которой можно дать вечный шах $Kf6+$ и $Kh7+$. Если белые не будут шаховать, то они получают мат. После попыток шаховать по-другому черные уходят от вечного шаха, например: 1. $Kf6+$ $Kpf8$ 2. $Ld8+$ $Kpe7$. С другой стороны, при попытке черных уклониться от вечного шаха они получают мат: 1. $Kf6+$ $Kpf8$ 2. $Kh7+$ $Kpg8$ 3. $Kf6+$ $Kph8?$ 4. $Lh7\times$. Значит, рассматриваемая позиция — ничейная.

При оценке других позиций единодушия нет. Некоторые даже сомневаются в существовании объективных оценок этих позиций. «Откуда вы знаете, как будет играть противник?» — спрашивают они. Посмотрим, однако, к чему ведет предположение о том, что данная позиция не имеет объективной оценки и ее можно оценивать только субъективно (при этом учитывая, как собирается играть противник). Покажем, что из такой позиции можно сделать ход, ведущий в позицию, также не имеющую объективной оценки, и нельзя сделать хода в позицию, выигранную за нас.

Если из позиции можно сделать ход в позицию, где нам объективно обеспечен выигрыш, то и в исходной позиции нам обеспечен выигрыш, т. е. она имеет объективную оценку. Если все ходы из нее ведут в позиции, где выигрыш обеспечен противнику, то она — проигранная, т. е. тоже имеет объективную оценку. Если есть только ходы, ведущие в ничейные и проигранные позиции, то данная позиция — ничейная. Таким образом, позиция только в том случае может не иметь объективной оценки, когда из нее есть хотя бы один ход, ведущий в позицию, также не имеющую объективной оценки.

Правда, по шахматному кодексу если ни один из противников не потребует ничьей, то партия будет продолжаться. Однако из исходной позиции каждый противник может добиться ничьей и не может выиграть, если другой противник в какой-то момент не сделает проигрывающего хода, обладая возможностью его избежать. Естественно считать такую позицию имеющей объективную ничейную оценку. Без этого длинного рассуждения не объяснить, почему многие, в том числе и авторы книги, считают объективно существующими никому не известные оценки шахматных позиций.

Так как у каждой позиции есть объективная оценка, по правилу Цермело, из нее можно сделать ход, ведущий в позицию с такой же оценкой (если только данная позиция — не заключительная) и нельзя — в позицию с лучшей для себя оценкой. Такой ход называется лучшим (из позиции может быть не один лучший ход), а ход в позицию с худшей для себя оценкой — ошибкой. Найти шахматную истину — это значит определить оценку интересующей нас позиции или, в крайнем случае, лучший ход из нее (в идеале надо найти оценку начальной позиции, изображенной на диаграмме 1). Если мы в партии не добились результата, равного оценке какой-либо из встретившейся в ней позиции, — значит ошибались, а если добились большего, то ошибался противник.

Не так уж трудно написать программу для машины, чтобы та выбирала лучший ход. Она будет просматривать позиции дерева игры и вычислять их оценки или находить ограничения, которым они удовлетворяют. При этом можно пользоваться правилами игры, их следствиями и правилом Цермело. Проще всего пользоваться правилами игры для вычисления оценок заключительных позиций, а правилом Цермело — для вычисления оценок или их ограничений для остальных позиций. Некоторые позиции можно совсем не смотреть, лишь бы полученная информация оказалась достаточной для определения какого-либо лучшего хода из корня дерева игры. Такой способ выбора лучшего хода из корня дерева игры или определения ее оценки называется полным перебором.

Отказ от просмотра некоторых ходов из позиций дерева игры мы будем называть отсечением, или сокращением, перебора. В приведенных выше примерах такое сокращение производилось, но не регулярным образом. Машина так не может: если она исправна, то реализует

алгоритм, заданный программой, а с неисправной машиной дела иметь нельзя. Значит, нам нужно регулярное правило отсечения. Сформулировать его поможет изучение примера. На диаграмме 8 белым ничего не грозит, и материальное равенство им обеспечено. Однако можно попробовать выиграть пешку, например ходом 1. К:c7. Черные отвечают 1. ...g5!. Если белые попробуют взять пешку 2. С:g5, то потеряют коня 2. ...Кр:c7 (другие ответы черных можно не рассматривать, так как белые могли не брать пешку c7 и не проиграли бы ничего). Однако пока неизвестно, какой ход белых плох: 1-й или 2-й. Поэтому они должны сначала попробовать изменить 2-й ход. Любой отход слона ведет к проигрышу либо этого слона (например, 2. Се5 К:e5), либо коня c7. Если же 2. b3, то 2. ...gf, 3. bc Кр:c7. Каждый второй ход белых опровергается естественным ответом черных, и остальные ходы черных можно не смотреть.

Итак, мы выяснили, что плох ход 1. К:c7 и можно отсечь все ответы черных, кроме 1. ...g5. Это отсечение имеет принципиально другой характер: мы уже знаем, где была сделана ошибка. Разницу между отсечениями на 1-м и 2-м ходах можно выяснить еще отчетливее, если рассмотрим другую попытку выиграть пешку 1. С:c7. Если теперь 1. ...Сс6, то защита коня 2. a4 недостаточна: 2. ...С:b5 3. ab Кр:c7. Здесь опять отсекаются 2-е ходы черных, кроме С:b5. Однако плох не 1-й ход белых, а 2-й: после 2. Кd6+ белые сохраняют лишнюю пешку. Конечно, нужно еще убедиться, что у черных нет других возможностей (1. ...ab 2. Кd6+ или 2. Кd4).

Итак, и после плохого 1-го хода белых, но хорошего 2-го, и после хорошего 1-го, но плохого 2-го все ответы черных, кроме опровергающего, отсекаются. Нужно сразу менять 2-й ход белых. Сформулируем общее правило отсечения, под которое подпадают все рассмотренные выше случаи. Пусть у нас есть информация об оценке некоторой позиции. Сама оценка еще неизвестна, но она ограничена снизу («за себя», т. е. сторону, чей ход). Назовем число, ограничивающее значение оценки, нижней А.Б.-гранью (гранью А. Л. Брудно) и рассмотрим дерево игры с корнем в нашей позиции.

А.Б.-грань наследуется. Она трансформируется в соответствующую верхнюю грань (тоже за себя) оценки позиции, куда ведет ход из нашей позиции. Верхняя грань аналогичным образом трансформируется в нижнюю

грань оценки позиции, возникшей после ответа противника, и т. д. В дальнейшем нижние А.Б.-границы могут увеличиваться. Это происходит, когда мы находим более сильное ограничение снизу для оценок позиций, имевших нижние грани. Верхняя А.Б.-грань не меняется, пока имеющая ее позиция не будет окончательно забыта. Как только станет известно, что оценка некоторой позиции не хуже, чем ее верхняя А.Б.-грань, остальные ходы из нее нужно отсечь, перейти к позиции, откуда в нее был сделан ход, и попробовать сделать другой.

Это правило отсечения является следствием созданной А. Л. Брудно теории граней и оценок. Его называют еще (α, β) -эвристикой. Ответ на вопрос, есть ли другие столь же точные правила отсечения, зависит от того, какие сведения об игре можно использовать для вывода таких правил. Естественно, они должны следовать из правил рассматриваемой игры двух противников с полной информацией. Поставим более узкий вопрос: какие правила отсечения применимы для любой такой игры. Тогда можно пользоваться только тем, что правила игры позволяют определить, чья очередь хода в каждой позиции, какие из нее возможны ходы, какие возникают позиции после них и оценки заключительных позиций (тех, из которых нельзя сделать хода). Пусть еще все позиции имеют оценки. Справедливо утверждение: пользуясь только такой информацией об игре, нельзя найти других правил отсечения.

ПОРЯДОК ПЕРЕБОРА И КОЛИЧЕСТВО ПЕРЕБИРАЕМЫХ ПОЗИЦИЙ

Часть дерева игры, не просматриваемая при использовании А.Б.-граней, при разных порядках просмотра позиций будет содержать различное количество позиций. Таким образом, экономия времени зависит от порядка перебора. Если нам не везет, то мы каждый раз выбираем самый плохой ход из возможных. Тогда не удастся отсечь почти ничего. Действительно, в нашем случае ограничение оценки позиции окажется не хуже ее нижней А.Б.-границы только при условии, что и самый плохой ход из возможных достаточно хорош. Наоборот, если нам везет, то мы всегда угадываем лучшие ходы, но не знаем этого. Тогда каждый ошибочный ход опровергается пер-

вым же ответом противника. Сравним, сколько позиций придется просмотреть в таких крайних случаях.

Количество ходов из шахматных позиций исследуемого дерева игры примерно одинаково. Из позиций мительшпиля чаще всего можно сделать по 40—50 ходов. Для простоты предположим, что из каждой позиции есть одно и то же число ходов, например 40. Пусть отсечений нет. Тогда, кроме корня дерева, нужно просмотреть 40 позиций, возникающих после различных ходов из него, $40^2 = 1600$ позиций, возникающих после ответов противника, $40^3 = 64\,000$ позиций после второго нашего хода и т. д. Число позиций растет в геометрической прогрессии. Если измерять глубину просмотра не числом элементарных движений фигур — полуходов, а числом целых ходов, т. е. пар полуходов — ходов одного противника и ответов другого, то знаменатель прогрессии будет равен 1600.

Рассмотрим другой крайний случай — максимальные отсечения. В процессе перебора встретятся позиции трех типов: 1) удовлетворительные позиции — они возникают после лучших ходов обеих сторон, а также в результате обоюдных ошибок; 2) плохие позиции, возникшие после ошибки одного из противников (может быть, не одной), причем очередь хода принадлежит тому, кто ошибся; 3) хорошие позиции, также возникшие после ошибок, но очередь хода принадлежит другой стороне.

Когда отсечения максимальны, не приходится просматривать позиций, возникших после ошибок обоих противников.

Из удовлетворительных позиций нужно просмотреть все ходы: ведь мы только угадали лучший ход из нее, а нужно в этом убедиться. После лучшего хода из удовлетворительной позиции, рассмотренного в первую очередь, снова возникает удовлетворительная позиция: ни одна сторона не сделала ошибки. Значит, придется рассматривать все 40 ходов из нее, зато остальные 39 ходов будут опровергнуты первым же ответом противника (или такой ответ покажет, что предыдущий ход другой стороны не лучше ранее рассмотренного). Таким образом, из удовлетворительной позиции через ход возникнут 79 позиций, из них 1 удовлетворительная, 39 хороших и 39 плохих.

Из плохой позиции тоже нужно просматривать все ходы. Без этого не убедиться, что она плохая. Каждый

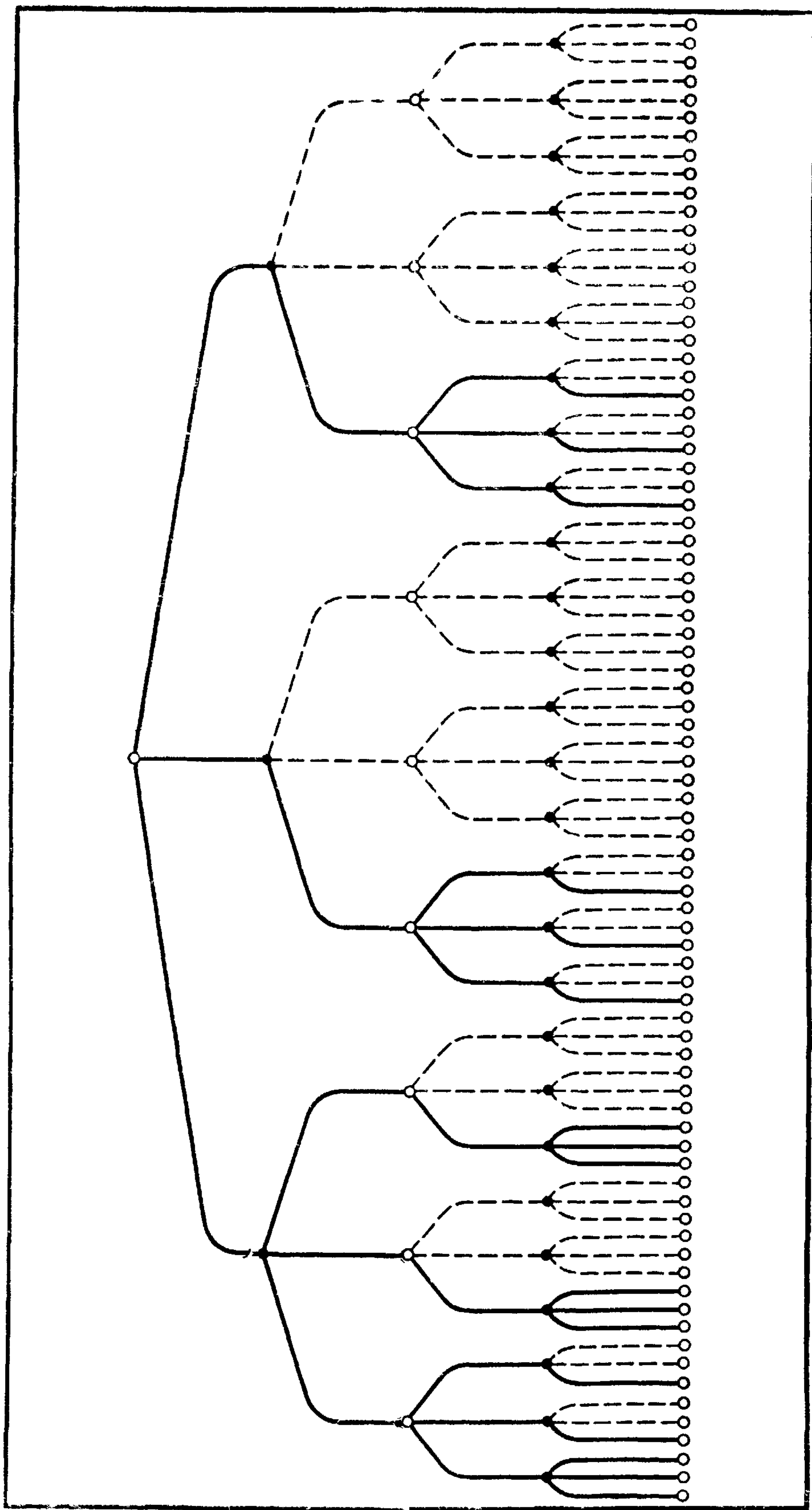


Рис. 5. Максимальные А.Б.-отсечения (сплошная линия — лучшие или достаточно хорошие ходы, которые нужно рассмотреть; пунктирная — ходы, которые можно не рассматривать.)

ход опровергается первым ответом противника, и через ход из плохой позиции возникнут 40 плохих.

Чтобы убедиться, что позиция хорошая, достаточно просмотреть один ход из нее. После него возникает плохая позиция для противника, и нужно просмотреть все 40 ходов из нее. Следовательно, из хорошей позиции через ход возникнут 40 хороших.

Так как на каждом уровне дерева игры есть только одна удовлетворительная позиция, число просматриваемых позиций растет лишь чуть-чуть быстрее, чем члены геометрической прогрессии со знаменателем $\sqrt{1600}=40$. На рис. 5 изображена минимальная просматриваемая часть дерева игры при переборе на глубину в два хода, только число ходов из каждой позиции равно не 40, а 3.

Итак, чтобы можно было ограничиться просмотром меньшего количества позиций, нужно удачно выбирать порядок ходов из просматриваемых позиций. Каждая ошибка в определении порядка ведет к просмотру лишних позиций, однако вред от разных ошибок неодинаков. Чем глубже в дереве игры лежит позиция, где сделана такая ошибка, тем меньше число лишних позиций. Ведь глубина поддерева, где они находятся, меньше. Имеет значение и то, какая именно ошибка совершена. Если вместо лучшего или опровергающего хода выбран плохой, то при отсутствии других ошибок в определении порядка он будет опровергнут первым же ответом противника. Если же по ошибке вместо опровергающего хода выбран ход, ведущий в удовлетворительную позицию, то придется просмотреть все ходы из нее.

Шахматные позиции бывают острые и спокойные. Дерево игры из острой позиции часто сильно отличается от равномерного: после шаха или угрозы материального выигрыша есть немного ответов, которые необходимо просматривать. Из спокойной позиции также иногда не просматриваются ходы, поскольку и так можно оценить, к чему они могут привести. Хуже всего (не в шахматном смысле, а в смысле необходимости исследования многочисленных возможностей) обоюдоострые позиции с угрозами и контругрозами. Поэтому разумно при прочих равных условиях раньше просматривать ходы в простые позиции — корни поддерева, содержащих сравнительно немного позиций.

Итак, можно сформулировать следующие требования к порядку просмотра ходов из позиций

1. В первую очередь следует выбирать ходы, у которых больше шансов оказаться лучшими.

2. Если можно рассчитывать, что ход окажется закрывающим, хотя шансов на это не так уж много, то не нужно слишком бояться того, что он окажется плохим. Хуже, если хороший ход из позиции есть, но раньше него мы рассмотрели ход, ведущий в удовлетворительную позицию (возникающую в результате ошибок обоих противников).

3. При прочих равных условиях предпочтительнее ходы, ведущие в поддеревья с относительно небольшим числом позиций, например такие, на которые у противника мало ответов.

4. Чем ближе к корню позиция, тем дороже ошибка при определении порядка ходов из нее, поэтому на определение порядка ходов из корня и близких ему позиций не жалко дополнительной работы. Такая же работа для лежащих в глубине дерева позиций может потребовать больше времени, чем будет выиграно в результате лучшего порядка ходов из них.

Как же угадывать нужные нам ходы? Для некоторых позиций это ясно. Если противник начал размен и взял нашу фигуру, то почти всегда нужно ее «отъесть». Часто бывает хорошо уйти из-под удара вражеской фигуры. Неплохо занять открытую линию ладьей (если есть такая возможность), занять слабое поле легкой фигурой и т. д. Наверно, можно создать значительно более обширную систему таких рекомендаций. Чтобы машина могла ими пользоваться, необходимо еще сформулировать точные правила, определяющие, какие ходы им соответствуют. Однако неясно, насколько эффективной была бы такая работа. Есть и другие методы определения первоочередных ходов. К их описанию мы и перейдем.

Шахматист не всегда считает варианты. На некоторые позиции, возникшие перед его внутренним взором, он просто смотрит и решает: в этой позиции то-то и то-то хорошо, а то-то и то-то плохо, — значит, к ней стоит или, наоборот, не стоит стремиться. Машина под руководством соответствующей программы способна на аналогичные оценки (в дальнейшем мы остановимся на этом подробнее). Их можно использовать и для менее ответственных решений об определении порядка перебора. При этом в случае их ошибочности мы рискуем только потратить

лишнее время. Поэтому такие оценки могут быть не бесспорными, а лишь достаточно часто верными.

Можно определить различные признаки шахматной позиции, по-видимому, имеющие отношение к вопросу, хороша она или плоха. Эти признаки называются статическими: чтобы выяснить, обладает ли ими данная позиция, не нужно двигать фигуры по доске (точнее, можно ограничиться небольшим количеством таких движений). К статическим признакам относится прежде всего материальное соотношение, затем наличие и отсутствие изолированных, сдвоенных, отсталых, проходных пешек, произведенная рокировка или потеря ее и т. д. В дальнейшем мы приведем более полный список таких признаков и обсудим алгоритмы их определения.

Каждому статическому признаку можно приписать некоторый вес, а сумму всех весов считать статической машинной оценкой данной позиции. Если говорить точнее, у позиции две статические машинные оценки: за себя — сторону, которой принадлежит очередь хода, и за противника — другую сторону. Аналогично каждый признак имеет вес за себя и вес за противника. В существующих шахматных программах эти веса равны по абсолютной величине и имеют противоположные знаки, откуда следует, что статические машинные оценки позиции за себя и за противника тоже равны по абсолютной величине и имеют противоположные знаки. Статическая машинная оценка позиции несет информацию об ее объективной оценке: лучшим объективным оценкам часто, хотя не всегда, соответствуют лучшие статические машинные оценки.

Статической машинной и объективной оценками хода мы будем называть соответствующие оценки возникающей после него позиции (поскольку в этой позиции очередь хода принадлежит не той стороне, чьи ходы мы рассматриваем, речь идет об оценках за противника). Лучше всего просматривать ходы в порядке убывания (точнее, невозрастания) их объективных оценок. Однако они неизвестны, и предлагается просматривать их в порядке убывания статических машинных оценок. Если же будут замечены систематические ошибки при определении порядка, можно попробовать изменить веса признаков или неучтенные статические признаки, связанные с восстановлением правильного порядка.

Предложенный способ определения порядка перебора оказался не таким уж плохим. Еще лучше значительно

более трудоемкий способ, который состоит в следующем. После каждого хода из данной позиции произведем перебор на небольшую глубину и, приписывая позициям предельной глубины их статические машинные оценки, оценки остальных позиций вычислим по правилу Цермело. Ходы из рассматриваемой позиции — корня дерева такого «миниперебора» — расположим в порядке таких оценок возникающих после них позиций. Это так называемый каскад. Действующие программы производят его, но только из корня рассматриваемого дерева игры — позиции, из которой в конечном счете надо выбрать ход. Каскад имеет разнообразные цели, и мы еще будем о нем говорить.

Однако и упорядочение ходов из позиции в порядке убывания их статических машинных оценок — тоже достаточно трудоемкий способ: нужно произвести все ходы, т. е. переработать информацию о позиции, вычислить признаки новых позиций и значения статических машинных оценок, а затем снова производить эти ходы в другом порядке. Таким образом, наш метод вряд ли следует рекомендовать для упорядочения перебора их позиций, лежащих глубоко в дереве игры. Кроме того, у него есть существенный недостаток: он не отражает специфики позиций, возникающих после данного хода или характерных для позиций играемой партии. Поэтому даже когда неплохо учитывать статические признаки, еще лучше, чтобы машинные оценки зависели также от легко вычисляемых динамических признаков, связанных с тем, что в процессе перебора многие позиции уже были просмотрены и фигуры двигались по доске.

Вот один из таких признаков. Почти половина ходов, изучаемых в процессе машинного перебора, — явно плохие. Многие из плохих ходов являются ходами фигур на поля, находящиеся под ударом противника, и опровержение их заключается в том, чтобы «съесть» такую фигуру. Рассмотрим, например, позицию, изображенную на диаграмме 9. Она возникла в партии программ (матч по телеграфу СССР — США, 1967 г.), но похожая позиция могла бы встретиться при игре более сильных противников. В поисках лучшего хода естественно просмотреть все ходы, допустимые по шахматным правилам. Конечно, можно предполагать, что человек «явно глупых» ходов не смотрит. Но какие признаки отличают явно глупые ходы от остальных? И потом, какие есть основания

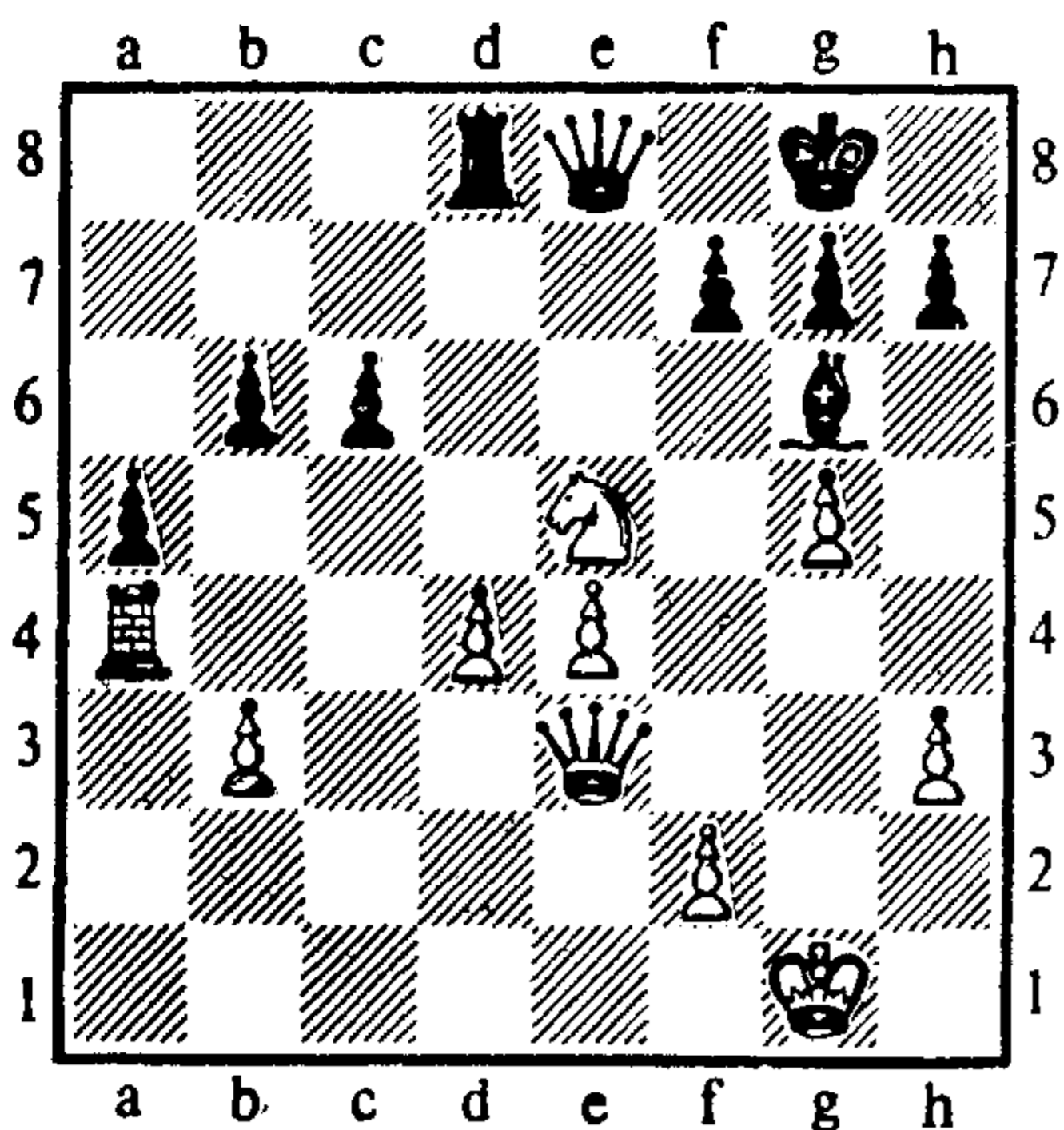
утверждать, что такие ходы не просматриваются подсознательно?

После восьми ходов из нашей позиции возможно взятие белой фигуры на том же поле, куда она пошла: 1. Л:a5 ba, 1. Лb4 ab, 1. К:c6 Ф:c6, 1. Кd7 Л:d7, 1. К:f7 С:f7, 1. К:g6 hg, 1. b4 ab, 1. d5 cd, и каждый такой ответ — лучший или достаточно хороший (на 1. d5 черные могут ответить сильнее — 1. ...Ф:e5, выигрывая коня, но и 1. ...cd достаточно для опровержения: скорее всего еще до просмотра хода 1. d5 будет обнаружено, что белые не должны проигрывать материала). Более радикальное решение не смотреть таких ходов белых не годится: ходы 1. К:g6 и 1. b4 не являются явно плохими, а как убедиться, что плохи остальные, не рассматривая их последствий?

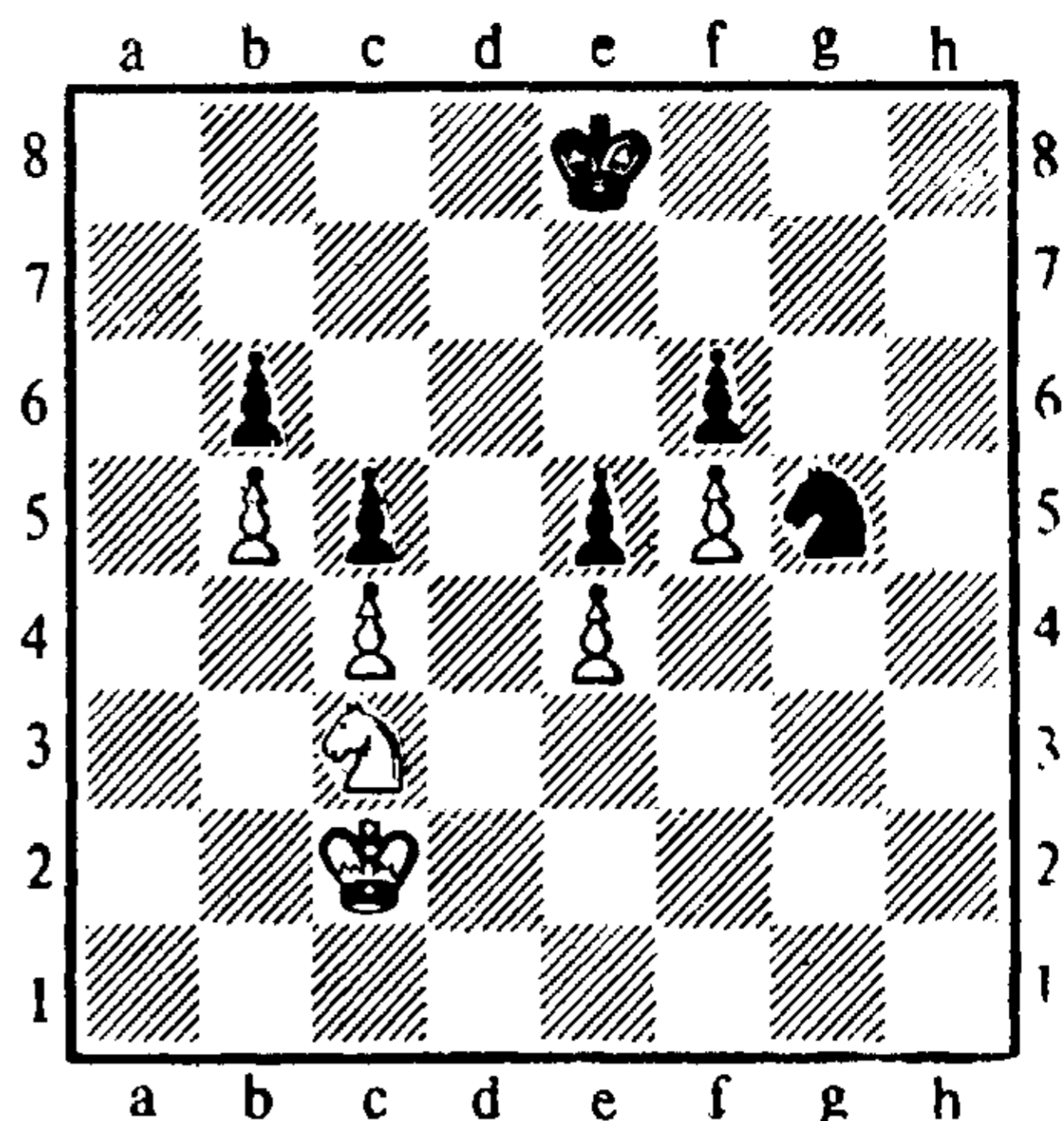
Реже после хода одной стороны у противника возникает новая возможность взятия недвигавшейся фигуры, например после хода 1. Кf3 черные могут выиграть пешку ходом 1. ...Ф:e4. Такую возможность можно обнаружить, не производя самого взятия, но она, может быть, опровергается взятием побившей фигуры. Только удар на фигуру большей ценности или на незащищенную, как правило, не опровергается таким образом (ценность оказавшейся под ударом фигуры и ее незащищенность можно определить, не производя ходов из позиции). Его следует считать одним из признаков, влияющих на статическую машинную оценку позиции, но, по-видимому, еще важнее информация о том, что такой опасный удар возник из-за предыдущего хода, т. е. сделавшая его фигура связана.

Еще больший эффект приносит учет, какие ходы чаще всего оказывались лучшими или опровергающими плохие ходы противника. Мы впервые встречаемся с важным понятием: одинаковые ходы из разных позиций. Шахматистам оно хорошо известно, но трактуют его по-разному. Например, после ходов из начальной позиции 1. g4 e6 ходы 2. f3 и 2. f4 можно считать одинаковыми: на оба можно ответить 2. ...Фh4X. Но нам нужно какое-нибудь точное формальное определение. Ходы можно считать одинаковыми, если одна и та же фигура перемещается с некоторого фиксированного поля на другое, тоже фиксированное, причем последнее свободно или, наоборот, занято одной и той же фигурой противника.

Разных шахматных ходов не так уж много: 5152 хода ладьи, 3248 — слона, 8400 — ферзя, 1964 — коня, 2448 —



9



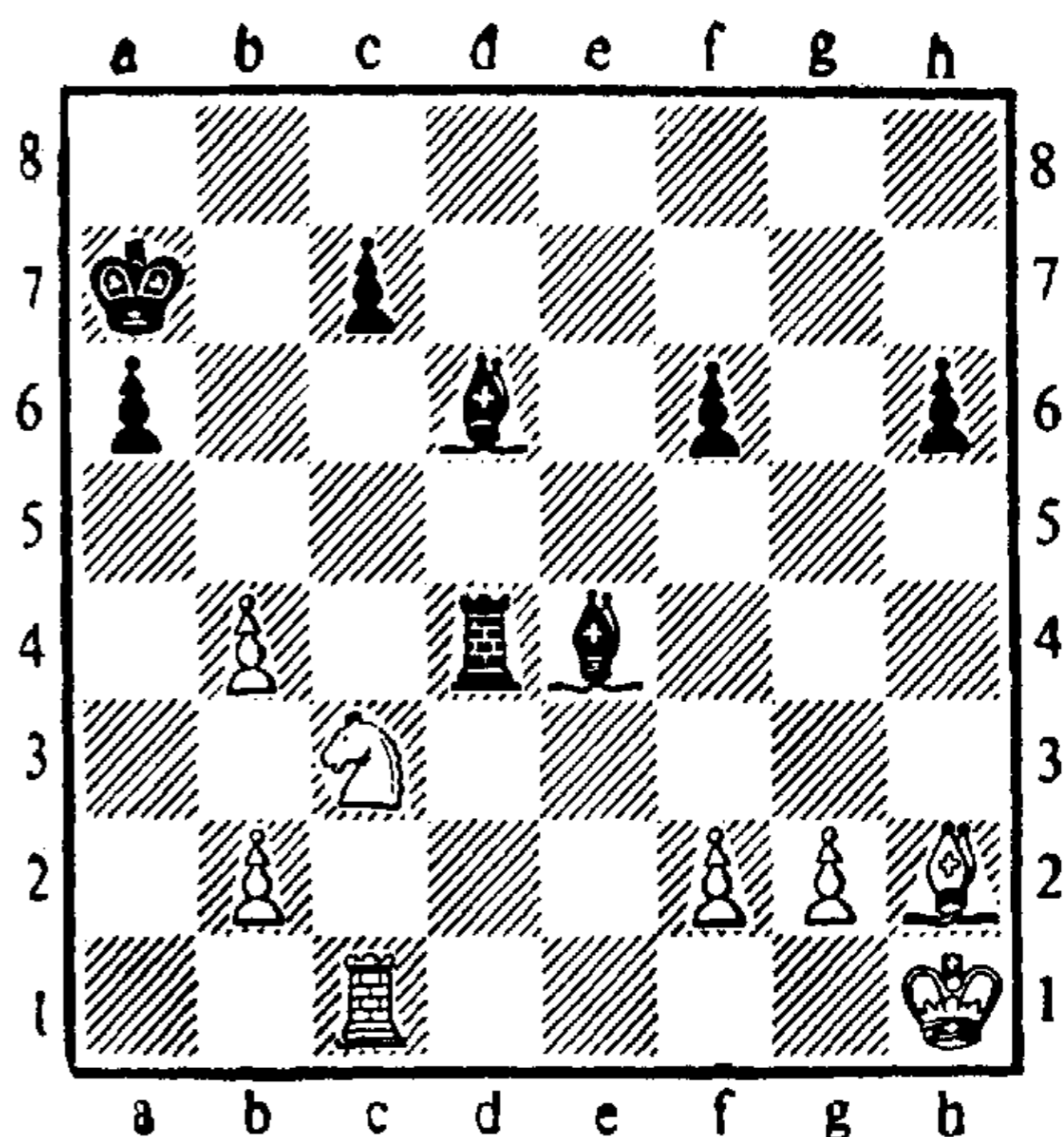
10

короля, 654 — пешек, а всего — по 21 866 ходов белых и черных. Фактически же, когда мы выбираем ход из данной позиции, большинство из этих априори существующих ходов не встретятся, а большинство из встретившихся ни из какой рассматриваемой позиции не будут лучшими или опровергающими предыдущий ход противника. Поэтому не так трудно собирать и хранить информацию о сильных ходах.

Часто один и тот же ход оказывается лучшим или опровергающим из разных позиций, расположенных близко одна от другой в дереве игры. Многие фигуры в таких позициях стоят одинаково. Значит, у противников есть одни и те же угрозы, их нужно осуществлять, а также бороться с ними одними и теми же ходами. Рассмотрим, например, позицию на диаграмме 10. После любого хода черных противник выигрывает пешку, причем если черные не сыграют 1. ...Кh3, то белым надо играть 2. Крd3, угроза Кd5 становится неотвратимой (если 1.Кh3, то надо сразу играть 2. Кd5 и далее, например: 2. ...Кf2 3. К:f6 Крf7 4. Кd5 К:e4 5. К:b6 и т. д.).

Ход может быть лучшим не из всех близких в дереве игры позиций, а из значительной их части. Изменим в предыдущей позиции положение белого короля: поместим его на b2 и передадим очередь хода белым. Тогда после хода 1. Крс2 возникнет позиция, изображенная на диаграмме и разобранный выше. Но в ответ на любой другой ход короля черные могут защитить свои пешки хо-

дом 1. ...Kpd8 (например: 1. Kpb1 Kpd8 2. Kpc2 Kpc8 3. Kpd3 Kpb7 4. Kd5 Kh7). На любой ход коня черные бьют пешку 1. ...K:e4. Таким образом, ходы Kpe8 и K:e4 можно запомнить как опровергающие ходы из некоторых позиций и из других позиций просматривать их в первую или одну из первых очередей (вообще говоря, существуют и другие основания считать такие ходы кандидатами в лучшие и опровергающие).



11

Однако нам нужны не любые способы приличного упорядочения ходов, а наименее трудоемкие. Содержательный анализ угроз, защит, контругроз и соответствующих им ходов требует времени, а главное, для него нужна достаточно общая и полная классификация угроз. Пока ее нет или она недостаточно полна, для отбора кандидатов в лучшие ходы полезна статистика. Ею занимается часть программы, пазываемая службой лучших ходов.

Попавшим в списки этой службы ходам приписывают дополнительные веса. С их помощью они продвигаются вперед в очередях просматриваемых ходов из позиций. Веса тем больше, чем чаще данный ход был лучшим и закрывающим, но при их определении можно учитывать дополнительные обстоятельства: каково среднее количество позиций в просматриваемых частях поддеревьев, «висящих» на разных ходах, как близко от просматриваемой в данный момент позиции ход был лучшим или опровергающим. Различные ходы из службы лучших конкурируют между собой. В результате нужный ход может оказаться не первым, но все же одним из первых.

На такую статистику и использование ее результатов уходит совсем мало времени, а эффект получается значительный. Чаще всего лучший или опровергающий ход просматривается в первую, вторую или третью очередь. В реальных программах служба лучших ходов позволила при том же качестве выбора хода сократить время работы программы в 4—6 раз. Однако, по-видимому, выигрыш так велик только потому, что мы еще не умеем исполь-

зовать для упорядочения ходов многие обстоятельства статического и динамического характера.

Не часто, но довольно систематически все указанные выше способы упорядочения ходов не годятся. Например, в позиции на диаграмме 11 белые выигрывают, по крайней мере качество, ходом 1. Сg1!. Трудно представить себе, что этот ход может оказаться первоочередным кандидатом в лучшие, да этого, пожалуй, и не стоит добиваться. Однако продвинуть его вперед в очереди можно. Только не сразу. Естественный ход 1. f3 программа рассмотрит одним из первых. При всех ответах черных, кроме 1. ... С:h2, они проигрывают материал. Ход 1. Сg1 направлен против единственного опровержения хода f3. Это обстоятельство можно обнаружить лишь после того, как ход 1. f3 будет просмотрен, т. е. в процессе перебора нужно переупорядочить очередь просматриваемых ходов.

Допустим, что мы научимся угадывать почти идеально. Сможет ли тогда машина производить полный перебор? Если ей нужно решить шахматную задачу, то сможет. В такой задаче указано, за сколько ходов нужно дать мат — два, три, четыре, редко больше. Значит, можно рассматривать только часть дерева, ограниченную заданным числом ходов. Позиции этой части машина может просмотреть за приемлемое время. Если же позиция, как говорят шахматисты, игровая, то до мата еще далеко и шахматное дерево с корнем в ней совершенно необозримо.

Пусть из каждой позиции до эндшпиля нужно сделать еще около 20 ходов. На каждом из них один противник имеет выбор примерно из 40 возможных ходов, а после его выбора противник выбирает тоже примерно из 40 возможностей. Значит, даже при максимальных отсечениях при помощи А.Б.-граней придется просмотреть в несколько раз больше, чем $10^{32} \approx 40^{20}$ позиций. А еще эндшпиль! Правда, многие позиции дерева игры одинаковы, но и разных более чем достаточно. Кроме того, чтобы запомнить, какие позиции были уже просмотрены, не хватит памяти машины, а если их не запомнить, то как опознать, когда они встретятся снова.

Чтобы потратить 2,5 часа на выбор хода из рассматриваемой позиции (после такого глубокого просмотра начального хода над остальными думать уже не нужно и можно уложиться во время, отведенное шахматисту на 40 ходов партии), машина должна иметь скорость не менее 10^{30} операций в секунду. Между тем физические

процессы в машине не могут протекать быстрее скорости света, а ее устройства не могут иметь размеры меньше атомных. Значит, максимальная скорость, какой можно добиться, меньше 10^{18} операций в секунду (что, кстати, всего в 10^{10} раз больше достигнутой). Кроме того, при таких размерах устройств и частоте операций будет сказываться неполная определенность динамики микромира (соотношение неопределенности Гейзенберга) и работа машины потеряет детерминированный характер.

Мы уже говорили, что из общих законов перебора нельзя вывести способов более эффективных отсечений. Поэтому надо искать иные пути.

Глава II

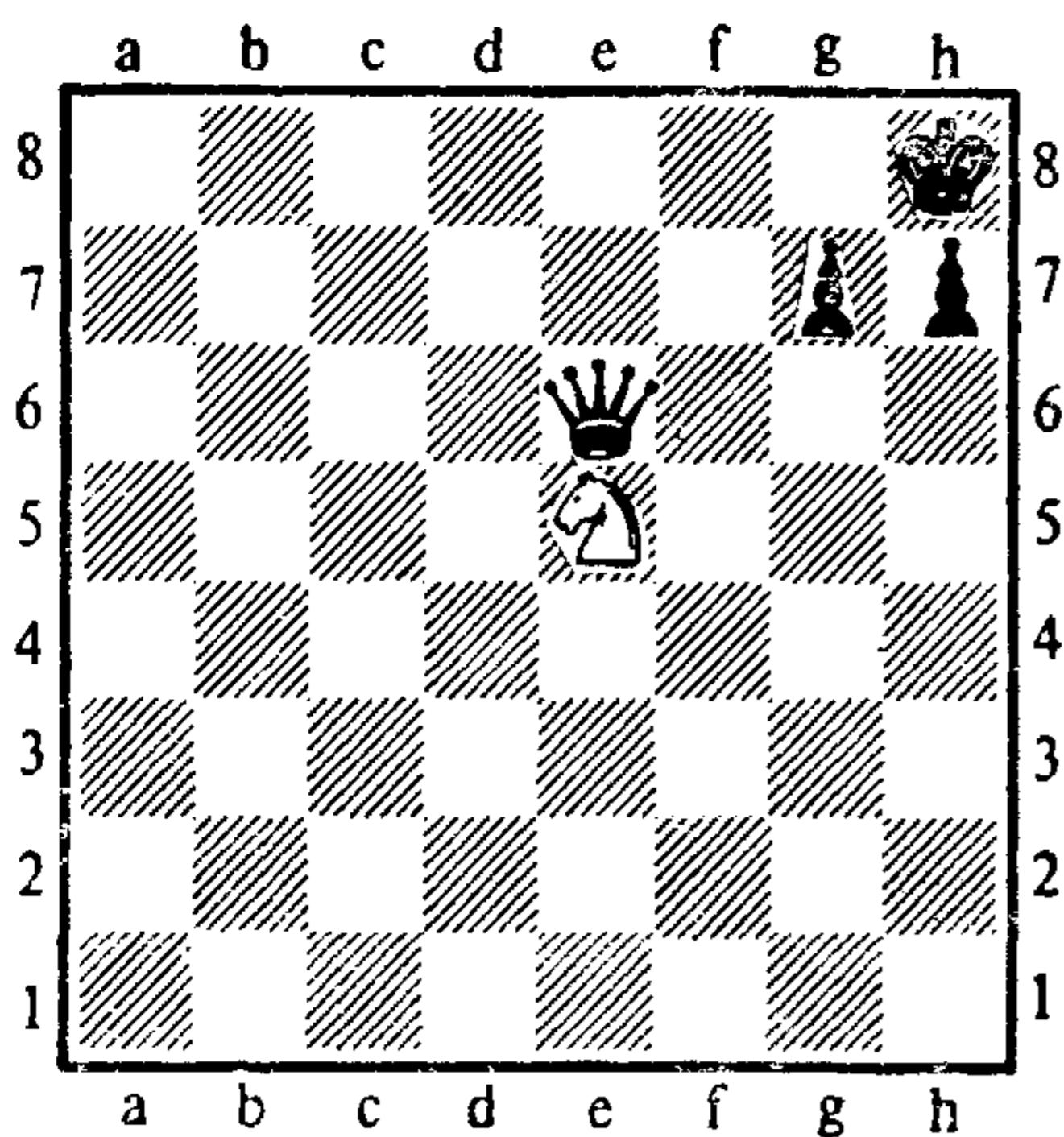
МОДЕЛИ ШАХМАТНОЙ ИГРЫ

ВО ЧТО ИГРАЕМ?

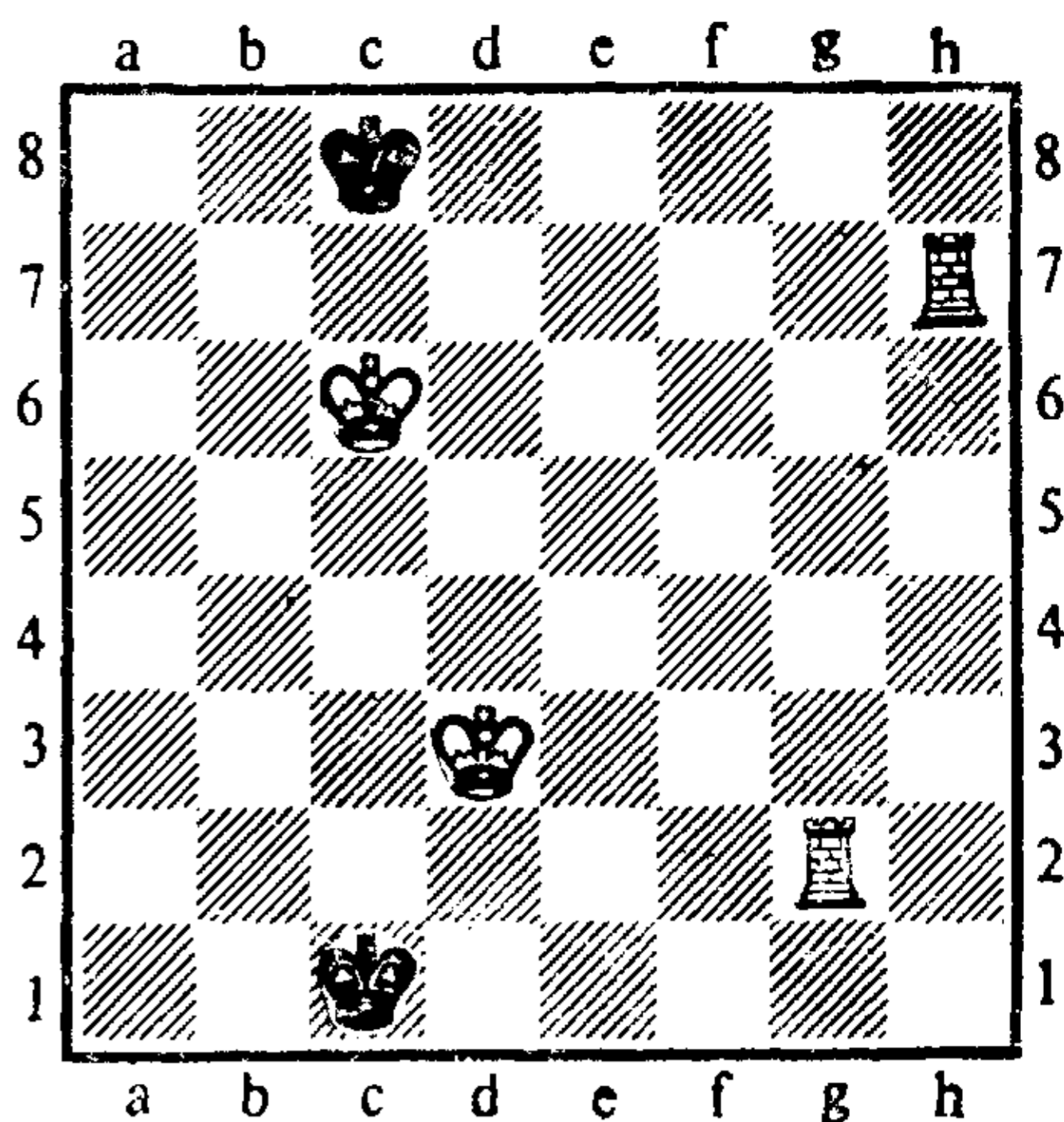
Все существующие в настоящее время программы находят лучший ход из корня дерева некоторой игры двух противников с полной информацией, отличающейся от шахмат. Игры у них разные, но каждая точно известна.

Несколько слов о размерах этих деревьев. Программы, которые тратят наименьшее количество элементарных операций универсальной машины на просмотр одной позиции, работая на самых быстрых современных машинах, не могут позволить себе взглянуть на более, чем 5 000 000 позиций для выбора хода из одной. Теперь созданы машины, у которых есть специальные шахматные элементарные операции. Они могут просмотреть за то же время около 200 000 000 позиций. Однако при таком просмотре можно пользоваться лишь небольшим количеством информации о прошлом опыте, полученном программистами при анализе машинной игры или самой машиной в процессе перебора. Поэтому, может быть, стоит просматривать значительно меньше позиций, но каждую — лучше и, значит, дольше. Сокращение числа просматриваемых позиций позволит сохранить то же время работы программы или даже уменьшить его.

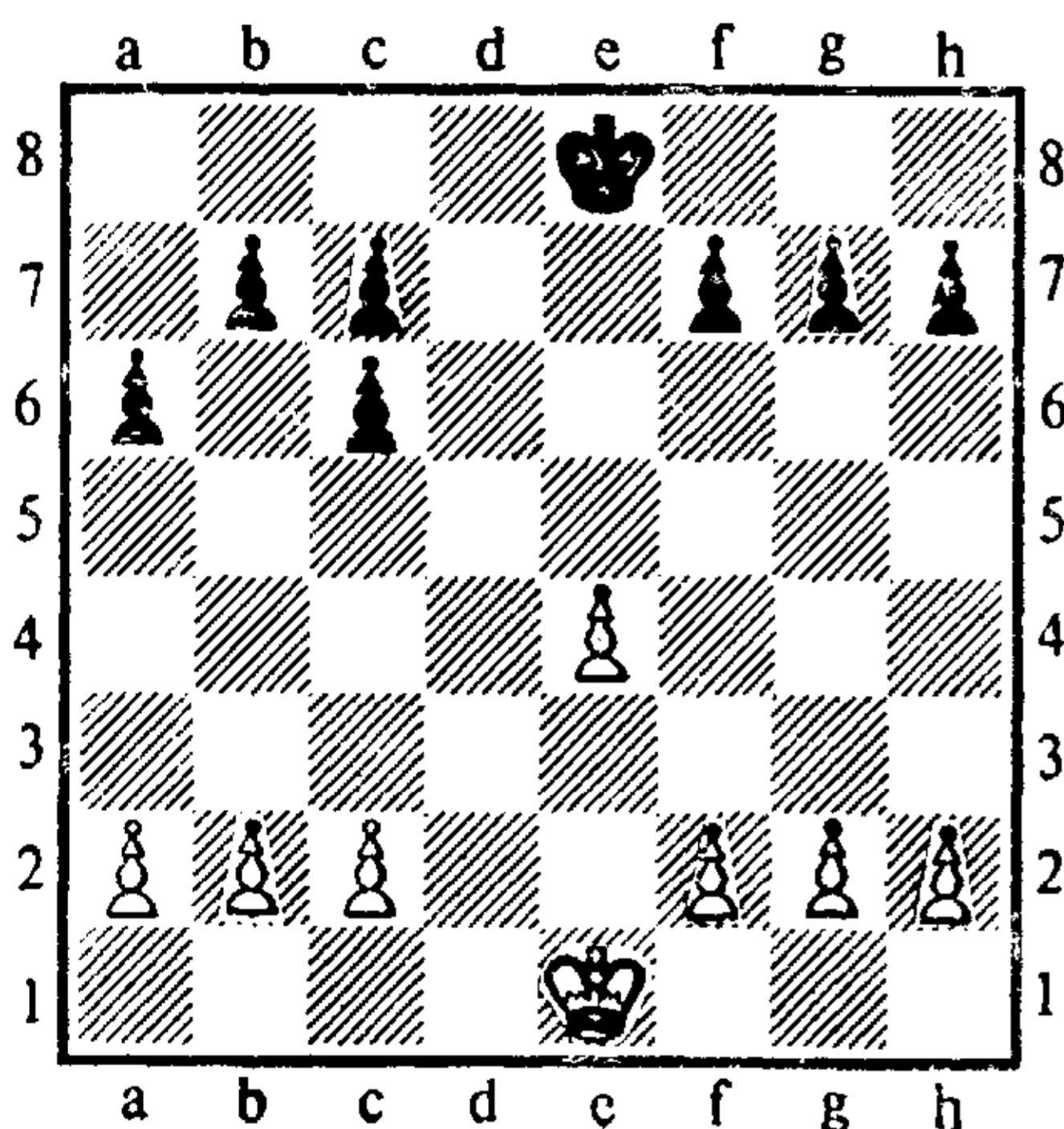
Игры, в которые играют машины, называются шахматными моделями. Как и шахматы, они являются играми



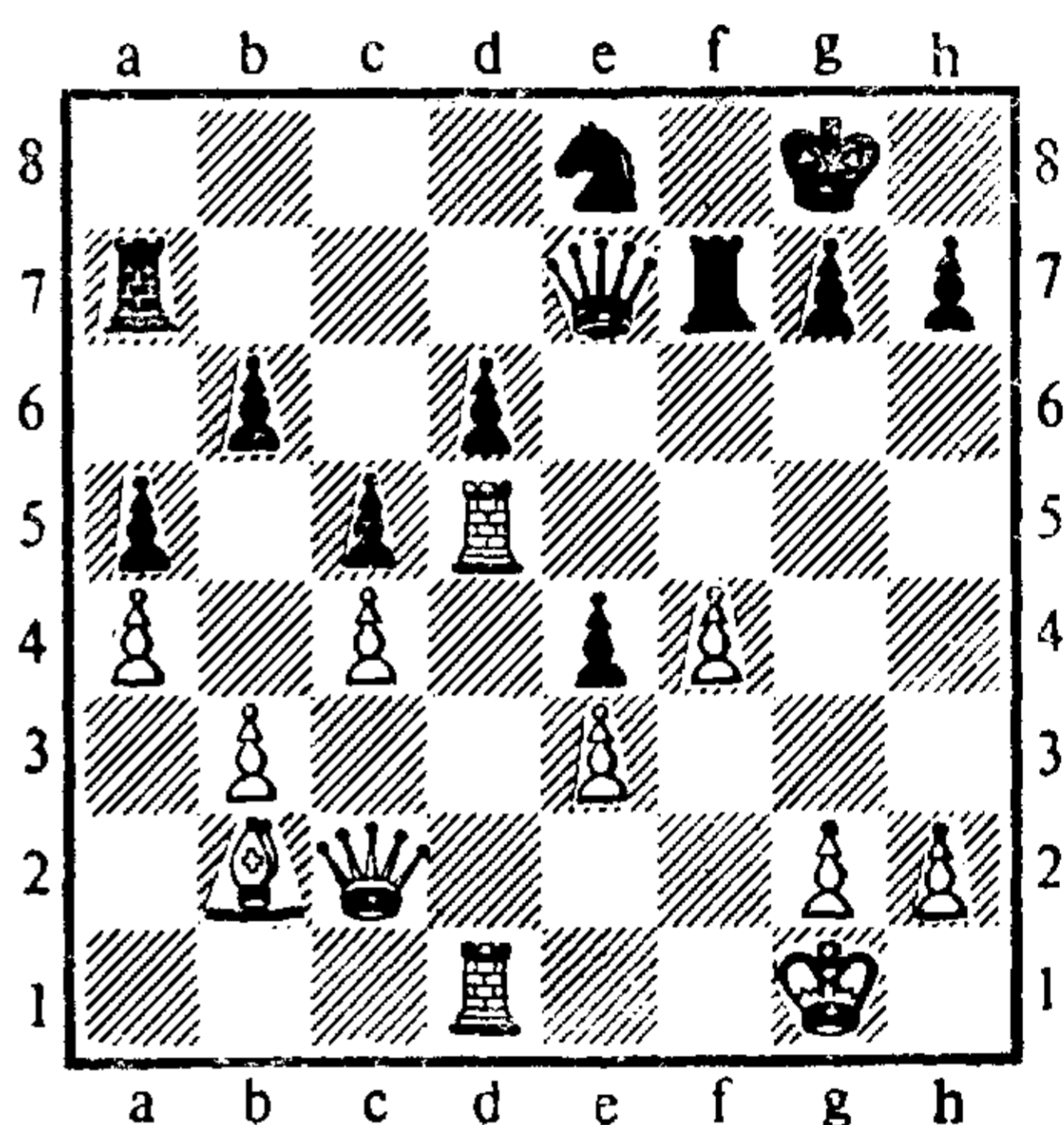
12



13



14



15

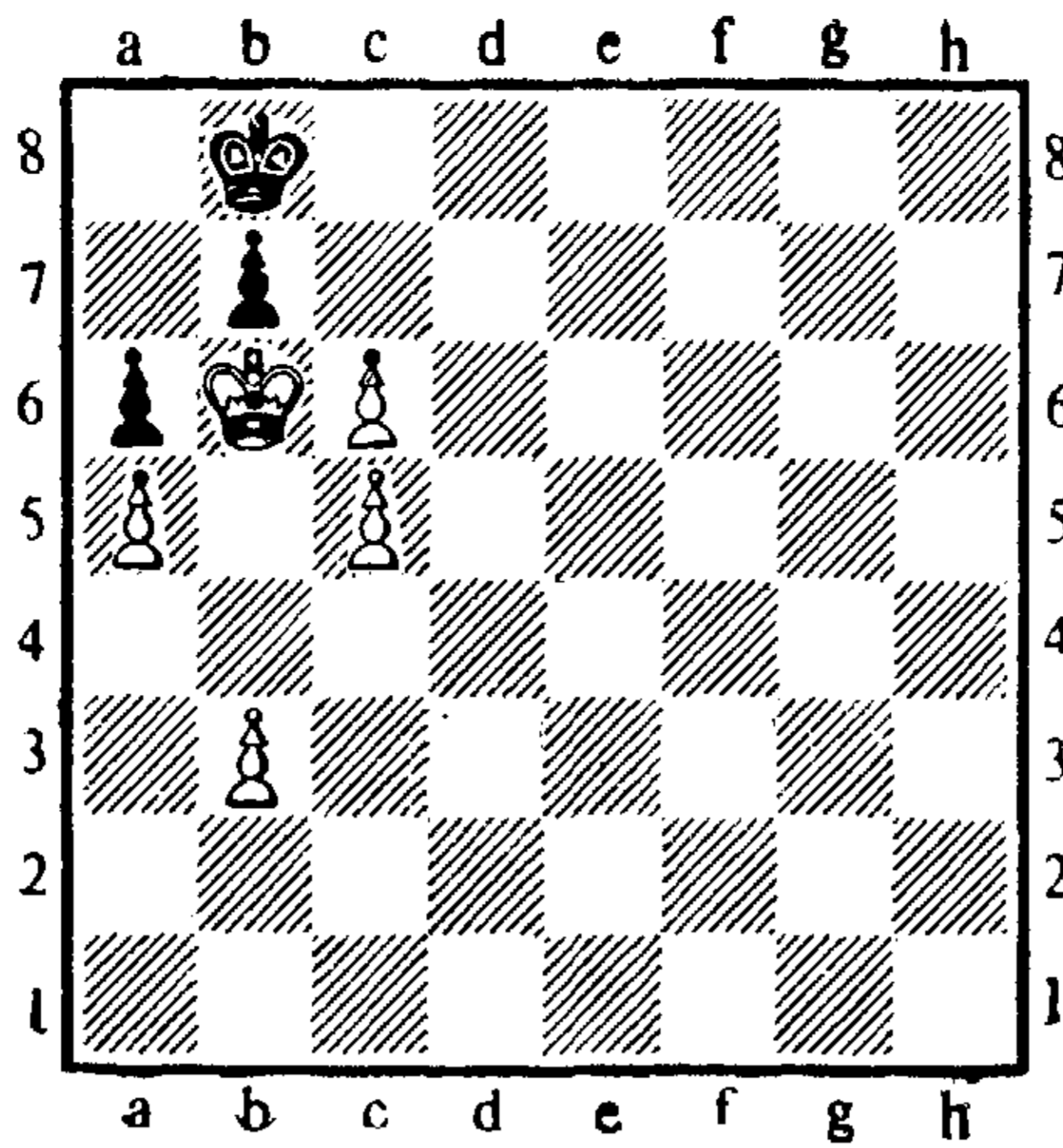
двух противников с полной информацией. Корень дерева такой модели — шахматная позиция, из которой надо сделать ход. Ходы из нее в модели — шахматные ходы, из которых надо выбрать один. Значит, в модели должны быть все ходы из корня дерева, кроме, может быть, явно плохих. Другие позиции модели могут и не быть шахматными. В модели могут быть разрешены и не шахматные ходы из одной шахматной позиции в другую. Пока такие возможности используются минимальным образом (только так называемые пустые ходы в некоторых моделях), однако мы скажем о них несколько слов.

Шахматистам известны не вполне шахматные позиции. Например, комбинацию «спертый мат» — 1. Kf7+

Kpg8 2. K**h**6+ K**r**h8 (K**r**l8 3. Ф**f**7×) 3. Ф**g**8+ 11:g8
4. K**f**7× — можно провести на кусочке шахматной доски (диаграмма 12). Среди фигур нет даже белого короля! Такая позиция — обобщение многих, вполне шахматных. Белый конь может стоять не на e5, а на d6 или g5, белый ферзь — на любом поле диагонали от a2 до e6, черная ладья — на последней горизонтали от a8 до e8. От положения остальных фигур, которых нет на диаграмме, нужно немного: чтобы белый король не оказался под шахом, пункты f7 и g8 — под ударами черных фигур, а линии действия белого ферзя и черной ладьи не были перекрыты. Мы уже не говорим о шахматных симметриях: спертм мате на другом фланге или короле другого цвета.

Следующий простой пример показывает, как можно играть на основе анализа модели с такими не шахматными позициями. Пусть надо дать мат королем и ладьей одинокому королю. Если короли стоят в оппозиции, а ладья дает шах сбоку (диаграмма 13), то одинокий король должен отступить на следующую линию. Если же он уже на последней, то это мат. Если при своей очереди хода одинокий король стоит на расстоянии хода коня от оппонента (см. другой фрагмент диаграммы), он будет оттеснен: встав в оппозицию, получит шах или мат ладьей сбоку, а остальные ходы приближают его к одному из краев доски. Так как доска конечна, можно сначала приблизиться своим королем к одинокому королю противника, а затем оттеснить его на край доски и дать мат, добиваясь указанных критических позиций. Нужно только еще следить за тем, чтобы не потерять ладьи и не поставить пата.

Шахматист рассуждает о позициях, еще более далеких от конкретных. В них фигуры не стоят на определенных полях доски (и даже неважно, на каких полях они стоят), а «ладьи разменены, но ферзи сохранены», «слоны разноцветные», «пешки зафиксированы на полях определенного цвета» и т. д. Другими словами, от шахматных позиций остались только их качества. От таких обобщенных позиций шахматист легко переходит к реальным шахматным позициям, стоящим на обычной шахматной доске, и наоборот. Имеет он дело и с нешахматными ходами, ведущими из одной шахматной позиции в другую (может быть, не совсем шахматную). Рассматривая позицию известного варианта испанской партии, возникающую



16

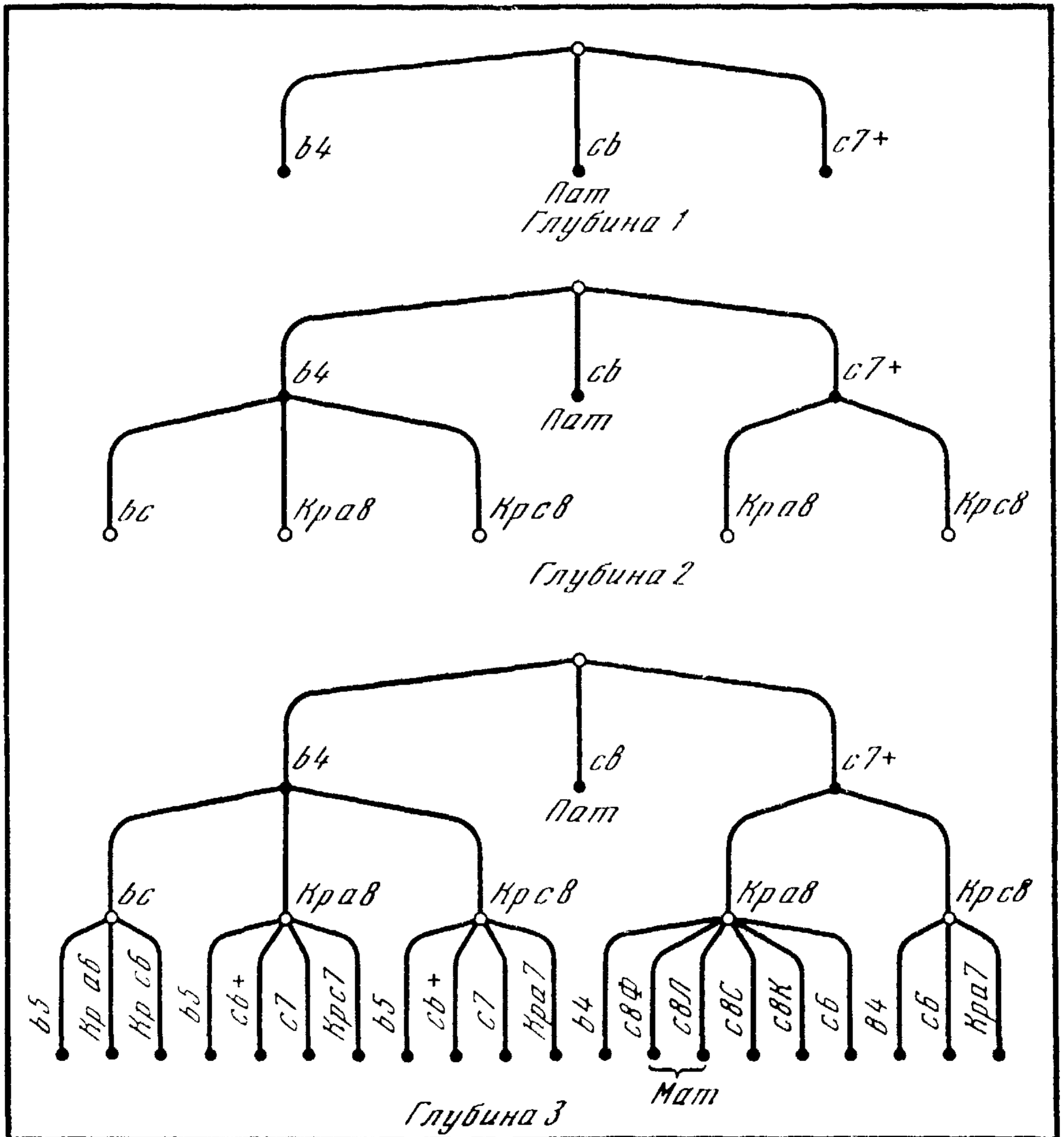


Рис. 6. Модели Шеннона с отсечениями только по глубине

после ходов 1. e4 e5 2. Kf3 Kc6 3. Cb5 a6 4. C:c6 dc5. d4 ed 6. Ф:d4 Ф:d4 7. K:d4, нужно иметь в виду, что после нешахматного хода — снятия всех фигур (не пешек) с доски на ней стоит выигранный за белых пешечный эндшпиль (диаграмма 14).

Известный шахматист П. А. Романовский рассказал одному из авторов книги о нешахматном ходе несколько иного рода. На Втором московском международном турнире (1935 г.) он играл белыми с В. А. Рагозиным и, получив позицию, изображенную на диаграмме 15, надеялся легко выиграть. Оставив своего короля на месте, он начал атаку на короля противника, но у того появились опасные контругрозы. Чтобы победить, белым надо было играть очень точно (Романовский ошибся, и только ответная ошибка позволила ему выиграть). Неудовлетворенный своей игрой, он показал позицию Капабланке, и тот сказал ему: «Эта позиция выигрывается в три хода: 1. Krg1—a2! 2. g4 3. h4». Нешахматный ход Krg1—a2 теоретики считают одним из сложнейших решений шахматной стратегии.

Вернемся к машинным шахматным моделям. Первые из них были описаны К. Шенноном в 1950 г. С тех пор прошло много лет, но ряд его идей по-прежнему лежит в основе используемых программами моделей. Шеннон предложил две модели. По правилам модели А из рассматриваемых шахматных позиций разрешены все шахматные ходы и только они, но когда уже рассмотрена последовательность из n полуходов из корня дерева игры, возникает позиция, которая в модели считается заключительной. Ей приписывается машинная оценка (если через меньшее количество полуходов возникает позиция с определенным шахматным исходом, она тоже считается заключительной с оценкой, соответствующей шахматному результату). Таким образом, модели А имеют один параметр — глубину перебора n . На рис. 6 изображены деревья моделей Шеннона глубины 1, 2 и 3 с начальной позицией, изображенной на диаграмме 16. Задавая глубину перебора, можно управлять количеством перебираемых позиций, что удобно при отладке программы, игре «блиц», переходе на машину с другой скоростью и т. д.

Позиции, из которых нет разрешенных в модели (не обязательно Шеннона) ходов, мы будем называть модельно-заключительными. Их истинные оценки обычно неиз-

вестны. Приходится заменять неизвестные оценки модельными, вычисляемыми по некоторым точным правилам (о которых мы еще будем говорить). Поэтому оценки других позиций, определяемые по правилу Цермело, тоже могут не совпадать с истинными. Мы их также будем называть модельными. Модельные оценки ходов из корня дерева модели (т. е. модельные оценки возникающих после таких ходов позиций) могут оказаться упорядоченными не так, как их истинные оценки, и тогда лучший ход в модельной игре, выбранный машиной, может быть далеко не лучшим в настоящей игре.

На какую глубину такой модели можно реально рассчитывать? Если из каждой позиции можно сделать по 40 ходов и отсечения максимальны, то при глубине 7 полуходов нужно просмотреть 2 822 555 позиций. Однако на самом деле может понадобиться в 2—4 раза больше: порядок просмотра ходов не идеален (зависимость числа позиций от качества угадывания можно исследовать экспериментально и рассчитать теоретически). Значит, в настоящее время мы не можем достичь большей глубины. Когда создавались первые шахматные программы, машины работали медленнее, а техника программирования была хуже, поэтому глубина моделей была еще меньше. Из позиций эндшпиля меньше ходов, однако к этому времени машина обычно уже в цейтноте и не может считать глубже.

А нужно ли считать так глубоко? Этот вопрос заслуживает серьезного исследования. Пока мы ограничимся некоторыми простыми соображениями. Если модельная оценка идеальна, т. е. для всех позиций совпадает с истинной, то достаточно глубины и в один полуход. Найдем ход, ведущий в позицию с той же оценкой, что у корня дерева, — и все! Однако неизвестно, как вычислять оценки с гарантией столь высокого качества (если не производить полного перебора), и попытки найти эффективный алгоритм их вычисления, по-видимому, бесперспективны. Лучшие результаты обещает иное: для компенсации недостатков статической машинной оценки смотреть более длинные варианты. Действительно, машины сделали много «зевков» из-за того, что недостаточно глубоко смотрели.

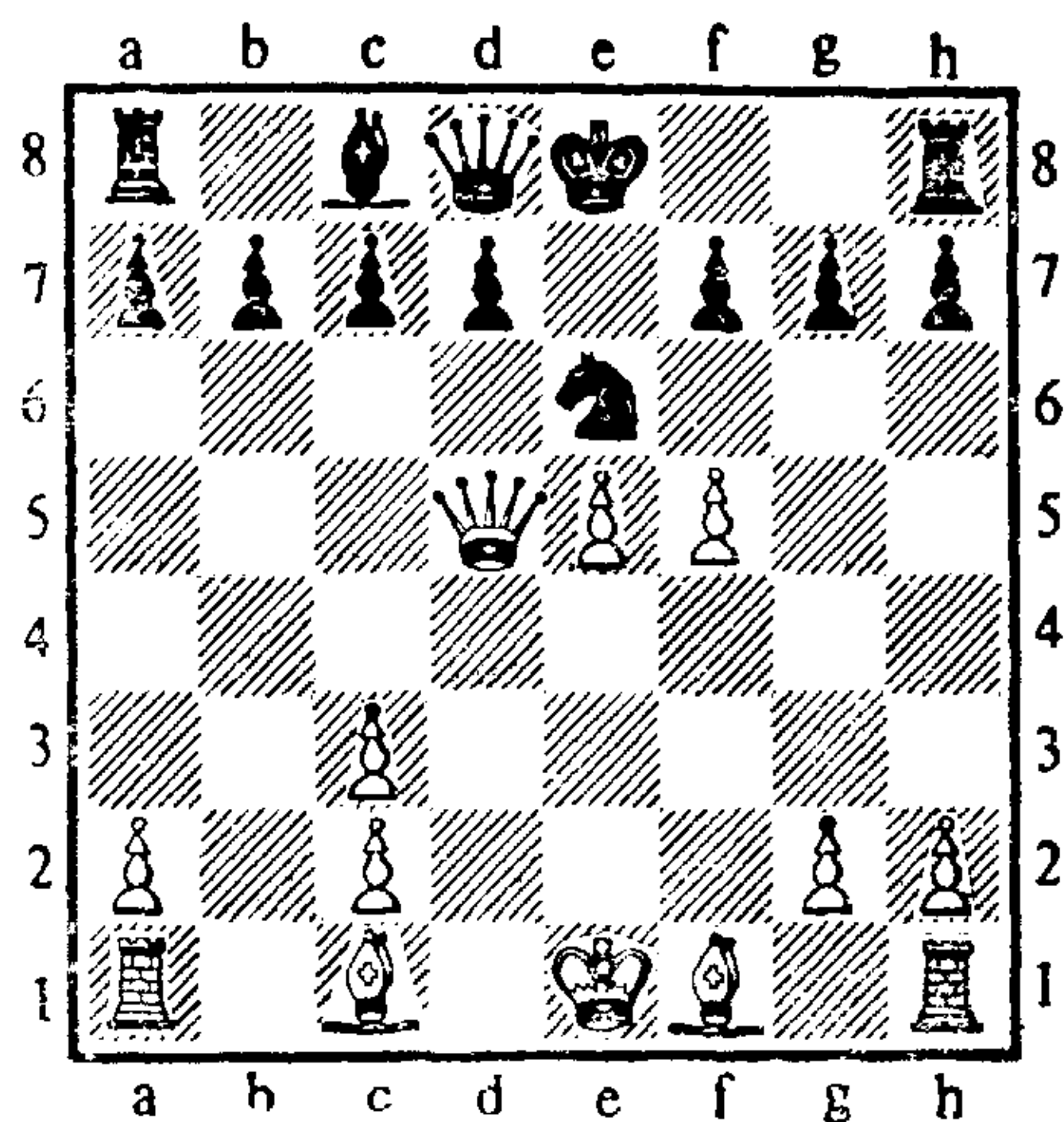
С ростом глубины перебора машинное время растет очень быстро (в модели А часто более, чем в 40 раз при увеличении на два полухода). Поэтому Шеннон предло-

жил увеличить модель «в глубину» за счет ее сокращения «в ширину». Как мы говорили выше, машина создает очереди шахматных ходов из позиций в порядке ожидаемого качества. В модели В для позиций каждого уровня (количества полуходов, ведущих в данную позицию из начальной позиции модели) задано, сколько первых в очереди ходов можно из нее смотреть. Остальных ходов как будто нет. Напри-

мер, в 3, 2, 2,1, 1-модели из начальной позиции разрешены три хода, из возникающих после них позиций — по два, ведущих в позиции, из которых тоже разрешены два хода, после них разрешено по одному полному ходу (ходу одной стороны и ответу другой), а уж после них возникают модельно-заключительные позиции (рис. 7).

Характерная черта моделей Шеннона — «волюнтаристские» решения. Глубина перебора (в моделях А и В), количество разрешенных ходов (в модели В) не зависят от качественных характеристик позиций и процесса перебора. К чему приводят такие решения? Статические признаки позиции, прежде всего соотношение материала, могут быть неустойчивыми, т. е. подверженными изменению на ближайших ходах. Вычисленная по неустойчивым признакам статическая машинная оценка часто не соответствует истинной. Так как глубина перебора зафиксирована раз и навсегда, неустойчивость признаков не учитывается, а по правилу Цермело ошибки распространяются на другие позиции модели. Так, ход 1. b4 из позиции, изображенной на диаграмме 16, в модели А глубины 2 проигрывает пешку: после ответа 1. ...bc возникает модельно-заключительная позиция. Однако белые отыгрывают пешку уже следующим ходом 3. Кр:а6 или 3. Кр:с6*.

Что может произойти, когда машина не смотрит всех ходов из позиций? На диаграмме 17 черный конь е6 ата-



17

* Хотя такой эффект можно было бы предвидеть, он был обнаружен лишь после того, как была создана программа, реализующая идеи Шеннона, причем вызвал некоторое удивление.

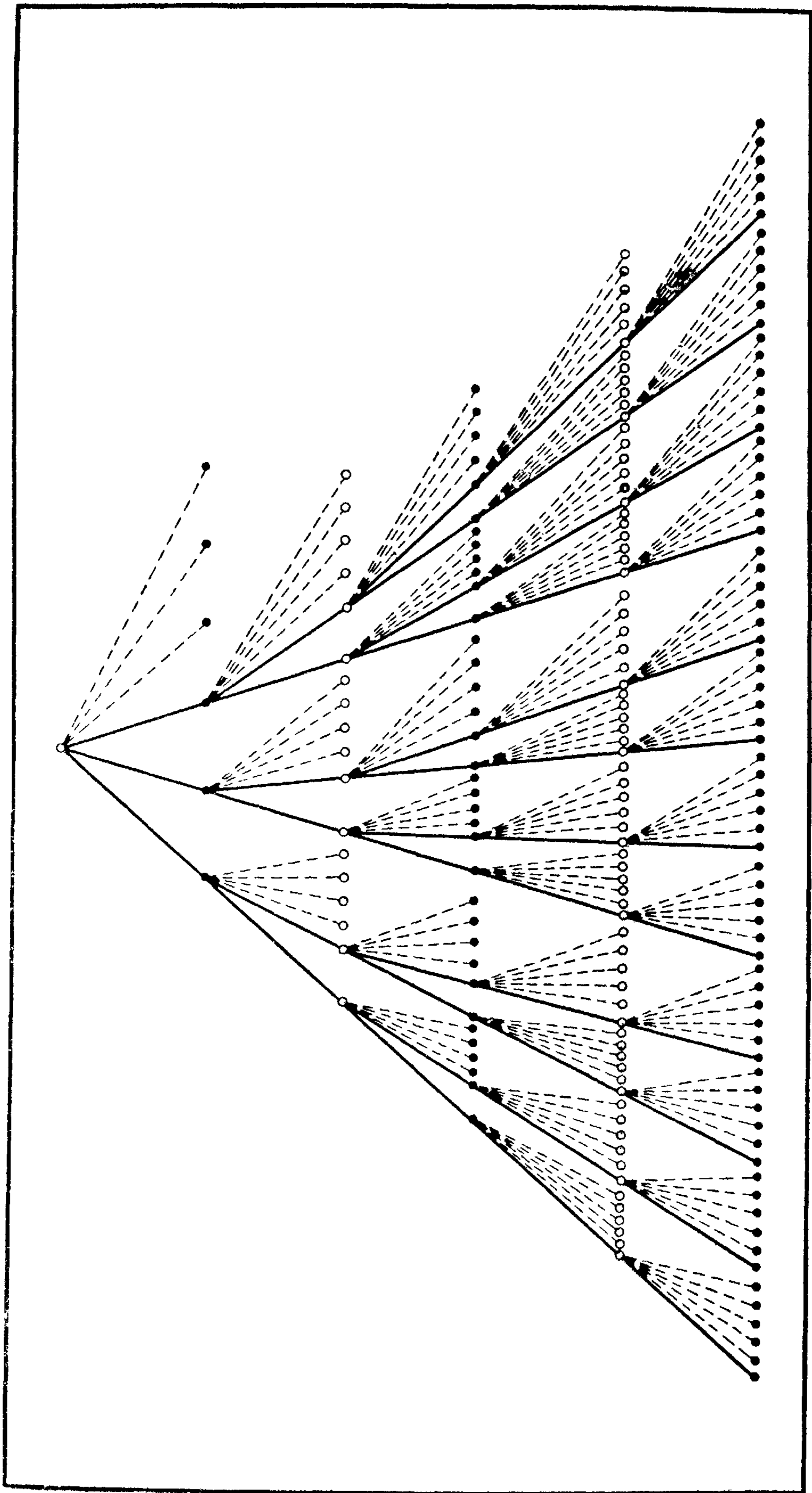


Рис. 7. 3, 2, 2, 1, 1-модель (сплошная линия — ходы, разрешенные в модели, пунктирная — запрещенные)

кован и должен отступить. Конкурируют два отступления: 12. ...Kg5 и 12. ...Kf8. После второго у черных нет развитых фигур, но что будет после первого? Машина, руководимая программой, пользующейся 7, 3, 3,1, 1,1-моделью, смотрит, как ответят белые. Они еще не закончили развития — значит, представляет интерес, например, ход 13. Сс4 (машина еще больше будет его ценить, если «увидит», что слон с поля с4 сквозь ферзя d5 бьет на f7, но заметить это до того, как будут рассмотрены ходы из позиции, возникающей после 12. ...Kg5 13. Сс4, способна далеко не всякая программа). Следует рассмотреть и взятие единственной развитой фигуры черных: 13. С:g5. Только в процессе перебора обнаружится, что ответный ход 13. ...Ф:g5 развивает черного ферзя. Заслуживает внимания и дальнейшее продвижение центральных пешек: 13. e6 и 13. f6. Они окажутся весьма близко к лагерю противника и могут сильно его стеснить.

Ну а ход 13. h4? Нападает на коня, но это единственное его достоинство. Зато к центру он не имеет отношения (а все перечисленные ходы, кроме движений пешек, имеют), до короля черных от пешки h4 далеко, а расположение пешек в районе будущей рокировки портится. Конь же уходил от пешек, — наверно, и теперь уйдет... Приблизительно так можно перевести на человеческий язык мысли машины (а о своей машине каждый говорит, как о живом существе), когда она сначала приписала рассматриваемому ходу большой номер в очереди, а затем на основе заранее принятого принципа не стала его смотреть. Не рассмотрев последствий продолжения варианта 12. ...Kg5 13. h4, машина выбрала его начальным ходом.

Теперь ту же позицию стал изучать противник — другая машина, руководимая другой программой. Для нее ход h4 делается непосредственно из корня дерева модельной игры, и даже программа черных на ее месте, возможно, рассмотрела бы его. Но эта программа вообще смотрит все ходы из позиций не очень большой глубины. Она не возлагала особых надежд на этот ход и посмотрела, когда подошла его не очень близкая очередь. Посмотрев же, обнаружила, что коню уйти некуда, и выбрала.

Ошибка черных — ход 12. ...Kg5 не является следствием какой-либо одной причины. Разумеется, лучше посмотреть ответ 13. h4, чем не смотреть его. Но ведь

какие-то ходы все равно придется не смотреть. Если бы было разрешено больше ходов из позиций первого уровня, то машина черных заметила бы проигрыш коня. Но можно, не меняя количества разрешенных ходов, более высоко ценить нападение пешки на коня, тогда ход 13. h4 получил бы меньший номер в очереди и попал бы в модель. Можно учитывать еще более широкий набор обстоятельств. Внимательнее посмотрев на позицию, которая возникла после хода 12. ...Kg5, машина могла бы заметить, что коню с g5 некуда уйти и, значит, хорошо бы напасть на него пешкой.

Ни одно из таких изменений программы не усилит ее «бесплатно». Если повысить ценность нападения пешек на легкие фигуры, то из других позиций машина будет смотреть вместо разумных ходов бессмысленные движения пешек. Остальные из предложенных выше изменений требуют дополнительного времени работы машины. Его можно получить лишь за счет сокращения работы других частей программы, что приведет к ошибкам в других позициях. Значит, нельзя просто устранять конкретные шахматные ошибки. Нужно искать общие пути построения разумных моделей. В следующей главе мы рассмотрим некоторые из них.

ШАХМАТНАЯ ПРОГРАММА И ШАХМАТНАЯ ТЕОРИЯ

Создавая шахматную программу, мы хотим проверить разные алгоритмы, сравнить их игру и в зависимости от результатов сравнения корректировать старые алгоритмы и придумывать новые. Для этого нужна не изолированная программа, а, по существу, система программ. Ее состав будет меняться в процессе исследования так же, как и связи между отдельными подпрограммами. Аналогичным образом устроенные системы нужны, когда на машине должны решаться задачи комплекса переменного состава и когда перед решением на машине же выбирается алгоритм.

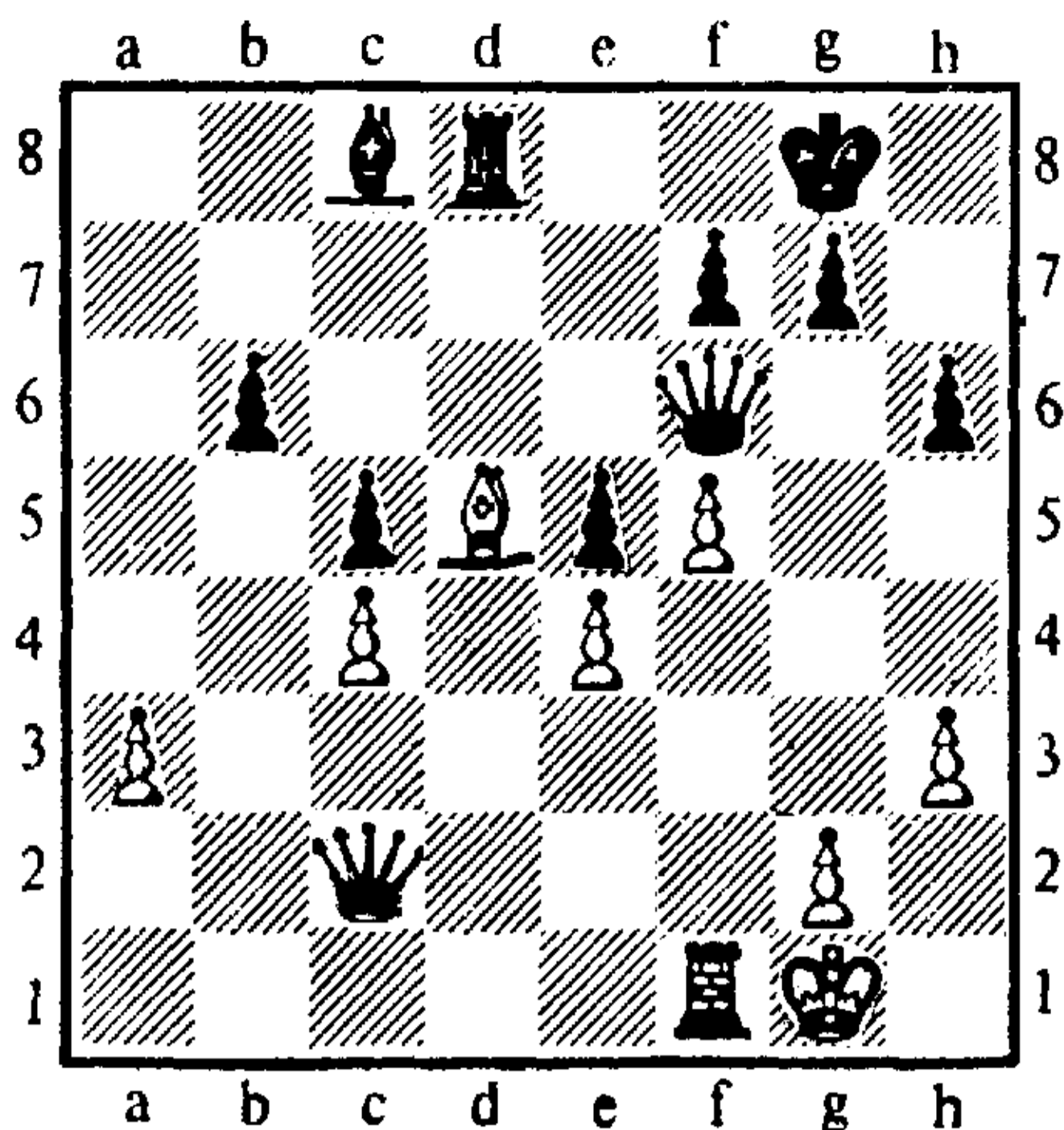
При создании шахматных программ были задуманы, разработаны и использованы некоторые общие принципы и технические приемы*. Ныне эти принципы и приемы

* Все же проблемы общей структуры системы программ — и, особенно, коллективного программирования системы (один человек не справится) — пока не решены удовлетворительно, а потому спрос на них явно опережает предложение.

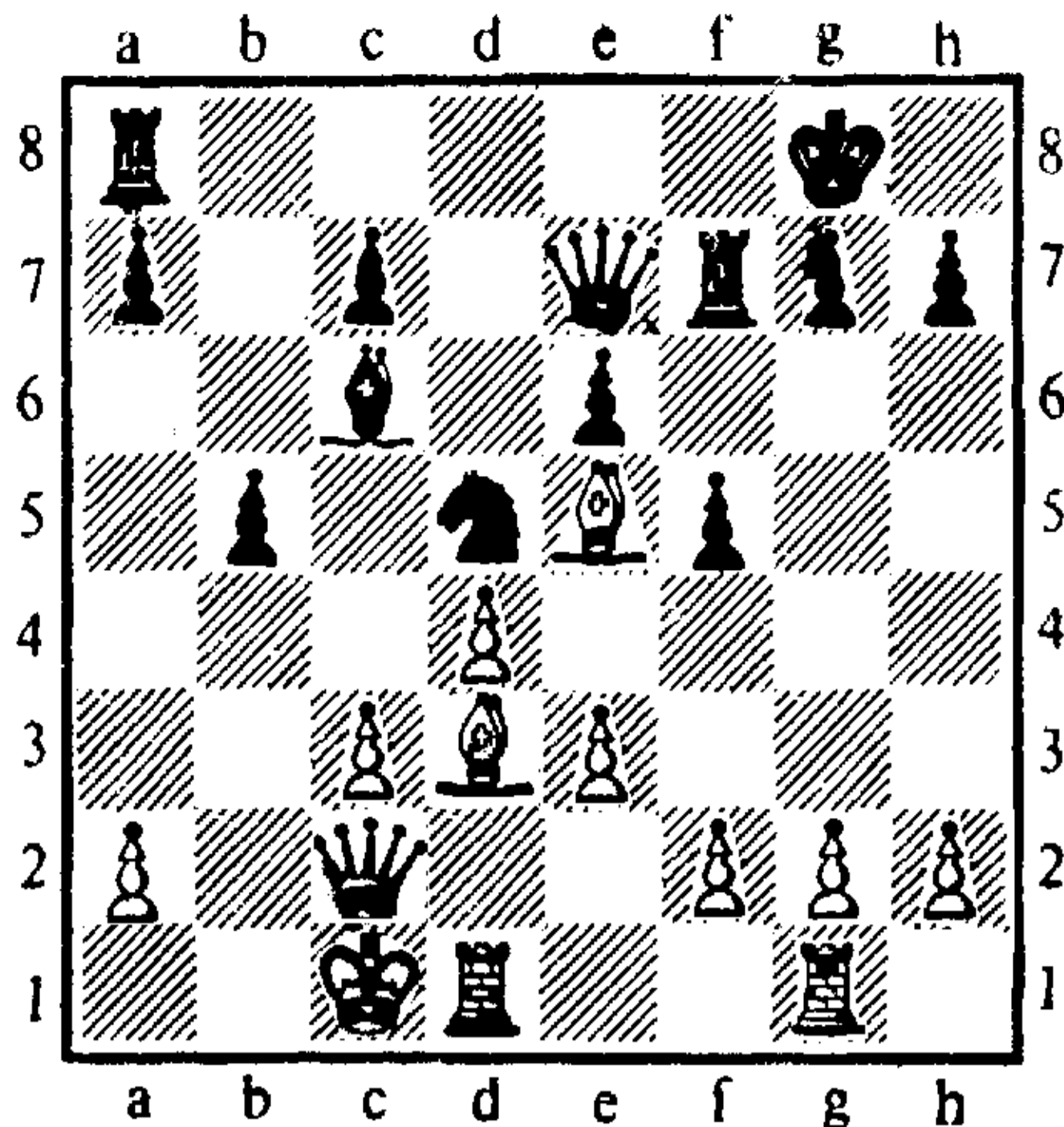
широко применяются, а происхождение их забыто. В их числе так называемые проблемно ориентированные языки. В отличие от общих языков программирования, такой язык обладает словарем понятий, имеющих отношение к конкретным задачам. Состав словаря и структура связей между его элементами называются семантикой данного языка. Прежде чем перейти к шахматным моделям, более «хитрым», чем модели Шеннона, сделаем несколько замечаний о семантике шахматных программ (в дальнейшем мы неоднократно будем возвращаться к вопросам семантики, часто не оговаривая этого).

Элементарные объекты общеигровой семантики — понятие позиции как момента игры, хода как возникновения новой позиции, противников, очереди хода, заключительной позиции и ее оценки, целей противников в игре — специфически шахматные: доска, ее поля, король, ферзь, ладья, слон, конь, пешки белых и черных, линии хода фигур, их начало и конец, линия хода конкретной фигуры. Через эти понятия определяются более сложные объекты, общеигровые — дерево игры, оценка позиции (необязательно заключительной), очередь ходов, лучшие, плохие, опровергающие ходы — и шахматные — позиция как расположение фигур на доске с указанием очереди хода (иногда еще возможности рокировок, взятия на проходе с дополнительной информацией для применения правил о повторении позиции и пятидесяти ходах), ход как движение фигур по доске. На следующем уровне: шах, мат, пат, ничья вследствие повторения позиции или правила пятидесяти ходов, конкретные правила ходов. Еще выше понятия, связанные с алгоритмами, реализуемыми частями системы — подпрограммами: правила Цермело и отсечения, служба лучших ходов, правила ее создания и использования и т. д.

Нас особенно интересует шахматная теория как источник семантики шахматных программ. В моделях Шеннона такая семантика нужна лишь для вычисления модельных оценок и номеров ходов в очередях. То и другое требует определения статических признаков позиции. Шеннон полагал, что сделать это будет не так уж трудно. Действительно, язык описания обстоятельств в позиции, существенных для ее оценки, в шахматной теории весьма богат. Однако даже сильные шахматисты затрудняются ответить на вопрос, имеет ли место то или иное обстоятельство в данной позиции. Почему, например, в позиции



18



19

на диаграмме 18 (партия Ботвинник—Кан, Ленинград, 1934 г.) белый слон d5 стоит и «хорошо работает», а про слона e5 на диаграмме 19 (партия Тейхман—Чигорин, Кембридж-Спрингс, 1904 г.) этого сказать нельзя.

Существуют два подхода к решению вопроса о том, какими признаками обладает данная конкретная позиция: создание системы более или менее точных определений (для машины — абсолютно точных), позволяющих описать данный признак через более простые и в конечном счете через элементарные признаки положения фигур на полях и линиях доски, и обучение на примерах. Человек применяет оба подхода, но чаще второй; машина же — почти исключительно первый.

Адепты искусственного интеллекта много занимались проблемой обучения машины распознаванию признаков по наборам примеров их наличия и отсутствия (немало писали и говорили об этой проблеме «стоящие около»). Есть определенные достижения, в основном относящиеся к тем задачам распознавания, которые человек как раз решает плохо*. Были попытки применить распознавание образов в шахматных программах, но пока без особого успеха.

Создатели шахматных программ в основном действуют по принципу «пусть учатся программисты, а не машина».

* Об успехах и неудачах машинного распознавания образов лучше всего сказано в книге М. М. Бонгарда «Проблема узнавания» (М.: Наука, 1967).

Мы последуем их примеру, хотя и не считаем дело обучения машины игре в шахматы совсем уж бесперспективным. Просто нам пока нечего о нем сказать. Что же касается признаков, имеющих точные формальные определения, то о них можно сказать многое: привести (довольно полный) список признаков, используемых современными шахматными программами для вычисления модельных оценок; обсудить, как понимают эти признаки шахматисты и почему в программах не используются некоторые признаки, которые шахматисты рассматривают в одном ряду с используемыми.

1. Соотношение материала в позиции. Выше было указано, как оно считается. Так же, по нашему мнению, считают его шахматисты. Однако они иногда идут на позиционные жертвы материала, не подтверждаемые точным расчетом*, а машина — точнее, современные сильные программы — нет (замечание о жертвах относится не к признаку, а к его использованию).

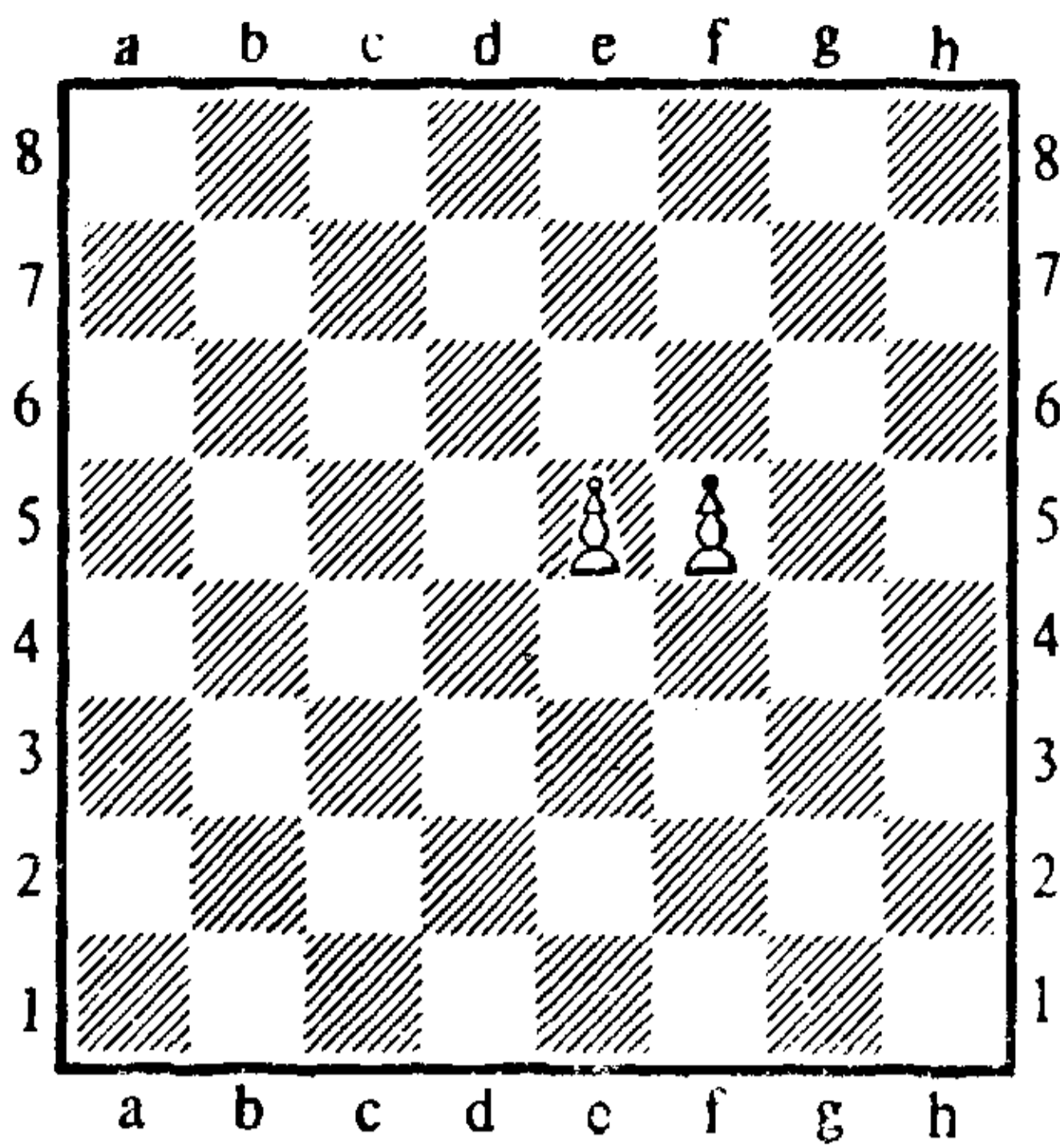
2. Пешечная фаланга — пара пешек, стоящих рядом на горизонтали (диаграмма 20). Шахматист понимает фалангу так же. Однако он не ставит вопроса, сколько фаланг в позиции, где рядом стоят три или более пешек, а программа его ставит и решает: их на одну меньше, чем стоящих рядом пешек.

3. Пешка в центре — для белых на полях e4, e5, e6, d4, d5, d6, для черных на полях e5, e4, e3, d5, d4, d3.

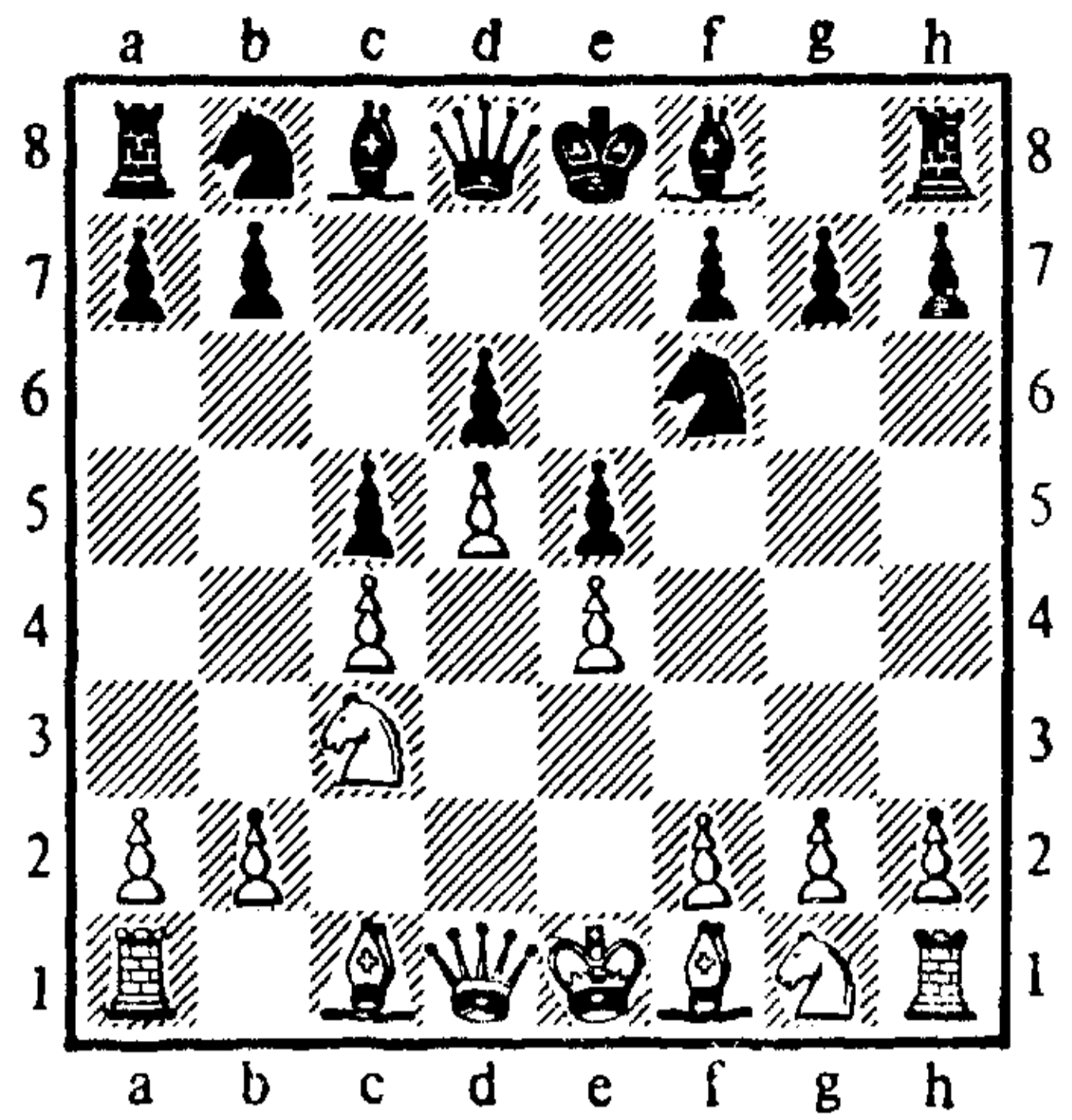
4. Удар пешки на центр — на те же поля. Шахматисты рассматривают проблему «пешка и центр» не столь формальным образом. Она состоит в контроле над важными полями доски, какими обычно бывают центральные, и в блокаде проходящих через центр линий: пешечный удар — сильное средство для контроля над полем, а пешка лучше других фигур выполняет функции блокады. Однако в конкретных позициях состав центральных полей неодинаков. Кроме того, пешечные удары на них могут иметь разное значение, в связи с чем язык описания отношений пешек к центру неформален и более богат.

Признаки 5—9 шахматисты и машины понимают одинаково, поэтому формальных определений не будет

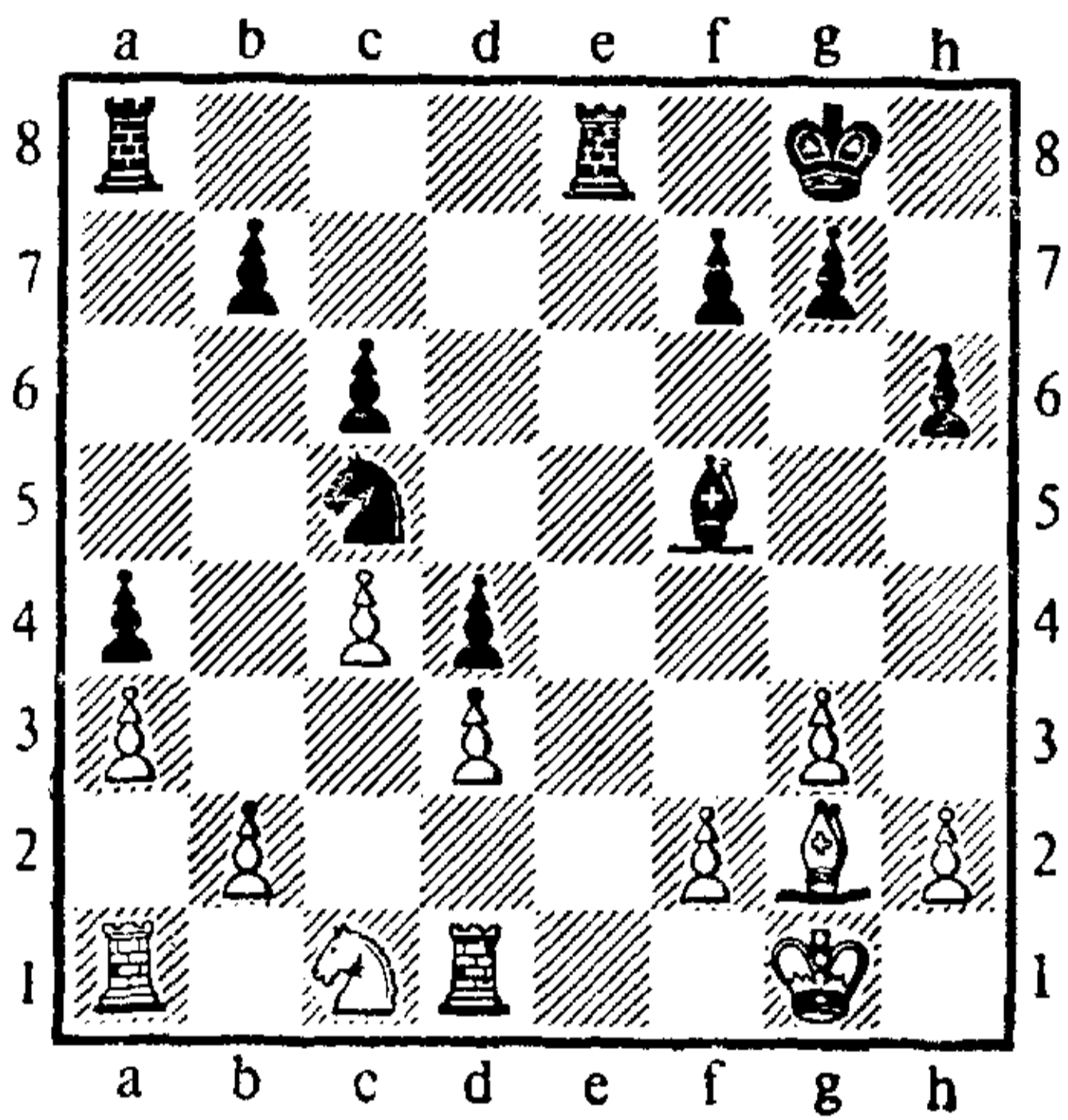
* Гроссмейстер Р. Шпильман только их считал настоящими жертвами и посвятил им книгу «Теория жертвы» (М.; Л.: ОГИЗ, 1936).



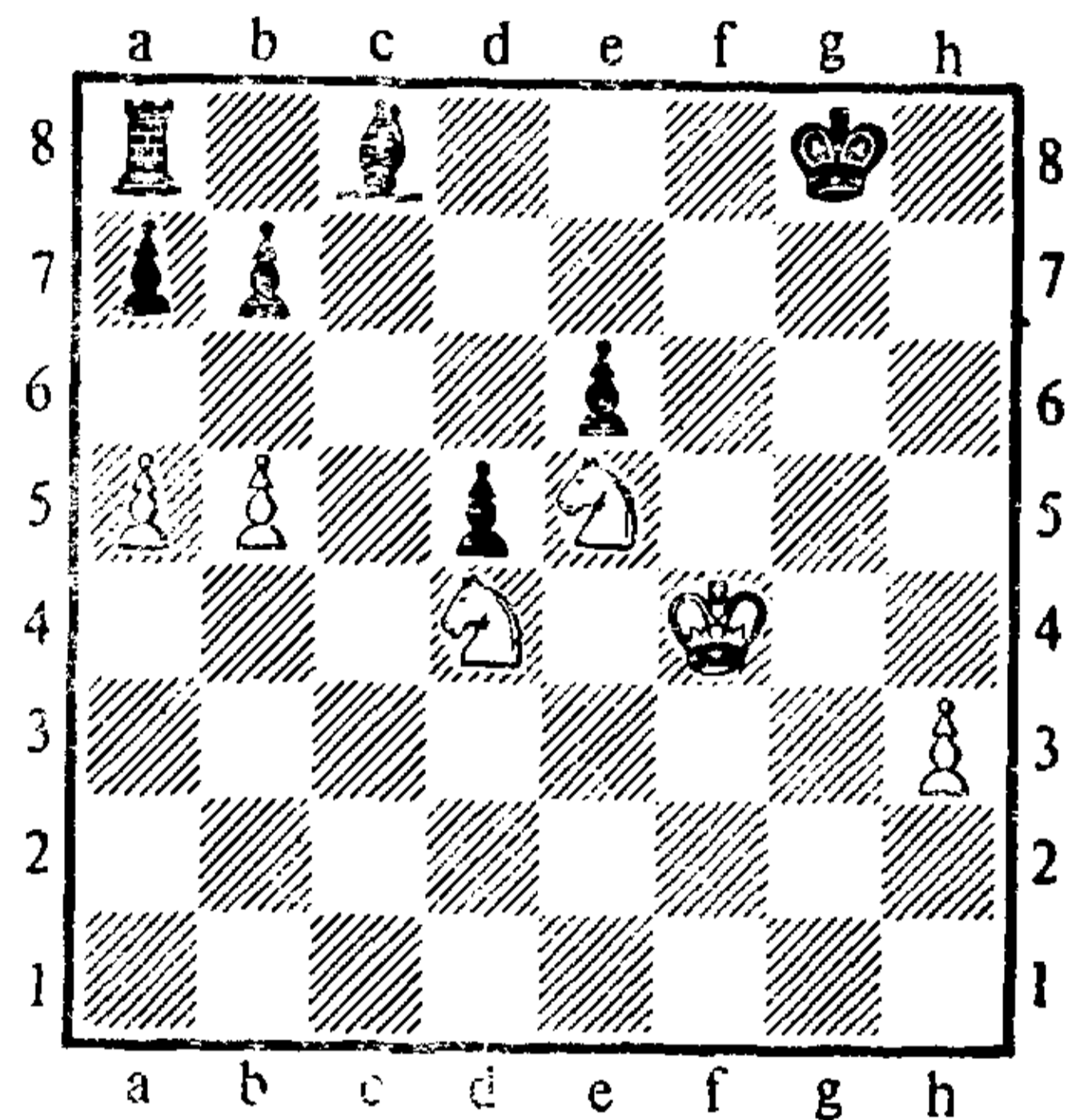
20



21



22



23

5. Проходная пешка.
 6. Изолированная пешка.
 7. Сдвоенные пешки.
 8. Сдвоенные изолированные пешки.
 9. Изолированная пешка на полуоткрытой линии.
- Одна и та же пешка может быть, например, изолированной и проходной (но тогда уже обязательно изолированной на полуоткрытой линии).

10. Слабое поле (дырка) — поле, находящееся под ударом пешки противника, на которое свои пешки не бьют и не могут бить в будущем, если не перейдут на другую вертикаль в результате взятия. Шахматисты не столь формально подходят к этому понятию: характерным признаком слабого поля является то, что фигуры

противника могут с него «простреливать» важные поля, причем их нельзя или по крайней мере очень трудно прогнать либо уничтожить. На диаграмме 21 поле d4 — слабое для белых согласно приведенному выше формальному определению, но черные фигуры не могут на него попасть. Такие поля шахматные теоретики обычно называют мнимо слабыми.

Есть слабые поля, удовлетворяющие не приведенному формальному определению, а другим, например поля перед изолированной пешкой, не находящиеся под ударом пешки противника или такие, как c5 на диаграмме 22 (каждому виду слабого поля удобно отнести отдельный признак). Однако такие слабости часто бывают мнимыми. Еще один вид слабых полей — d4 и e5 на диаграмме 23. С этих полей осуществляется блокада пешечной цепи e6, d5*. Дать формальное определение блокады пешечной цепи не совсем просто, еще труднее определить признак возможности такой блокады (вряд ли можно дать определения подобных понятий одновременно формальные и исчерпывающие; если же формальное определение сравнительно широкое, то распознавание соответствующего признака в данной позиции может оказаться довольно трудоемкой операцией).

11. Слабая пешка, стоящая на поле, перед которым расположено слабое поле той же стороны. Разница во взглядах машины и шахматиста состоит в том, что последний определяет слабое поле неформально.

12. Открытая вертикаль — на которой нет пешек.

13. Полуоткрытая вертикаль для данной стороны — на ней есть только пешка или пешки другой стороны.

Два последних признака сами по себе не ценятся. Имеют цену некоторые их сочетания с другими «элементарными» признаками. Таковы, например, комбинации признаков: изолированная пешка на полуоткрытой вертикали, ладья одной из сторон на открытой или полуоткрытой для этой стороны вертикали и т. п. Признаки 2—13 зависят только от расположения пешек на доске, появляются и исчезают только после ходов пешками и взятий последних. Значит, после других ходов их можно просто переносить из предыдущих позиций. Эти признаки программисты позаимствовали у шахматистов, но отно-

* См.: Нимцович А. И. Моя система. М.: Физкультура и спорт, 1974.

сятся к ним более формально. Например, шахматист не обращает внимания на слабое поле, если фигуры противника не могут его оккупировать, а машина ценит такое поле всегда одинаково.

Перейдем к признакам, зависящим не только от положения пешек, а и других фигур. В шахматной теории для них нет установившихся названий, да и сами признаки какие-то зыбкие. Пришлось придумывать свои.

14. Возможности. Эти признаки должны отразить то, что шахматисты называют подвижностью фигур. Возможностью фигуры, в том числе и пешки, является любое, находящееся под ее ударом поле, даже если оно и занято своей фигурой или пешкой (которые она защищает). Таким образом, количество возможностей отражает подвижность фигуры (на поле, занятое фигурой того же цвета, нельзя пойти, но такая возможность отражает факт защиты фигуры). Возможности разных фигур ценятся по-разному. Шахматист еще учитывает факторы, сковывающие движения фигур. Простейшие из них — связки. Можно дать формальное определение связки, столь же близкое к содержательному, как, например, приведенное выше определение слабого поля.

Возможности фигур машина находит «по дороге» для того, чтобы найти ходы из данной позиции (возможности, поля которых не заняты своими фигурами, определяют соответствующие ходы). Многие возможности не находятся заново, а переносятся из предшествующей в дереве игры позиции. В то же время для определения связки в данной позиции нужно снять предположительно связанную фигуру с доски и посмотреть, не возникнет ли новый удар на фигуру достаточной ценности или незащищенную (хотелось бы распознавать и удар на недостаточно защищенную фигуру, но для этого нужен дополнительный перебор).

Если позиция не является модельно-заключительной, то связки в ней можно найти в процессе перебора: когда мы попробуем сделать ход связанной фигурой, скрытый удар станет явным. То же следует сказать о другом сковывающем движение фигуры факторе — необходимости защищать какую-либо фигуру или поле: когда будет сделан ход скованной фигурой, защищаемая фигура будет проиграна или произойдет вторжение противника на защищаемый пункт. Однако признаки скованности фигур нужны нам как раз в модельно-заключительных позициях,

и «дешевые», но динамические алгоритмы их определения не годятся. Правда, пока не был использован многообещающий подход: находить такие обстоятельства в одних позициях и переносить информацию в другие.

15. Удар на старшую фигуру противника — фигура одной стороны стоит на поле, являющемся возможностью фигуры противника меньшей материальной ценности.

16. Удар на незащищенную фигуру противника — фигура одной стороны стоит на поле, являющемся возможностью фигуры противника и притом не являющемся возможностью своей фигуры, которая ее бы защищала.

17. Двойной удар (вилка) — не менее двух ударов одной стороны на различные старшие или незащищенные фигуры.

18. Удар легкой фигуры на слабое поле противника.

19. Легкая фигура стоит на слабом поле противника.

20. Конь стоит в центре — на тех же полях, что и для признака «пешка в центре».

21. Ладья (ферзь) бьет на открытую или полуоткрытую линию.

22. Ладья (ферзь) стоит на открытой или полуоткрытой линии.

23. Ладья белых стоит на 7-й или 8-й горизонтали. Тот же признак у другой стороны — ладья черных на 1-й или 2-й горизонтали.

Перечисленные признаки определяются статически, но могут в некоторой степени отразить динамику игры. Образовать слабое поле противника следует для того, чтобы в дальнейшем атаковать его легкой фигурой, а затем оккупировать. Точно так же ладья должна сначала атаковать поле, лежащее на открытой линии, затем встать на него и, наконец, вторгнуться в «обжорный ряд». В свою очередь противник должен противодействовать этим планам и добиться позиций, в которых соответствующие признаки будут отсутствовать.

24. Удар на поле, соседнее с королем противника, т. е. на его возможность.

25. Ферзевая возможность короля — поле, которое было бы возможностью ферзя, если бы он стоял на месте короля. Встав на него, ферзь противника (с полей вертикальных и горизонтальных возможностей также и ладья, а с полей диагональных возможностей — слон) дает шах королю. Если таких полей много, то позиция короля открытая.

26. Удар на ферзевую возможность короля фигурой противника, которая даст с этого поля шах.

А что же удар самого короля? Он не ценится, так как даже в модели Шеннона король не может стоять под шахом в заключительной позиции (если это не мат). Нужно сделать ход.

27. Сделана рокировка.

28. Потеряна короткая рокировка — ходила ладья, стоявшая в начальной позиции на линии h.

29. Потеряна длинная рокировка — ходила ладья, в начале стоявшая на линии a.

30. Потеряна рокировка — ходили обе ладьи или король.

Признаки 24—30 связаны с атакой на короля и защитой от нее, о которых в партии надо помнить почти всегда. В миттельшпиле обычно полезно рокировать. Позиции, вроде изображенной на диаграмме 24 (матч Ботвинник—Левенфиш, 1940), где вариант 13. f4 Fe7 14. Krf2 решает проблемы развития, — редкость.

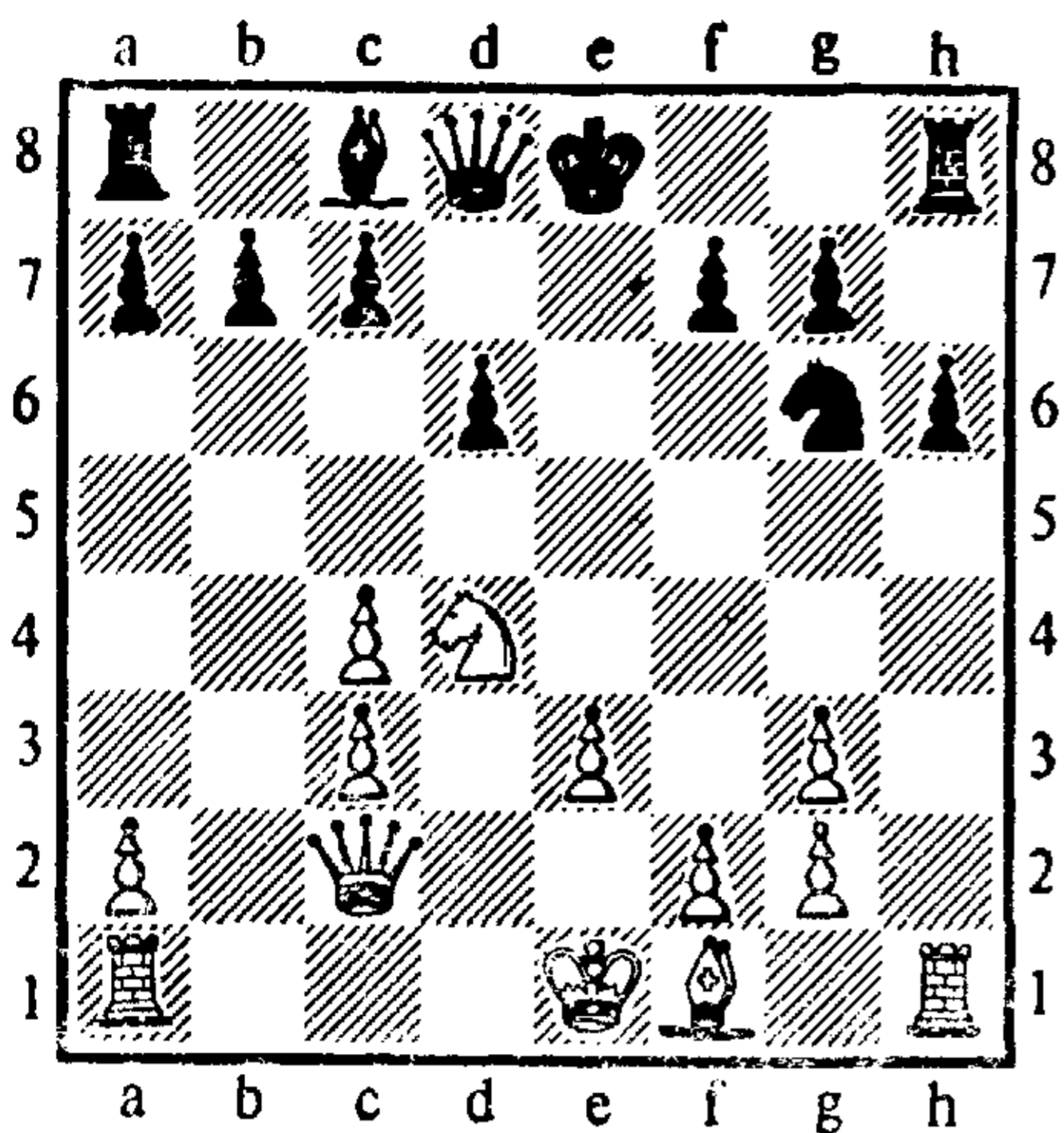
Следующие два статических признака были включены, чтобы избежать ошибок в конкретных позициях, но в дальнейшем себя оправдали:

31. Удар слона на любую фигуру противника (не пешку).

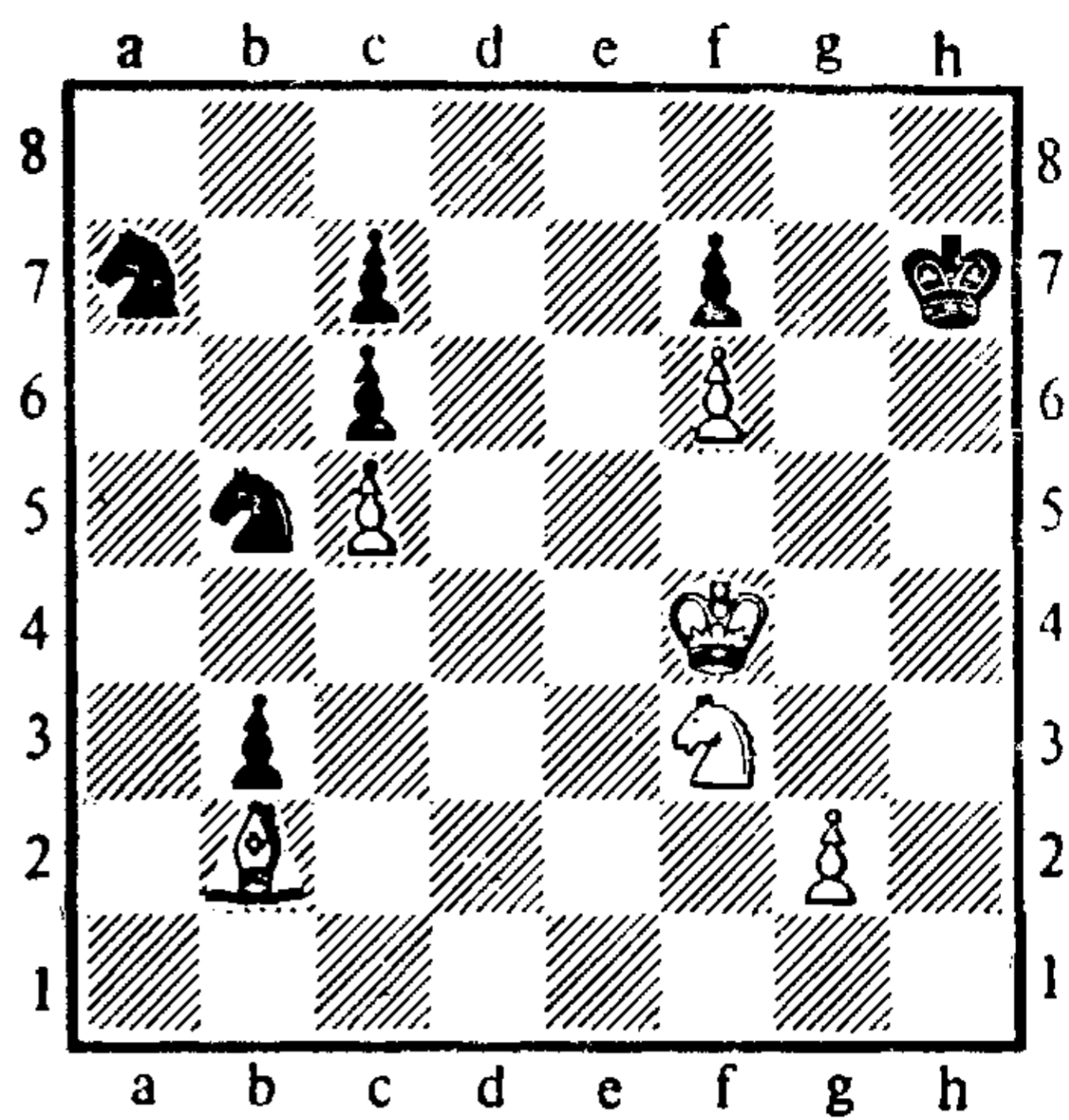
32. «Гвоздь», т. е. любая фигура или пешка перед пешкой противника, стоящей на первоначальном месте с линии с по линию f. Такая конфигурация разобщает фланги противника.

Как видим, учитываются только простые признаки. Многие из них были известны еще до Стейница. Другие придуманы специально для шахматных программ. Отметим очень важное обстоятельство: почти все признаки «стоят на доске», т. е. можно указать поле (иногда группу полей), к которому данный признак относится. Это обстоятельство справедливо также для многих не столь простых признаков. Шахматисты используют их для составления и проведения глубоких планов игры, машина пока использует их только для вычисления модельных оценок. Отметим еще, что необходимость давать формальные определения слишком огрубляет машинные признаки.

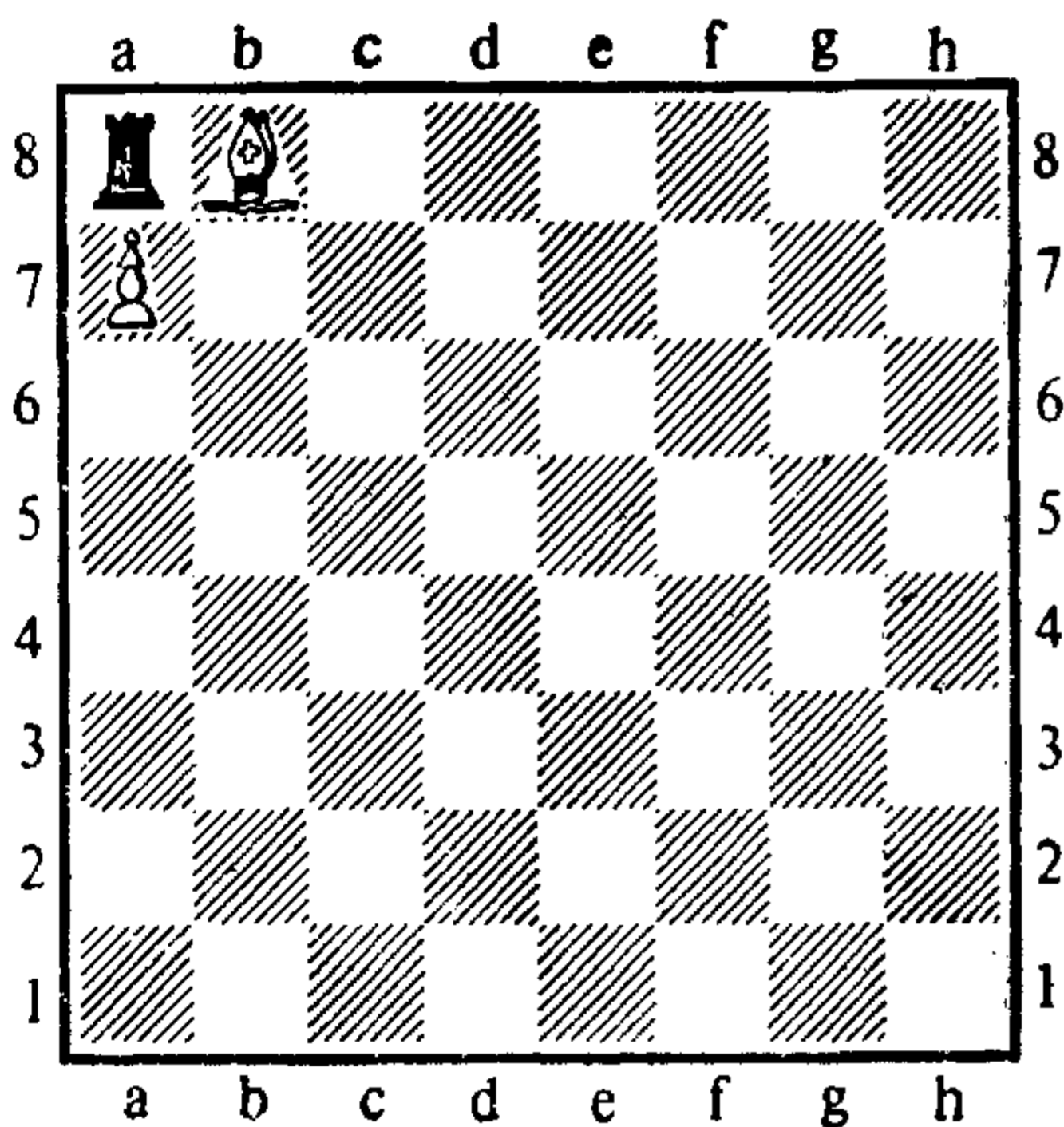
Что помешало использовать в программе другие признаки, которые для шахматистов не принципиальным образом отличаются от признаков из списка? Рассмотрим несколько примеров.



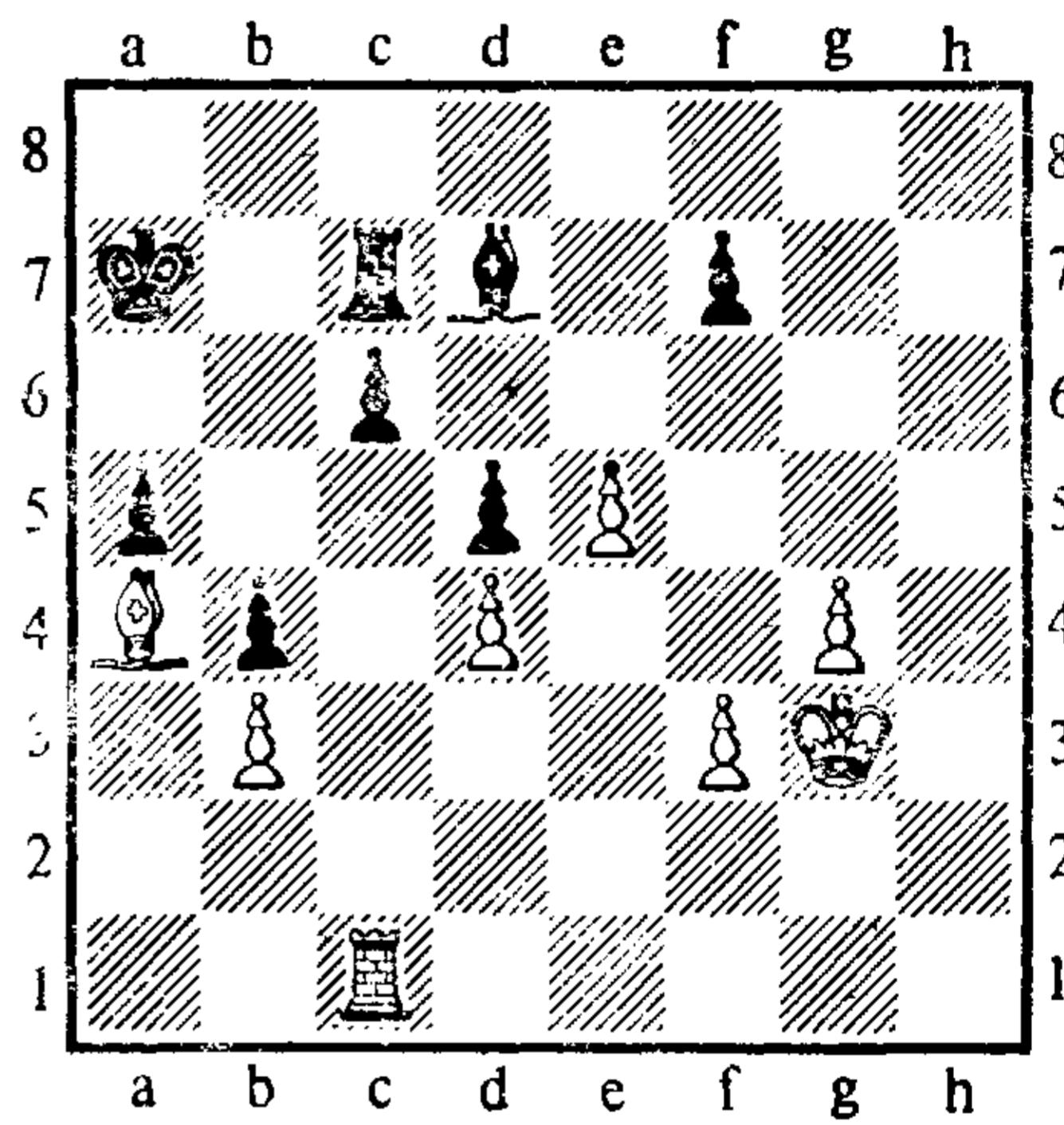
24



25



26



27

Кандидат в проходные пешки. Вот примеры (рис. 8) кандидатов (над пешкой поставлен знак +), не кандидатов (—) и пешек, о которых мы не решили, отнести ли их к классу кандидатов в проходные (?). Нам не удалось на основании этих примеров дать формальное определение.

Деплассированная фигура — случай, возникший после хода 1. ...K_g5 из позиции, изображенной на диаграмме 17, формально определить нетрудно: каждая возможность коня g5 либо находится под ударом пешки противника, либо под ударом фигуры (но тогда она не защищена), либо занята черной фигурой. Однако дело может обстоять и не так просто. Как, например, выяснить, что на диаграмме 25 черные кони деплассированы, если они могут «трепыхаться в своей клетке» — на полях a7,

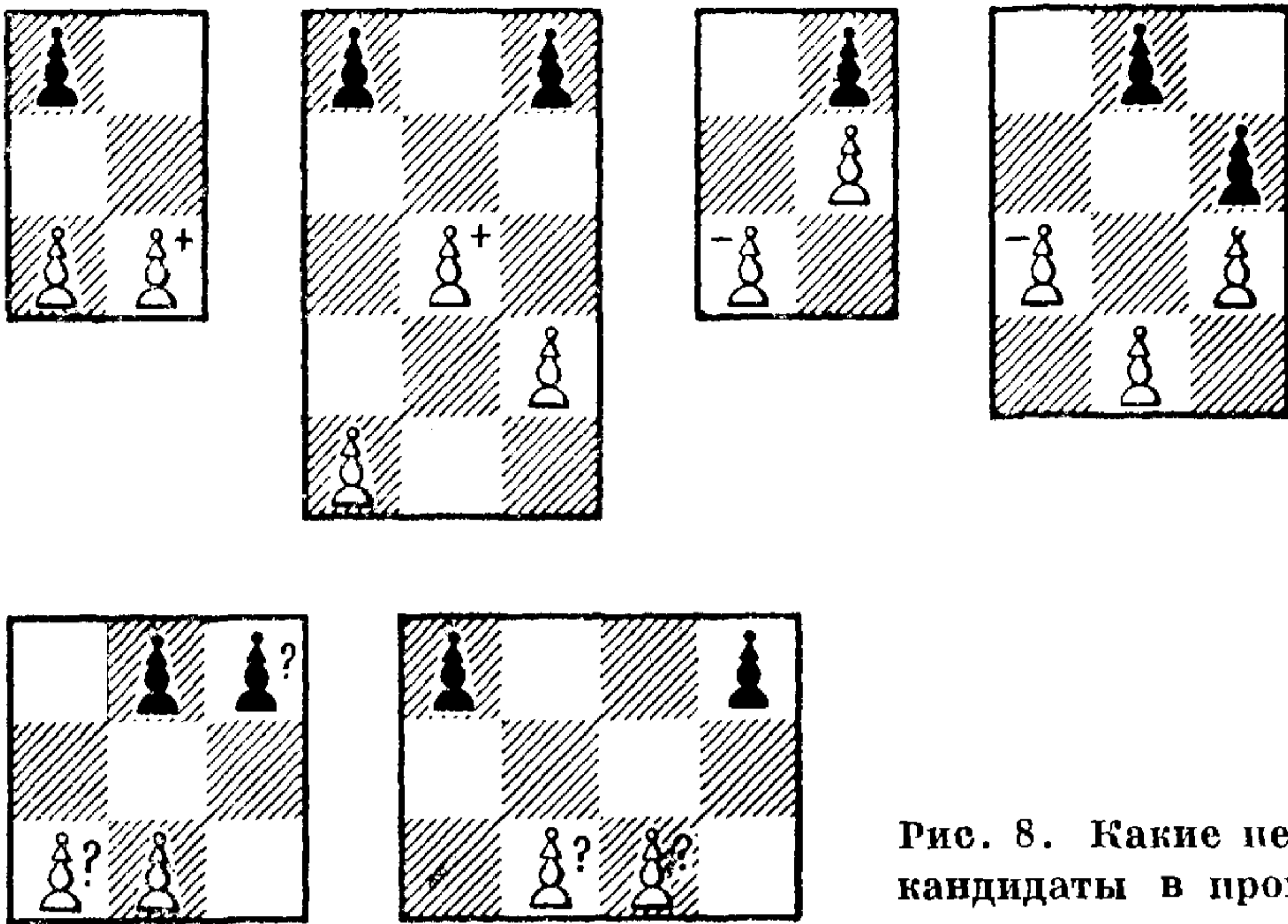
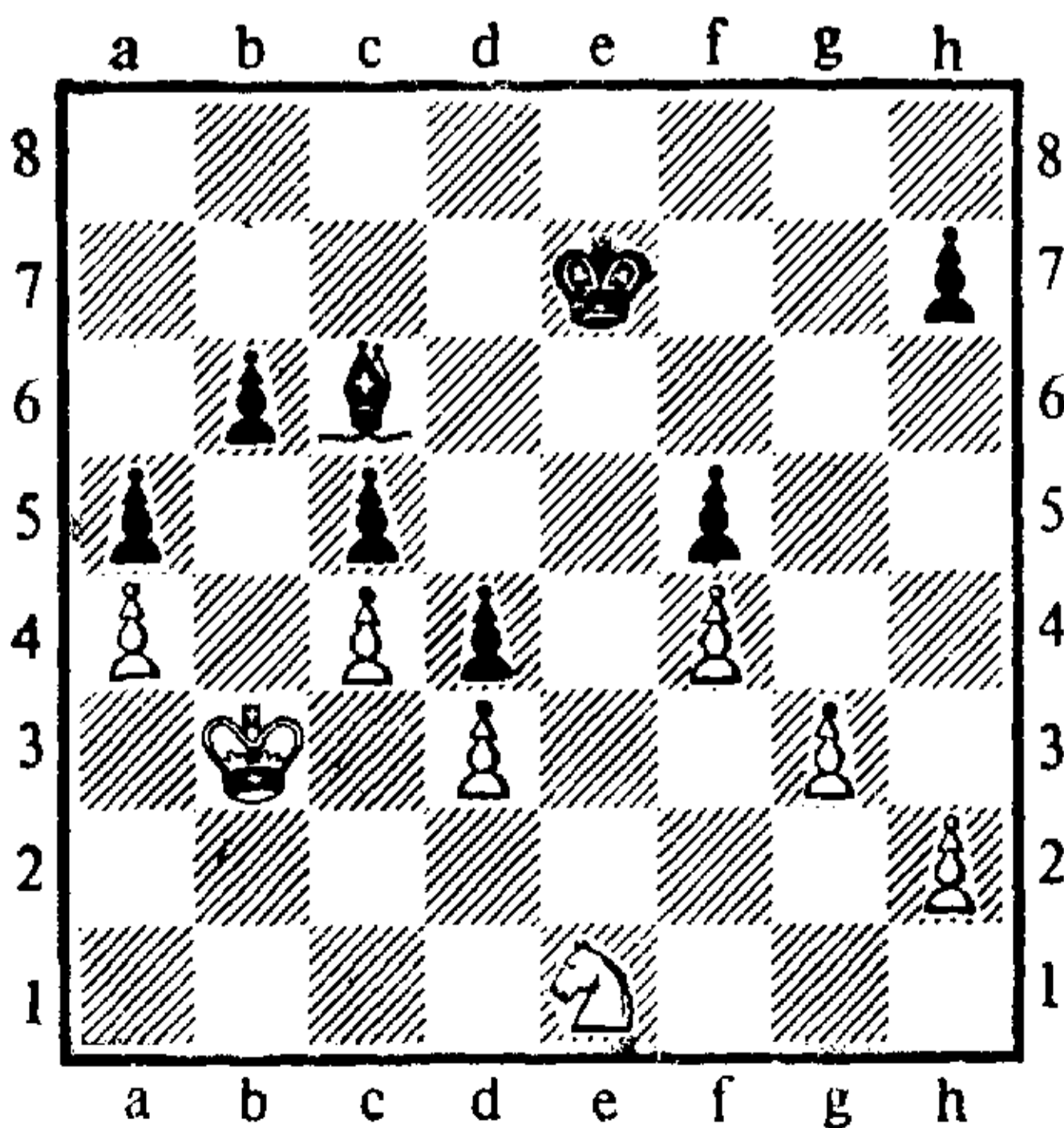


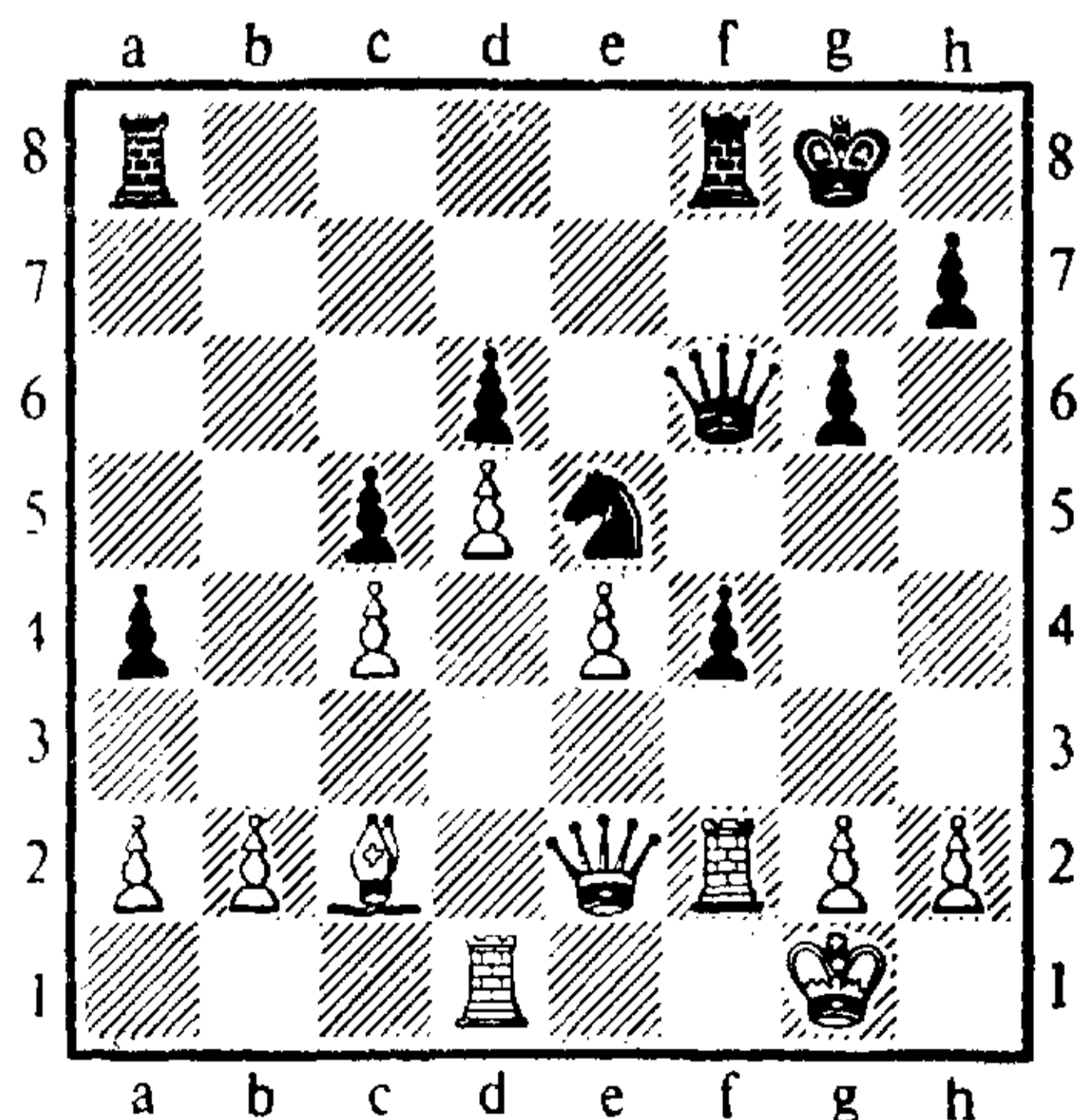
Рис. 8. Какие пешки — кандидаты в проходные?

b5 и c8. Кроме того, оценка деплассированной фигуры должна зависеть от многих непростых обстоятельств. Коня g5 нужно немедленно «ловить», не то он уйдет, хотя бы после хода h6, на диаграмме 26 ладья a8 выключена из игры намертво (при почти любом расположении фигур, которых нет на диаграмме) и можно считать, что ее материальный вес не больше веса белого слона b8 и пешки a7; на диаграмме 27 черные не могут выиграть деплассированного слона a4, а он давит на позицию противника (на отсталую пешку c6).

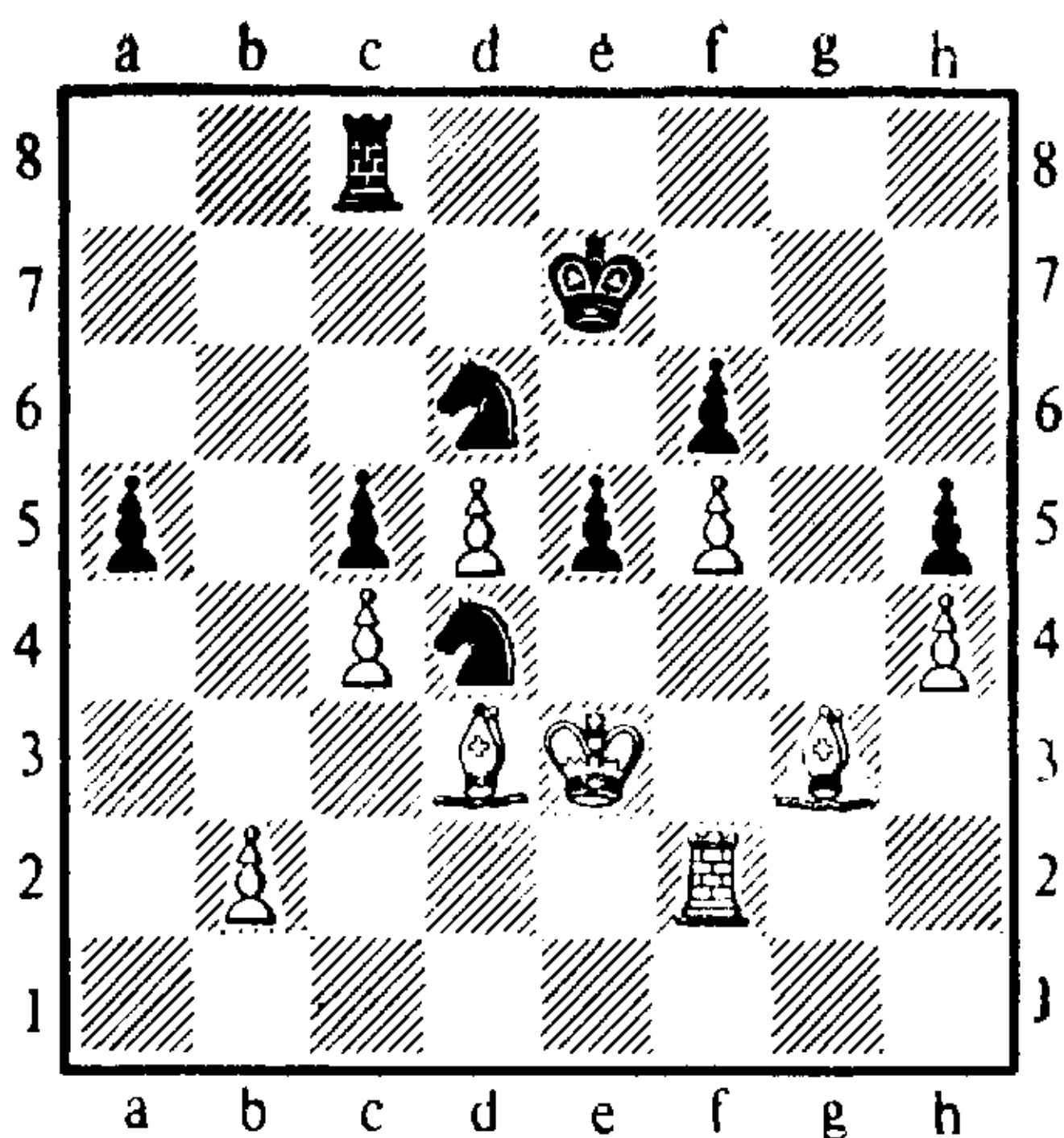
Удары на связанную, защищающую или деплассированную фигуру — эти признаки легко распознавать не только после того, как будут распознаны связанные,



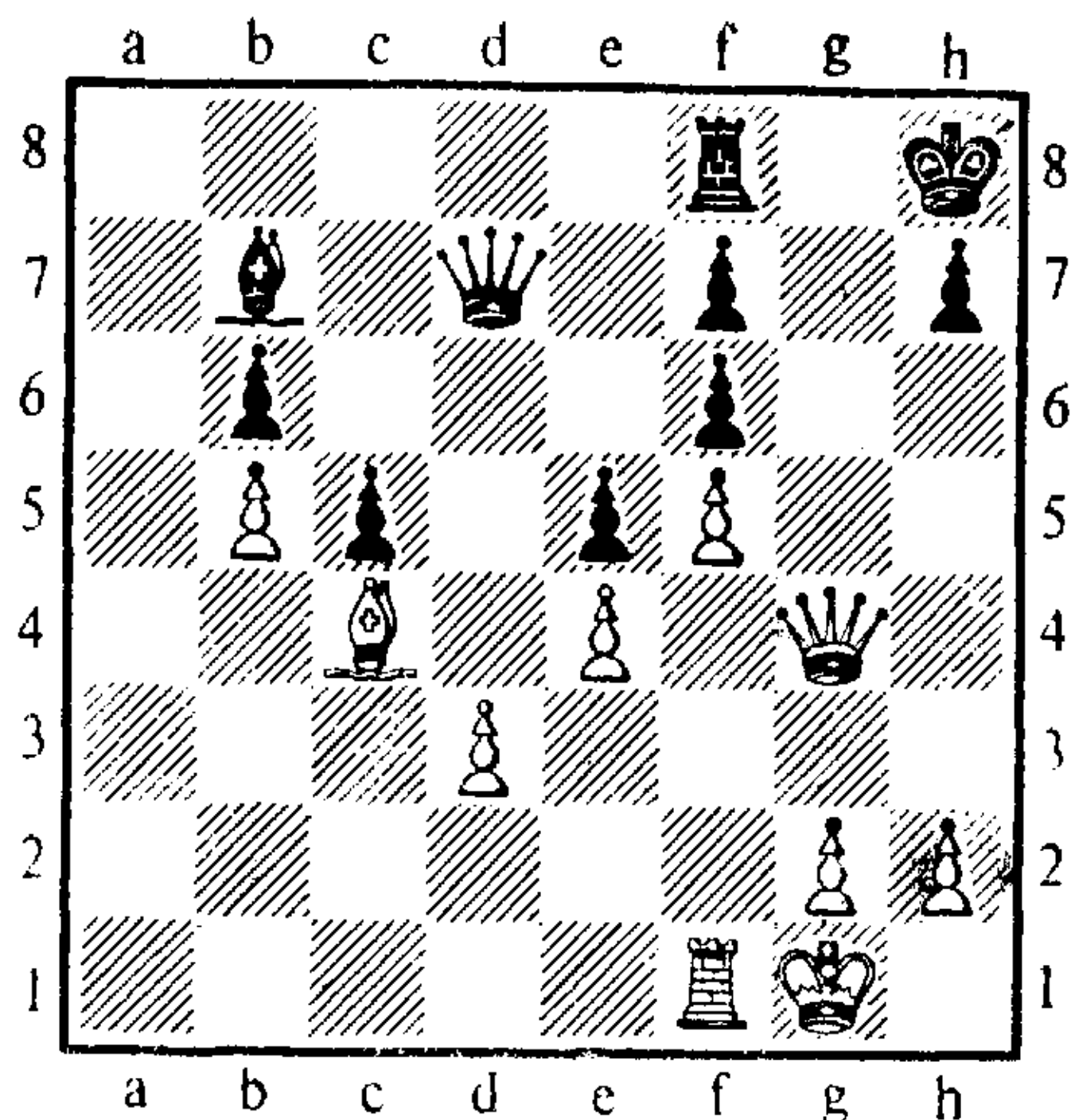
28



29



30



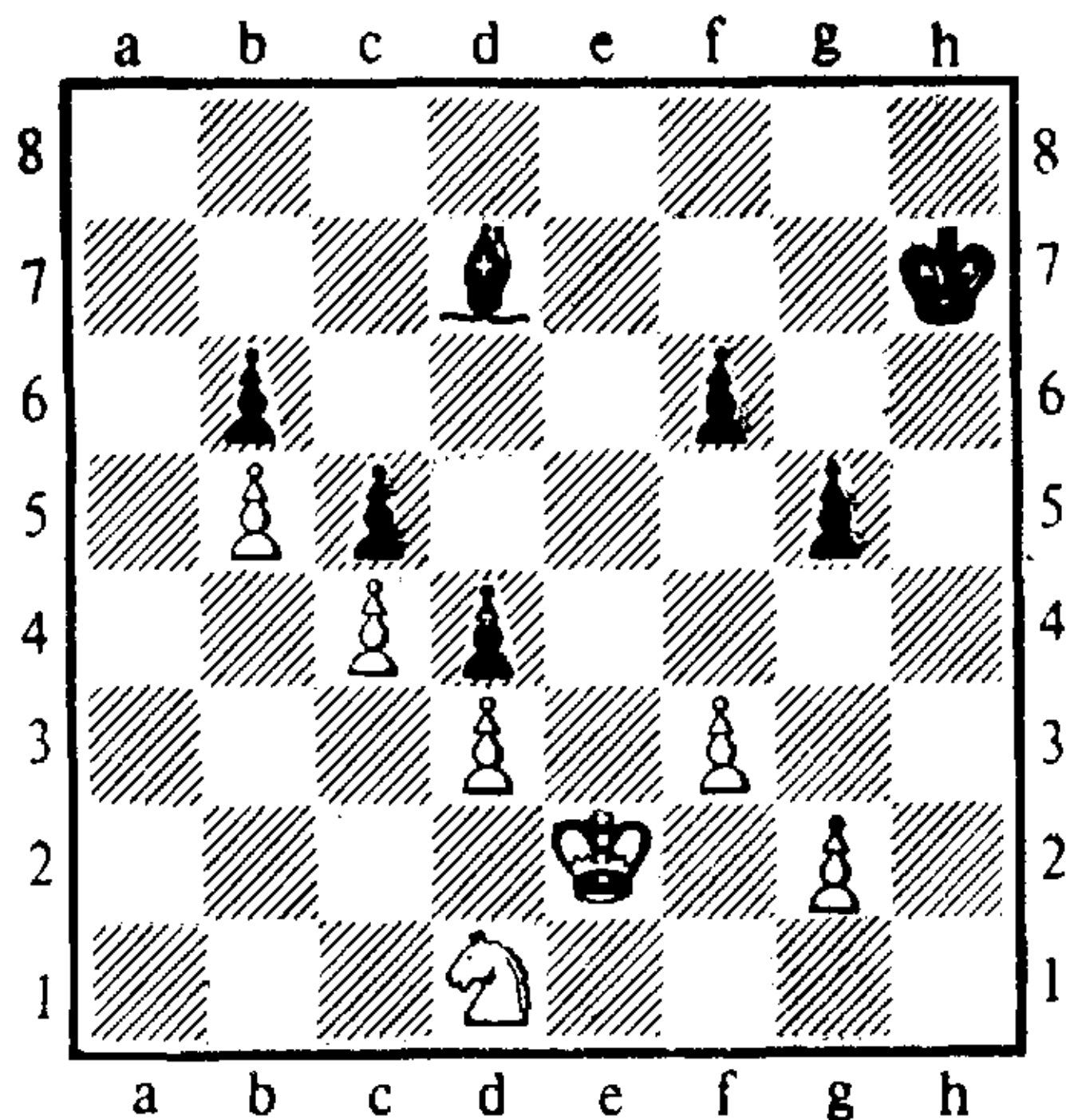
31

защищающие и деплассированные фигуры. Легко учесть и дополнительные обстоятельства, от которых должны зависеть веса признаков — ценности фигур, бьющих и находящихся под ударом.

В приведенных примерах основная трудность использования признака состоит в отсутствии хорошего формального определения. В следующих примерах такое определение часто дать нетрудно. Однако много неясностей с оценкой значения признака — часто даже трудно ответить, в чью он пользу.

Слон против коня — классический пример такого признака. Легко привести примеры, когда слон сильнее (диаграмма 28), и противоположные (диаграмма 29). Чтобы легче было оценить ситуацию, предлагалось рассматривать частные случаи признака, например в большинстве позиций ферзь и конь сильнее, чем ферзь и слон, но исключения из этого правила не так уж редки.

Преимущество двух слонов против коня и слона или двух коней — открытие Стейница, которым он гордился (правда, меньше, чем принципом «король — сильная фигура, причем не только в эндшпиле»). Однако не так уж



32

трудно привести пример, когда, например, два коня сильнее (диаграмма 30).

«Хороший» и «плохой» слон. По определению шахматной теории слон хороший, если пешки той же стороны стоят на полях другого цвета (на черных полях, если слон белопольный; на белых, если он чернопольный), и плохой, если эти пешки стоят на полях того же цвета. Однако все пешки данной стороны редко стоят на полях одного и того же цвета. Тем не менее шахматист без затруднения скажет, что в позиции на диаграмме 31 белый слон хороший, а черный плохой. Кроме того, например, на диаграмме 32 черный слон настолько «хорош», что не может защитить свои пешки.

Сказанным, конечно, не исчерпывается вопрос о шахматной семантике программ, и мы будем к нему неоднократно возвращаться.

ЭВРИСТИКИ ЧЕЛОВЕКА И МАШИНЫ

Эвристический подход обычно противопоставляют действиям на основе точно сформулированных и доказанных положений. Сопоставляя неформальным образом различные содержательные соображения, человек выбирает действия, которые предположительно приведут к желаемым результатам. Рекомендации о таких действиях называются эвристиками. Они далеко не всегда правильны и поэтому часто рассчитаны не на безоговорочное исполнение, а лишь на учет в процессе анализа ситуации и принятия решения.

Такой метод выбора решения человек широко применяет при игре в шахматы. Даже рекомендация о желательности материального перевеса является эвристической. Она не только не доказана, но даже известны многочисленные противоречащие примеры — комбинации с жертвами. В ходе игры с их возможностью нужно все время считаться, причем противоречия между эвристикой о материальном перевесе и многочисленными эвристиками, связанными с жертвенными комбинациями, шахматисты разрешают неформальным образом (хотя в нем и есть элемент формализации — расчет вариантов) и нередко ошибаются.

Можно возразить: желательность материального перевеса является правилом, а из всякого правила есть исключения, и, чтобы выбрать достижение материального

выигрыша, нужно выяснить, не имеем ли мы дела с таким исключением. Однако чтобы правило не было эвристическим, необходимо выполнение следующих условий:

1) справедливость правила должна быть достаточно обоснованной,

2) должен быть приведен полный список исключений или указаны другие эффективные способы, чтобы выяснить, имеем ли мы дело с общим правилом или исключением.

Ни одно из этих условий для правила материального перевеса не выполняется. Тем не менее при игре в шахматы оно является чуть ли не основополагающим.

Шахматисты пользуются очень широким диапазоном эвристик. От общих, даже несколько философских, вроде принципа Стейница «владеющий инициативой должен атаковать, иначе она будет потеряна» или «угроза сильнее ее выполнения», до совершенно конкретных: «если твоя центральная пешка еще не двигалась и мешает развитию слона, то не загораживай ей путь своими фигурами», «если можешь занять открытую линию тяжелыми фигурами раньше противника, то спеши это сделать». По существу, вся шахматная теория является системой эвристик.

Эвристический подход можно применять при машинном решении задач самого разного характера. Разумеется, должна быть дана не только содержательная, но и формальная постановка задачи. Однако после того, как она дана, почему бы не привлечь эвристические соображения о способах ее решения? Зная эвристики человека, можно пытаться строить соответствующие машинные: алгоритмы выполнения рекомендуемых действий или выяснения содержательных признаков ситуации. Предполагается, что после создания программ человек проанализирует на содержательном уровне принятые машиной решения, выявит ее «глупости» и их причины; найдет пути устранения последних. Таким образом, алгоритмы и программы можно будет корректировать на основании результатов эксперимента.

Такой метод создания программ мы называем эвристическим программированием. Этот термин некоторые понимают иначе — как синоним искусственного интеллекта, причем называют эвристиками любые имеющие к нему отношение алгоритмы (например, метод отсечения при помощи А.Б.-граней называют (α, β) -эвристи-

кой). Однако можно возразить: исследование проблем искусственного интеллекта, конечно, невозможно без создания машинных программ, а последнее — без эвристического программирования, но эвристики следует применять гораздо шире и не ожидать строгого доказательства корректности любого метода решения любой задачи, если есть эвристические соображения о том, что он приведет к цели. Также и проблемы искусственного интеллекта нельзя свести к эвристическому программированию: могут быть полезны и другие подходы.

Пусть сознательная эвристика человека является только рекомендацией, а решения принимаются на основе учета обстоятельств и эвристик, даже состав которых заранее не определен. Соответствующая ей машинная эвристика должна быть руководством к действию на основании заранее фиксированного формального описания ситуации. Таким образом, это — точный алгоритм, обоснованный приблизительно. Вероятно, есть подсознательные эвристики, но о них даже гипотез очень мало. Согласно одной, они ближе к некоторым машинным.

Рассмотрим, например, эвристики службы лучших ходов, имеющие отношение к эвристике человека: «лучшие и опровергающие ходы часто повторяются». Если ее воспринять как исчерпывающее руководство к действию, то надо считать, сколько раз каждый ход был лучшим и опровергающим, и приписывать меньшие номера в очередях тем ходам, которые чаще встречались. Однако есть и другие обстоятельства, связанные с ситуациями, в которых данный ход нередко оказывался лучшим (здесь и в дальнейшем мы будем опускать продолжение: «или опровергающим»).

Однако из них можно сформулировать как эвристику: «если позиции похожи, то лучший ход из них часто один и тот же». Случайно это обстоятельство в некоторой степени учитывалось из-за того, что шахматная программа создавалась для машины с недостаточным объемом оперативной памяти, не позволявшим хранить сведения о всех рассмотренных лучших ходах. В таких условиях точная статистика невозможна. Сначала мы просто хотели следить не за всеми ходами, а за фиксированным не очень большим их числом, но быстро заметили, что в начале перебора, когда служба лучших ходов еще пуста, машина смотрит много плохих ходов и часто опровергает их случайными, далеко не лучшими ответами.

Тогда мы сформулировали эвристику: «ходы, которые в процессе перебора давно не бывали лучшими, полезно забыть». Но как ее реализовать в программе? Можно было считать, сколько позиций было просмотрено после того, как данный ход из списка был лучшим последний раз, и выбрасывать его, как только это число станет достаточно большим, но мы не знали, сколько надо ждать. Другая возможность — ввести принудительное вытеснение, чтобы отсутствующий в списке ход, оказавшись лучшим, заносился на освободившееся место.

Какой же ход вытеснять? Машина считает, сколько раз ход был лучшим, но забывает это число, как только ход вытеснен из списка. Снова же он попадает в список с количеством повторений, равным 1. При таких условиях он будет вытеснен в первую очередь, не успев накопить подтверждений, и другие ходы из списка окажутся практически неуязвимыми. Мало поможет и вытеснение хода с некоторого фиксированного, не последнего места в списке, упорядоченного по частоте наблюдения ходов: предыдущие места останутся почти неприкосновенными. Если же вытеснить главного кандидата, стоящего на первом месте, то нельзя накопить сколько-нибудь достоверной статистики.

Было принято совсем простое решение: вообще не считать, сколько раз ходы оказывались лучшими, а пользоваться единственным признаком — номером хода в списке (сначала в службе лучших было только два списка: ходов белых и ходов черных). Пусть, например, в списке 10 ходов. Каждый раз, как машина определит лучший ход из какой-либо просмотренной позиции, она сравнивает его с ходами списка. Если он совпадает с ходом № 1, то список не меняется. Если же с другим ходом списка, то последний меняется номером с предыдущим ходом. Если же хода в списке нет, то вытесняется ход № 10, его номер получает ход № 9, номер того — ход № 8 и т. д. до некоторого фиксированного номера в списке, который приписывается новому ходу (рис. 9). Так была создана машинная эвристика, названная нами схемой вытеснения.

У нее два параметра — размер списка и номер нового хода. От первого зависит, сколько машинной памяти нужно для списков лучших ходов, но фактически дело обстояло наоборот: решив отвести для списков определенную память, мы по ее величине определяли количество

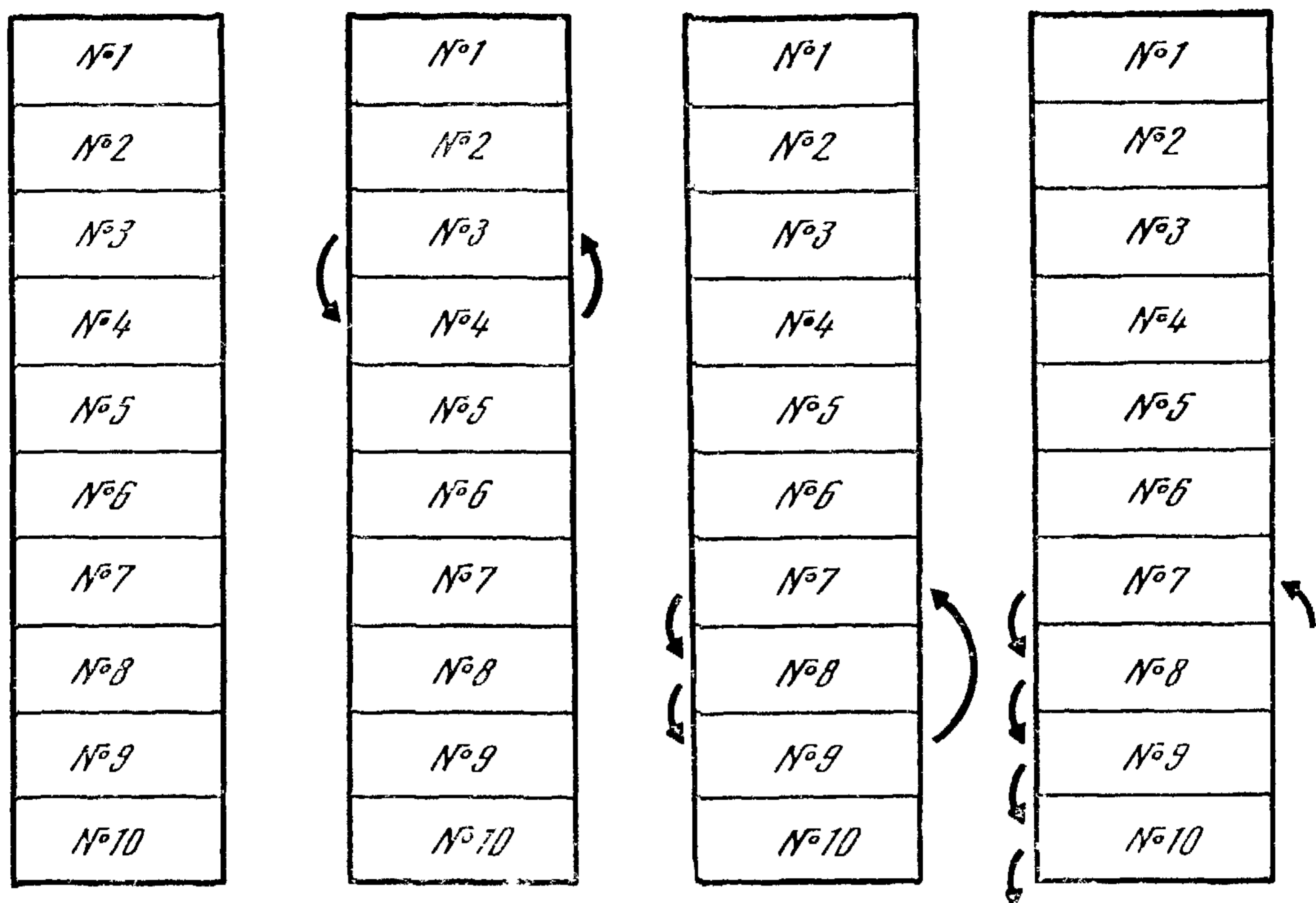


Рис. 9. Схема вытеснения

ходов в одном списке. Вторым параметр характеризует доверие к качеству ходов из списка (при максимальном доверии следовало бы вытеснить последний ход списка, но в действительности программа вытесняет ход с меньшим номером). В общем, меньшие номера получали ходы, которые были лучшими из позиций, близких к текущей (в дереве игры естественным образом устанавливаются расстояния между вершинами — позициями, т. е. понятие их близости).

Может быть, причиной является то, что при небольшом расстоянии между позициями переход от одной к другой состоит из немногих ходов и «ходов назад» (ход назад — это восстановление позиции, бывшей до обычного хода). Таким образом, эти позиции похожи, и мы частично учли соответствующую эвристику. Ведь схема вытеснения быстро продвигает вперед ходы, неоднократно оказывающиеся лучшими через небольшие промежутки времени, а такие ходы нередко близки и в дереве игры. Поэтому мы решили улучшить учет близости позиций в дереве, а не только близости времени их просмотра, для чего стали вести списки лучших ходов по уровням. Позиции одинакового уровня могут быть близкими в дереве,

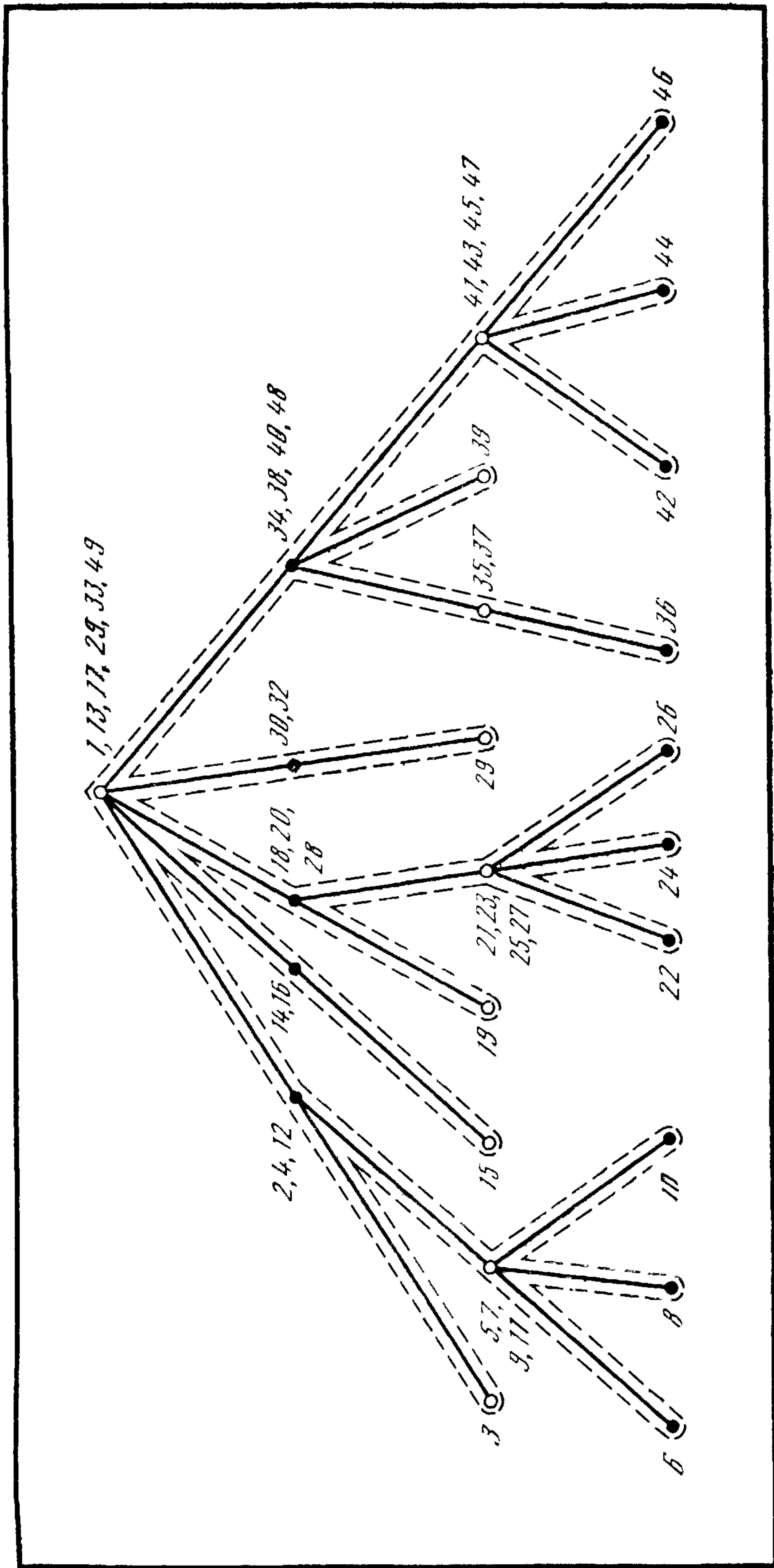


Рис. 10. Порядок просмотра позиций машиной (номера шагов обхода)

но просматриваются через большие промежутки времени, а не столь близкие позиции разных уровней — через небольшие промежутки. Порядок просмотра позиций машиной показан на рис. 10.

Так как теперь списки службы лучших ходов для каждого уровня свои, ходы из позиций разного уровня не вытесняют друг друга. Один и тот же ход может быть занесен в списки разных уровней. Если даже он будет вытеснен из списка нижнего уровня, то на верхнем все-таки останется. Если же его там нет, то со значительной вероятностью он нехарактерен для лучших ходов из позиций верхних уровней и потерять его не жалко. Поэтому при упорядочении ходов из позиции в первую очередь предпочитают ходы из позиций списка своего уровня, а во вторую — из списков близких уровней.

Такая служба лучших ходов оправдала себя. Это еще не доказывает ее предпосылок, но делает их справедливостью весьма возможной. Можно попробовать учитывать их более непосредственным образом. Оперативная память современных машин позволяет вести точную статистику частоты лучших ходов, но ее недостаточно для того, чтобы вместить информацию о расстояниях от текущей позиции до всех, из которых данный ход был лучшим. Однако существует способ хранить и быстро перерабатывать сравнительно небольшое количество информации, достаточное для вычисления наименьшего из таких расстояний. Сам способ — не эвристический*, но предложение рассматривать такое расстояние как «полномочного представителя» всех расстояний до позиций с данным лучшим ходом является эвристикой.

Какая система машинных эвристик окажется лучше? Ждать ответа на этот вопрос от теории не приходится: ведь машинной эвристикой мы назвали точный алгоритм без достаточного теоретического обоснования. Нужны эксперименты. В них можно проверять, сколько позиций будет просматривать машина, пользуясь фиксированной программой, в которой меняются только эвристики службы лучших ходов, но эксперименты по отдельности с каждой эвристикой требуют слишком много времени и не отражают результатов взаимодействия эвристик. Лучше дей-

* Он описан в книге: *Адельсон-Вельский Г. М., Арлазаров В. Л., Донской М. В. Программирование игр.* М.: Наука, 1978, с. 75—77.

ствовать системным образом, что в данном случае означает изучать одновременно эвристики многих частей программы, значение ее общей структуры, искусства программирования, машинных кодов и т. д.

Мы уделили столько внимания эвристикам службы лучших ходов не потому, что считаем их самыми важными в шахматной программе. На их примере удобно продемонстрировать специфические особенности машинных эвристик. Из них мы отметим следующие.

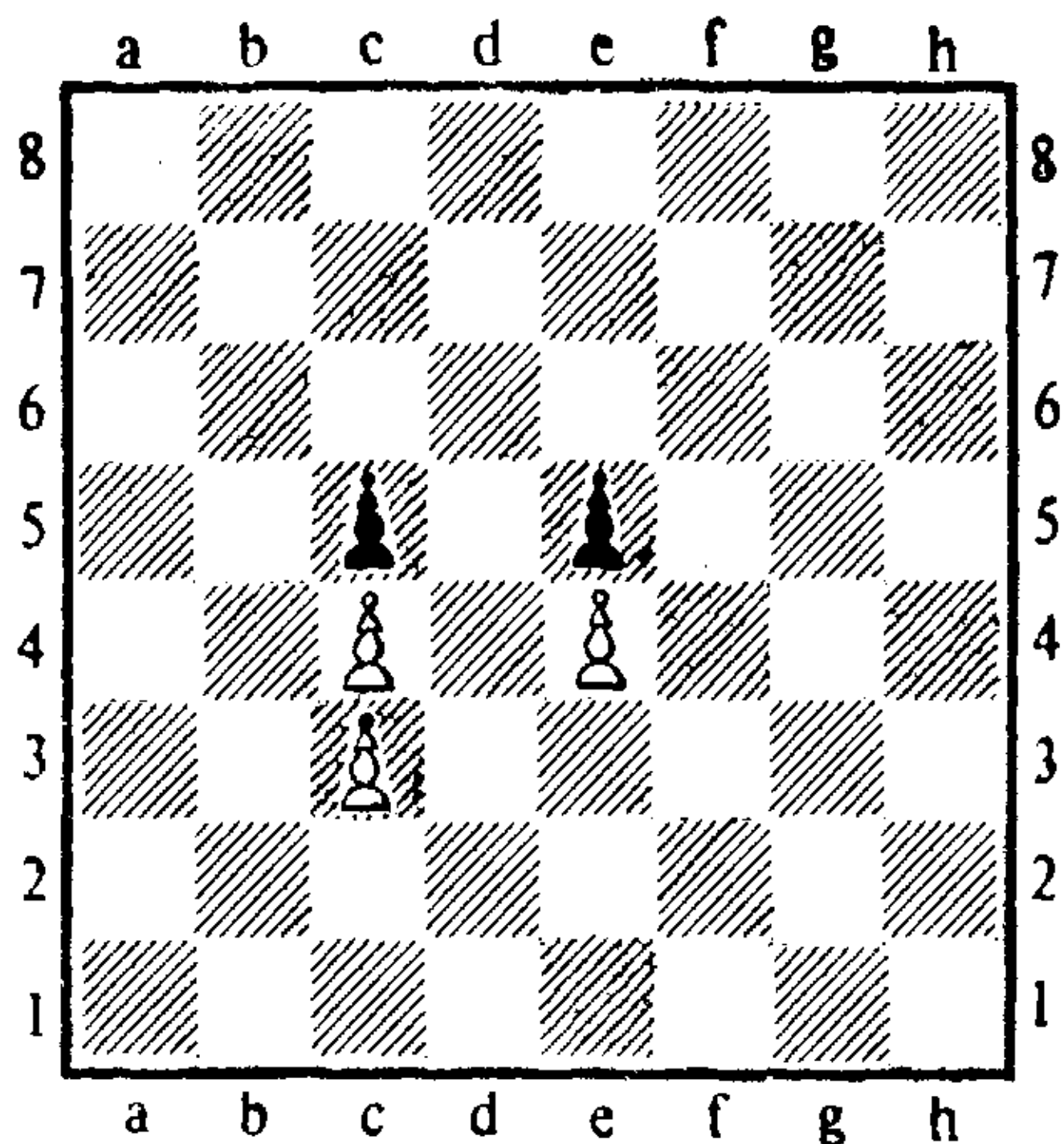
1. Фиксация круга обстоятельств (фрейма — модный среди «искусственных интеллектуалов» термин), влияющего на принимаемое решение, и превращение рекомендаций в алгоритмы. Непринужденный рост фреймов в процессе совершенствования программ, возможно, принес бы хорошие результаты, но создавать способные к нему и эффективные (тратящие небольшое время) машинные эвристики мы как следует не умеем.

2. Грубая приблизительность количественных оценок, почти их произвольность. Она характерна и для эвристик человека, а в нашем случае связана еще с не очень большой ответственностью отдельного решения: в крайнем случае, машина потратит время на просмотр лишнего поддерева.

3. Возникновение машинных эвристик из соображений, далеких «от существа дела» (в данном случае от шахмат). Это не единственный способ создания машинных эвристик, но о нем нельзя забывать.

4. Развитие эвристик в ходе работы с программой, которое должно стать (но еще не стало) одним из важнейших принципов эвристического программирования.

Вернемся к шахматным моделям, и прежде всего к статической машинной оценке. Как мы уже отмечали, она равна сумме весов некоторых признаков позиции. Вычисляемая таким образом модельная оценка называется линейной. Ее простой вид не мешает отразить достаточно глубокие обстоятельства. Так, например, сдвоенные пешки, тем более изолированные, как правило, невыгодны имеющей их стороне. Однако шахматистам известна так называемая пешечная структура Ботвинника (диаграмма 33). Фигура белых может встать на поле d5 и стеснить противника. Если же черные ее разменяют, то у белых не станет сдвоенных изолированных пешек и появится защищенная проходная пешка в центре. Черные лишены



38

аналогичных возможностей именно из-за сдвоенной изолированной пешки с3. Разумеется, в пешечном эндшпиле сдвоенные изолированные пешки станут невыгодными. Поэтому нужен статический признак — пешечная структура Ботвинника и достаточное количество фигур на доске (вместе с признаком слабого для противника поля d5 он должен перевесить признаки сдвоенных, изолированных и сдвоенных изолированных пешек).

Вообще, для любой формально определенной модельной оценки можно написать линейную формулу. Достаточно образовать из рассматриваемых признаков взаимно исключающие комбинации, считать только их весомыми признаками и присвоить им желаемые веса. Считать по такой формуле окажется слишком долгим делом, но имеются широкие возможности более эффективных компромиссных решений. О них, а также о других способах вычисления и других вопросах, связанных с модельными оценками, мы будем говорить, когда займемся последними более основательно. Сейчас же остановимся еще на одном вопросе.

Раз мы решили пользоваться линейной формулой, возникает проблема выбора весов (аналогичные проблемы есть при любых эвристических способах вычисления модельных оценок). На заре эпохи создания играющих программ ей придавали очень большое значение. Приводили различные эвристические соображения о выборе весов и некоторые из них довели до машинных эвристик. В частности, пробовали автоматический выбор весов после ввода в машину набора шахматных позиций и рекомендованных из них ходов или в процессе игры. Это называлось «обучение» и «самообучение». Однако когда набор признаков и их алгоритмические определения не обеспечивают выяснения важных обстоятельств, заметных даже далеко не самым сильным шахматистам, рассчитывать на серьезный успех в результате выбора хороших весов не приходится.

Мы пробовали сравнивать на глаз игру машины при разных значениях весов (учитываемых пока). Машина выбирала ходы, но ни качество игры, ни ее характер не менялись настолько, чтобы можно было выработать интересные рекомендации. Кое-что мы все же заметили.

1. Материальное соотношение нужно считать обычным образом. Вес его минимальной градации (полпешки) должен быть так велик, чтобы никакая сумма позиционных признаков не смогла его перевесить*. Шахматисты иногда ценят позиционные признаки выше и в результате жертвуют пешки за атаку, улучшение взаимодействия своих фигур или ухудшение взаимодействия фигур противника, качество за создание активных проходных пешек и т. п. Аналогичные машинные эвристики, по-видимому, создавать преждевременно. Однако следует подумать о признаках, вес которых должен быть сравним с весом материала.

2. Если с самого начала партии ценить возможности ферзя, то машина «бросает его в самую гущу схватки». Поэтому до 10-го хода в партии мы их не ценим. До эндшпиля возможности короля скорее следует ценить отрицательно; лучше ценить не возможности пешек, а поля, находящиеся под их ударом, независимо от того, одна или две пешки бьют на такое поле.

3. Нехорошо, когда вес одного статического признака больше суммы весов многих не связанных с ним других: последние тогда часто не учитываются. К связанным признакам это не относится (выше был приведен пример признака пешечной структуры Ботвинника, который должен доминировать над оцениваемыми в пользу другой стороны признаками пешечной структуры).

4. Веса некоторых признаков должны зависеть от того, где эти признаки стоят на доске и какие фигуры есть у противников. Так, мы не ценим фаланги вдали от противника (на 2-й и 3-й горизонталях от себя), изолированную пешку на открытой линии, когда тяжелых фигур на доске нет; проходную пешку мы ценим тем выше, чем дальше она продвинулась (не обращая внимания на то, что в результате неподготовленного продвижения может быть облегчена ее блокада). Однако вопрос о переменных весах признаков, условиях их изменения и способах реализации переменных весов в программе заслуживает более глубокого изучения.

* Эксперименты велись с программой «вчерашнего дня».

Процесс создания и усовершенствования шахматной программы был задуман как создание, развитие и корректировка системы машинных эвристик при широком использовании шахматной теории. Почему же мы так редко включаем в программу новые эвристики, а старые почти не корректируем? Почему пока так мало использовали шахматную теорию, которая, по существу, вся является системой эвристик человека? Можно отметить следующие причины.

1. Шахматная теория не может даже человека научить играть без ошибок. Эта причина, конечно, не главная. Однако, не будь ее, игра машины в шахматы, может быть, не была бы проблемой искусственного интеллекта.

2. Многие эвристики шахматистов формально противоречат друг другу, поэтому надо создавать эвристические же системы определения актуальности таких эвристик и выбора из них «по месту» — в зависимости от характера позиции. В этом направлении пока сделаны только первые шаги. Как, например, совместить эвристику «не трогай пешечного прикрытия своей рокировки» с естественной потребностью отогнать назойливые фигуры противника и эвристическим советом «не забудь открыть вовремя „форточку“ для короля»? Программы, использовавшие эвристику о пешечном прикрытии рокировки, нередко «страдали» из-за нее, но полный отказ от этой эвристики, конечно, не является решением вопроса (пока она не столь актуальна: в партиях машины с машиной один противник почти никогда не использовал недостатки пешечной конфигурации вблизи короля другого, а при игре с человеком машина почему-то либо не слишком портит позицию своей рокировки, либо допускает раньше более грубые ошибки).

3. Некоторые машинные эвристики не принесли пользы, и мы вынуждены были их исключить. Произошло ли это из-за принципиальной некорректности исходных предположений или из-за неудачных определений соответствующих машинных эвристик, в точности выяснить не удалось.

4. Не построен хороший «мост», связывающий шахматную теорию с программированием игры. В первой нет определений или хотя бы достаточно «представительных» примеров для ряда используемых понятий. Поэтому трудно создать более или менее адекватные элементы семантики шахматных программ. Так как эвристики шах-

матной теории — это, так сказать, эвристики в квадрате и даже в кубе, для их реализации необходима богатая шахматная семантика. Возьмем, например, уже упомянутый принцип Стейница об инициативе и атаке. И сам принцип — эвристический, и образ действий, называемый «атаковать», и достижение цели — «не потерять инициативы» нельзя определить без эвристик, причем, хотя примеров атаки, сохранения и потери инициативы много, они не приведены в стройную, пригодную для программистов систему. Нет даже уверенности в том, что такую систему можно создать.

5. Многие машинные эвристики мы не могли создать, хотя вроде бы знали, чего хотим. Особенно трудно внести исправления в уже созданную эвристику с тем, чтобы учесть возникшие при ее экспериментальной проверке пожелания. Когда действует не машина, а человек, он обычно изменяет свой образ действий, как только узнает о таких пожеланиях. Возможно, машина могла бы делать нечто похожее, если были бы созданы какие-то эвристики совсем общего характера.

В первых главах книги мы говорили о некоторых конкретных задачах, возникших при программировании игры машины в шахматы. Однако наша главная цель — дать общее представление о шахматной программе. Теперь мы перейдем к более систематическому изложению основных проблем и путей их решения, прежде всего рассмотрим проблемы создания шахматных моделей.

Глава III

БОРЬБА ЗА МАТЕРИАЛ

МАТЕРИАЛ НА ДОСКЕ И В ПЕРСПЕКТИВЕ

К сожалению, мы не умеем «обучить» программу тому, что создали многие поколения шахматистов и что называется шахматной теорией. Нам нужна другая теория, и ее начала уже существуют. В ней есть достижения, относящиеся не только к шахматам, а ко многим играм двух противников с полной информацией или даже, после соответствующих обобщений, к проблеме искусственного интеллекта в целом. Но ведь и в привычной шахматной

теории есть весьма общие положения (в том числе философского характера). Чтобы подчеркнуть характер исследований, мы будем говорить, что занимаемся машинно-ориентированной шахматной теорией, или шахматами с точки зрения программистов.

Основная цель такой теории — создание машинных эвристик, в первую очередь эвристических правил построения шахматных моделей, которые должны обеспечить устранение ошибок при выборе хода машиной. Мы уже говорили, что отдельная ошибка не возникает из-за какой-либо одной причины, а является обычно следствием их совокупности, поэтому далеко не ясно, какую причину следует устранить. Чтобы решить этот вопрос, мы пытаемся выделить классы массовых ошибок, анализируя процесс машинного перебора. Нас интересуют не только и не столько неудачи при выборе ходов из предъявляемых машине позиций, а все ошибочные действия в процессе перебора. На основе такого анализа мы строим эвристики для исключения целых классов ошибок, предпочтительно самых частых.

Ошибочные действия не всегда состоят в неверной оценке тех или иных позиций. Чаще из-за них в дерево шахматной модели включается много позиций, которые можно не рассматривать. Когда же позиция оценивается неверно, обычно не удается найти лучший способ статической оценки. Из такой позиции нужно посмотреть некоторые варианты. Цель конструируемых эвристик — ограничить разветвления этих вариантов и компенсировать затрачиваемое на них время сокращением перебора из других, более ясных позиций.

Прежде всего займемся вопросами оценки соотношения материала, которого могут добиться противники. В рассмотренных выше моделях его неверная оценка является массовой ошибкой. Чтобы сделать ее более редкой, не меняя характера моделей, нужно увеличивать их параметры, т. е. число позиций в дереве. То, что стоит на доске, легко сосчитать по линейной формуле с весами (см. с. 67). Когда же можно верить такой оценке? Шахматист обычно еще учитывает нападения на фигуры и защиты последних. Если все фигуры, свои и противника, достаточно защищены, то он иногда считает материальное соотношение стабильным и равным указанной выше линейной оценке.

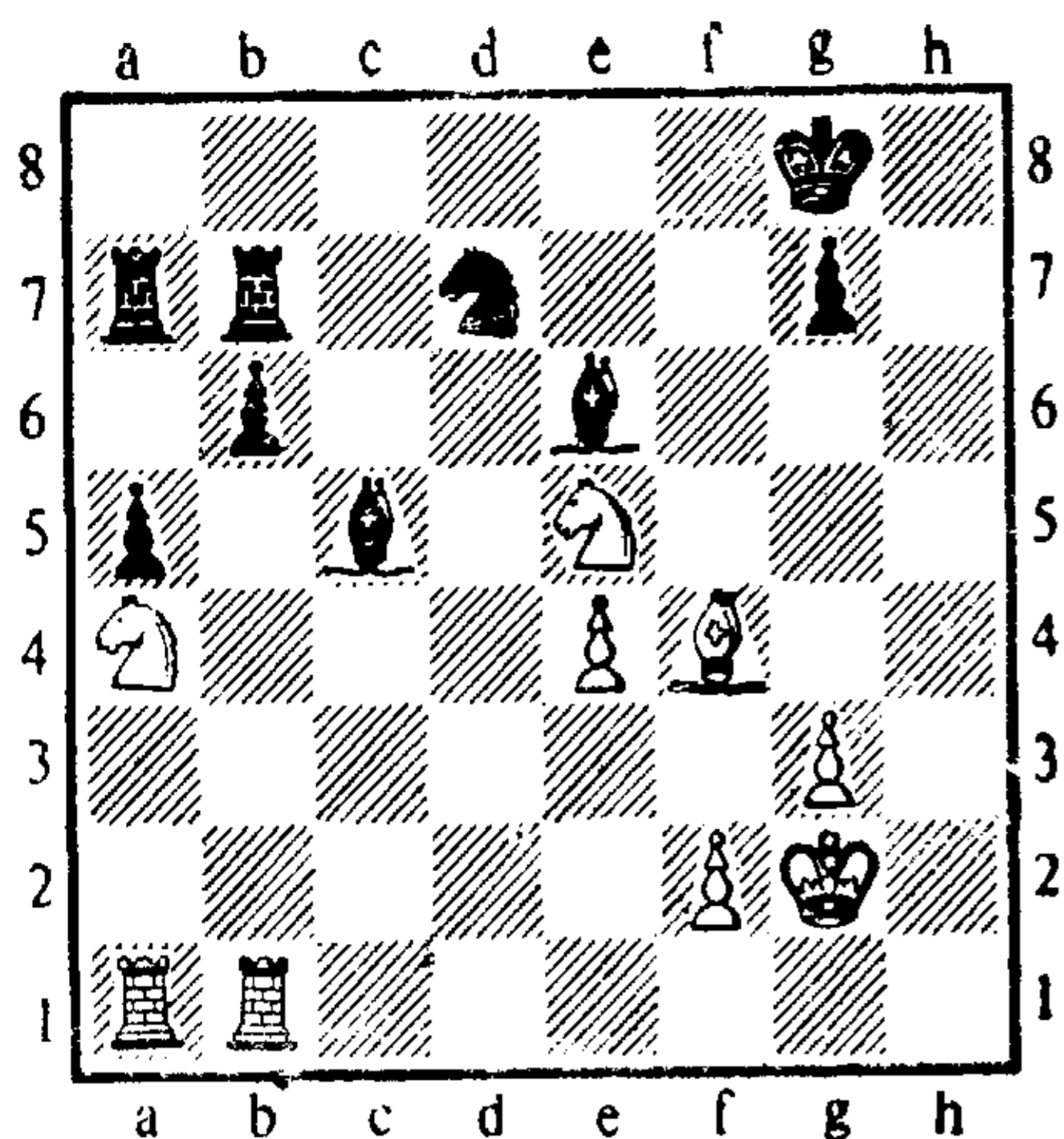
В противном случае ее можно скорректировать, но, как

правило, позицию просто относят к разряду нестабильных. Нестабильными же считают шахматисты многие позиции, где, казалось бы, все защищено. При решении вопроса о стабильности позиции они часто полагаются на таинственное «чутье». Из нестабильных позиций смотрят некоторые варианты, но стороне, подозреваемой в способности выиграть, разрешают только «форсирующие» ходы: попытки немедленно «съесть» или дать мат, а противнику — только «форсированные»: защиты и контрнападения. Таким образом, в ходе рассматриваемых форсированных вариантов материальное соотношение часто меняется. Варианты кончаются его стабилизацией.

Вот пример нестабильной позиции (диаграмма 34). На доске материальное равенство, и у черных все защищено. Попытки 1. К:c5 К:c5 2. Л:b6 Л:b6 или 1. К:b6 С:b6 2. К:d7 С:d7, не говоря уже о 1. Л:b6 С:b6, не проходят, но, играя 1. К:d7 С:d7 (если 1. ...Л:d7, то 2. К:b6 С:b6 3. Л:b6) 2. К:c5 bc 3. Л:b7 Л:b7 4. Л:a5, белые выигрывают пешку a5, которая в исходной позиции ни разу не атакована и дважды защищена. Если в ней заменить слона черных e6 на коня f6, то у белых ничего не выйдет. После 1. К:d7 К:d7 черный слон на c5 по-прежнему защищен конем и на 2. К:c5 последует не 2. ...bc, а 2. ...К:c5. Замечает ли эту разницу «чутье»? Или вторую позицию тоже надо считать нестабильной и исследовать из нее форсированные варианты?

Во всяком случае, в настоящее время мы еще не ставим вопроса о программировании «чутья». Вместо этого предлагается проверять стабильность соотношения материала при помощи форсированных вариантов в каждой позиции, которую машина хочет оценить статическим образом. Какие же ходы считать разрешенными в модели форсированной игры? В шахматах целью форсированного варианта очень часто является взятие (типичный пример — вариант из позиции, изображенной на диаграмме 34). Многие его промежуточные ходы также являются взятиями. Взятие из позиции с материальным равенством почти всегда форсирующий ход, а ответное взятие — форсированный. Поэтому в первом приближении ходы форсированной игры в основном взятия.

Однако в шахматах каждый противник имеет право в свою очередь хода отказаться от возможных взятий и выбрать «тихий» ход. Чтобы отразить это обстоятельство в модели, из ее позиций разрешаются «пустые» ходы,



34

ных машинами партиях это не привело к массовым ошибкам.

Итак, из позиции модели форсированной игры, не возникшей после пустого хода, разрешены все взятия и пустой ход (о других разрешенных ходах мы скажем позднее). Глубина перебора не ограничена, а модельно-заключительными являются позиции, возникшие после пустых ходов, позиции, из которых нет разрешенных ходов, и заключительные позиции шахмат. Модельные оценки позиций первых двух видов вычисляются по линейной формуле, причем есть две компоненты — материальная и позиционная.

Как мы уже говорили, последняя не может перевесить минимальной разницы значений материальной компоненты, равной половине веса пешки.

Если на доске стоит мат, то очередь хода принадлежит получившей его стороне. Модельная оценка за себя такой заключительной позиции меньше, чем при максимально возможном материальном проигрыше. Кроме того, небольшая ее компонента зависит от номера хода с начала партии. Из-за нее при возможности выбора, когда мат виден в процессе перебора, машина дает его самым быстрым способом. Есть еще заключительные ничейные позиции: патовые, встретившиеся в партии третий раз, возникшие после 50 ходов без взятий и движений пешек, а также позиции с недостаточным для выигрыша материалом (например, с королем и легкой фигурой против одинокого короля). Их модельная оценка — полное мате-

которых нет в шахматах, — представители тихих ходов. После пустого хода все фигуры стоят так же, как и до него, но возникшая позиция считается модельно-заклучительной. Таким образом, модель форсированной игры не учитывает возможности цугцванга, т. е. материального или позиционного проигрыша, именно вследствие необходимости сделать ход. Впрочем, цугцванга не учитывают и другие шахматные модели, но пока в сыгранных

риальное и позиционное равновесие: обе компоненты равны 0.

На самом деле в модели форсированной игры некоторые взятия и пустые ходы запрещены. Однако она, как говорят, адекватна описанной выше модели. Это значит, что для любой шахматной позиции, избранной корнем деревьев обеих моделей, оценка корня и лучшие ходы из него одинаковы. Чтобы определить уточненную модель форсированной игры, посмотрим, как вообще машина строит модели, т. е. какой характер могут иметь правила, разрешающие или запрещающие ходы из позиций.

Самые простые правила в первой модели Шеннона: разрешение или, наоборот, запрещение хода определяются местом позиции, из которой делается ход, в дереве игры, а именно — ее рангом. Во второй модели оно зависит еще от места хода в очереди, т. е. его номера в упорядоченном списке ходов из данной позиции. В описанной нами модели оно зависит еще от шахматных признаков хода, рассматриваемых семантикой программы: разрешены взятия и пустой ход. В обеих моделях мы можем определить, какие ходы разрешены, а какие запрещены, как только в первый раз позиция встретилась при переборе.

Наиболее общий способ построения модели — локальный: на каждом шагу машина выясняет, что ей известно об очередной позиции, и либо выбирает из нее ход, который, таким образом, оказывается разрешенным, либо запрещает все еще не рассмотренные ходы. Так поступает машина, используя для отсечений А.Б.-границ. Если оценка очередной позиции (встретившейся заведомо не в первый раз) не хуже верхней А.Б.-границы, то делается шаг назад, т. е. еще не рассмотренные ходы как бы запрещаются. Поэтому дерево машинного перебора является деревом модельной игры, адекватной исходной (которая сама могла быть модельной). Такие отсечения можно прогнозировать — и еще уменьшить число позиций в модели. Именно так строится дерево модели форсированной игры.

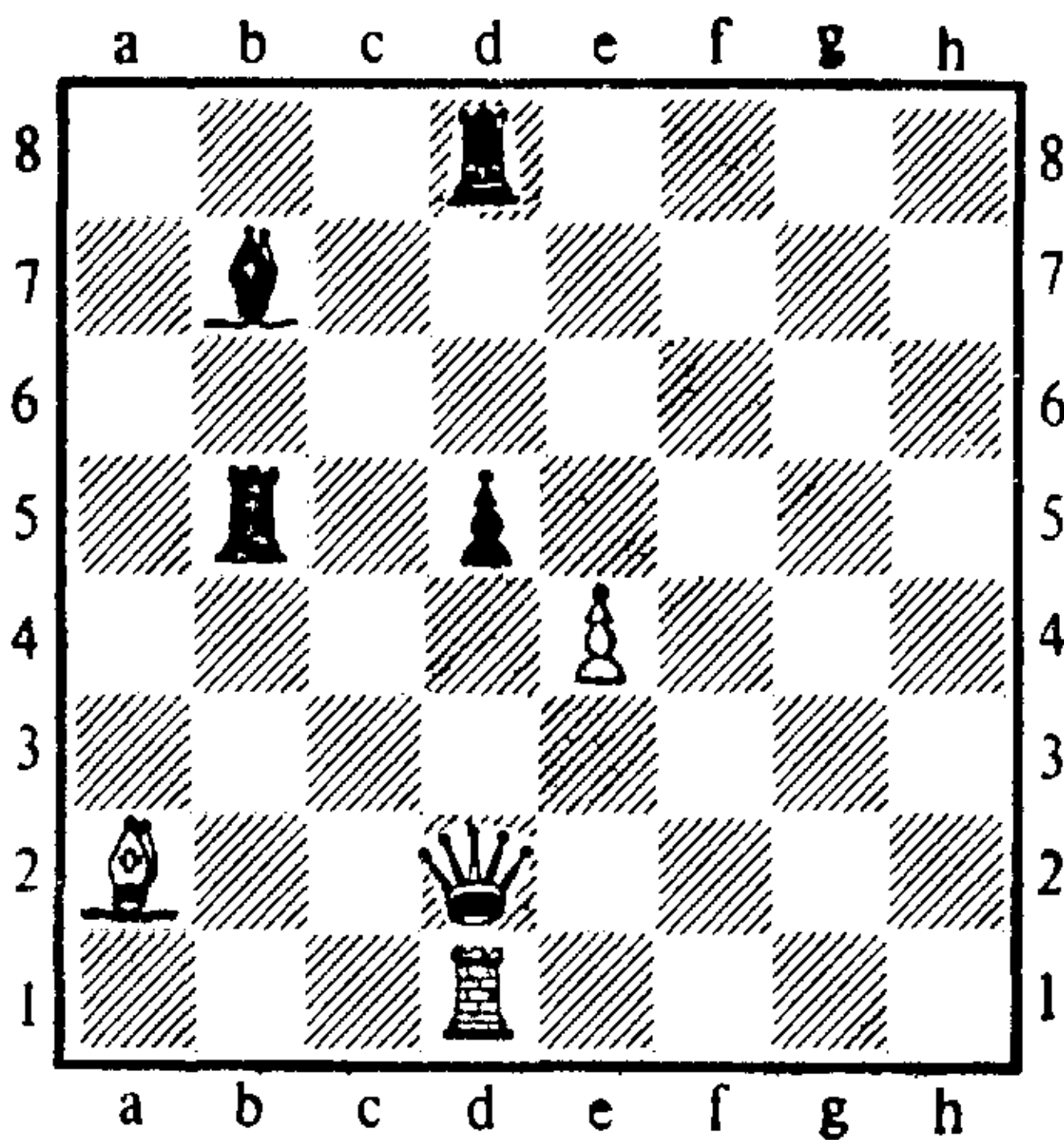
Если по сравнению с материальной компонентой нижней А.Б.-границы в позиции проигран материал, то после пустого хода или взятия фигуры меньшего веса, чем величина проигрыша, возникнет заведомо плохая позиция для стороны, чей ход в данной позиции. Действительно, после пустого хода возникает модельно-заключи-

тельная позиция с неприемлемой модельной оценкой для рассматриваемой стороны, а после недостаточного взятия такая позиция возникнет, если противник ответит пустым ходом. Это значит, что либо плох рассматриваемый ход и надо попробовать другой, либо плоха рассматриваемая позиция и надо скорее убедиться в таком ее качестве. Запретив такие ходы, мы не изменим наши выводы, а если других нет, то позицию нужно считать модельно-заключительной с модельной оценкой, равной нижней А.Б.-границы.

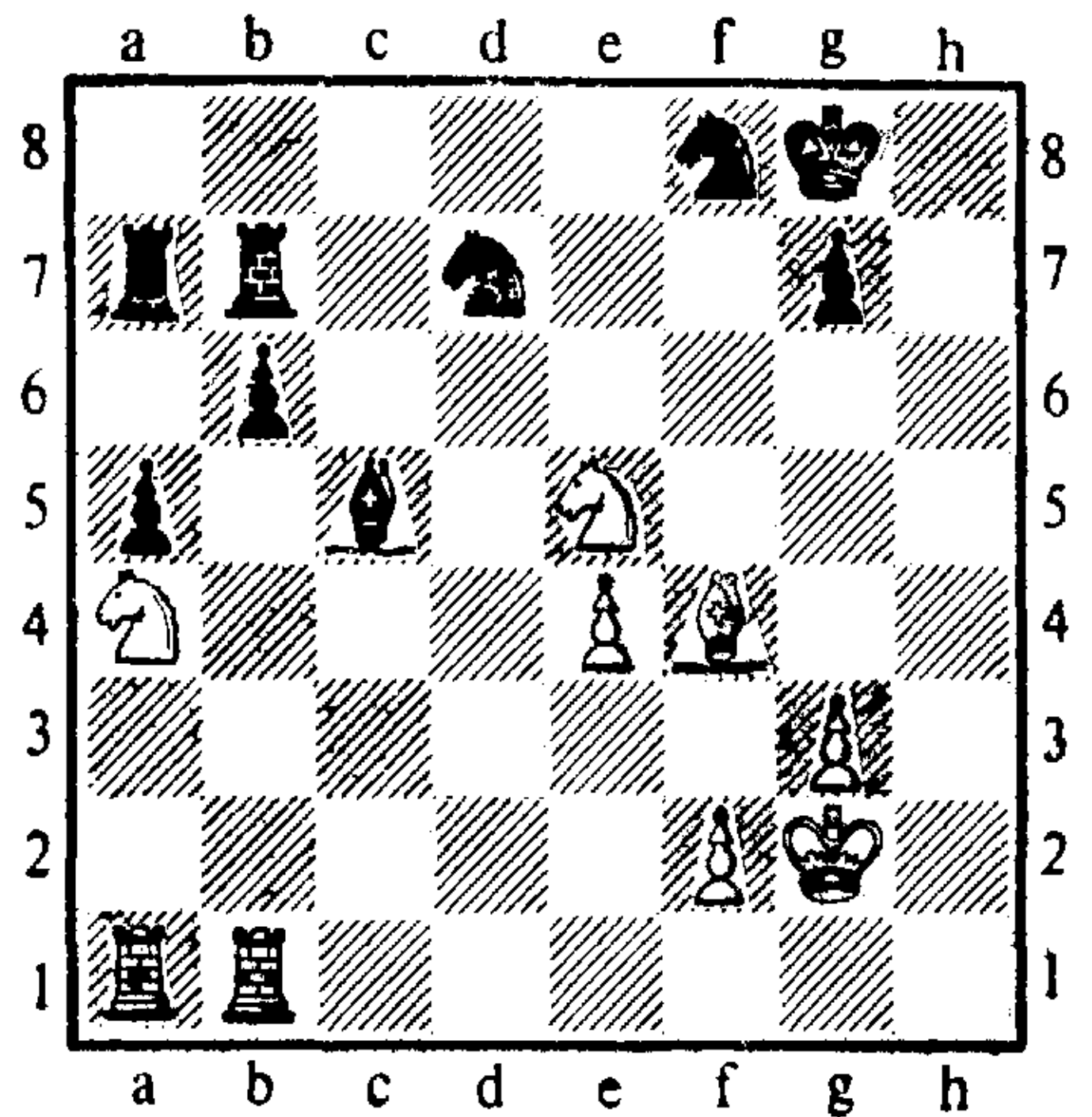
В модели форсированной игры разрешены еще некоторые шахи (какие, об этом речь в следующем разделе). Естественно, из позиций, где наш король стоит под шахом, пустой ход в ответ запрещен, а разрешены защиты от шаха. Однако некоторые защиты запрещены по причине, аналогичной причине запрещения недостаточных взятий: если не запретить защиту от шаха, после которой материал останется недостаточным, то противник опровергнет ее пустым ходом. Когда других защит нет, позиция считается модельно-заключительной с модельной оценкой, равной нижней А.Б.-границы. Такая модель адекватна модели без запрещения защит от шахов.

Кроме взятий и шахов, форсирующими ходами всегда следует считать превращение пешки в ферзя, сразу резко меняющие соотношение материала. Это практически не меняет размеры деревьев форсированной игры: во-первых, возможность превращения встречается достаточно редко, а во-вторых, не нужно включать в модель каких-либо специфических ответов. Практически нужно либо взять нового ферзя, либо провести в ферзи свою пешку. Что же касается слабых превращений (так шахматисты называют превращение пешки не в ферзя), то это — такая экзотика, какой еще долго можно будет пренебрегать (за исключением, может быть, некоторых эндшпильных позиций, например с одиноким королем одной из сторон).

Глубина перебора в модели форсированной игры обычно невелика (порядка 8—10 полуходов, часто меньше и очень редко в 2—4 раза больше). Размеры деревьев тоже вполне терпимы. Например, дерево с корнем, изображенным на диаграмме 35, где очередь хода принадлежит белым, при использовании правила отсечений А. Л. Брудно содержит всего 31 позицию (рис. 11). Значительно реже встречаются такие позиции, как на диаграмме 36, но дерево форсированной игры с корнем в ней



35



36

содержит около сотни позиций (пример взят из партии двух машин, руководимых разными программами, статистика — из партий машины с машиной, причем сторонами руководили как разные, так и одна и та же программа, а также из партий машины с человеком).

Как использовать модель форсированной игры? Возьмем первую модель Шеннона, в которой из позиций рангов, меньших 3, разрешены все шахматные ходы, позиции третьего ранга модельно-заключительные, а лучший ход

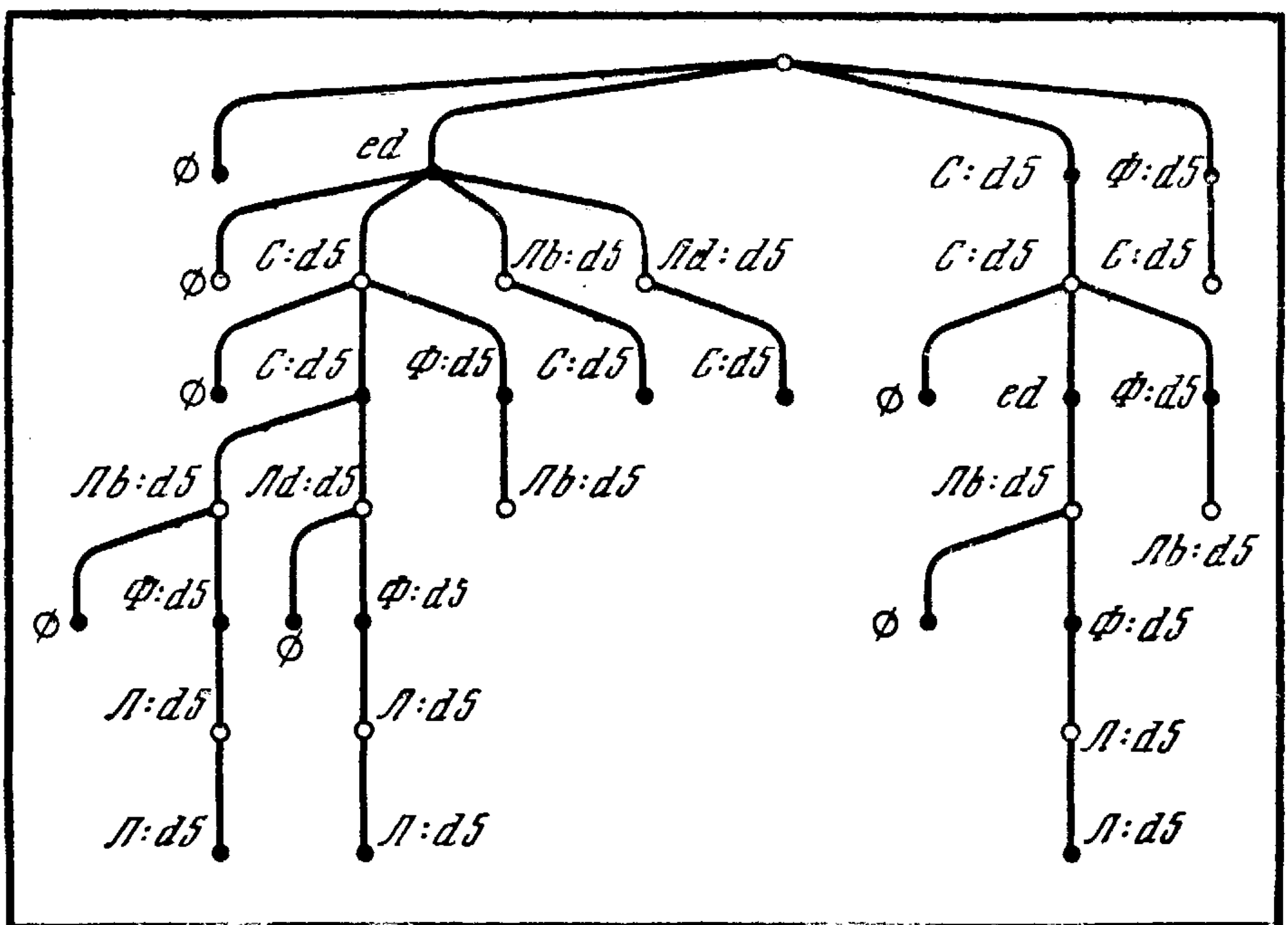


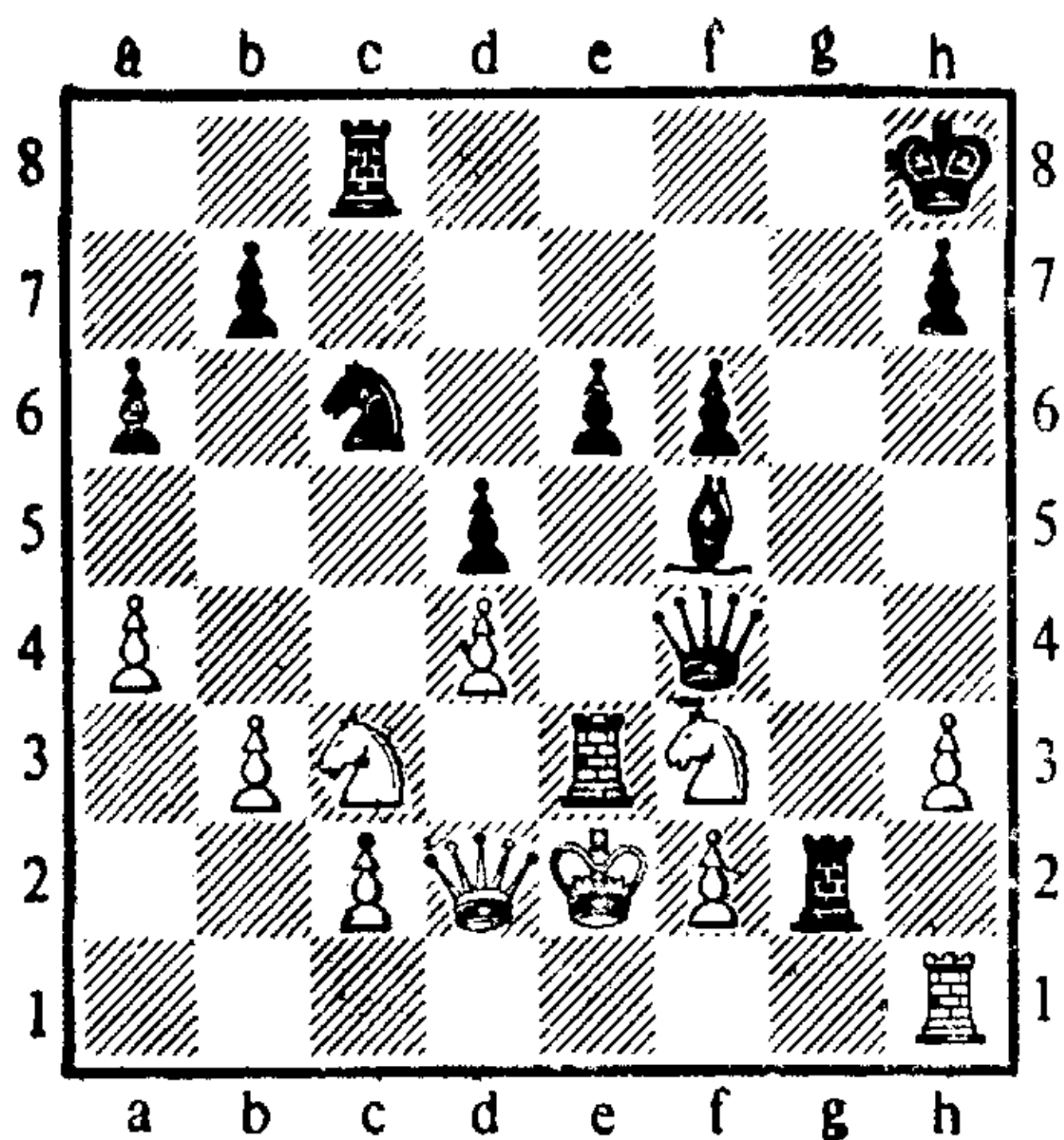
Рис. 11. Модель форсированной игры с небольшим деревом игры

из корня дерева часто «зевает» материал. Теперь модельные оценки позиций третьего ранга будем считать следующим образом: построим дерево форсированной игры с корнем в такой позиции, значениями верхней и нижней А.Б.-граней из конструируемой «глобальной» модели и вычислим модельную оценку нашего корня «локальной» модели. Даже при $n=3$ наша модель играет не совсем плохо (примеры будут приведены ниже). Так же пользуются моделью форсированной игры для определения оценок заключительной позиции других моделей.

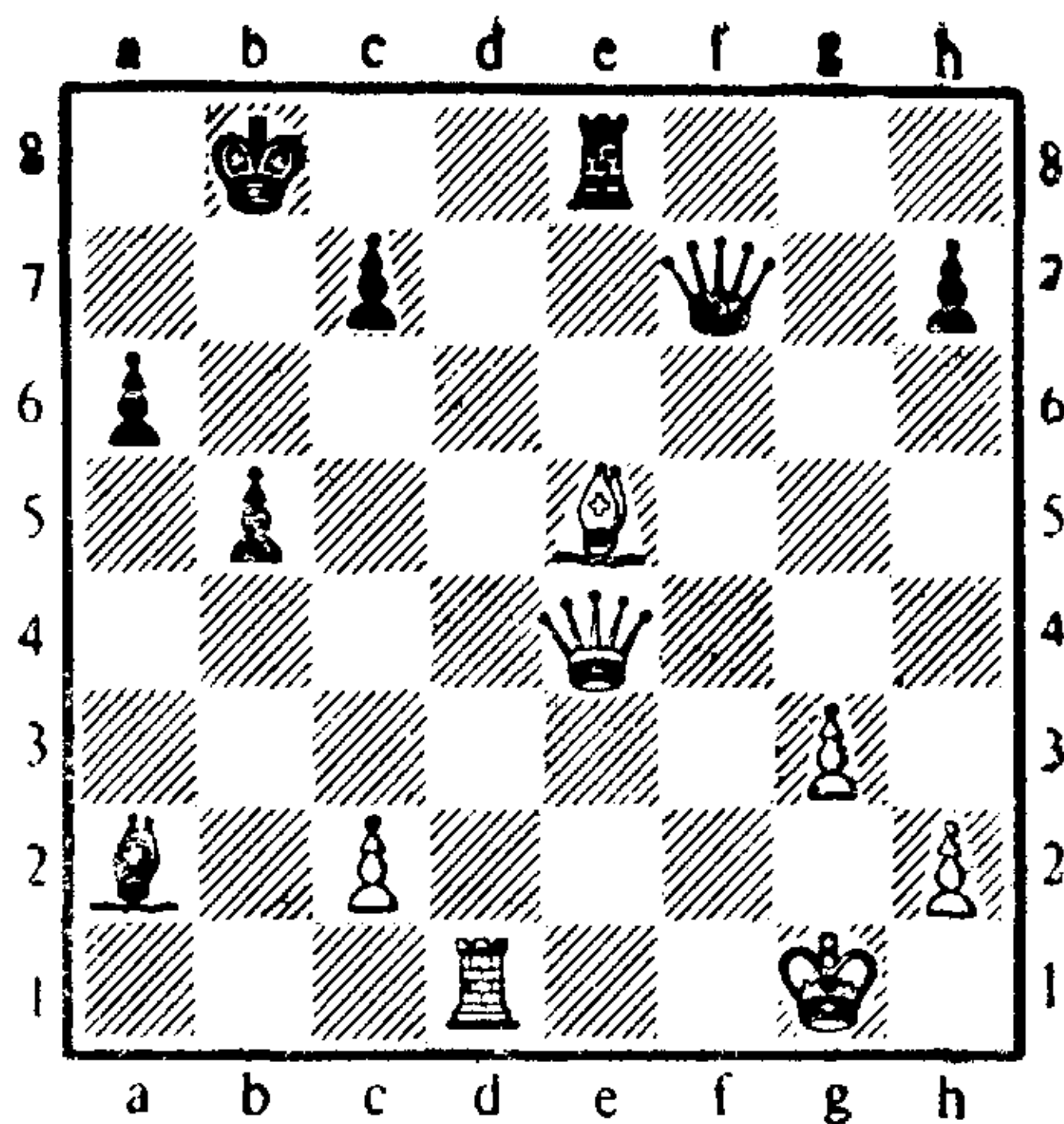
Дерево «глобальной» модели можно объединить со всеми «локальными» деревьями в одно. Так из модели Шеннона получится модель, в которой из позиций рангов, меньших n , разрешены все ходы, а из остальных — только ходы форсированной игры. Можно построить адекватную модель с меньшим количеством позиций в деревьях. Если в позиции $n-1$ первого ранга по сравнению с материальной компонентой нижней А.Б.-границы проигран материал, то в ответ на любой тихий ход или недостаточное взятие противник ответит пустым ходом, после чего будет отсечение. Поэтому из такой позиции можно разрешить тоже только ходы форсированной игры.

Другое изменение модели позволяет еще сократить время работы машины. Получается теоретически неадекватная модель, но на практике ничего не меняется. Если из позиции $n-1$ -го ранга с материальным соотношением лучшим, чем материальная компонента верхней А.Б.-границы, сделать безопасный ход, после которого противник не выигрывает в модели форсированной игры, тоже будет отсечение. Такой ход почти всегда найдется, если противник не грозит выиграть форсированно (мы опять не учитываем возможности цугцванга). Попробуем передать очередь хода противнику и разрешить форсированную игру. Если он не выиграет, то, наверное, у него нет угроз и безопасный ход существует. Поэтому из рассматриваемых позиций разрешается пустой ход, но возникшая позиция n -го ранга не считается модельно-заклучительной.

Описанную выше модель мы назвали абсолютной схемой. Почти во всех наших исследованиях, и в частности во время соревнований с другими программами, наша программа пользовалась ею или адекватными моделями. Несколько слов о терминологии. До сих пор почти всегда мы употребляли выражение «машина играет». Однако все ее действия predeterminedены созданной для игры шах-



37

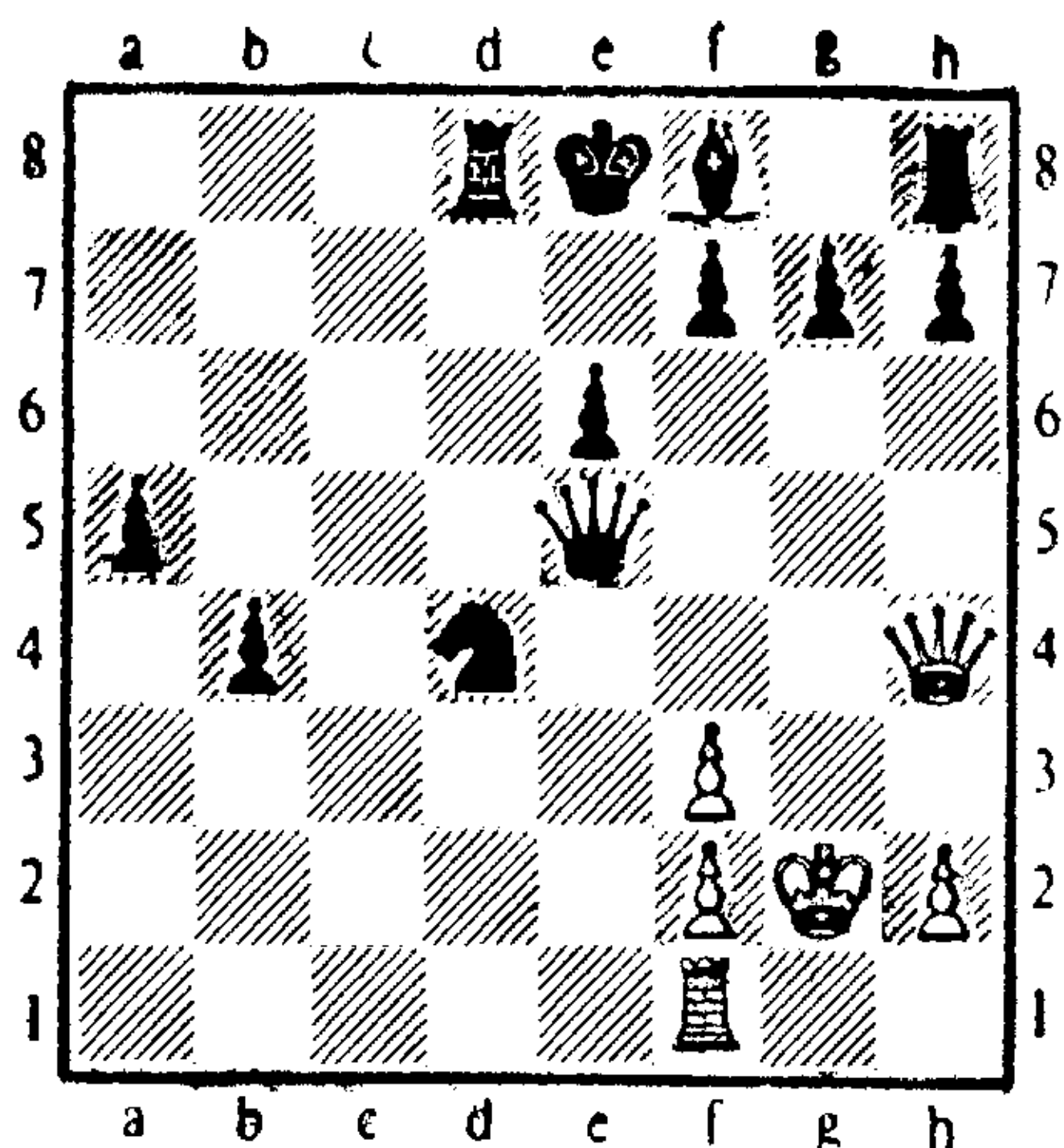


38

матной программой. Поэтому в литературе по проблемам искусственного интеллекта принято выражение «программа играет». Так будем говорить в дальнейшем и мы, хотя без машины программа ничего не может. Приведем три примера из партий, сыгранных нашей программой, пользовавшейся абсолютной схемой.

В тренировочной партии с не очень сильным шахматистом (тренировались, конечно, создатели программы: они «обкатывали» программу, т. е. искали в ней ошибки и неудачные алгоритмы, которые сравнительно нетрудно исправить) программа нашла выигрыш пешки из позиции, изображенной на диаграмме 37: 32. ...С:c2! Белым лучше всего примириться с потерей, так как на 33. Ф:c2 следует 33. ...К:d4+ 34. К:d4 Л:f2+ 35. Крd3 Л:c2 36. К:c2 (ферзь и три пешки «вешат» 26 единиц материала, ладья, слон и конь — 24), а на 33. Л:e6 33. ...Ф:d2+ 34. Кр:d2 Л:f2+ 35. Крe3∅ (так мы будем обозначать пустой ход). При этом в дальнейшем программа нашла бы продолжения обоих вариантов. Первого: 36. ...Л:c3+ 37. Кр:c3 d4+ 38. К:d4 Фе3+ (на другие ходы белых — 38. ...de), второго: 35. ...Л:f3+ 36. Кр:f3 К:d4+ и 37. ...К:e6.

На первом чемпионате мира среди шахматных программ наша программа «Каисса» в партии с австрийской программой «Франц» из позиции, изображенной на диаграмме 38, выбрала ход 31. Фb6! Мы не знаем, был ли параметр глубины абсолютной схемы равен 3 или 5. Он зависел от положения стрелки шахматных часов, а времени на партию программа уже затратила немало. Но



39

даже при глубине в 3 полухода она видит выигрыш пешки. В приводимых ниже вариантах, в отличие от общепринятого, мы будем нумеровать не ходы, а полуходы. Так легче следить, какие ходы разрешено смотреть.

1. 2. Л:e5 3. Лd8+ — этот ход уже выбран по правилам форсированной игры, так как из-за проигрыша материала она включается в соответствующей позиции вто-

рого ранга: 4. Кра7 5. Ла8× — ход смотрится, так как он является шахом.

2. 2. Фg6 (с6, h5) 3. Ф:c7+ 4. Кра8 5. ∅.

3. 2. Фе7 — по мнению программы, ход 3. Ф:a6 выигрывает пешку. Программа продолжает вариант: 4. Ф:e5 5. Ф:a2 6. Фе3+ 7. Кrf1 (h1, g2). Теперь ходы 8. Фf3, если белый король ушел на f1 или h1, и 8. Фе2+, если он ушел на g2, не разрешены, так как лимит ходов, разрешенных черным в форсированной игре, исчерпан (о правилах разрешения и запрещения шахов будет сказано в следующем разделе). Поэтому программа не видит, что черные выигрывают ладью. К счастью, белые предпочли бы выигрыш двух пешек: 3. Фb6+ (шах еще не в форсированной игре) 4. Кра8(c8) 5. Ф:a6+ 6. Кrb8 7. Ф:b5+ (ход разрешен не как шах, а как взятие, но черные не могут ответить пустым ходом, потому что им шах) 8. Кра7 (a8, c8) 9. ∅.

4. 2. Сс4 3. Ф:a6 и нельзя играть 4. Л:e5 из-за 5. Лd8×. Черные выбрали ответ 31. ...Фg6 и получили мат: 32. Ф:c7 Кра7 33. Лd7! В ответ на 33. ...Фf5 не обученная стандартным матам (34. Фа7× и 34. Фb7×) программа дала нестандартный — 34. Фс6×. Она предпочла его из-за того, что поле с6 не находится под ударом противника (на a7 и b7 бьет его король). Если бы ферзь черных не ушел с 6-й горизонтали, то пришлось бы дать стандартный мат.

В партии против программы «первого поколения» (диаграмма 39) наша программа сыграла 32. ...К:f3 и выиграла еще пешку. Действительно, в ответ на 33. Кр:f3

следует 33. ...Лd4, и на 34. Фg3 или h3 можно ответить 34. ...Лd3+ и 35. ...Л:g3 (h3) (глубина модели абсолютной схемы в партии была равна 5 полуходам).

ФОРСИРОВАННАЯ ИГРА И ПОДГОТОВКА К НЕЙ

Приведенные примеры показывают, что борьба за материал часто после нескольких вступительных ходов продолжается как форсированная игра (в смысле машинной модели). Подготовительные ходы обычно с точки зрения шахматистов тоже являются форсирующими, а ответы на них — форсированными. Можно попробовать расширить модель форсированной игры, включив в нее хотя бы некоторые из таких ходов. Дальнейшее развитие идей форсированной игры возможно в следующих направлениях.

1. Включение в нее новых классов ходов так, чтобы среднее количество позиций в деревьях существенно не увеличилось. В настоящее время машина почти две трети времени работы тратит на перебор вариантов форсированной игры. Существенно увеличить эту долю нежелательно.

2. Исключение явно бессмысленных взятий и других ходов.

3. Включение классов форсирующих и форсированных ходов, если даже это существенно увеличит количество позиций в ее дереве. Такие ходы можно включить, если будут разработаны эффективные методы отсеечения ходов всех классов. Они нужны также для построения моделей, в которых «либеральные» правила разрешения ходов постепенно заменялись бы на все более «жесткие».

Начнем с обсуждения идей, относящихся к первому направлению. Как показал анализ партий шахматистов и деревьев машинного перебора, форсированный характер игры часто возникает, когда одна из сторон дает шах или угрожает матом в один ход. В ответ на шах нужно либо взять шахующую фигуру, либо перекрыть линию шаха, т. е. встать своей фигурой на одно из известных полей, либо пойти королем. В ответ на угрозу мата найти защиты немного труднее. Таким образом, число форсированных ответов в обоих случаях невелико. Впрочем, можно обойтись без их предварительного определения: если мы пойдем иначе, то в первом случае король останется под шахом, а во втором — получит мат. Отметим

еще, что пустой ход в ответ на рассматриваемые угрозы, безусловно, должен быть запрещен.

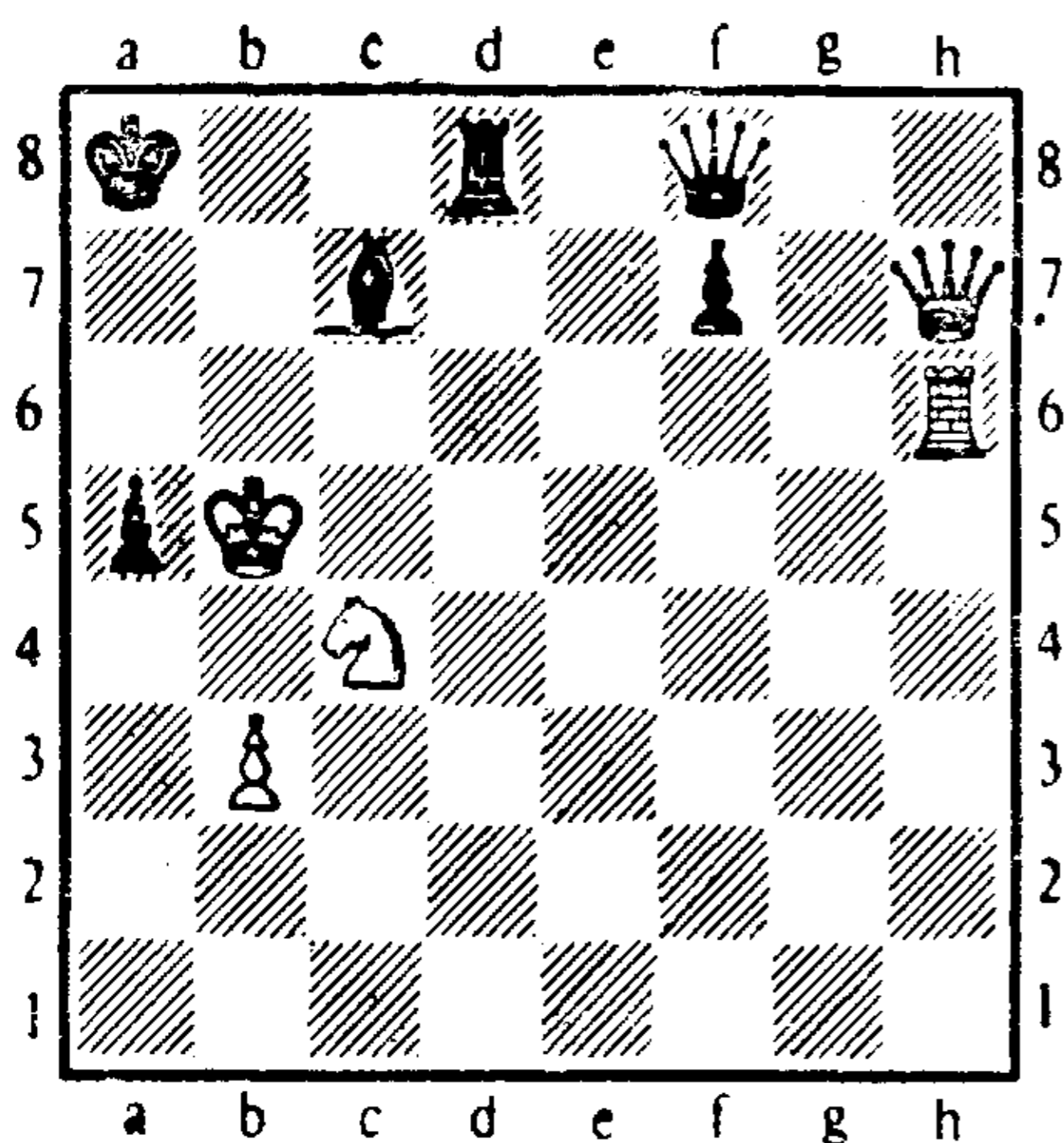
Следующий пример (диаграмма 40) показывает возможности ограничиться исследованием «тощего» дерева форсированной игры, в которой разрешены шахи и угрозы мата в один ход, и трудности определения правильного порядка ходов при исследовании такой модели. Это известный этюд А. Куббеля. Белые выигрывают следующим образом:

1. Фe4+ Крb8 (1. ... Кра7 2. Лa6+ Крb8 3. $\text{Фа8}\times$)
2. Лb6+ С:b6 (2. ... Крс8 3. Фb7+ Крд7 4. Кe5+ Кре7
5. Ф:c7+ Кре8 6. Фс6+ Кре7 7. Кг6+ , если 4. ... Кре8 ,
то 5. Фс6+ Крс7 6. Кг6+ или 5. ... Лd7 $\text{Ф:d7}\times$)
3. Кра6! Лd7 (или 3. ... Лd5 4. Ф:d5 Фс8+ или Фe7
5. Кр:b6 Фс7+ 6. Крb5) 4. Фа8+ Кр:a8 5. К:b6+
 Крb8 6. К:d7+ и 7. К:f8 .

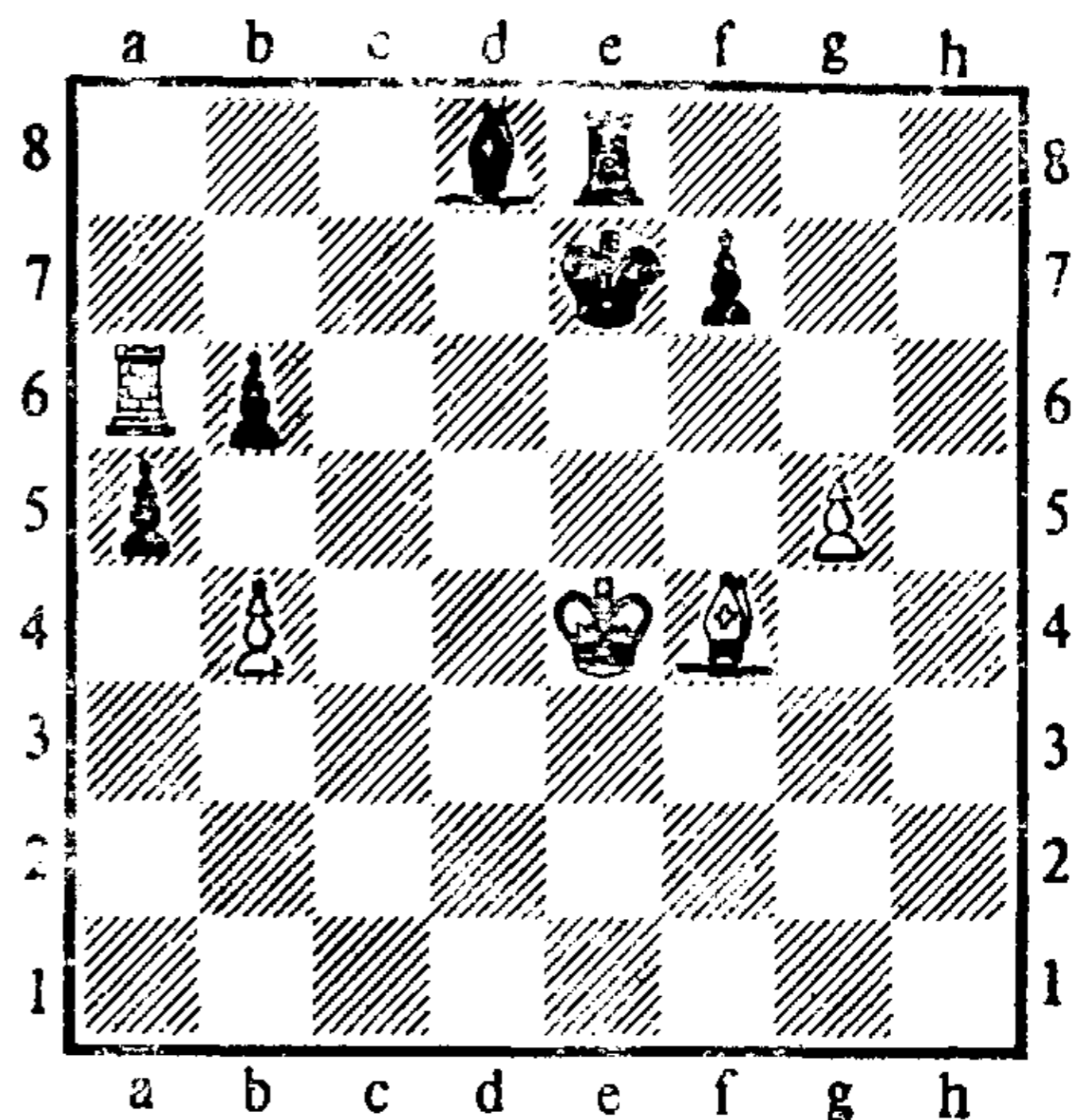
При игре белых по задуманному автором этюда способу мы рассмотрели почти все ответные ходы черных (не рассмотренные легко опровергаются). Но сколько у белых способов играть по-другому! Они могут, например, играть 1. Лa6+ . Ответ 1. ... Крb7 проигрывает, но после 1. ... Крb8 белым нечего делать. Однако форсированная игра продолжается: 2. Ла8+ Кр:a8 3. Фe4+ Крb8 4. Фа8+ (b7+) Кр:a8 (b7) и только теперь возникает модельно-заключительная позиция. Или 2. Фe4 (с угрозой мата в один ход) Фb4+ 3. Крс6 Фb7+ и 4. ... Ф:e4 . Эти варианты форсированной игры после хода 1. Лa6 далеко не исчерпываются, а ведь у белых есть еще, например, возможность играть 1. Фe4+ Крb8 2. Кb6 тоже с угрозой мата в один ход.

Поэтому надо как-то ограничить число шахов в дереве модели форсированной игры. Пока такое ограничение производится волюнтаристским образом: шах разрешен «на входе в форсированную игру» — из позиций, возникающих после ходов из более «либеральной» части модели, т. е. тех, из которых разрешены не только ходы форсированной игры. Кроме того, каждая сторона в пределах форсированной игры может дать еще по одному шаху на ветке. Так, например, если позиция, изображенная на диаграмме 41, — первая на ветке, лежащая в «нелиберальной» части модели, то:

1) вариант 1. Ла7+ Кре6 2. ba ba 3. Лa6+ Крд7+
4. Се5 состоит из разрешенных ходов;



40



41

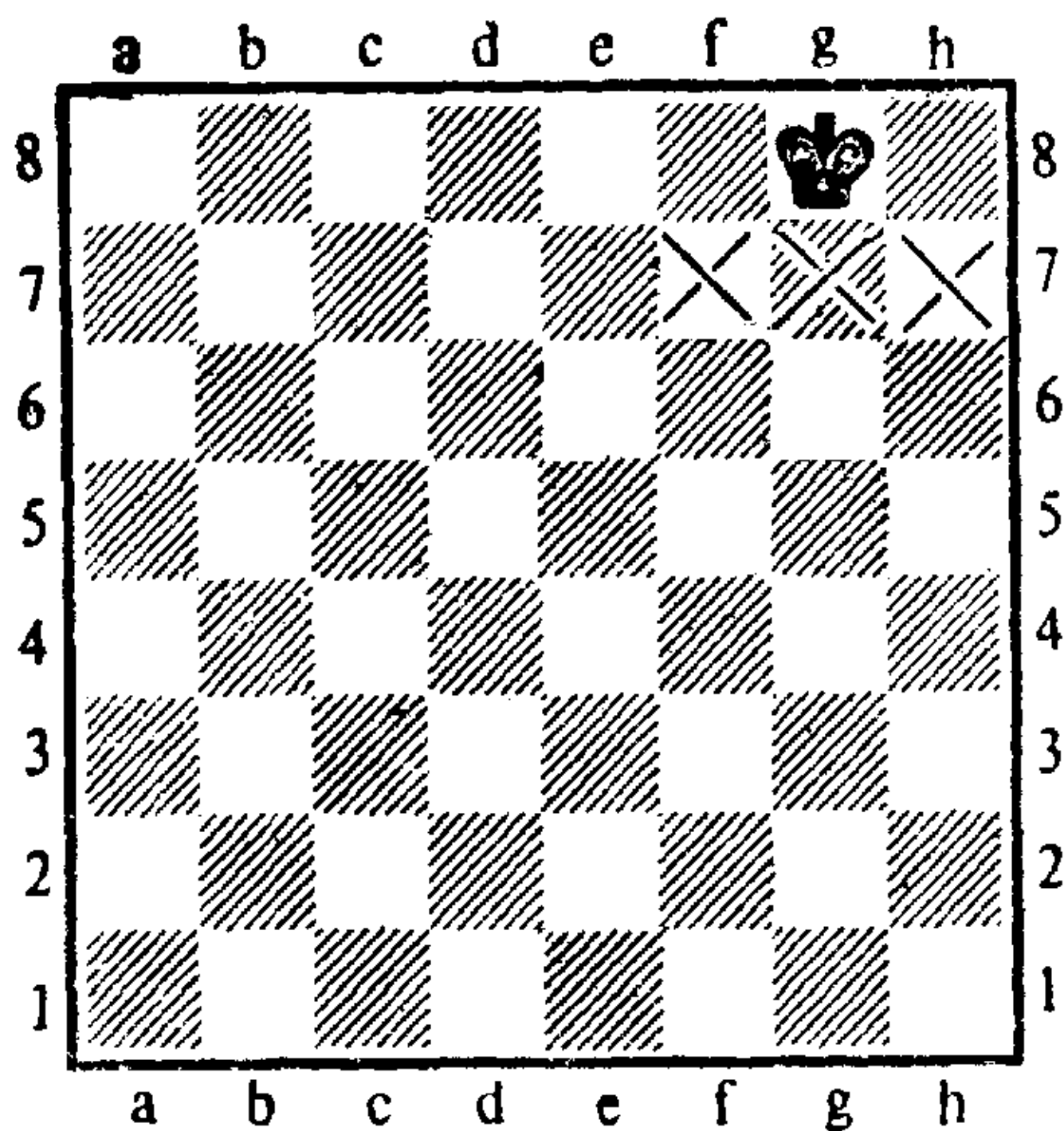
2). ответ 4. ...f5+ запрещен, так как это второй шах черных на ветке;

3) после ответа 4. ...С:g5 запрещен шах белых 5. Лd6+, так как он второй, не считая вступительного 1. Ла7+;

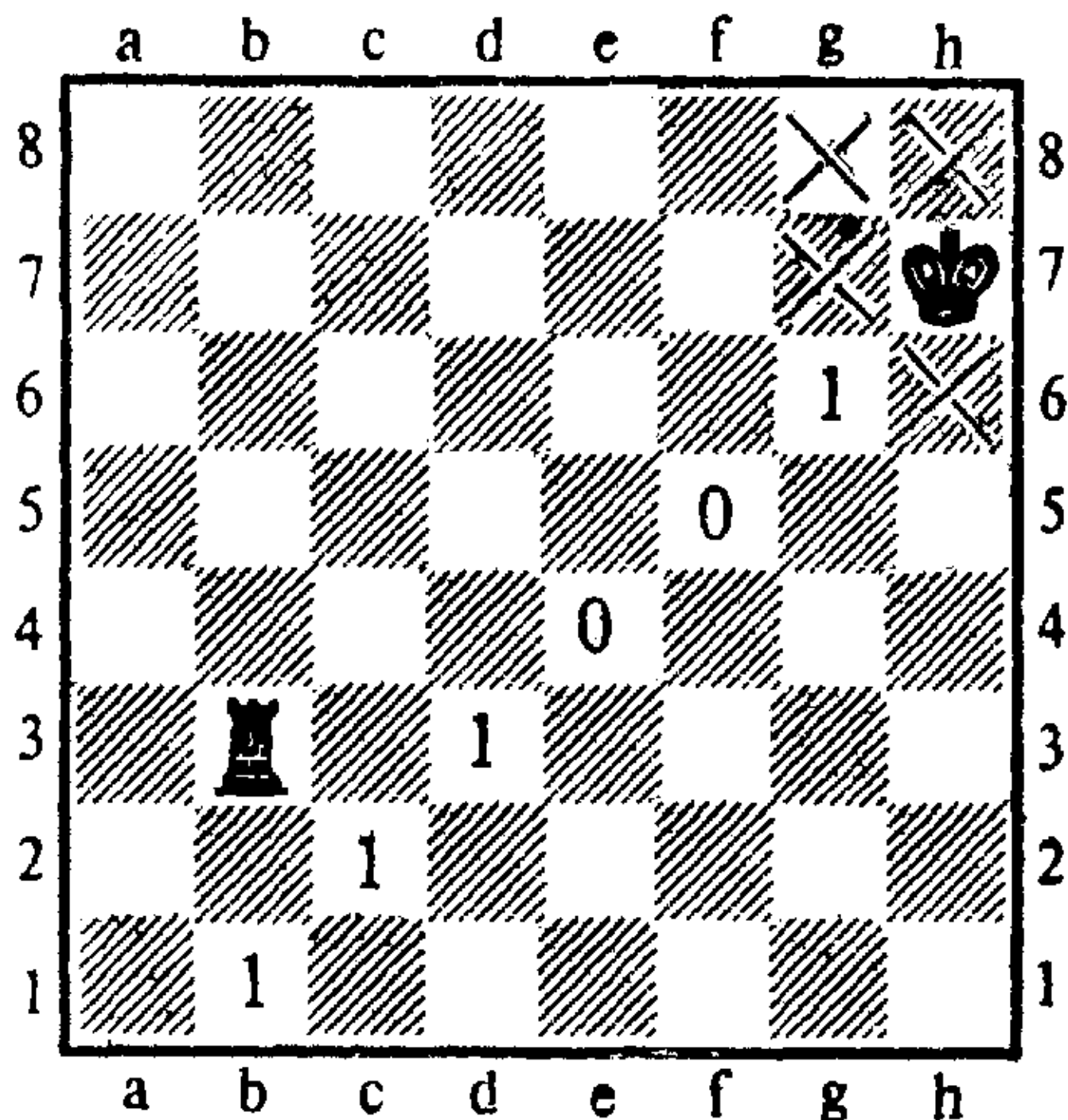
4) после 1. Ла7+ Креб разрешен шах 2. Ле7+, так как он является первым невступительным шахом белых на другой ветке дерева модели форсированной игры, и по той же причине после 1. Ла7+ Креб 2. ba ba шах 3. Ле7+ тоже разрешен.

Другая задача, связанная с разрешением шахов в форсированной игре, — определить, что данный ход будет шахом, не делая его, т. е. не производя соответствующего преобразования позиции. Еще труднее увидеть в позиции возможность создать угрозу мата в один ход. Начнем с шахов. Мы уже говорили о статическом признаке ферзевых возможностей короля. Этот признак надо разбить на два: ладейные и слоновые возможности. Аналогично можно определить еще коневые и пешечные возможности короля (пешечные — только для короля, находящегося под ударом). Ход фигуры противника на поле одноименной возможности (ферзя на поле ладейной или слоновой возможности) является шахом королю.

Однако вскрытые шахи подобным образом прогнозировать нельзя. А шахматисты говорят, что как раз они особенно опасны. В нашей программе вскрытыми шахами пренебрегают: не пробовать же все ходы, вдруг откроется удар на короля. Можно ли найти вскрытые шахи с мень-



42



43

шей потерей времени и как? Один из способов основан на том, что такой шах, найденный в одной позиции, остается вскрытым шахом и в других. Первый раз он мог быть найден случайно: мы попробовали пойти фигурой, стоящей на линии шаха, например, еще в «либеральной» части модели. Когда вскрытый шах возник, стала видна и его линия. Следить за ней в процессе перебора и проверять, не пропала ли возможность вскрытого шаха, не составляет особого труда.

Пожалуй, все же самый важный вскрытый шах — новый, какого из рассмотренных ранее позиций нельзя было дать. Чтобы найти его, не делая лишних ходов, нужна дополнительная работа в процессе преобразования позиции в результате хода. Она состоит в продолжении линий действия дальнобойных фигур (ферзей, ладей и слонов) до второго препятствия, что полезно и для других целей. Если же времени не хватает, можно продолжать только те линии, на которых есть противостояние дальнобойной фигуры и короля (или еще и ферзя) противника (удар через все препятствия). Противостояние легко обнаружить, и оно является статическим признаком, почти всегда учитываемым шахматистами.

Любые нападения на мат в один ход, вероятно, не стоит и пытаться прогнозировать. В то же время даже не полное включение их в модель форсированной игры может существенно усилить программу и не слишком увеличит количество позиций в деревьях. Когда такая угроза обнаружена, за ней можно следить так же, как и за воз-

возможностью вскрытого шаха. Есть перспективный способ находить некоторые новые угрозы мата в один ход, который можно обобщить для использования в других целях, а именно — создания списка стандартных ситуаций и распознавания последних в рассматриваемых позициях. Такие ситуации можно определять с разной степенью конкретизации. Мы приведем некоторые из них.

1. Мат на последней горизонтали — весьма общая ситуация. Ее можно описать при помощи следующего набора признаков:

а) стесненный король — диаграмма 42, где символом X обозначены поля, занятые своими пешками или находящиеся под ударом противника; возможные симметрии — произвольный сдвиг по горизонтали и отражение от средней линии поля с изменением цвета фигур;

б) поля первой горизонтали для белых и восьмой для черных, защищенные не более одного раза; они определяются при помощи просмотра полей этой горизонтали;

в) поля, с которых может напасть на мат ладья и ферзь;

г) поля, с которых может напасть только ферзь.

Поля пунктов б), в) и г) можно образовать в случаях, когда имеется статический признак а). Однако и при таком ограничении выполнение соответствующих операций — довольно трудоемкое дело. Поэтому есть смысл рассматривать только частные случаи, определяемые признаками:

д) на последней горизонтали нет тяжелой фигуры;

е) есть открытая вертикаль;

ж) критическое поле (пересечение открытой вертикали и горизонтали возможного мата) не находится под ударом стороны цвета короля;

з) поля между критическим и королевским находятся не более чем под одним ударом стороны цвета короля.

Если критическое поле находится под ударом тяжелой фигуры, грозящей матом, и защищено не избыточно (так будет после защиты от угрозы мата по последней горизонтали, осуществленной ранее), то угрозой мата (хотя и не в один ход) является новый удар тяжелой фигуры, в том числе создание батареи. Найти такой ход уже легко. Бывают аналогичные угрозы мата по крайней вертикали, однако гораздо реже.

2. Мат стесненному королю. Пример ситуации общего вида изображен на диаграмме 43, где: символом X отме-

чепы поля, занятые фигурами цвета короля или находящиеся под ударом противника; символом 1 — поля на линии, с которой можно дать мат, находящиеся под ударом одной фигуры цвета короля или допускающие перекрытие линии удара; символом 0 — поля, с которых можно дать мат (в данном случае слоном или ферзем). Узнавание угроз такого типа в позиции, по-видимому, достаточно сложно. Поэтому мы рассмотрим более конкретные частные случаи.

Таковы, например, маты ферзем с соседнего поля при короле, стоящем на последней горизонтали или вертикали. На диаграмме 44 изображены такие ситуации, где символ X — уже принятое нами обозначение, а K — критическое поле. Оно должно находиться под ударом активной стороны и быть защищено только королем. Если на него бьет ферзь, то угрозой является удар любой другой фигуры, в том числе создание батареи; если другая фигура, то только удар ферзя. Симметрии ситуации — те же, что и для мата по последней горизонтали. Если же их проверка слишком «дорога», то можно рассматривать только угрозы мата при короле на g8 (b8, g1, b1) и h8 (a8, h1, a1) (угрозы мата по последней горизонтали можно рассматривать тоже только такие). Легко расширить список подобных весьма конкретных угроз.

3. С угрозами мата в один ход можно связать производные угрозы, например нападение на защищающую от мата фигуру: когда уже есть два удара на критическое поле, но противник защитил его, защищающую фигуру можно взять, даже проигрывая при этом материал. На нее можно папасть или перекрыть линию защиты. В дальнейшем мы подробнее опишем способы развертывания угроз, относящиеся не только к угрозам мата в один ход.

Перечислим еще некоторые классы форсирующих ходов и ответов на них, причем не будем говорить о том, как прогнозировать принадлежность хода к такому классу.

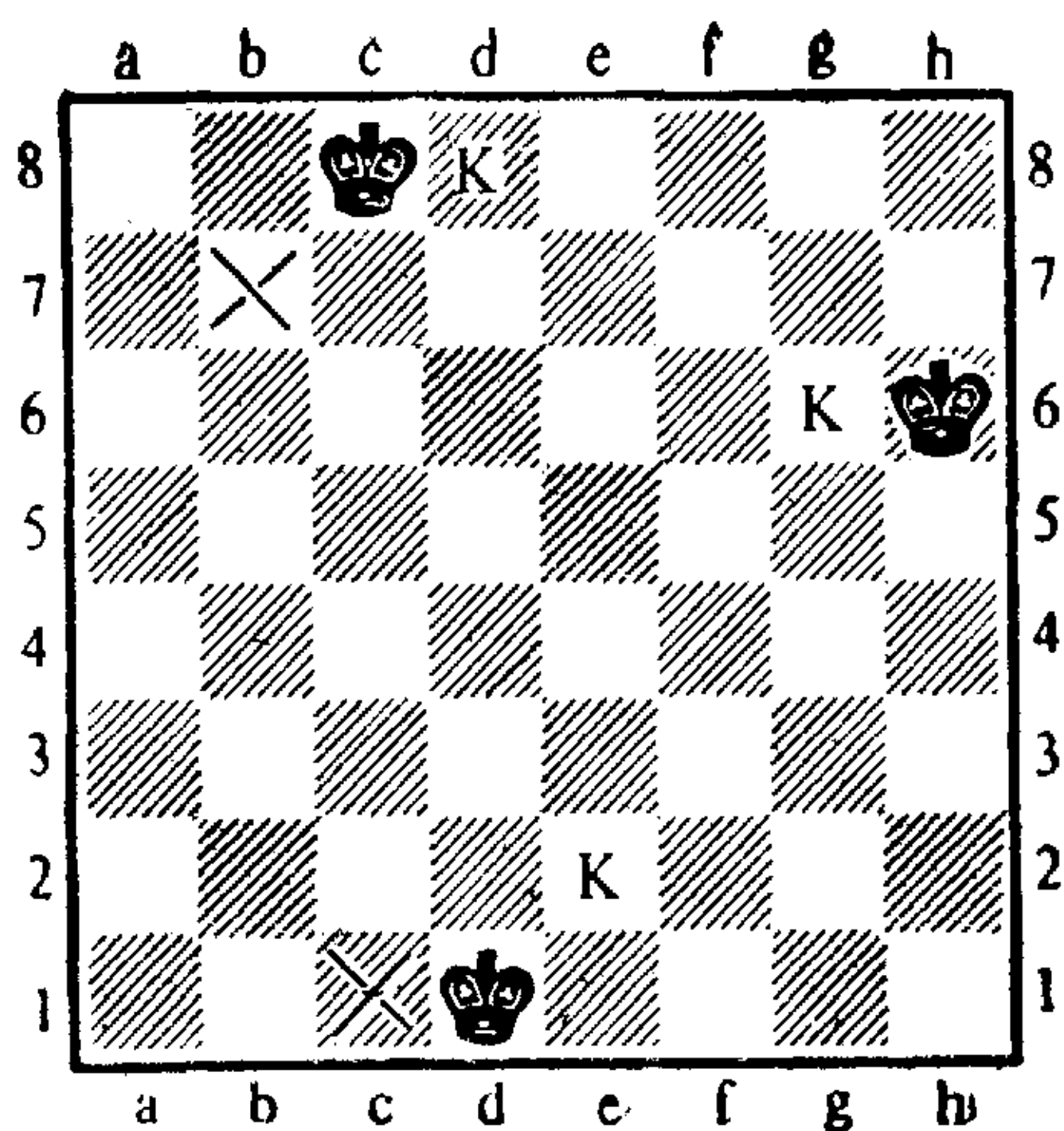
1. Ход пешкой на предпоследнюю горизонталь.

2. Блокада пешки, стоящей на предпоследней горизонтали, и уход фигуры из-под ее удара.

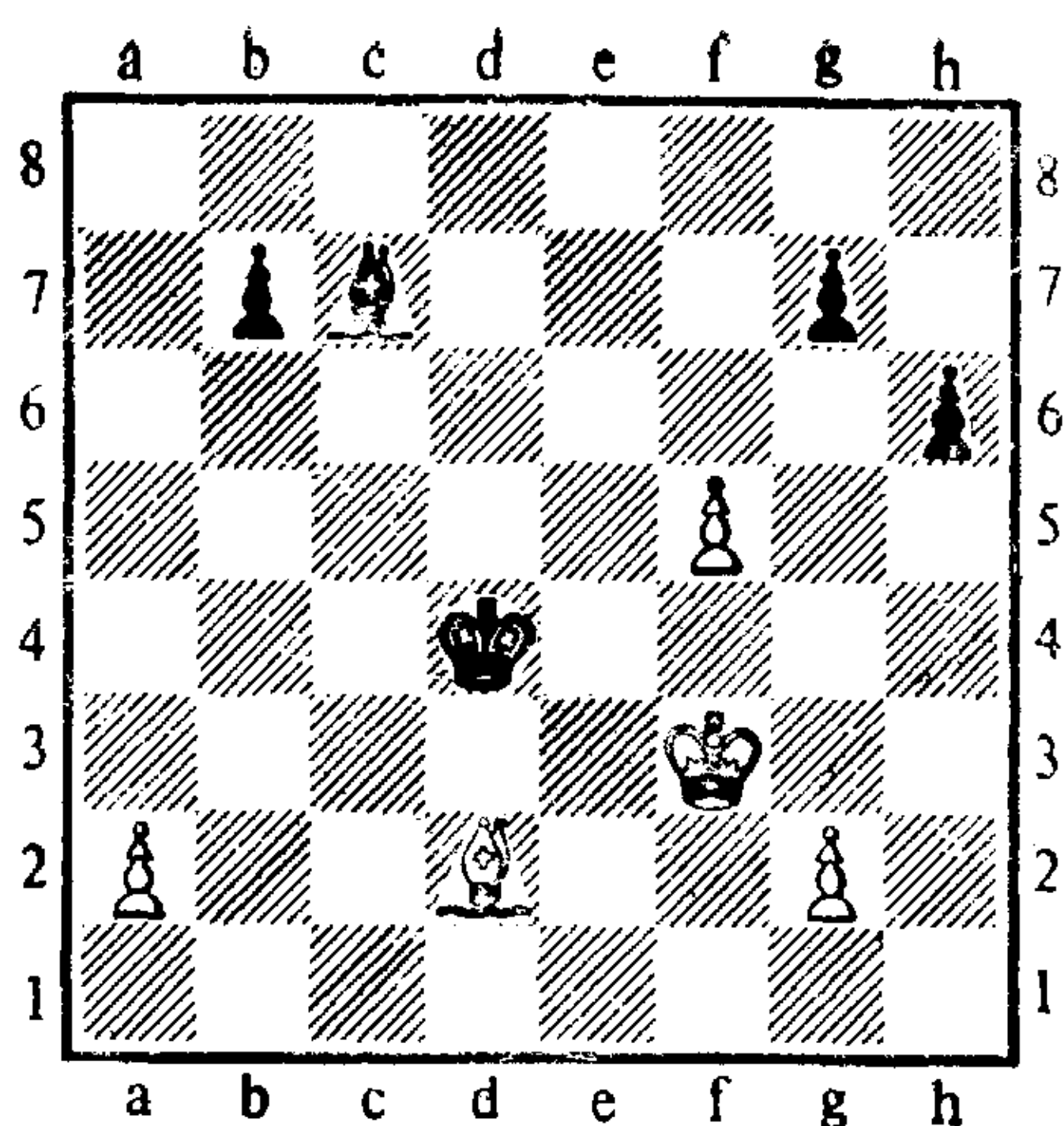
3. Двойной удар (вилка). При его включении в модель нужно как-то решить следующие вопросы:

а) какие ходы разрешить в ответ;

б) проверять ли, что ход оказался двойным ударом, после его выполнения или заранее, и как делать такие прогнозы.



44



45

4. Нападения на связанные и деплассированные фигуры. Для их включения нужно решить такие вопросы:

а) как узнать, что фигура связана или деплассирована;

б) как определить, что нападение на нее является угрозой выигрыша.

5. Защиты связанных и деплассированных фигур. Полезно уметь прогнозировать их достаточность.

Разумеется, проблемы определения классов форсирующих и форсированных ходов не исчерпываются сказанным.

Займемся теперь вопросом сокращения модели форсированной игры и аналогичных моделей. После того, как, например, рассмотрен ход 1. С:h6 из позиции, изображенной на диаграмме 45, такое взятие можно не пробовать из многих позиций дерева перебора. Конечно, обстоятельства могут измениться: после хода черных g6 взятие на h6 станет актуальным. Однако существуют более или менее легко определяемые признаки изменения ситуации. Идея условного запрещения ходов после их проверки из некоторой позиции и определения признаков отмены таких запрещений заслуживает самого серьезного исследования.

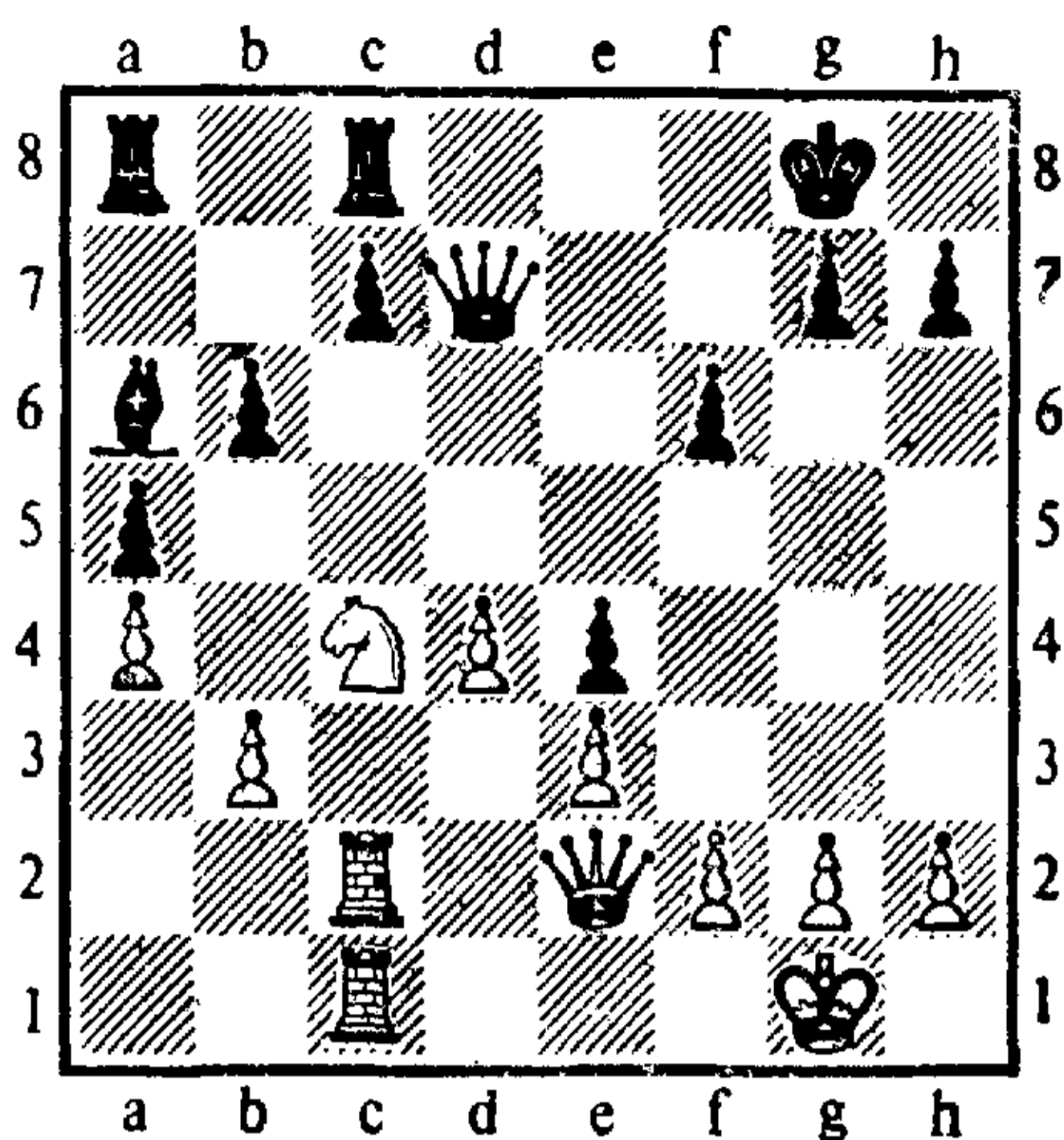
Мы уже говорили, что вопрос об исключении из модели форсированной игры «пижонских» шахов решен неудовлетворительно. Можно предложить другое семантическое решение. Правда, число разрешенных шахов увеличится. Предлагается разрешить: шахи с недостаточным взятием;

шахи с достаточным нападением; двойные шахи; вскрытые шахи с ударом уходящей фигуры на поле, соседнее с королем противника; первые шахи фигур на ветках модели; шахи ферзем и, может быть, ладьей при условии, что шахующая фигура приближается к королю противника; шахи пешками.

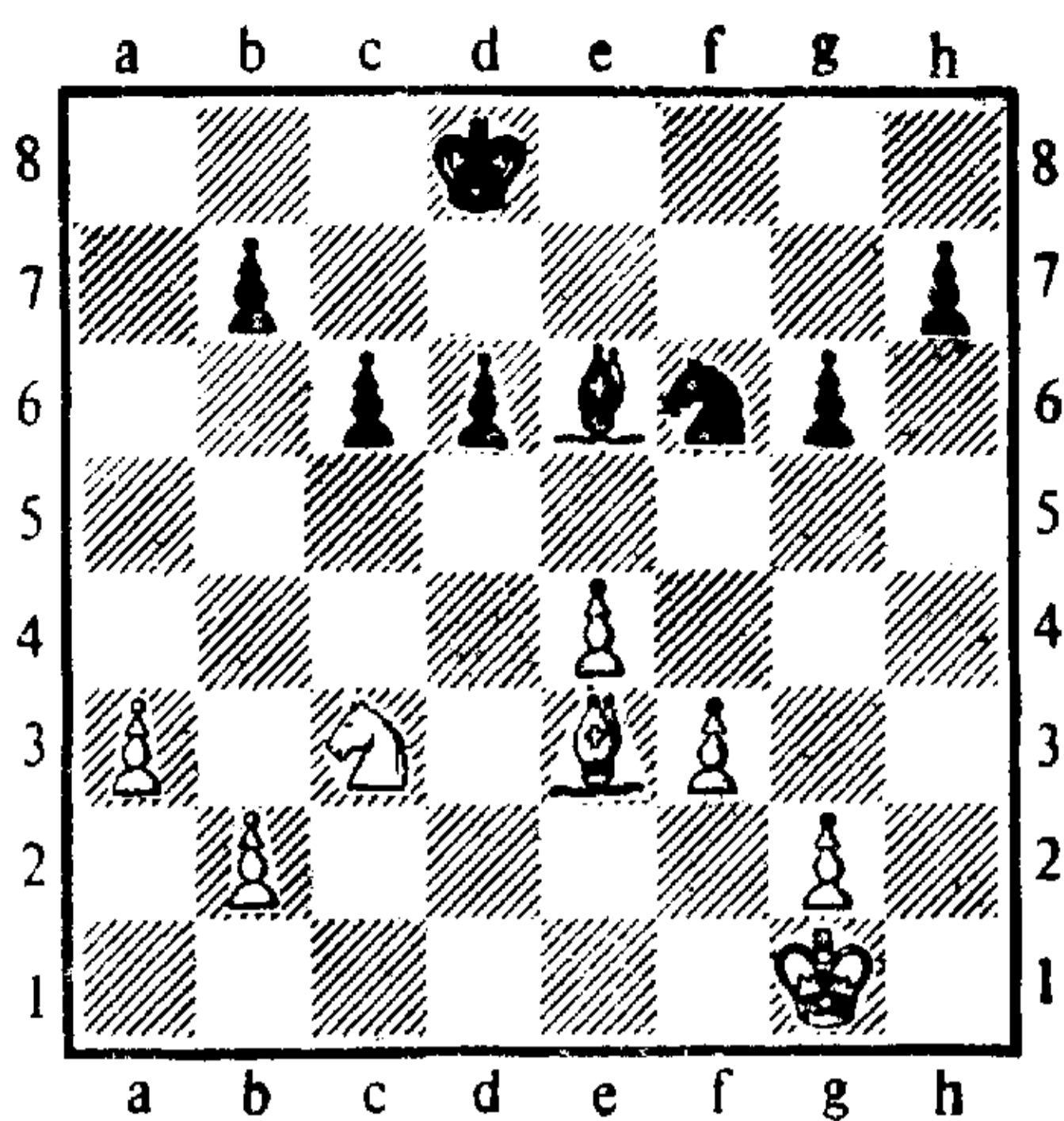
Форсированные с точки зрения шахматистов варианты не всегда начинаются подготовительными ходами. Иногда после нескольких разменов, разрешенных в модели форсированной игры, следует тихий ход, после которого угрозы материального выигрыша становятся неотразимыми. Эти варианты разрешены в так называемой модели тихой игры. Несмотря на свое название, она предназначена, чтобы «не зевать» именно форсированные продолжения. Кроме параметра глубины, задается значение еще одного параметра — число обязательных тихих ходов на ветке. Правила разрешения ходов в модели тихой игры следующие: если ранг позиции меньше параметра глубины перебора, то разрешены все шахматные ходы; если на ветке, ведущей в позицию, число тихих ходов меньше своего ограничения, то также разрешены все шахматные ходы; в остальных случаях разрешены ходы форсированной игры — и только они.

Пользуясь такой моделью, программа найдет выигрывающий вариант из позиции, изображенной на диаграмме 46 (партия Харузек—Чигорин, Будапешт, 1896), при двух обязательных тихих ходах на ветке. Глубина перебора может быть задана равной даже 0, все равно из позиций нулевого и первого рангов в модели будут разрешены все ходы. Но сколько продолжений программа посмотрит совершенно зря! Например, после 1. К:b6 cb 2. Ф:a6 Л:a6 3. Л:c8+ Кrf7 она не имеет права закончить вариант пустым ходом, а должна еще посмотреть все пятые ходы белых и все ответы черных на каждый из них. Мало того, из позиции, изображенной на диаграмме 47, программа найдет выигрывающий вариант: 1. Сg5 Кре7 2. e5! de 3. Ке4 и 4. С:f6 только при пяти тихих ходах на ветке или глубине перебора в шесть полуходов. А ведь каждый ход белых — угроза выиграть коня, ход черных — его защита, и человек найдет этот вариант без особого труда!

Тихие ходы в приведенных выше вариантах имеют самое непосредственное отношение к борьбе за материал. Поэтому хотелось бы определить признаки, которыми они



46



47

отличаются от остальных шахматных ходов. Эта проблема имеет две стороны — семантическую, т. е. вопросы описания смысла признаков, и техническую, относящуюся к методам распознавания признаков. Что касается второй стороны, то здесь мы только отметим необходимость исследовать позицию после хода. Подход к семантической стороне признаков может быть различным, в связи с чем будут определены разные признаки, но удовлетворяющие им ходы в основном одни и те же.

Один из подходов состоит в прогнозировании отношения ходов к возможностям форсированной игры. Если один из противников делает вступительный ход к форсированной игре с целью выигрыша материала, а другой не обращает на него внимания, то часто такую игру можно пачать немедленно. Эти ходы мы будем называть активными. В качестве представителя не обращающих внимания на угрозу ответов противника проще всего рассматривать пустой ход, т. е. передачу очереди хода агрессивной стороне. После хода, защищающего от угрозы, материального выигрыша в модели форсированной игры часто нет. Такие ходы мы будем называть защитными.

Для определения активных и защитных качеств ходов исследуются некоторые модели форсированной игры.

1. Модель для проверки хода на активность. Корень — позиция, где фигуры стоят так же, как после испытуемого хода, но очередь хода снова принадлежит только что сделавшей его стороне. Ход является активным, если материальная компонента модельной оценки корня

больше, чем соотношение материала в позиции до испытуемого хода.

2. Модель для проверки хода на защитные качества. Корень — позиция после испытуемого хода с законной очередью хода. Ход считается безопасным, если материальная компонента модельной оценки корня меньше материальной компоненты верхней А.Б.-границ той же позиции в основной модели, т. е. в модели активной игры.

Когда в позиции, из которой исследуются ходы, материал уже выигран, т. е. больше того, что был в корне основной модели и не меньше материальной компоненты верхней А.Б.-границ, то нужно пытаться его сохранить, а не проявлять активность. Поэтому в той же модели форсированной игры мы проверяем, не может ли противник добиться выигрыша материала по сравнению с имеющимся в позиции до испытуемого хода. Если не может, то последний называется угрожающим сохранить лишний материал.

В каком порядке исследовать проверочные модели и какие ходы разрешать в модели активной игры? В действовавшей программе производились обе проверки, причем были испробованы оба порядка проверки. Если сначала проверялись защитные качества хода, то безопасные ходы затем проверялись на активность, а остальные сразу запрещались. При другом порядке запрещались без проверки защитных качеств почти все неактивные ходы. В обоих случаях время работы программы оказалось примерно одинаковым.

В модели активной игры, которой пользовалась действовавшая программа, были разрешены следующие ходы.

1. Если уровень позиции меньше значения параметра глубины перебора и соотношение материала не говорит о его выигрыше, то разрешены все ходы, являющиеся и активными, и безопасными, причем взятия и шахи считаются активными без проверки (для взятий проверка, как правило, автоматически дала бы положительный ответ, так как агрессивная сторона после взятия может сделать пустой ход).

2. Из тех же позиций разрешен так называемый лучший пассивный ход — безопасный и неактивный, для которого модельная оценка корня проверочной модели, изучаемой в первую очередь, максимальна для стороны, чей этот ход. Чтобы выбрать его, в модельно-заключительных позициях первой проверочной модели вычисляются не

только материальная, но и позиционная компонента оценочной функции.

3. Из тех же позиций, если активных ходов не оказалось, разрешаются три лучших пассивных хода при условии, что они безопасны.

4. Если из позиции нет безопасных ходов и ее уровень больше 1, она считается модельно-заключительной с оценкой, равной нижней А.Б.-границы. Для корня дерева основной модели, из которого нужно выбрать ход, и позиций первого уровня, когда нет безопасных ходов, снижается уровень безопасности. Если же активные и безопасные ходы в этих позициях в основной модели проигрывают материал, то в порядке убывания модельных оценок в первой проверочной модели разрешаются новые ходы, пока не будет найден не проигрывающий или все ходы не будут исследованы.

5. Если уровень позиции больше значения параметра глубины перебора, то из нее разрешены ходы форсированной игры и только они.

6. Если уровень позиции равен значению параметра глубины перебора, то из нее разрешены все шахматные ходы. Действительно, проверка хода на безопасность занимает столько же времени, сколько будет затрачено в модели активной игры, где после этого хода будут разрешены только ходы форсированной игры, причем проверка на активность является совершенно лишней.

7. Если уровень позиции меньше глубины перебора, а соотношение материала лучше, чем в верхней А.Б.-границы, то разрешены ходы, угрожающие сохранить лишний материал. Когда в модели активной игры они его не сохраняют, разрешаются еще три безопасных хода с наивысшими модельными оценками в проверочных моделях защитных качеств хода. Таким образом, из рассматриваемых позиций проверка ходов на активность не производится.

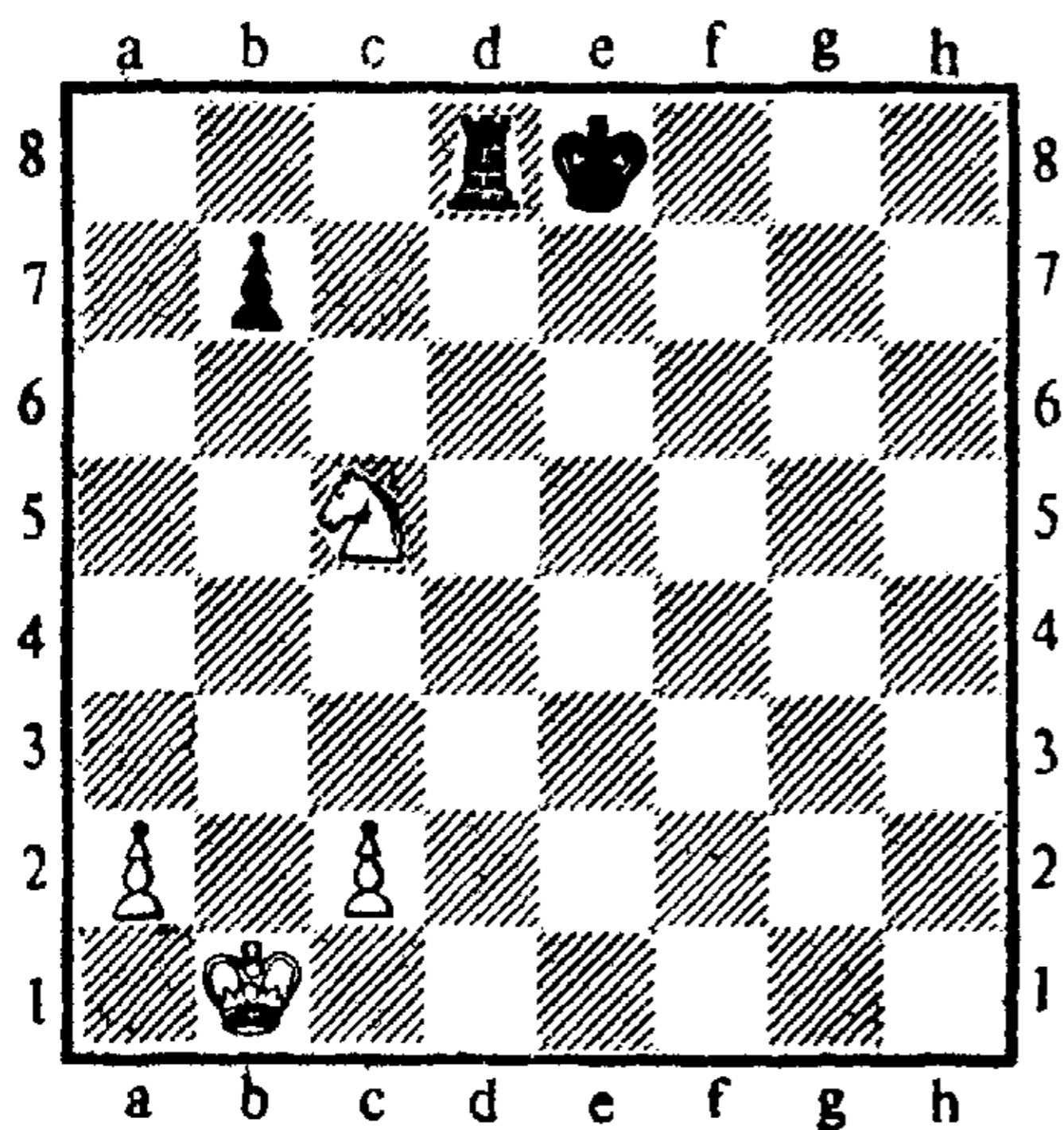
У модели активной игры есть большой недостаток — так называемый эффект псевдоактивности. Из позиции, изображенной на диаграмме 48, белые в форсированной игре выигрывают пешку ходом 1. К:b7. Естественно, он является активным ходом. Однако активными считаются и все ходы королем и пешками, так как после них проверка на активность показывает ту же угрозу взять конем с5 пешку b7. На самом деле ходом 1. К:b7 выиграть

пешку нельзя: после ответа черных 1. ...Лb8 связанный конь b7 проигрывается. Только после ходов 1. Кра1 и 1. Крс1 контругрозы связки нет. Эти ходы действительно активны, а ходы 1. Кrb2, 1. а3, 1. а4, 1. с3 и 1. с4 псевдоактивны.

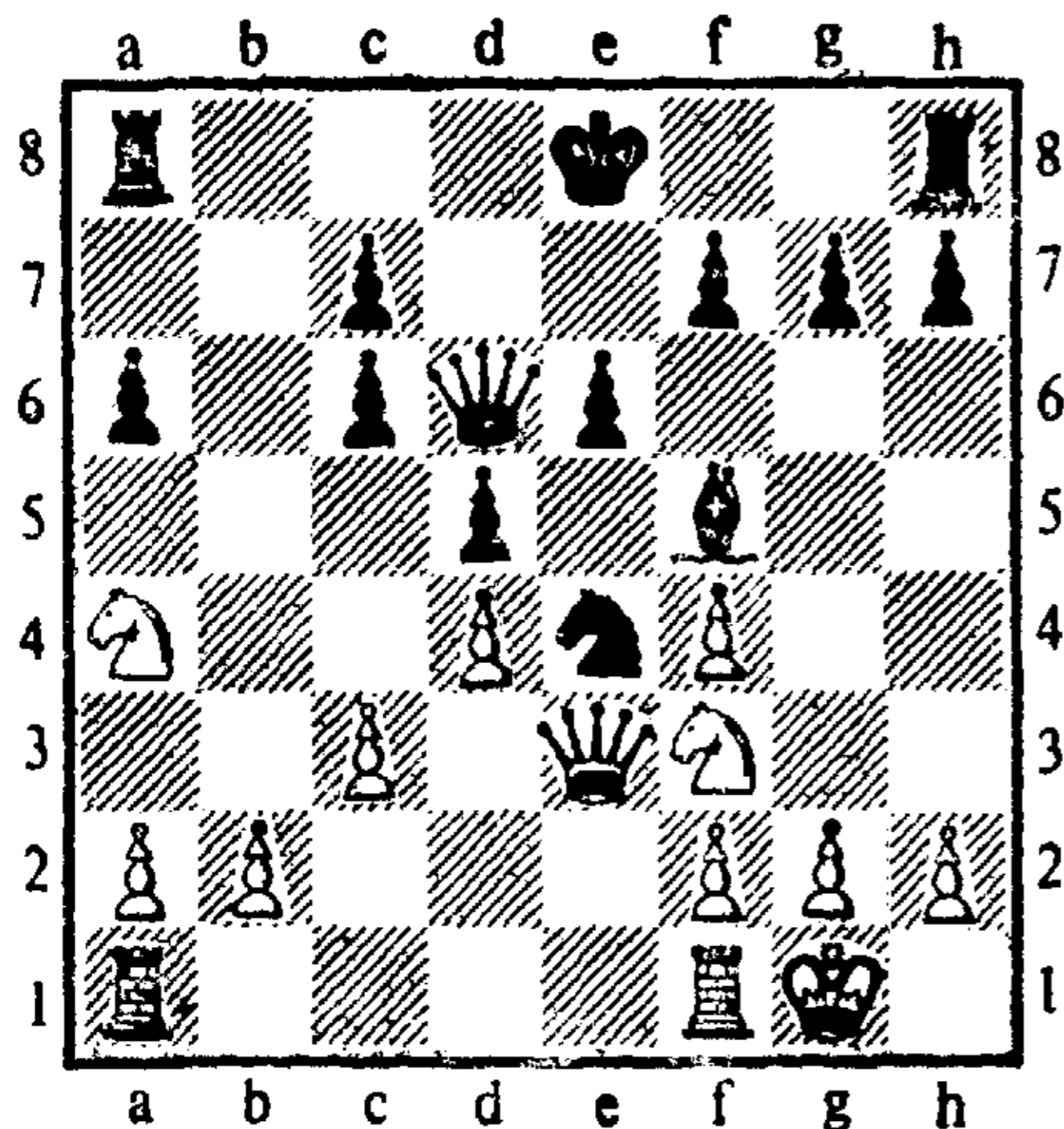
Чтобы исключить псевдоактивные ходы, нужно уметь сравнивать одинаковые ходы из разных позиций, т. е. узнавать сходство и различия ситуаций в них. Вообще, модель активной игры нуждается в дальнейшем исследовании и корректировке. Здесь мы остановимся на вопросе об активных и безопасных ходах. Среди них много бессмысленных. Таковы, например, ходы 1. ...Фа3, 1. ...Фb4, 1. ...Ф:f4, 1. ...К:c3, 1. ...Кd2, 1. К:f2 из позиции, изображенной на диаграмме 49, где черными как раз играла программа, пользовавшаяся моделью активной игры.

В то же время из позиции, изображенной на диаграмме 47, без активных проигрывающих ходов не найти выигрыша: ход 2. е5 при проверке на безопасность проигрывает пешку.

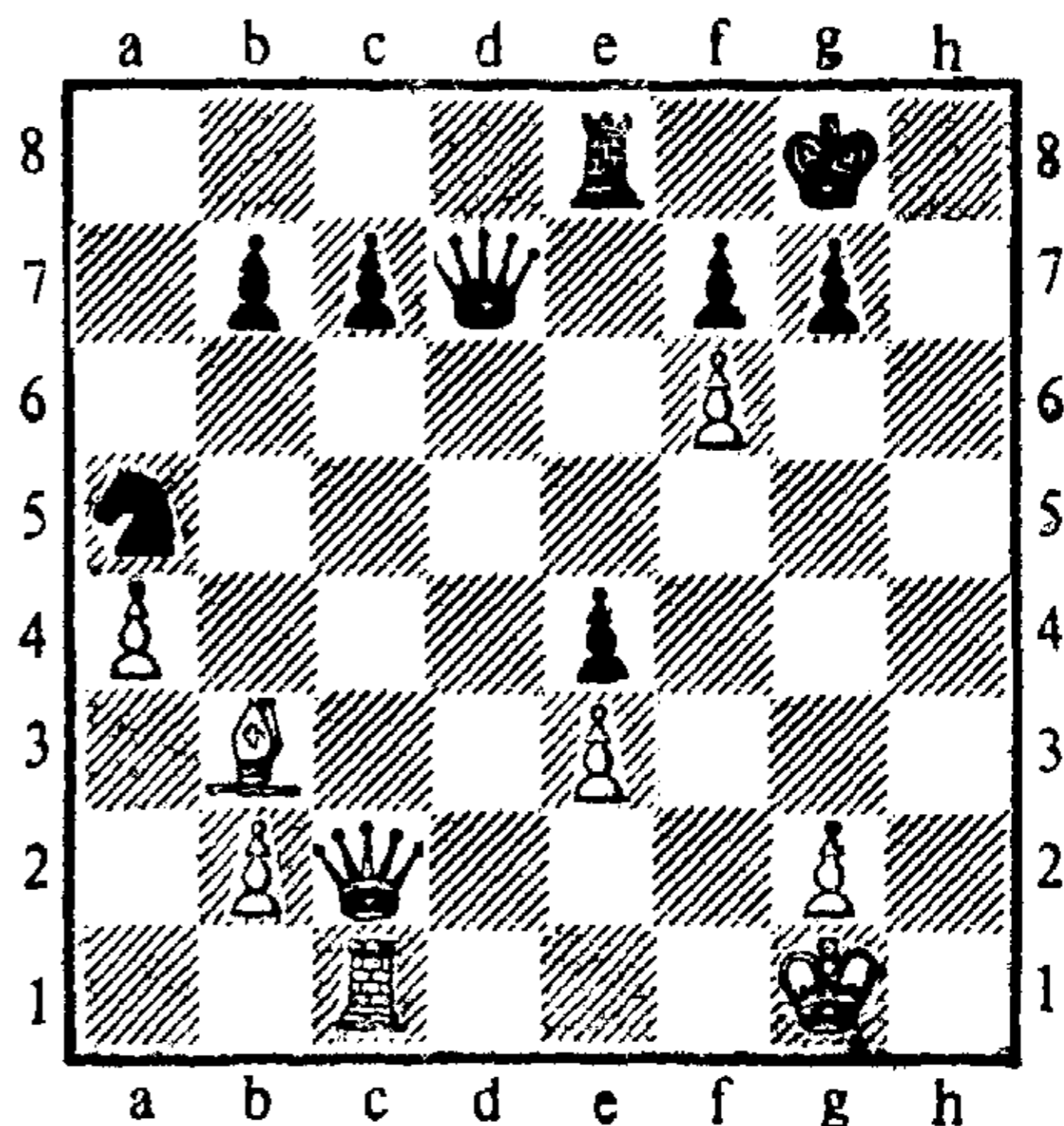
Шахматисты называют его освобождающим ходом: после него конь с3 может пойти на е4 и решить судьбу коня f6. Напрашивается предложение: разрешать активные



48



49



50

проигрывающие ходы, если, кроме активности, в их пользу свидетельствуют и другие соображения. Однако для его реализации нужно разработать семантику обоснований хода.

Активный ход может быть или не быть безопасным в зависимости от того, какие ходы разрешены в модели форсированной игры. Например, из позиции, изображенной на диаграмме 50, ход 1. Фс5 — активный, но не безопасный. Однако после 1. ...К:b3 белые дают мат: 2. Фg5g 6 3. Фh6 и 4. Фg7X. Если бы в форсированной игре были разрешены стандартные угрозы мата в один ход (и защиты от них), то этот вариант принадлежал бы модели проверки защитных качеств хода, и ход 1. Фс5 оказался бы безопасным. Чтобы был безопасным ход e5 в примере со связкой копя f6 (диаграмма 47), достаточно было бы включить в модель форсированной игры нападения на связанные фигуры.

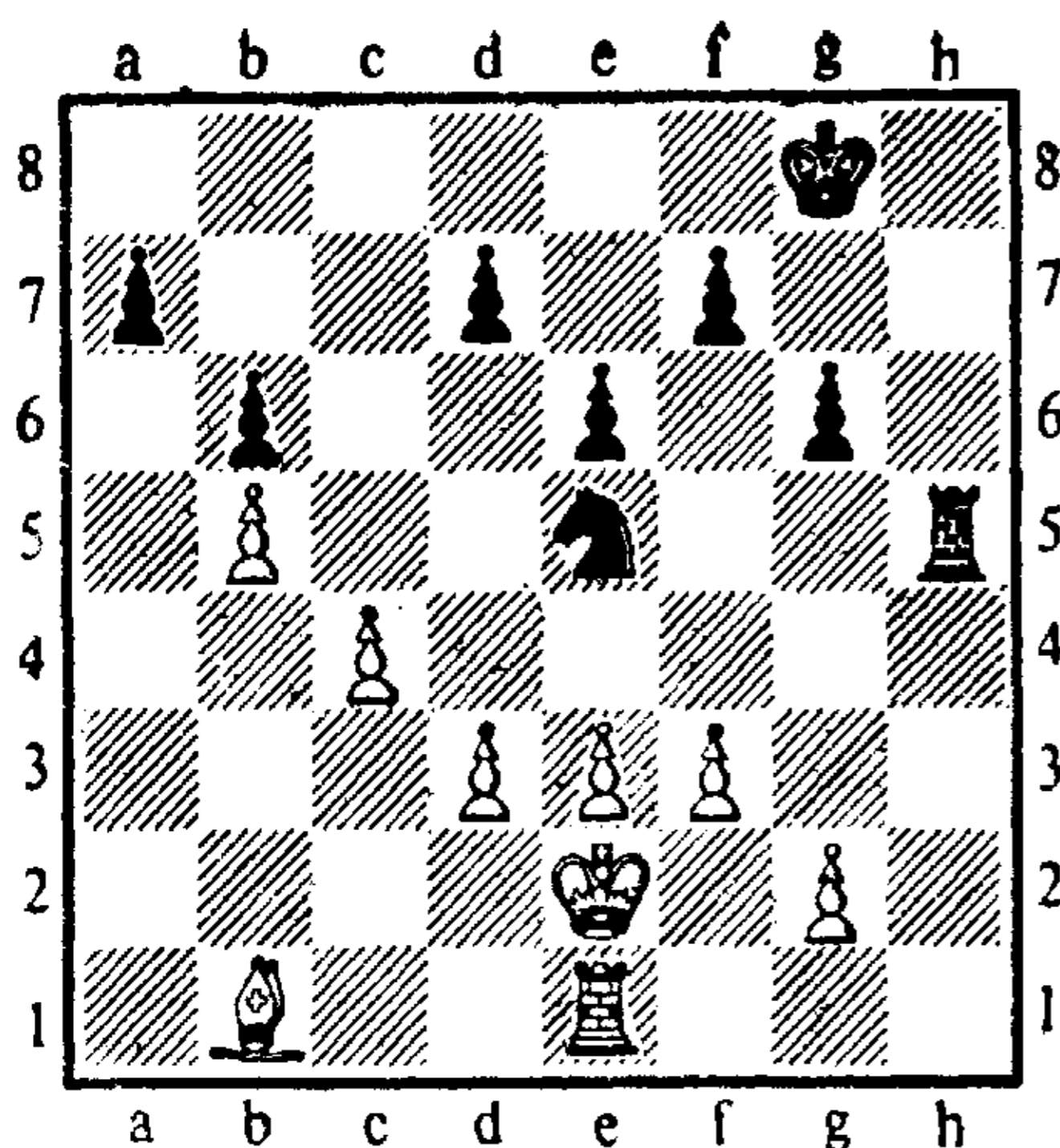
М. М. БОТВИННИК О ПРОГРАММИРОВАНИИ БОРЬБЫ ЗА МАТЕРИАЛ

Рассказ о программировании борьбы за материал был бы неполным без упоминания о работах М. М. Ботвинника, который внес серьезный вклад в теорию и практику шахматного программирования*.

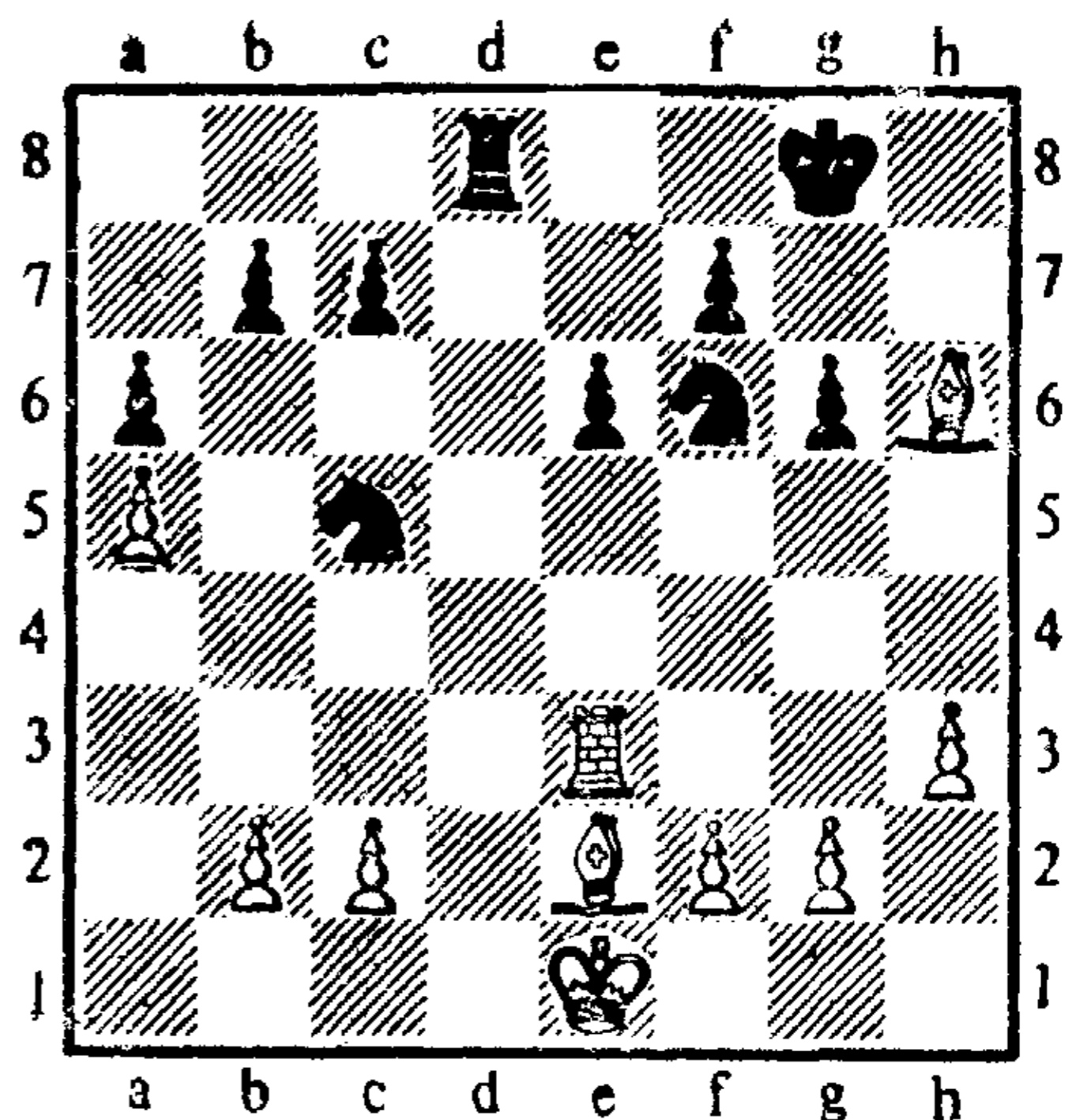
Решив создать шахматную программу, экс-чемпион столкнулся с отличиями шахмат «с точки зрения машины» от тех, в какие он долго и успешно играл. Ему пришлось основательно ознакомиться со спецификой машинных алгоритмов, сопоставить свое глубокое понимание шахмат и богатый опыт шахматиста с «правилами игры в программирование». Преодолев эти трудности, он разработал эвристический машинный алгоритм. Созданная им и его сотрудниками программа способна решать сложные шахматные этюды и находить комбинации, случившиеся в практических партиях.

Вопросам борьбы за материал М. М. Ботвинник придает важнейшее значение, и его подход к этим вопросам сильно отличается от подхода других авторов. Многие

* См.: Ботвинник М. М. Алгоритм игры в шахматы. М.: Наука, 1968; Он же. Блок-схема алгоритма игры в шахматы. М.: 1972. Препринт; Он же. О кибернетической цели игры. М.: Советское радио, 1975; Он же. О решении неточных переборных задач. М.: Советское радио, 1979.



51



52

исходили из представления, что существует «истинное» соотношение материала в позиции, нередко «скрытое», т. е. не равное результату сравнения материальных весов фигур противников, стоящих на доске. Другие разрабатывали методы определения целей ходов в борьбе за материал и отбора целей и ходов. Третьи рекомендовали идти от представлений, бытующих среди широких кругов шахматистов. М. М. Ботвинник исходит из своего представления о собственной игре, а оно своеобразно, как, наверное, представления всех корифеев, оставивших глубокий след в своей области.

Прежде чем перейти к более систематическому изложению основ метода Ботвинника, рассмотрим несколько шахматных примеров.

На диаграмме 51 белые угрожают выиграть пешку a7 при помощи маневра $Le1-a1:a7$. Хотя сначала нужно освободить первую горизонталь ходом 1. $Sb1-c2$, черные не успевают защитить пешку. Им необходимы минимум три хода ($Kpg8-g7$ и $Lh5-h8-a8$ или уход пешек d7 и f7 с седьмой горизонтали и $Lh7$). Черные могут долго оттягивать нежелательный финал, например 1. ...d5 2. cd (пешка c4 недостаточно защищена, а на 2. $Sb3$ следует 2. ... $Lh2$ и белый король не может одновременно защищать обе пешки d3 и g2) ed 3. $La1 Lh2$ 4. $Kpf2$, но избежать хода $L:a7$ им не удастся.

Чтобы увидеть выигрыш пешки в модели абсолютной схемы, глубина перебора должна быть не меньше восьми полуходов, а в модели тихой игры нужно не менее шести

тихих ходов на ветке. В модели активной игры выигрыш вообще может оказаться незамеченным, так как ход 1. Сс2 неактивный. Программа, отбирающая ходы, имеющие цели в борьбе за материал, также может пройти мимо этого хода. Правда, он деблокирует линию e1—a1 ладьи a1, но не видно, какие выгоды может это принести белым: пока ладья не станет на a1, не будет известно, что с этого поля она нападает на незащищенную пешку a7.

Изменим немного этот пример, сняв белую пешку e3 и черную g6. Тогда у черных появляется маневр Ке5—g6—f4:g2 (так как с поля f4 конь дает шах, черные выигрывают темп). Правда, прямолинейная попытка 1. ...Кg6 2. Ла1 Кf4+ 3. Крf2 Лh2 4. Крг3 Л:g2+ 5. Кр:f4 Л:c2 6. Л:a7 не проходит, так как под ударом оказывается пешка d7 и белые успевают выиграть либо ее, либо пешку b6, но черные могут играть 2. ...d5 3. cd Л:d5! и, нападая на пешку b5, черные выигрывают темп для защиты 4. ...Лd7. Если же белые берут пешку ходом 3. Л:a7, то 3. ...dc 4. dc Кf4+ 5. Крf2 Лh2. 6. Крг3 Л:g2+ 7. Кр:f4 Л:c2. Белым надо либо защищать пешку c4, либо обменять ее на пешку b6, т. е. пешки они не выигрывают. Разумеется, этими вариантами не исчерпаны возможности игры как белых, так и черных.

В позиции, изображенной на диаграмме 52, белые атакуют коня f6 маневром Сh6—g5:f6. Черные успевают защититься: 1. Сg5 Крг7 2. Лf3 Кd7 (e4), но теперь белые могут изменить цель: 3. С:f6+ К:f6 4. Лb3 и на 4. ...Лb8 ответить 5. С:a6. Этот выигрыш будет найден в моделях активной игры и отбора ходов, имеющих цели в борьбе за материал, так как он основан на двухходовых маневрах: Сh6—g5:f6, Ле3—f3:f6 и Лf3—b3:b7, точнее их угроз. Вторые ходы таких маневров выигрывают в модели форсированной игры размена на соответствующем поле. Следовательно, первые ходы являются активными и агрессивными.

По утверждению М. М. Ботвинника — шахматиста, 15 лет бывшего чемпионом мира, в основе любой планируемой операции на шахматной доске находится многоходовое передвижение фигуры с целью уничтожить некоторую фигуру противника (в приведенных выше примерах это были движения Ле1—a1:a7, Лh5—h2:g2, Ке5—g6—f4:g2, Сh6—g5:f6, Ле3—f3:f6 и т. д.). Если даже противнику удастся защититься, то в процессе

борьбы за поставленную материальную цель можно добиться общего улучшения позиции и возможности сменить цель.

Таким образом, борьба за материальную цель состоит в том, что комлевая (термин М. М. Ботвинника) фигура движется по заранее выбранной траектории, фигуры противника мешают ее движению, а свои помогают его осуществить. Этот процесс может прерываться вылазками на других участках сражения, но их следует «вынести за скобки», т. е. рассмотреть отдельно.

Алгоритм Ботвинника основан на планировании такой борьбы, которую он рассматривает как функционирование многоуровневой системы управления*. Каждый уровень имеет свои локальные цели. Цели нижнего уровня — это движения комлевых фигур по траекториям. Более высокий уровень рассматривает какую-либо из этих целей и ставит нижним уровням новые цели — помогать ее достижению или мешать достижению цели противника. Он формирует из выбранной цели и вспомогательных целей обоих противников так называемую зону игры. Следующий уровень следит за взаимодействием зон и объединяет взаимодействующие зоны в одну. Наконец, высший уровень руководит перебором, в который допускаются только плановые ходы, и осуществляет выбор хода из исходной предъявленной машине позиции (или позиции, случившейся в партии).

Это — типичный пример эвристики человека. М. М. Ботвинник занялся созданием соответствующей машинной эвристики, для чего необходимо сформулировать и решить много вспомогательных задач. Одна из таких задач — поиск нужных траекторий (точнее, кандидатов на их роль). Он предложил хранить в памяти машины самые короткие на пустой доске траектории дальнобойных фигур с каждого поля доски на каждое. На пустой доске ферзь и ладья с любого поля не более чем за два хода могут попасть на любое, а слон — на любое поле того же цвета. Значит, машинной памяти хватит на то, чтобы

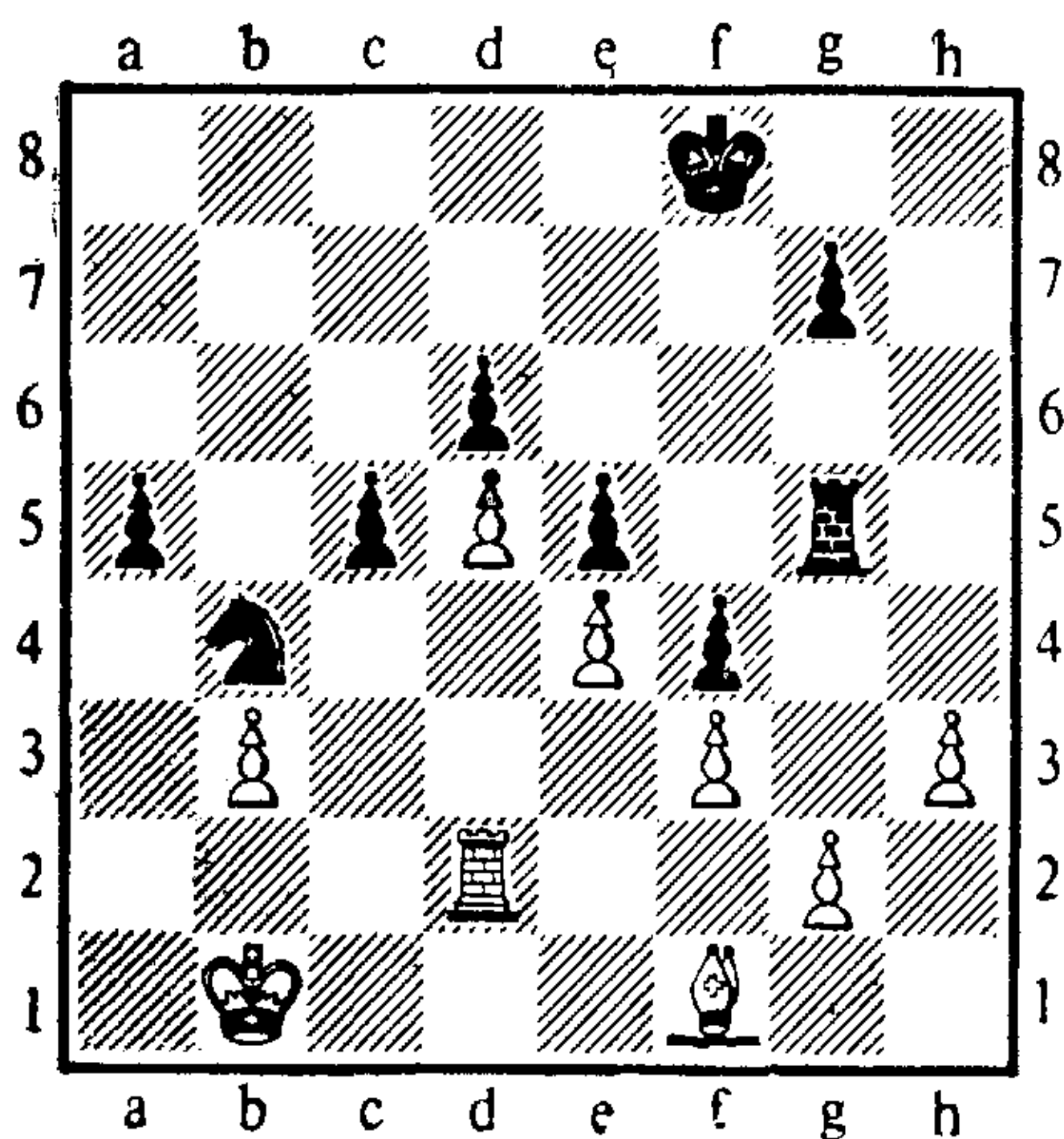
* Обнаружив глубокие аналогии в системах управления разнообразными сложными процессами, М. М. Ботвинник указал на возможность использовать идеи шахматных программ для автоматизации управления. Под его руководством, в частности, была создана программа планирования ремонта электротехнических объектов.

запомнить все кратчайшие траектории и не строить их во время перебора.

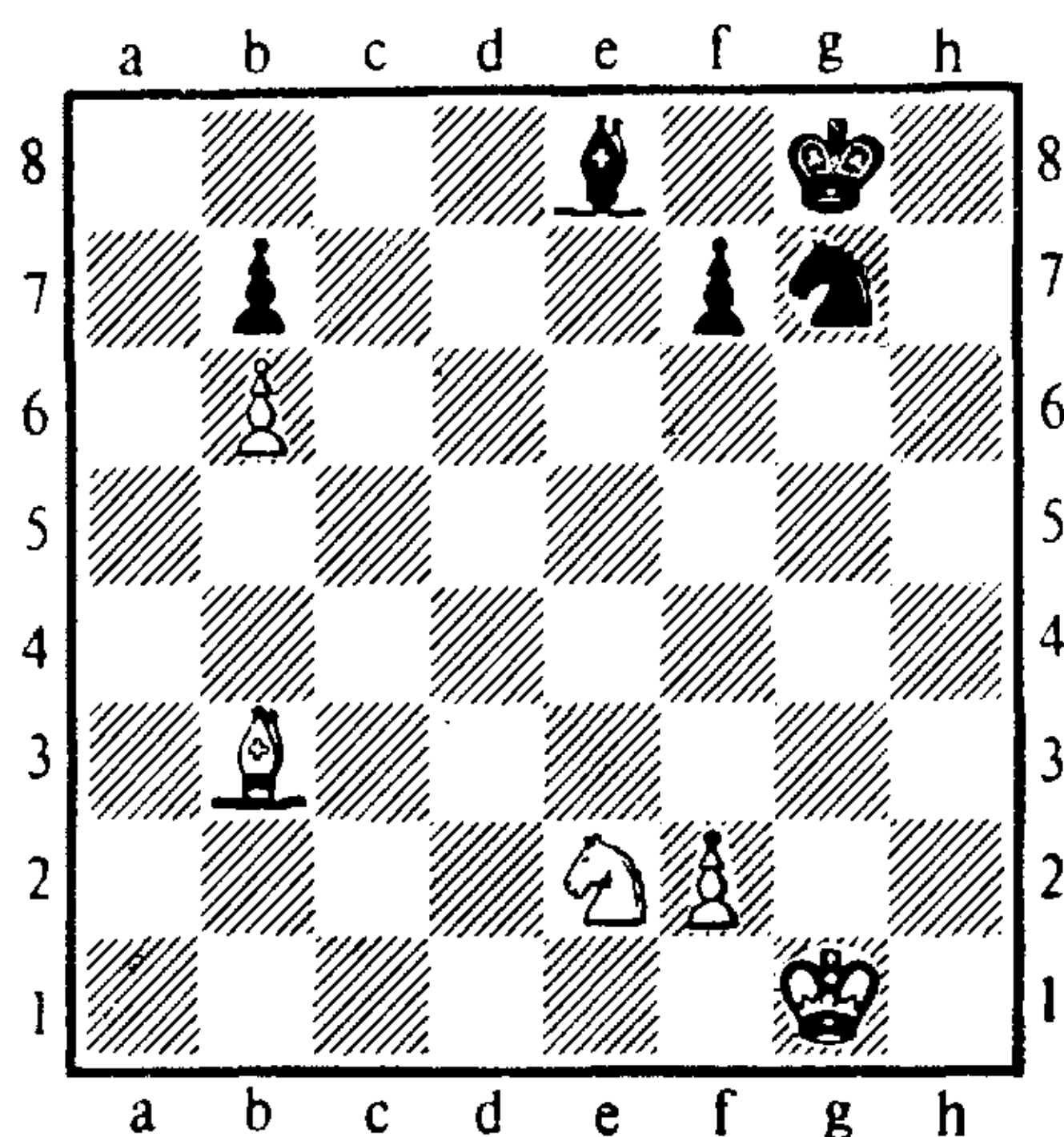
Построение группы траекторий нападения начинается с выбора комлевой фигуры и фигуры другой стороны — объекта цели. Из памяти машины отбираются самые короткие траектории на пустой доске с поля, где стоит комлевая фигура, на поле, где находится объект цели (если комлевая фигура — конь, король или пешка, то применяется другой метод определения кратчайших траекторий на пустой доске). Затем прогнозируется продолжительность движения нападающей фигуры по таким траекториям. Если поля траектории оккупированы или линии блокированы своими фигурами, то увести каждую можно за один ход, и прогнозируемая продолжительность равна сумме длины траектории на пустой доске и количества фигур, которые надо отвести с траектории. Если же они заняты противником или находятся под его ударом, или оккупированы своими блокированными пешками, фигурами, выполняющими важные функции либо просто связанными, то за один ход, скорее всего, не удастся устранить препятствие. Приходится отказаться от траектории совсем или только временно и в последнем случае планировать уничтожение или вытеснение мешающей фигуры либо иные меры тоже при помощи траекторий.

Если все кратчайшие траектории пришлось удлинить, то следует посмотреть, не могут ли конкурировать с ними более длинные, на которых меньше препятствий. Эти траектории машина уже не может запоминать заранее: их слишком много. Траектории длины 3 и 4 М. М. Ботвинник предлагает строить из двух фрагментов длины 2 (или 1), отобрав двухходовые траектории нападающей фигуры и одно-двухходовые траектории с концов этих траекторий на поля, где стоят фигуры противника (он ограничивается четырехходовыми траекториями без препятствий и трехходовыми не больше, чем с одним препятствием).

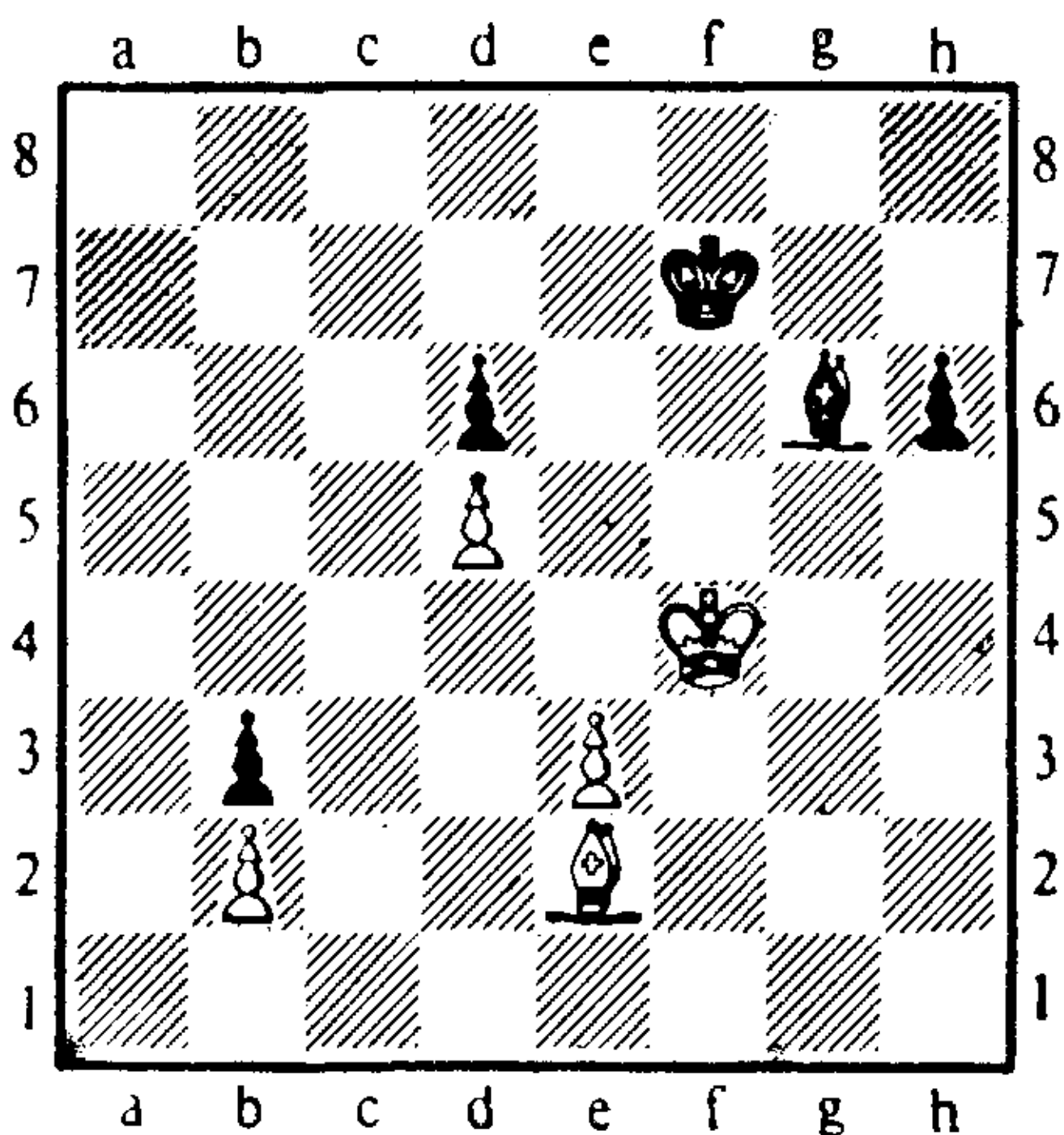
На диаграмме 53 изображена позиция, в которой естественным намерением белых является уничтожение черной пешки а5. Однако кратчайшие траектории Ld2—a2:a5 и Ld2—d5:a5 исключены: поле a2 находится под ударом черного коня b4, которого нельзя ни уничтожить, ни прогнать, а линия d5—a5 непроходима из-за блокированной белой пешки d5 и защищенной черной пешки с5. Четырехходовых траекторий без препятствий нет, но есть трех-



53



54



55

ходовая с одним препятствием: $Ld2-d1-a1:a5$. Черные не могут двинуться конем, а королю или ладье для защиты необходимы четыре хода ($Kpf8-e8-d8-c7-b6$, $Lg5-g6-f6-f7-a7$ и другие траектории). Следовательно, белые могут выполнить свой план (обычно в таких позициях у противника есть контрнападения, но в данной позиции их нет).

Пусть траектория нападения выбрана. Тогда нужно рассмотреть варианты, в которых фигуры противника будут препятствовать движению по ней, а свои фигуры — поддерживать движение. М. М. Ботвинник предлагает определить заранее, какие фигуры будут участвовать в такой игре. Это называется формированием зоны игры. Фигуры противника могут защищать объект нападения, брать под контроль поля траектории, блокировать ее линии. Объект нападения может попытаться уйти. Если же он прикован к месту из-за связки или необходимости защищать какую-либо фигуру или поле, можно попытаться устранить причину неподвижности.

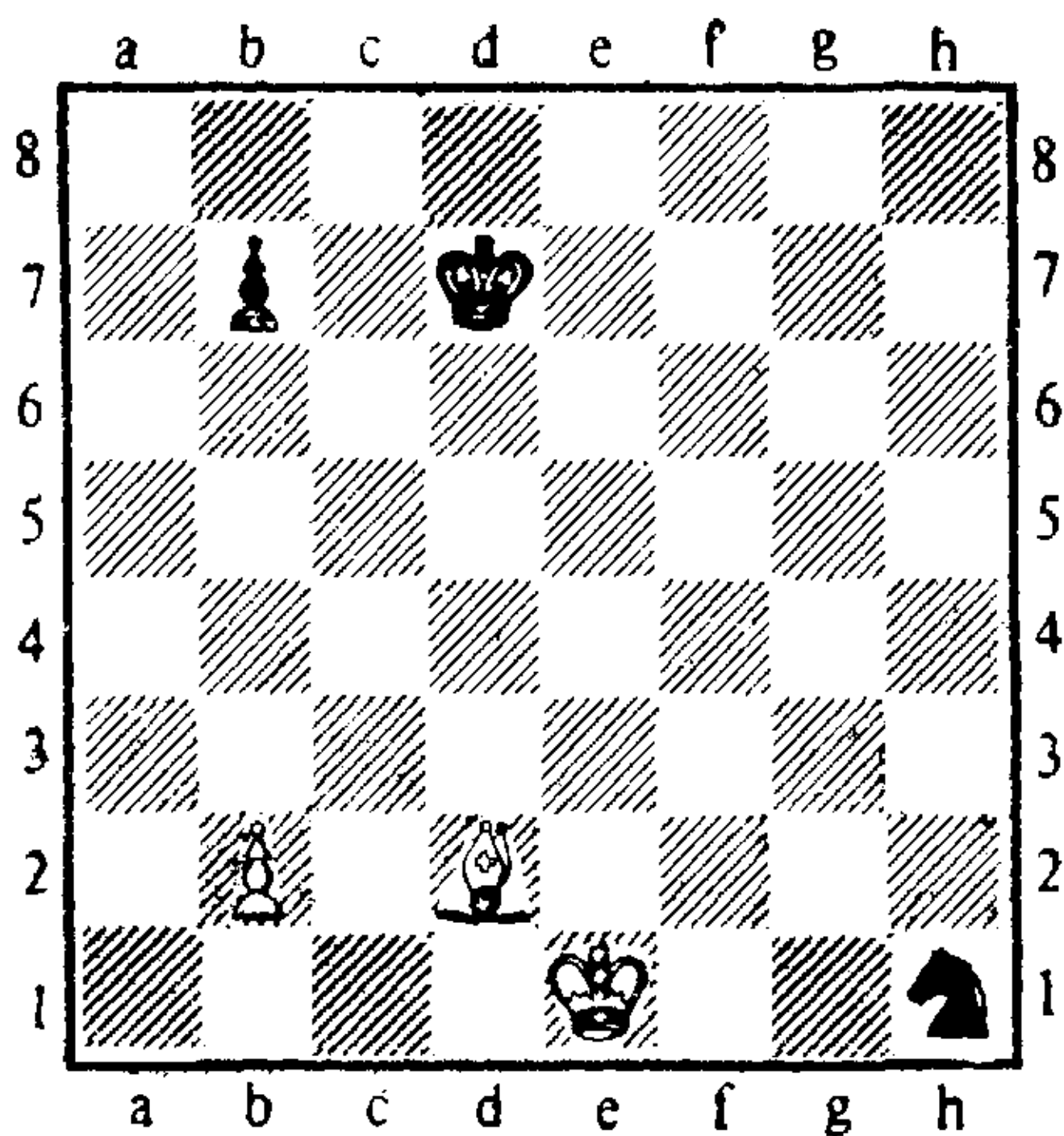
Однако не всякие меры противодействия следует включать в зону игры. Бессмысленно, например, взять под контроль поле траектории после того, как движущаяся

по ней фигура его пройдет. Еще не двигая фигур, следует произвести учет времени и отобразить только своевременные меры. На диаграмме 54 белые могут в два хода уничтожить пешку b7 маневром Cb3—d5:b7, и, значит, в один ход на нее напасть. Черным необходимо два хода для защиты (если на 1. Cd5 ответить 1. ...Cс6, то 2. C:c6 bc, и пешка b6 проходит в ферзи), но, отвечая на 1. Cd5 ходом 1. ...Cb5, они нападением на коня e2 выигрывают темп для защиты 2. ...Ca6.

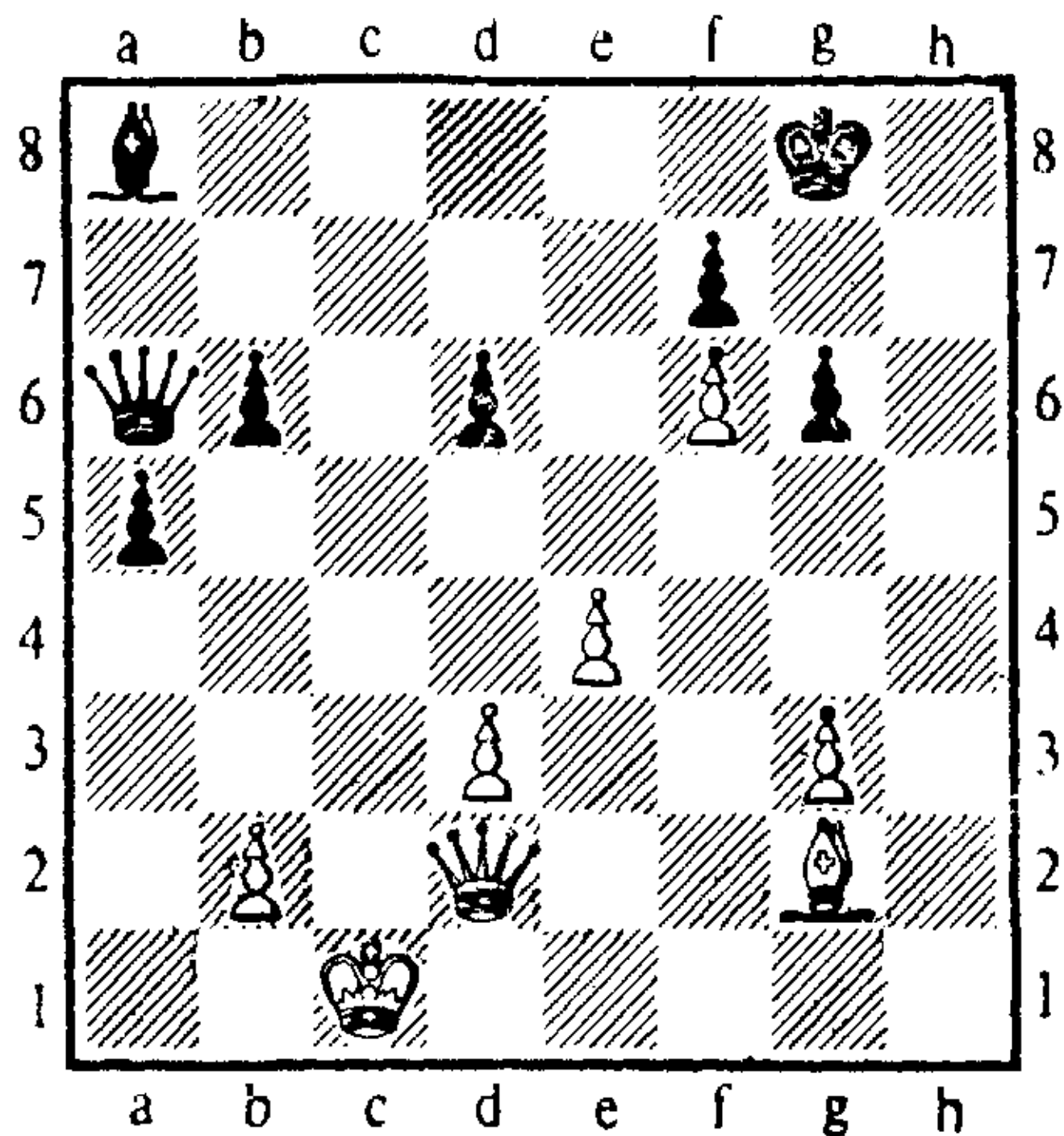
В чем состоит поддержка движения фигуры по траектории? Если поле траектории занято другой своей фигурой или она блокирует линию траектории, то для поддержки она должна уйти (пример: ход 1. Cс2 из позиции, изображенной на диаграмме 51). Если какая-либо фигура противника противодействует движению по траектории (способами, указанными выше), то поддержкой является противодействие мешающей фигуре: нападение на ее исходное положение или на те, которые она будет занимать в процессе движения к полю боя, и блокада соответствующей траектории. Противодействующие фигуры М. М. Ботвинник тоже включает в зону игры. На диаграмме 55 это — пешка e3. Она блокирует траекторию g6—с2 движения слона черных на защиту пешки b3 ходом 1. e3—e4, а затем ходом 2. Ce2—d1 (траектория Ce2—d1:b3) белые выигрывают эту пешку.

Работа программы, реализующей алгоритмы Ботвинника, начинается с построения траекторий нападения (точнее, пучков таких траекторий) с одинаковыми началом и концом. Затем формируются группы вилочных траекторий, т. е. начинающихся одними и теми же ходами. Движение по общей части вилочных траекторий дает возможность выиграть темп (например, ответ 1. ...Cb5 на ход 1. Cd5 из позиции, изображенной на диаграмме 54). В некоторых случаях этот выигрыш темпа можно учесть заранее, не производя перебора. После этого выбирается ход, который будет исследоваться. Он является ходом вилочных траекторий (в крайнем случае, одной невилочной). С этого момента начинается соответствующий выбранному ходу фрагмент перебора и формирования зоны игры, которые производятся параллельно.

Чтобы найти фигуры, противодействующие каждому ходу по траектории и поддерживающие его, создан механизм псевдоперебора: истинному ходу фигуры в процессе перебора предшествует идентичный псевдоход, пред-



56

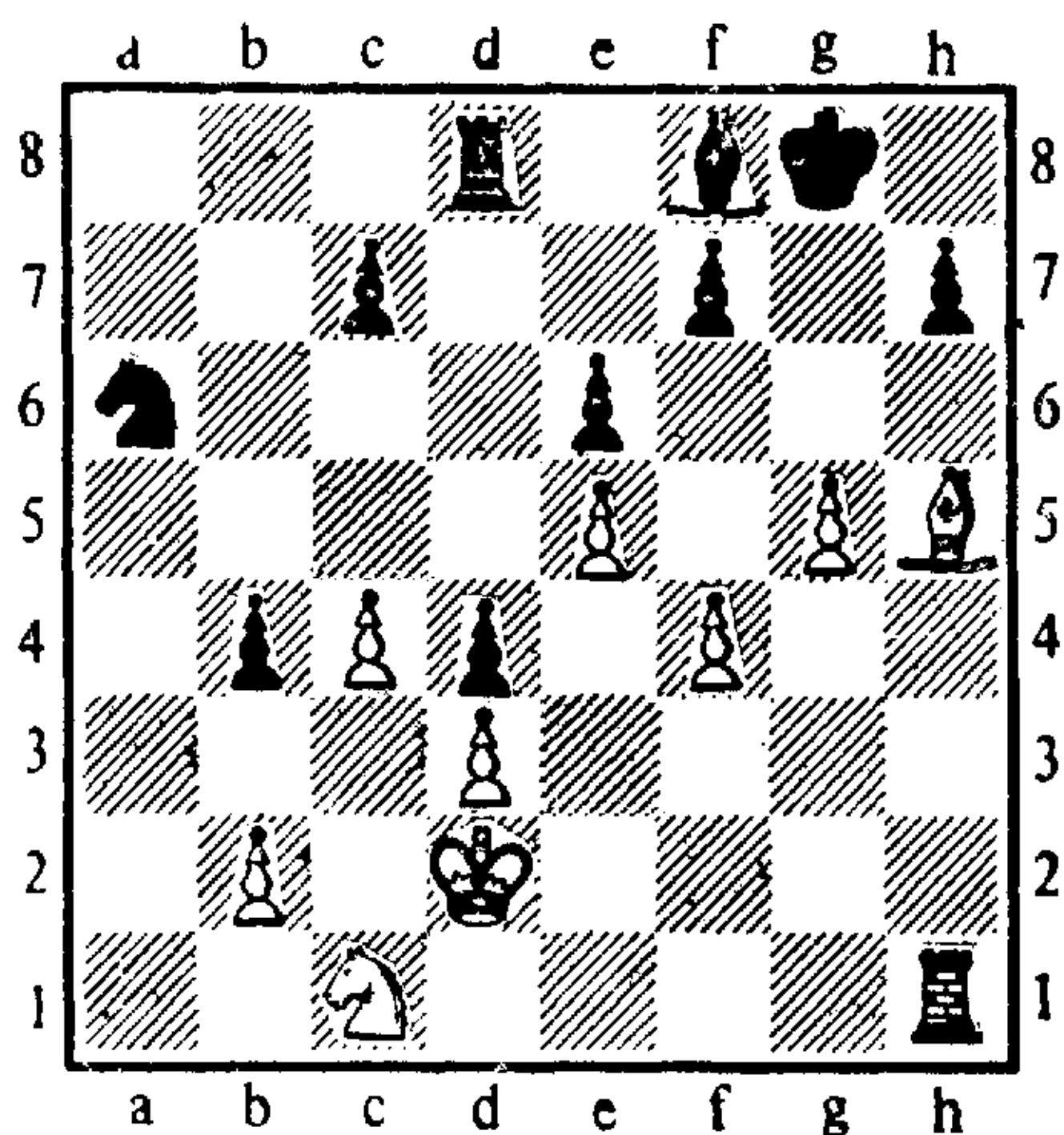


57

принимаемый для разведки. Программа отмечает поле, куда пойдет фигура, и линию хода, если это будет дальнo-бойная фигура. Они объявляются объектами нападения противника, определяются траектории нападения фигур противника на эти поля с учетом отпущенного на противодействие времени. Противодействующие фигуры и их траектории включаются в зону игры, которой принадлежит траектория, содержащая разведочный ход. Кроме того, в зону игры включаются фигуры своего цвета, которые могут непосредственно мешать вновь включаемым в зону фигурам противника.

Таким образом, перед тем, как перейти к перебору позиций, возникающих после исследуемого хода, определяем, какими ходами противник может противодействовать ему на более высоких уровнях дерева перебора, т. е. готовим профилактические меры, которые будут испробованы, но только в случае, если в результате исследуемого хода будет достигнут успех. Готовятся заранее и некоторые ответы на такие противодействующие ходы, а именно: уничтожение противодействующих фигур на исходных позициях или в процессе их движения и блокада линий, но лишь при помощи одноходовых траекторий других фигур атакующей стороны. Так формируются все траектории зоны, кроме траекторий отступления и деблокады.

Итак, отправляясь от некоторой группы траекторий, производят перебор позиций дерева игры шахматной модели, формируемой при помощи псевдоперебора. Если в ней обнаружится материальный выигрыш, то программа еще смотрит, не может ли противник за то же время ском-



58

пенсировать его в какой-либо из зон своего нападения. Если же выигрыш не достигнут, нужно определить причину этого: объект нападения может отступить, противник может успеть его защитить или остановить продвижение нападающей фигуры. Во всех случаях следует попытаться найти критическое поле, воздействие на которое усилит нападение, траектории нападения на него своих фигур (с учетом времени) и сформировать зону из новых траекторий, добавляемую к исходной. М. М. Ботвинник называет ее связанной с рассматриваемой в данный момент зоной и объединяет обе зоны в одну — составную.

В позиции, изображенной на диаграмме 56, белые могут попробовать уничтожить королем коня h1 при помощи маневра $Kre1-f1-g2:h1$, но тот уходит на g3, а затем в свой лагерь. Значит, критическим является поле g3, траекторией нападения на него $Cd2-f4-g3$, а мешающей фигурой король черных (траектории $Kpd7-e6-f5:f4$ и $Kpd7-e6-f5-g4:g3$). Перебор в составной зоне показывает, что противник не успевает: 1. $Sf4 Kre6$ 2. $Kpf1 Kpf5$, кажется, черные успели, но 3. $Sс7(b8) Krg4$ 4. $Krg2$ — и на g3 бьют две фигуры белых.

На диаграмме 57 белые грозят дать мат (траектория $Фd2-h6-g7$), но черные успевают защититься (траектория $Фa6-c8-f8$) 1. $Фh6 Фс8+$ 2. $Kp \sim Фf8$. Критическим является поле c8, а связанная зона порождается траекторией $Cg2-h3:c8$. Из-за потери темца увеличивается и основная зона: черные могут попробовать уйти от мата (1. ... $Kpf8$) или напасть на поле h6, лежащее на траектории белого ферзя (1. ... $Kph7$). В обоих случаях белые должны включить в зону новые траектории нападения: в первом случае $Фh6-h8:c8$ (1. $Sч3 Kpf8$ 2. $Фh6+ Kre8$ 3. $Фh8 \times$), во втором $Фd2-h6-h8$ (например, 1. ... $Kph7$ 2. $Фh2 g5$ 3. $Sf5+ Kpg8$ 4. $Фh7+ Kpf8$ 5. $Фh8 \times$).

На диаграмме 58 у белых есть траектория нападения $Sч5-f3-e4:h7$. Однако если они попробуют сразу

играть 1. Cf3, то черные ответят 1. ...Kc5, чтобы уничтожить белого слона при его движении по траектории. Таким образом, поле c5 является критическим, поэтому нужно найти траекторию нападения на него (Kc1—b3:c5) и включить соответствующую связанную зону в основную. Поздняя попытка поддержать движение слона по траектории не проходит: после 1. Cf3 Kc5 приходится поддерживать движение коня, иначе его просто «съедят», 2. Krc2 Ce7 (белые потеряли темп) и черные успевают осуществить деблокаду траектории защиты Kc5—d7—f8:h7 — 3. Kb3 Kd7 4. Ce4 Kf8 и пешка h7 защищена. Нужно сразу помешать ходу Kc5:e4 ходом 1. Kb3, после чего белые беспрепятственно проведут маневр Ch5—f3—e4:h7.

Пусть есть несколько зон. Если в них действуют разные фигуры, то зоны независимы и их можно исследовать по отдельности. Достаточно лишь учесть сдвиг во времени, обычно состоящий из одного темпа. В примере на диаграмме 51 зоны нападения Le1—a1:a7 и контрнападений Lh5—h2:g2 и d7—d5:c4 независимы. Поэтому нет необходимости рассматривать девятиполуходовые варианты типа 1. Cc2 Lh2 2. Krf2 d5 3. cd ed 4. La1 и 5. L:a7. Действительно, игра в первой зоне дает белым выигрыш пешки, а в обеих зонах контрнападения белые успевают защититься, даже уступив противнику темп. Следовательно, ход 1. Cc2 выигрывает пешку.

Если же разные зоны содержат траектории одной и той же фигуры, то их нужно объединить в одну составную зону. В примере, о котором мы сейчас говорили, снимем с доски черную пешку g6 и белую e3. Тогда возможен ход Kgb и ладья h5 поставяет траектории во многие зоны. Одна зона порождена ее траекторией контрнападения Lh5—h2:g2. Другая, порожденная траекторией контрнападения d7—d5:c4, содержит траекторию поддержки Lh5—d5. С ней связаны траектории контрнападения Ld5:b5 и защиты Ld5—d7:a7. Последняя должна быть включена в зону основного нападения.

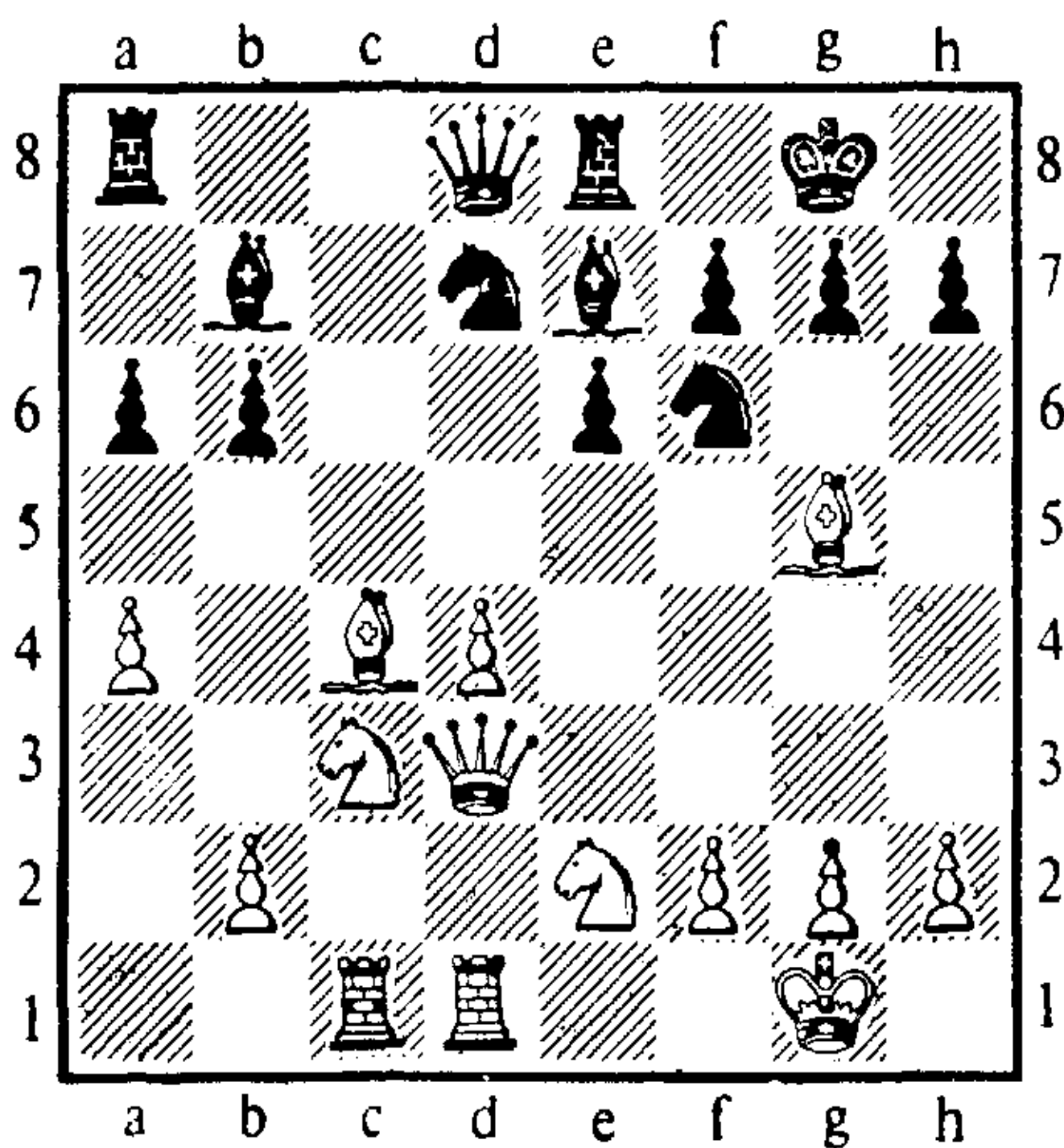
Пусть зоны сформированы. В каком порядке их рассматривать? Ботвинник предлагает прежде всего смотреть зоны, порожденные траекториями минимальной длины, на которых нет или мало полей, находящихся под контролем противника, и заблокированных им линий. Контроль над полями можно определить с помощью модели размена на поле, но обычно дело обстоит гораздо проще.

Противник контролирует поле траектории в следующих случаях: 1) если на это поле бьет его фигура с весом, не бóльшим, чем вес движущейся фигуры; 2) если на это поле бьет более ценная фигура, но оно не защищено (не считая возможного удара движущейся фигуры); 3) если поле атаковано ладьей, а движется по нему легкая фигура и в модели размена на нем противник не проигрывает. В остальных случаях контроля противника над полем нет.

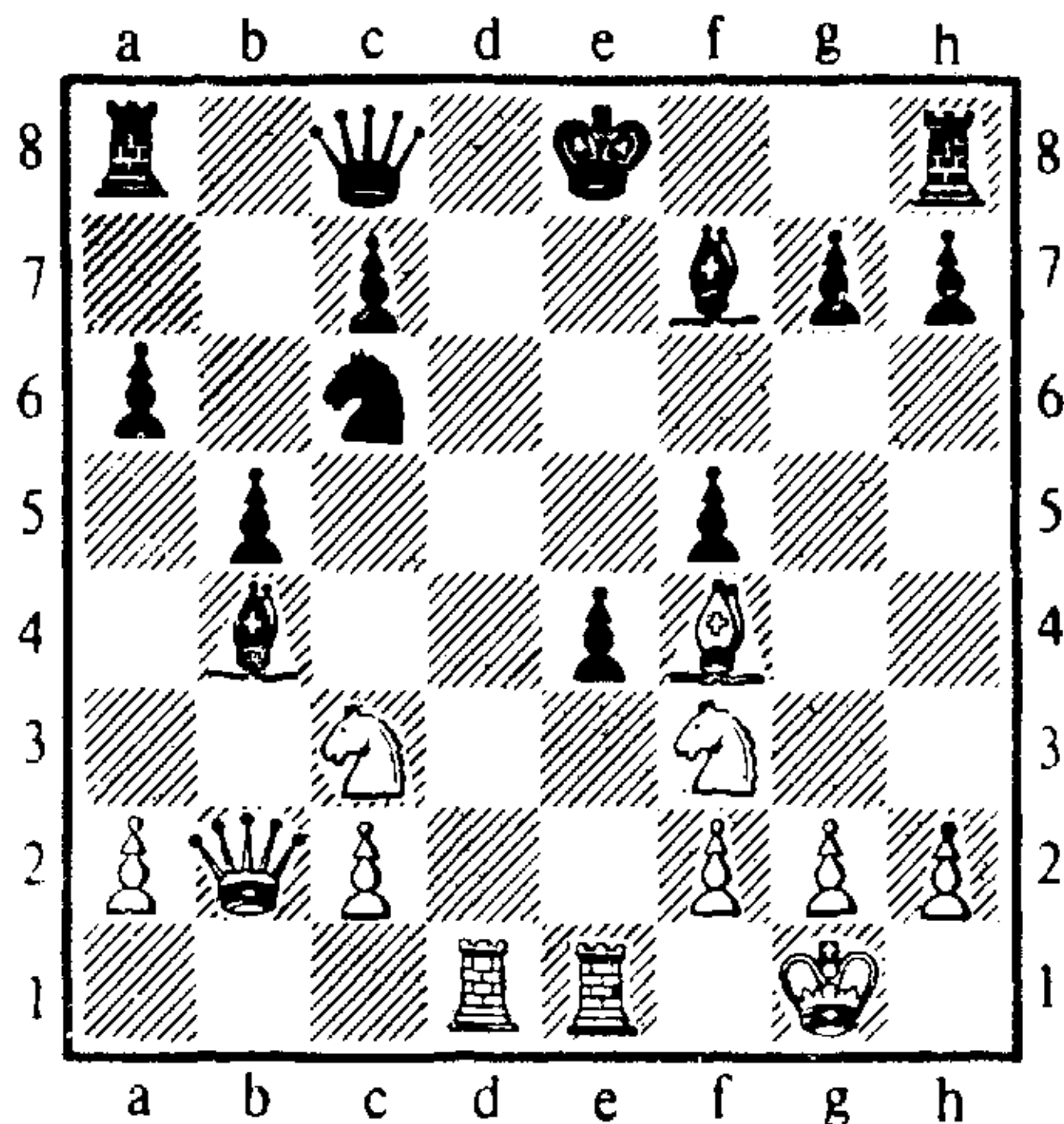
Что можно сказать о порядке ходов из данной позиции, относящихся к одной зоне? Если ближайшее поле на траектории не находится под контролем противника, естественно сразу же попробовать сделать ход на это поле. В случаях, когда этот ход не приводит к успеху, перебор начинающихся с него вариантов покажет, каким ходам противника следует противодействовать. Аналогично, если это поле занято или заблокировано своей фигурой, прежде всего нужно попробовать сразу освободить путь. Если противник контролирует или блокирует движение по траектории, нужно сменить цель и заняться нападением на контролирующие или блокирующие фигуры (вопрос о порядке ходов нуждается в дальнейшей проработке, в частности следует испробовать идеи службы лучших ходов).

Сказанным не исчерпывается вклад М. М. Ботвинника в теорию и практику шахматного программирования. Более полное их изложение содержится в указанных выше работах. Однако, по-видимому, многое еще не опубликовано и нам неизвестно. Мы позволим себе сделать одно замечание. Часто траекторий нападения слишком много, причем их изучение по приведенным выше рецептам является напрасной тратой времени. Например, в партии Петросян—Бронштейн на турнире памяти Пауля Кереса (Таллин, 1979) встретилась позиция, изображенная на диаграмме 59. Перечислим только траектории нападения на пешку h7, имеющие на пустой доске длину не более трех ходов: Kc3—d5—f6:h7, Kc3—e4—f6:h7, Sc4—d3:h7, Sc4—a2—b1:h7, Sc4—b3—c2:h7, Lc1—c3—h3:h7, Lc1—c7:h7, Ld1—d3—h3:h7, Фd3:h7, однако все они бессмысленны. Белые, не думая ни о какой попытке выиграть материал, сыграли из этой позиции 15. h3.

Даже в тех случаях, когда следует искать тактическое решение, многие траектории явно не имеют к нему никакого отношения. Таковы, например, приведенные ниже



59



60

траектории белых из острой позиции, встретившейся в партии шахматных программ «Каисса» — «Франц» (диаграмма 60): Кс3—а2:б4, Кс3—d1—e3:f5, Кf3—d2:e4, Кf3—h4:f5, Кf3—g5:h7, Сf4—d6:b4, Сf4—d2:b4, Лd1—d5:b5, Лd1—d6:c6, Лd1—d7:f7, Лd1—d8:c8, Лd1—d8:e8, Лd1—b1:b4, Ле1—e3—c3:c6, Ле1—e2—d2—d8:c8, Ле1—e2—d2—d8:e8, Фb2:b5, Фb2—d4:e4 и т. д. (другая позиция из той же партии изображена на диаграмме 38). М. М. Ботвинник надеется, что перебор в соответствующих зонах будет быстро кончатся из-за невозможности добиться успеха, но это еще нужно доказать.

Чтобы сократить число рассматриваемых зон и тем самым время работы программы, можно производить предварительный отбор траекторий. Например, есть такие основания для отказа от траектории:

1) движущаяся по траектории нападения или защиты фигура не обеспечивает благоприятного исхода в модели размена на поле цели;

2) объект нападения имеет достаточную подвижность;

3) противник контролирует поле траектории или блокирует его линию;

4) своя фигура стоит на поле или линии траектории и не может с нее уйти (чаще всего это — пешка, блокированная пешкой противника).

Иногда одного обстоятельства достаточно для исключения траектории, например: когда подвижный объект траектории успевает уйти с поля цели, двигаясь по своей траектории нападения, или поле на траектории контро-

лируется хорошо защищенной пешкой противника. В других случаях игру в основной зоне следует временно отложить и заняться игрой во вспомогательной зоне, связанной с ликвидацией причины отказа. Если же оснований для отказа несколько, то почти всегда игра в соответствующей зоне обречена на неудачу, кроме случаев, когда обстановка может измениться в результате игры в других зонах. Но тогда появится возможность пересмотреть отказ в процессе перебора или на следующих ходах партии.

Глава IV

ПРОГРАММИСТЫ ИЗУЧАЮТ ШАХМАТЫ

КАК ИСПОЛЬЗОВАТЬ АНАЛОГИЮ ДЛЯ ОЦЕНКИ ПОЗИЦИЙ

Нередко шахматные программы теряют время не на перебор «всяких глупостей», а на многократное повторение «одного и того же». Мы приведем пример из партии нашей программы (диаграмма 61), сыгранной, когда в ней еще не были предусмотрены меры, чтобы «меньше повторяться». При выборе хода белых из данной позиции нужно считаться с угрозами черных выиграть пешку e4. В частности, полезно рассмотреть такие варианты:

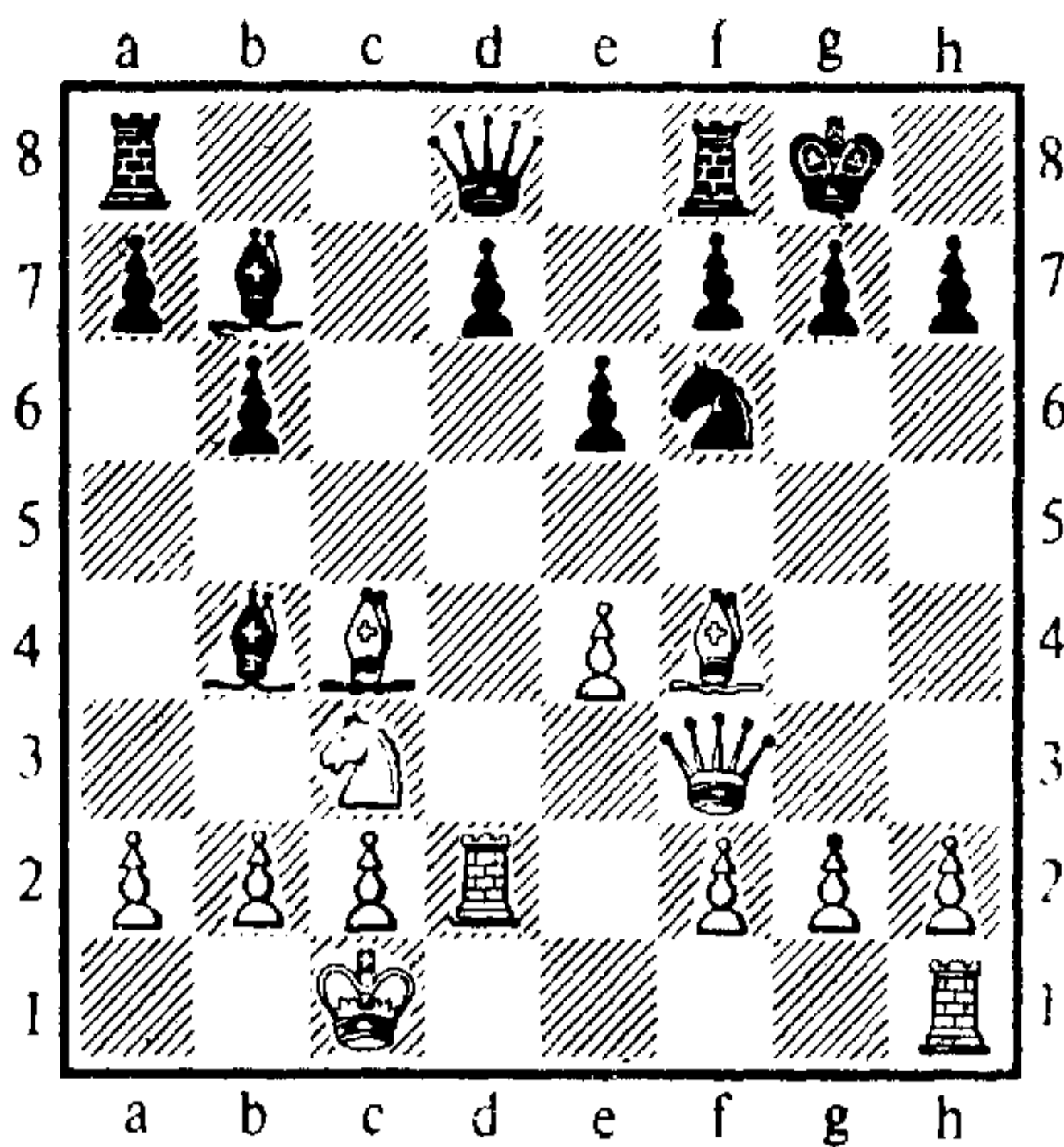
13. ∞ (так обозначается некоторый произвольный ход) K:e4 14. K:e4 C:d2+ 15. C:d2 C:e4 16. Ф:e4 — попытка просто «съесть» пешку e4 не проходит, 15. ...d5 16. Kc3 dc 17. Ф:b7 и 15. ...f5 16. Kf6+ ∞ f6 17. Ф:b7 — слон черных b7 не защищен, что мешает им использовать двойной удар и связку (эти варианты программа не смотрела, так как они начинаются ходами, «находящимися за ее горизонтом» и не разрешенными в модели форсированной игры).

13. ∞ Фс8 14. Сb3 K:e4 15. K:e4 C:d2+ 16. C:d2 f5! — теперь слон b7 защищен, и связка «работает»

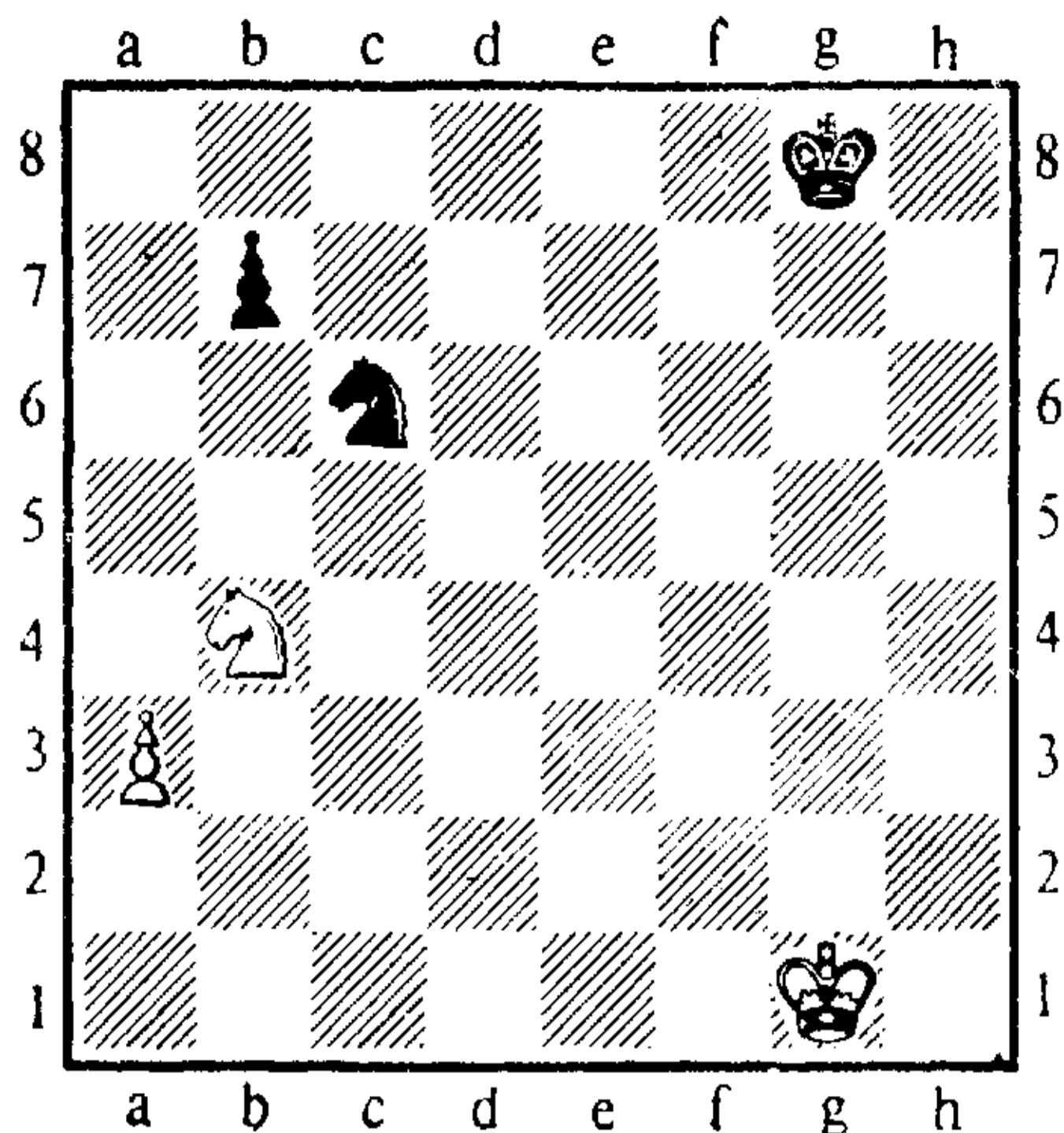
14. Сb5 K:e4 15. C:d7 (если 15. K:e4, то все, как в предыдущем варианте) K:d2 16. C:c8 C:f3 и т. д.

14. Cd3 C:c3 15. bc Ф:c3

14. Фе2 C:c3 15. bc∞:e4 и 13. ∞C:c3 14. ∞с3 ∞:e4 — после размена коня с3 пешка e4 недостаточно защищена.



61



62

Шахматист сделал бы из этих вариантов соответствующие выводы и из других позиций смотрел бы их далеко не всегда, а если и смотрел, то далеко не все. Программа же после каждого изучаемого в процессе перебора хода белых из данной позиции повторяла одни и те же варианты — и очень редко с небольшими дополнениями. «Противоположное» решение: смотреть каждый вариант только из одной позиции, может привести к ошибкам. Например, после 13. Le1 и «уже знакомого» 13. ...С:c3 14. bc K:e4 белые могут сделать «новый» ход 15. L:e4 и нельзя узнать, к чему он приведет без перебора продолжений этого варианта. Если же варианты, начинающиеся ходом 13. Le1, изучаются в первую очередь, то дополнительный перебор нужен для оценки ответов 13. ...С:c3 на другие ходы белых (например, после 13. Сg5 варианты совсем иные, чем после 13. Le1 и ходов, игнорирующих угрозы черных).

Чтобы достаточно часто не смотреть того, что уже было, но при этом «не зевать», когда нужно считать варианты, начинающиеся уже исследованными ходами, программа должна иметь критерии надежности оценки по аналогии, т. е. на основе перебора вариантов из ранее просмотренных позиций. По-видимому, шахматисты тоже имеют такие критерии, однако в шахматной литературе о них ничего не говорится. Теоретики призывают оценивать каждую позицию конкретно, приводят примеры, когда некоторый ход из одной позиции хорош, а из другой, как будто похожей, — плох (причем анализ причин разной оценки похожих позиций почти не отличается от

простой демонстрации вариантов), но вопрос об общих признаках изменения ситуации и, главное, неизменности последней даже не ставят.

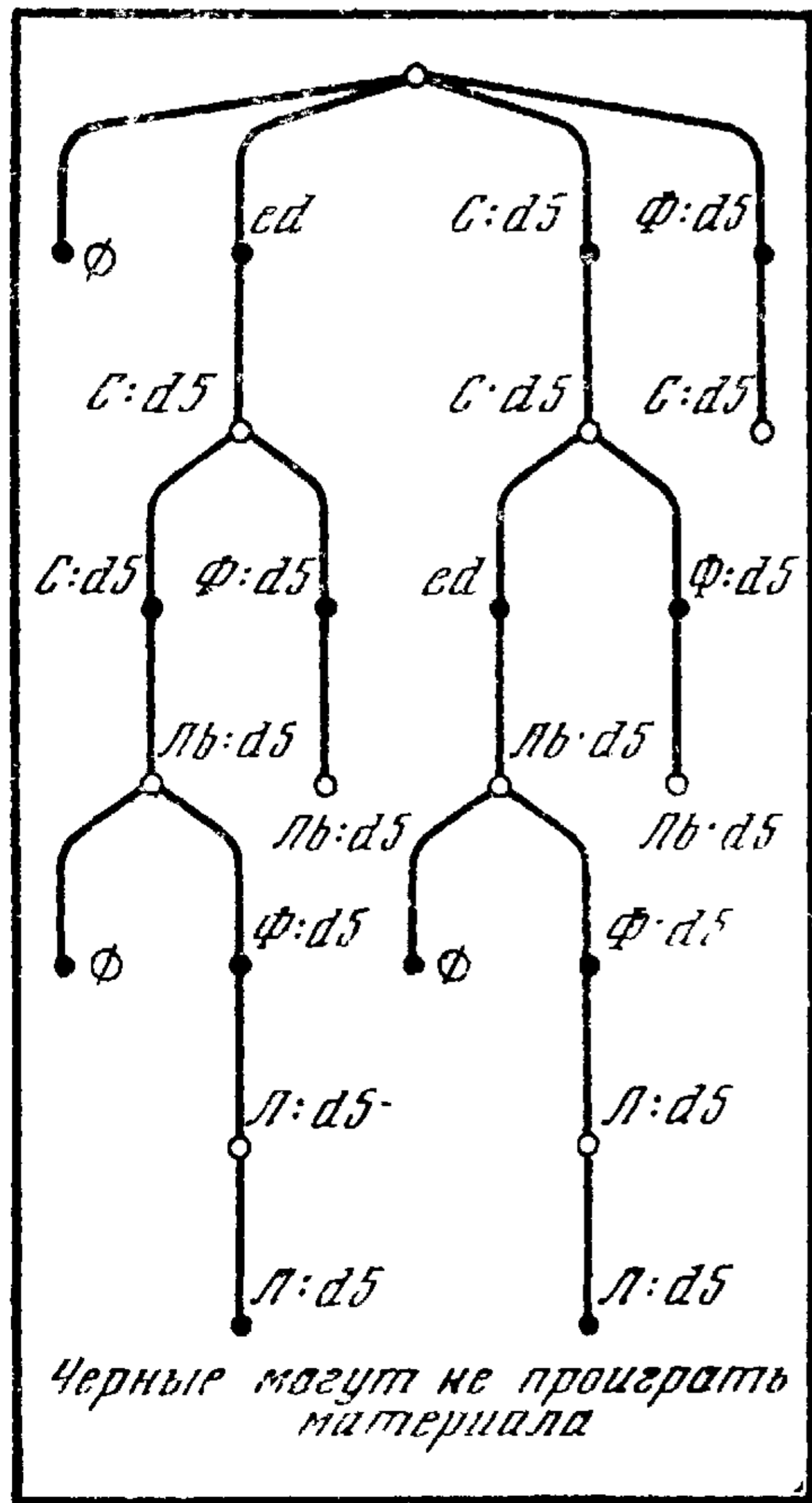
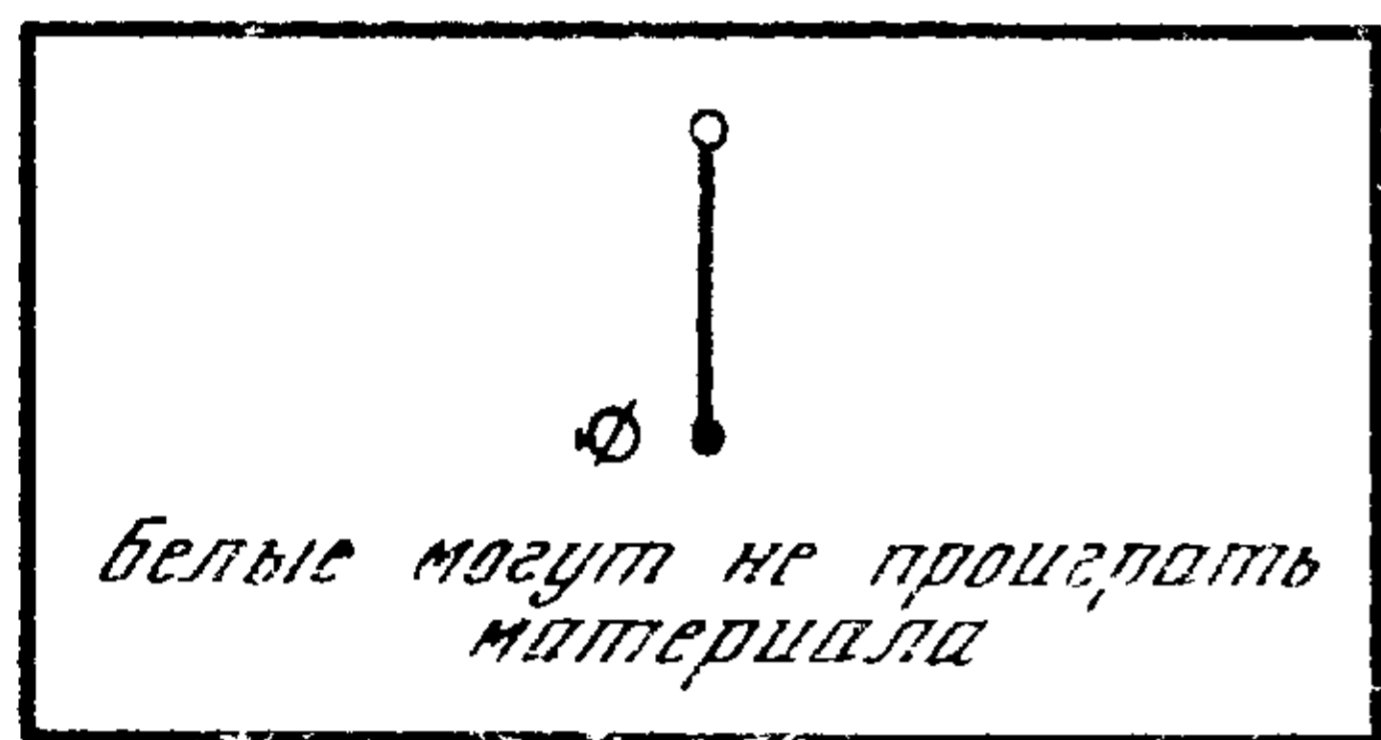
Корректность оценки по аналогии состоит не в том, что для сравниваемых позиций эти оценки близки, а в том, что определяющие их варианты параллельны, т. е. состоят из одинаковых ходов, следующих в одном и том же порядке. Правда, и такие варианты могут вести в позиции, которые надо оценивать по-разному. Посмотрим, например, на диаграмму 62. После 1. К:с6 бс у белых образуется проходная пешка на линии а, которую черным не остановить. Если изменить позицию, поставив дополнительно черную пешку на а7 и для компенсации материала белую пешку, например на b2, то подобного не случится. Однако «до горизонта» ничего не изменится: только после 2. а4 3. а5 и 4. а6 белые «наткнутся» на невозможность сыграть 5. а7. Таким образом, критерии корректности оценок по аналогии должны зависеть от того, какие промежуточные цели противников изучаются в процессе перебора.

Но прежде всего они определяются тем, какие ходы программа будет считать одинаковыми. Есть аналогии между ходами одинаковых фигур на разные поля, ходами фигур разного наименования и даже разного цвета, часто связанные с полными или частичными симметриями на шахматной доске. При выборе хода из данной позиции такие аналогии обычно не имеют существенного значения, и не о них сейчас речь. Претендовать на звание одинаковых будут только ходы одной и той же фигуры данного цвета с данного поля на данное (в действующей программе от ходов дальнобойных фигур требуется меньше: чтобы те двигались по одной и той же горизонтали, вертикали или диагонали в одном и том же направлении на одно и то же поле, но, может быть, с разных полей).

При оценке позиций необходимо учитывать изменения состава фигур на доске, значит эти претенденты должны либо одинаково бить фигуру противника одного и того же наименования, либо одинаково быть тихими. Однако такие ходы лучше называть только похожими, а для их одинаковости требовать еще, чтобы они либо были одинаковыми шахами (т. е. ударами тех же фигур с тех же полей на то же поле, где стоит король), либо одинаково не угрожали королю противника, а также либо

одинаково не защищали от шаха своего короля, либо одинаково открывали линию удара дальнобойной фигуры противника на него (в последних двух случаях по шахматным правилам ходы не разрешены и мы будем называть их нелегальными), либо были допустимыми ходами из позиций, где королю стороны, чей ход, нет шаха. Таким образом, мы пришли к определению, данному в гл. I.

Обычно в позиции, одну из которых программа пытается оценить по аналогии, ведут одинаковые ходы. Поэтому говорят также об оценке ходов по аналогии. Такие ходы сделаны из позиций, которые мы будем называть, как и сами ходы, сравниваемыми. Ход из первой сравниваемой позиции уже оценен при помощи перебора: программа изучила какие-то начинающиеся им варианты.



Тот же ход из второй сравниваемой позиции еще ждет оценки. Чем могут отличаться сравниваемые позиции, если оценка сравниваемого хода из второй по аналогии с оценкой такого же хода из первой позиции некорректна? Пусть, например, данный ход из первой позиции ведет к достижению некоторой цели, как правило, промежуточной, а из второй — нет. Будем называть сторону, чей ход, атакующей, хотя, может быть, она стремится лишь к тому, чтобы проиграть не слишком много материала. Другую сторону назовем защищающейся.

На рис. 12 изображено так называемое тестовое поддерево — часть просмотренных позиций и ходов,

Рис. 12. Минимальные неполные деревья игры, определяющие достижимость промежуточной цели

«доказывающая», что цель атакующей стороны достижима. Она содержит первую сравниваемую позицию, по одному ходу из немодельно-заключительных позиций с очередью хода атакующей стороны, достаточному для достижения цели, все разрешенные ходы из позиций с ходом защищающейся стороны, все позиции, возникающие после содержащихся в этой части ходов, — и больше ничего. Остальные просмотренные программой позиции и ходы вариантов из первой сравниваемой позиции попали в поле зрения программы либо по ошибке — из-за того, что она не сразу нашла ход атакующей стороны, ведущий к достижению цели, либо в процессе поиска лучших, чем достижение рассматриваемой цели, возможностей атакующей стороны.

Рассмотрим так называемое параллельное поддерево. Его построение начинается со второй сравниваемой позиции. Ей ставится в соответствие корень тестового поддерева, т. е. первая сравниваемая позиция. Из уже включенной в параллельное поддерево позиции производится каждый ход, сделанный в тестовом поддереве из соответствующей позиции (если он допустим и разрешен в модели). Эти ходы тестового и параллельного поддерева и позиции, куда они ведут, соответствуют друг другу. Таким образом, в соответствующие позиции ведут параллельные варианты, состоящие из одинаковых ходов, следующих в одном и том же порядке. Один вариант принадлежит тестовому поддереву и начинается из первой сравниваемой позиции, другой — параллельному поддереву и начинается из второй сравниваемой позиции.

Построение параллельного поддерева нельзя продолжать в двух случаях: когда из позиции параллельного поддерева с очередью хода атакующей стороны нельзя сделать хода, одинакового с единственным ходом из соответствующей позиции, имеющимся в тестовом поддереве, или когда из позиции параллельного поддерева с ходом защищающейся стороны допустим и разрешен ход, который недопустим или не разрешен из соответствующей позиции тестового поддерева. Первый случай может произойти по следующим причинам.

1. Фигуры атакующей стороны нет на поле, откуда она должна пойти.

Можно показать, что в таком случае она должна пойти с поля, где она стоит в первой сравниваемой позиции и ее нет на этом поле во второй позиции. В процессе про-

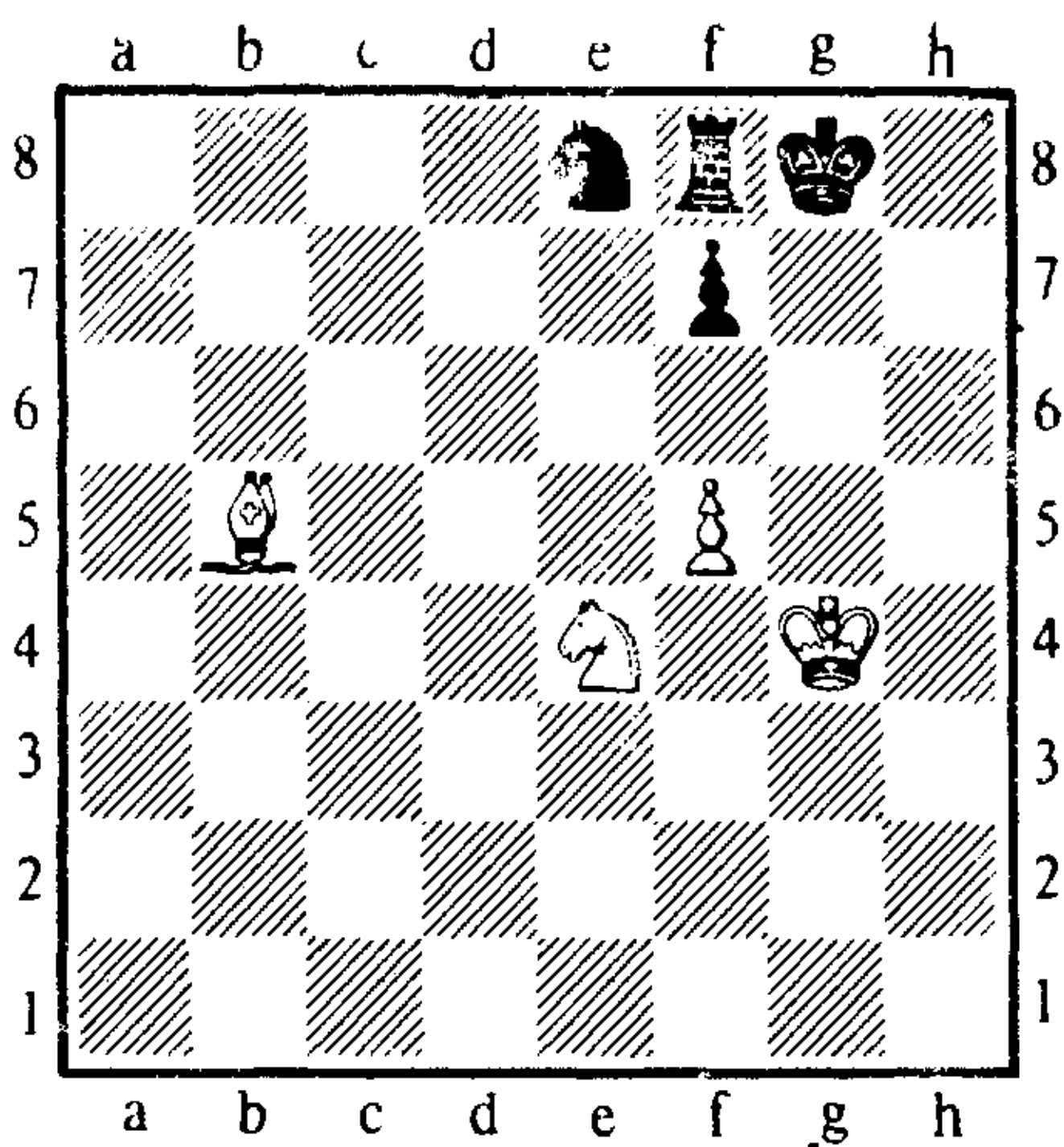
смотрим позиций тестового поддерева следует запоминать поля, откуда ходили фигуры атакующей стороны (и защищающейся тоже). Мы будем называть их поля «откуда», относящиеся к данной стороне. Если ни на одном из них нет исчезающей фигуры той же стороны, т. е. фигуры, стоящей там в первой сравниваемой позиции, но не во второй, то описываемая ситуация невозможна. В противном случае мы скажем, что выполняется условие влияния различий между сравниваемыми позициями на тестовое поддерево.

2. На поле, куда должна пойти фигура атакующей стороны, стоит другая фигура того же цвета (или любого, если пойти, но не побить, должна пешка).

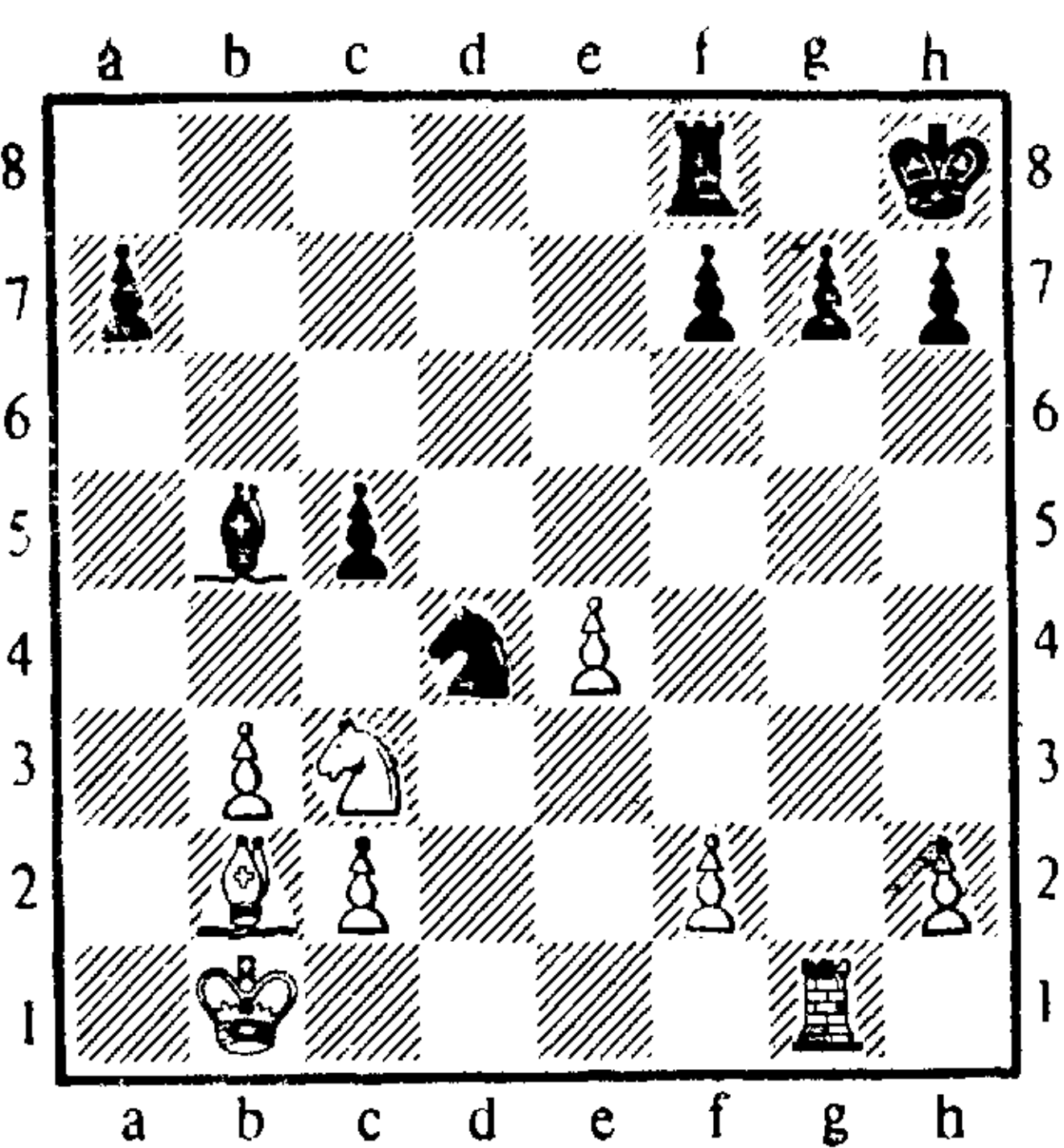
Поля, куда ходили фигуры в тестовом поддереве, тоже следует запоминать вместе с цветом ходивших фигур. Мы будем их называть полями «куда», относящимися к тому или иному цвету (если на поле производился размен или просто появлялись фигуры обеих сторон, то оно относится и к белому, и к черному цвету). Если ход атакующей стороны из конца параллельного варианта недопустим потому, что его поле «куда» оккупировано фигурой того же цвета, то блокирующая фигура является новой, т. е. стоит на этом поле во второй сравниваемой позиции, но не в первой. Новая фигура атакующей стороны на поле «куда» — другое условие влияния. Пусть, например, на диаграмме 63 изображена первая сравниваемая позиция, а вторая — такая же, но вместо пешки f5 у белых имеется пешка f6. Тестовое поддерево состоит из вариантов 1. C:e8 Л:e8 2. Kf6+ Kpf8 3. K:e8 Kр:e8, 2. ...Kpg7 3. K:e8+ ∞ и 2. ...Kph8 3. K:e8. Во второй сравниваемой позиции на поле «куда», относящемся к белым, стоит их пешка f6, являющаяся новой фигурой, а выигрыша качества нет.

3. На поле, куда должна пойти фигура атакующей стороны, нет фигуры противника, которую она должна побить. Значит, поле «куда», относящееся к атакующей стороне, является одновременно полем исчезающей фигуры защищающейся стороны. Это еще одно условие влияния. Нетрудно привести примеры, когда оно имеет место.

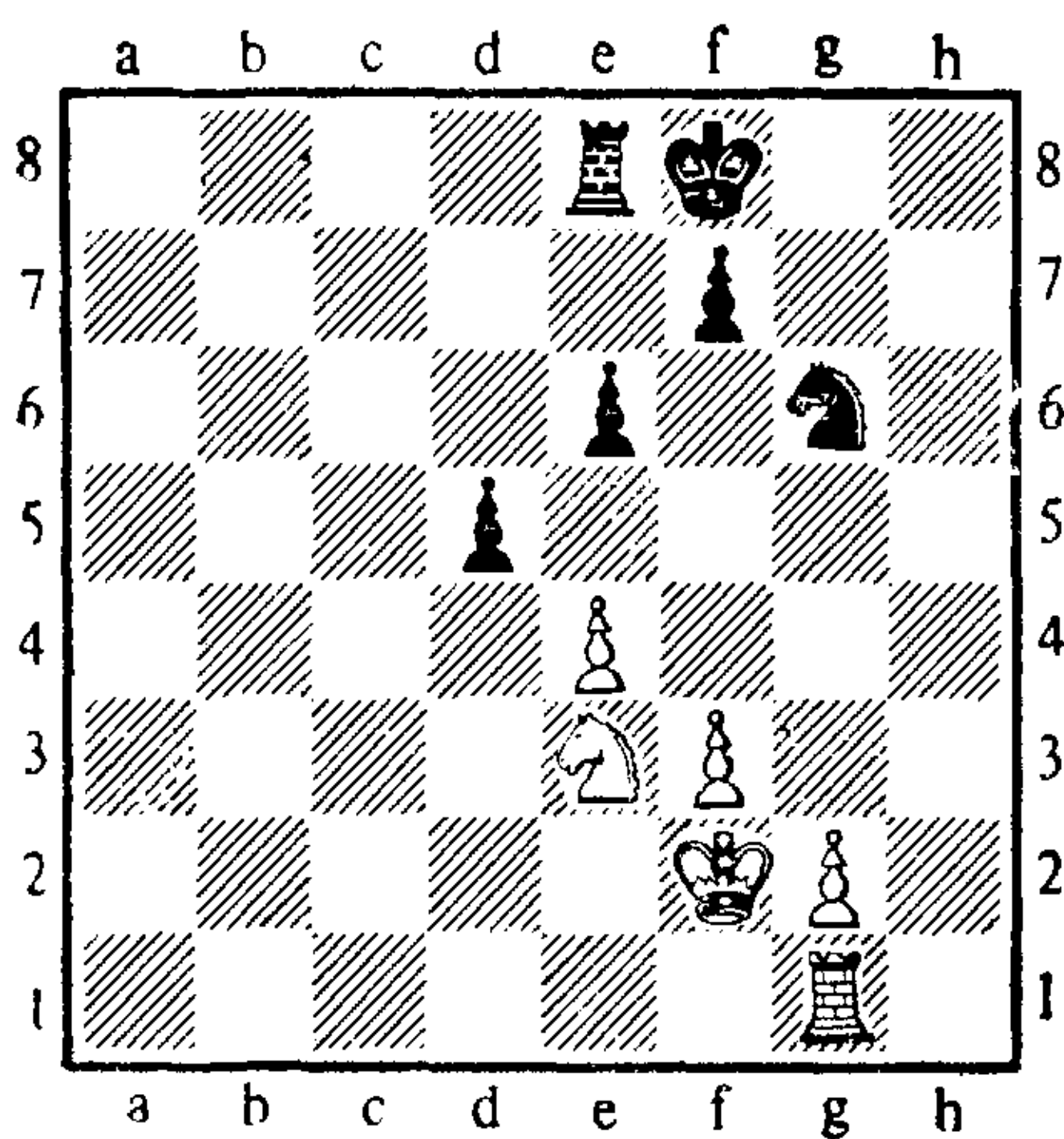
4. Еще одно условие влияния: линия хода дальнобойной фигуры атакующей стороны в тестовом поддереве блокирована новой фигурой, безразлично, какого цвета, во второй сравниваемой позиции.



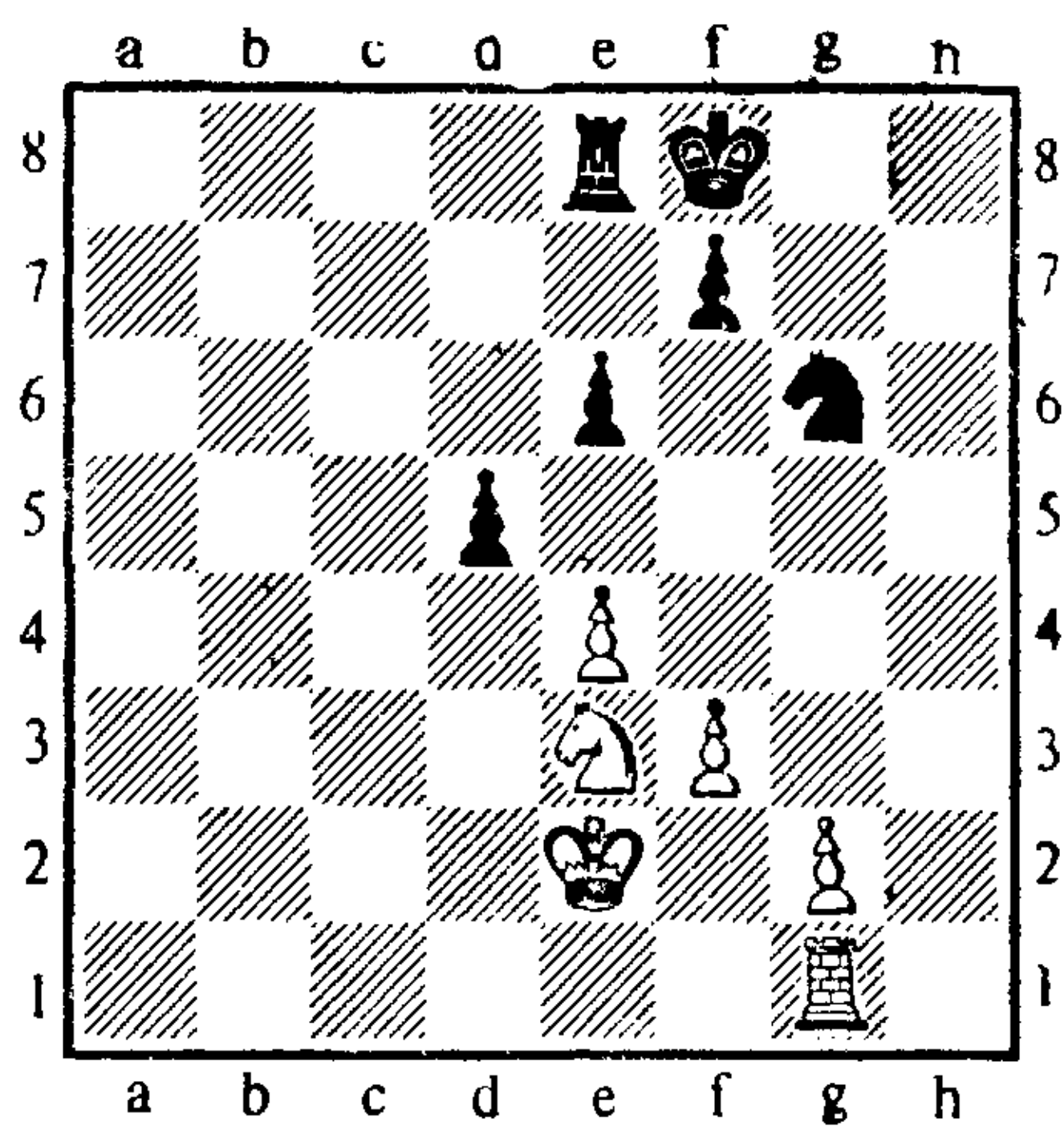
63



64



65



66

Например, на диаграмме 64 белые выигрывают: 1. К:b5 К:b5 2. С:g7+ Кrg8 3. Sf6X (или на любое другое поле линии a1—f6). Если бы белая пешка стояла не на e4, а на e5 или черная не на f7, а на f6, то линия хода белого слона b2—g7 была бы блокирована. В обоих случаях выигрыша у белых нет. Для проверки этого условия нужно запоминать линии ходов дальнобойных фигур атакующей стороны в тестовом поддереве.

5. Ход, похожий на тот, каким атакующая сторона достигает цели из конца некоторого варианта тестового поддерева, из конца параллельного варианта оказывается нелегальным. Например, из первой сравниваемой позиции (диаграмма 65) белые выигрывают пешку 1. ed ed 2. К:d5. После ходов 1. ed ed из второй сравниваемой

позиции (диаграмма 66) конь e3 связан и ход K:d5 оказывается пелегальным.

6. Вместо шаха королю защищающейся стороны, каким атакующая сторона достигает цели из конца некоторого варианта тестового поддерева, из конца параллельного варианта можно сделать только похожий ход, не являющийся шахом.

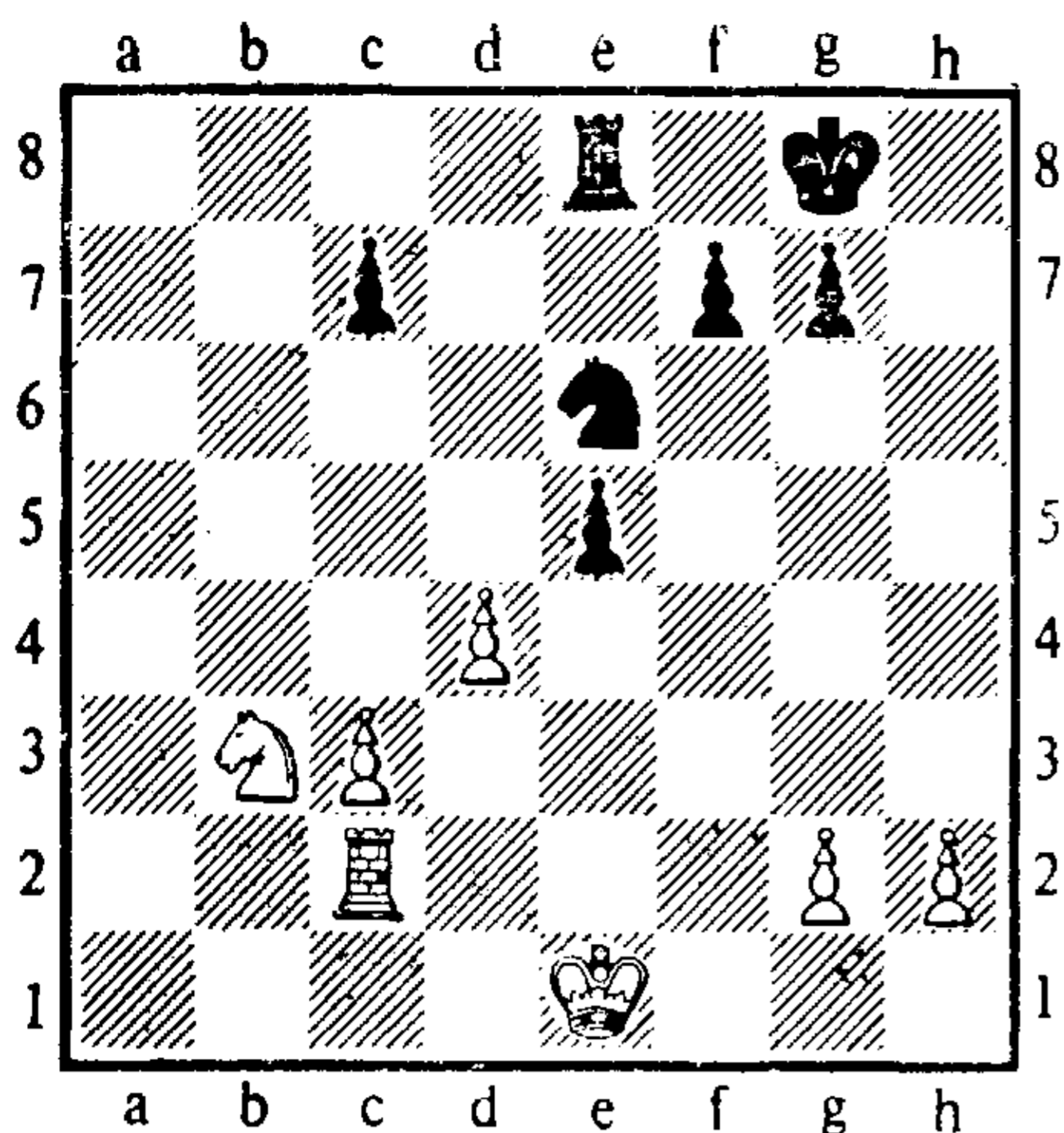
Рассмотрим, например, диаграммы 67, 68, 69 и 70. После 1. ...ed 2. cd K:d4 3. K:d4 черные выигрывают «ходом» 3. ...Л:e1 белого короля (это и значит, что ход 2. ...K:d4 является шахом, а 3. K:d4 — нелегальным). После тех же ходов из остальных позиций по тем или иным причинам «хода» 3. ...Л:e1 нет.

Будем считать поля, где в позициях тестового поддерева стоят получающий шах король защищающейся стороны и дающая шах фигура атакующей стороны, соответственно полями «куда» и «откуда», относящимися к атакующей стороне, а если шахующая фигура — дальнобойная, то линию шаха — линией ее хода. Тогда условие влияния, связанное с описываемой ситуацией, будет частным случаем одного из первых четырех условий (для диаграммы 68 — первого, 69 — третьего, для диаграммы 70 — четвертого).

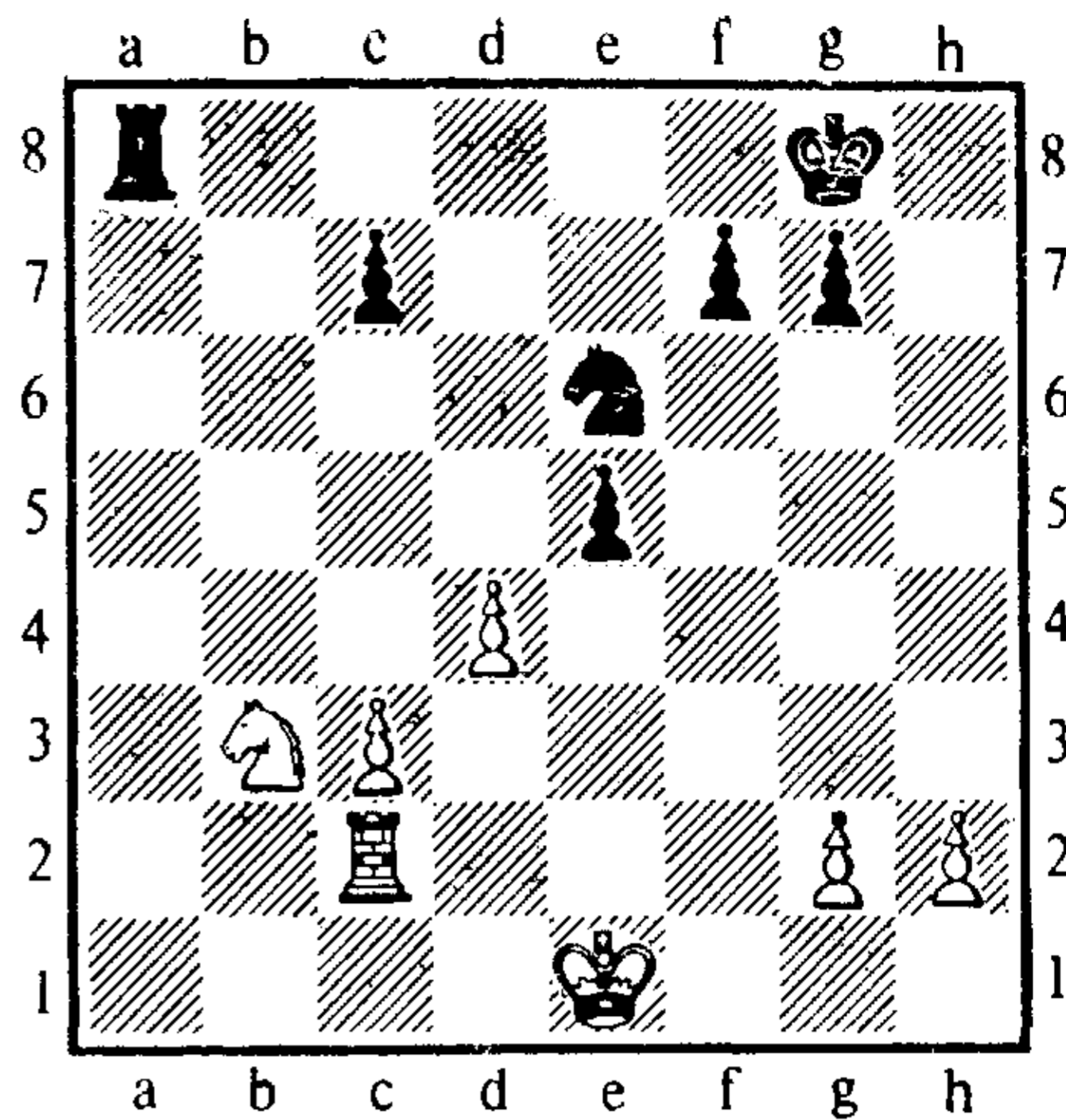
7. Ход, каким атакующая сторона достигает цели из конца некоторого варианта тестового поддерева, из конца параллельного варианта допустим по шахматным правилам, но не разрешен в модели.

Так, при переборе из позиции, изображенной на диаграмме 71, после просмотра варианта 1. K:a6 Cb5+ 2. Krf2 C:a6 3. C:d6 (диаграмма 72) Kр:d6 нельзя оценивать по аналогии тот же ход 2. ...Kр:d6 после 1. K:c6 K:c6 2. C:d6 (диаграмма 73). Действительно, в первом варианте не имеет смысла смотреть ход 4. C:f5, так как в крайнем случае белые выиграют пешку, а проиграли они больше. Во втором же варианте белые ничего не проиграли, и ход 3. C:f5 выигрывает пешку, что влияет на оценки позиций, изображенных на диаграммах 73 и 71.

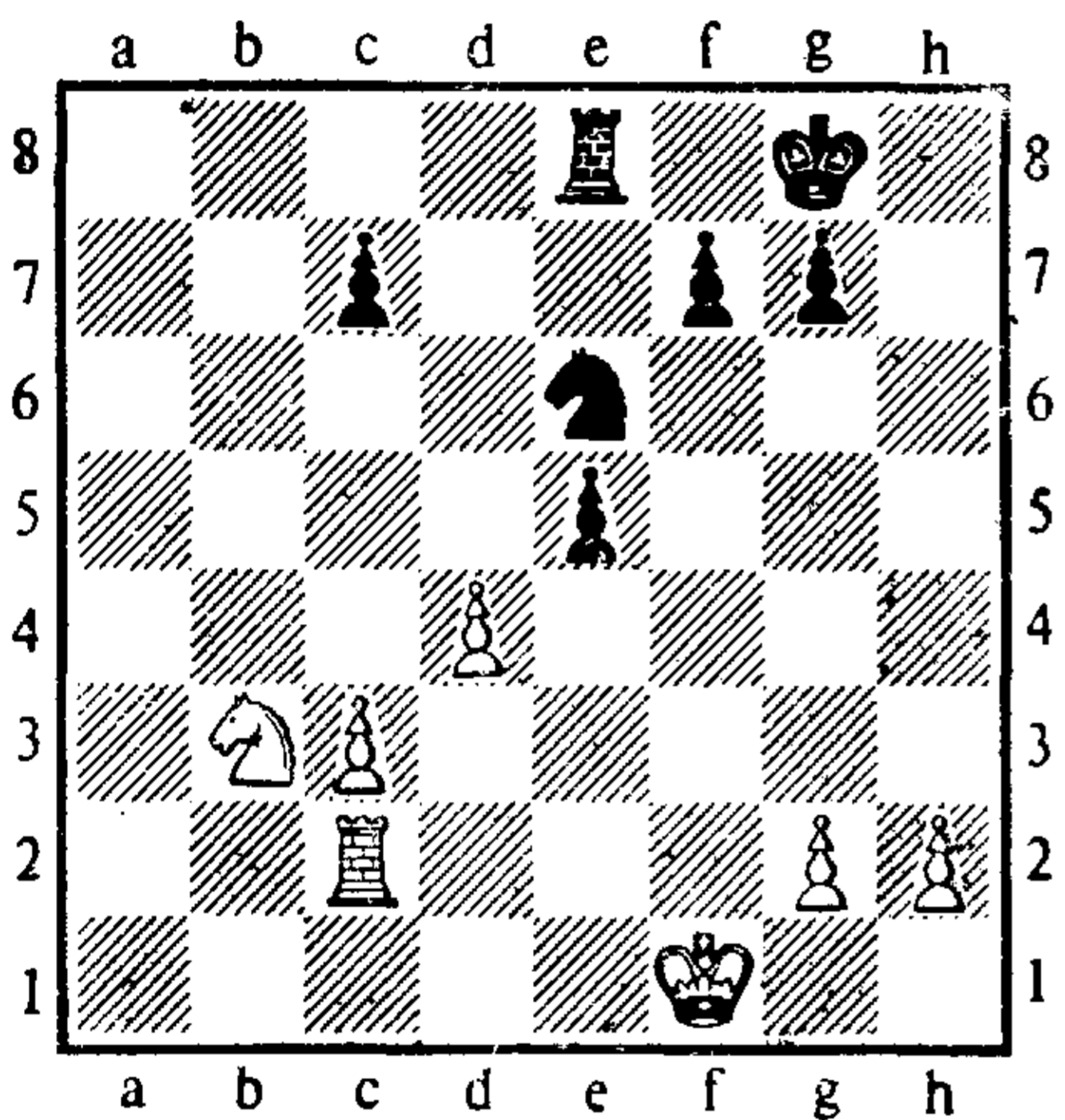
Если рассматриваемая ситуация может возникнуть только при легко проверяемых условиях, которые, к тому же, часто не выполняются, то такие условия тоже следует считать условиями влияния. Например, когда программа порождает изучаемые варианты из обеих сравниваемых позиций по правилам модели форсированной игры, эта



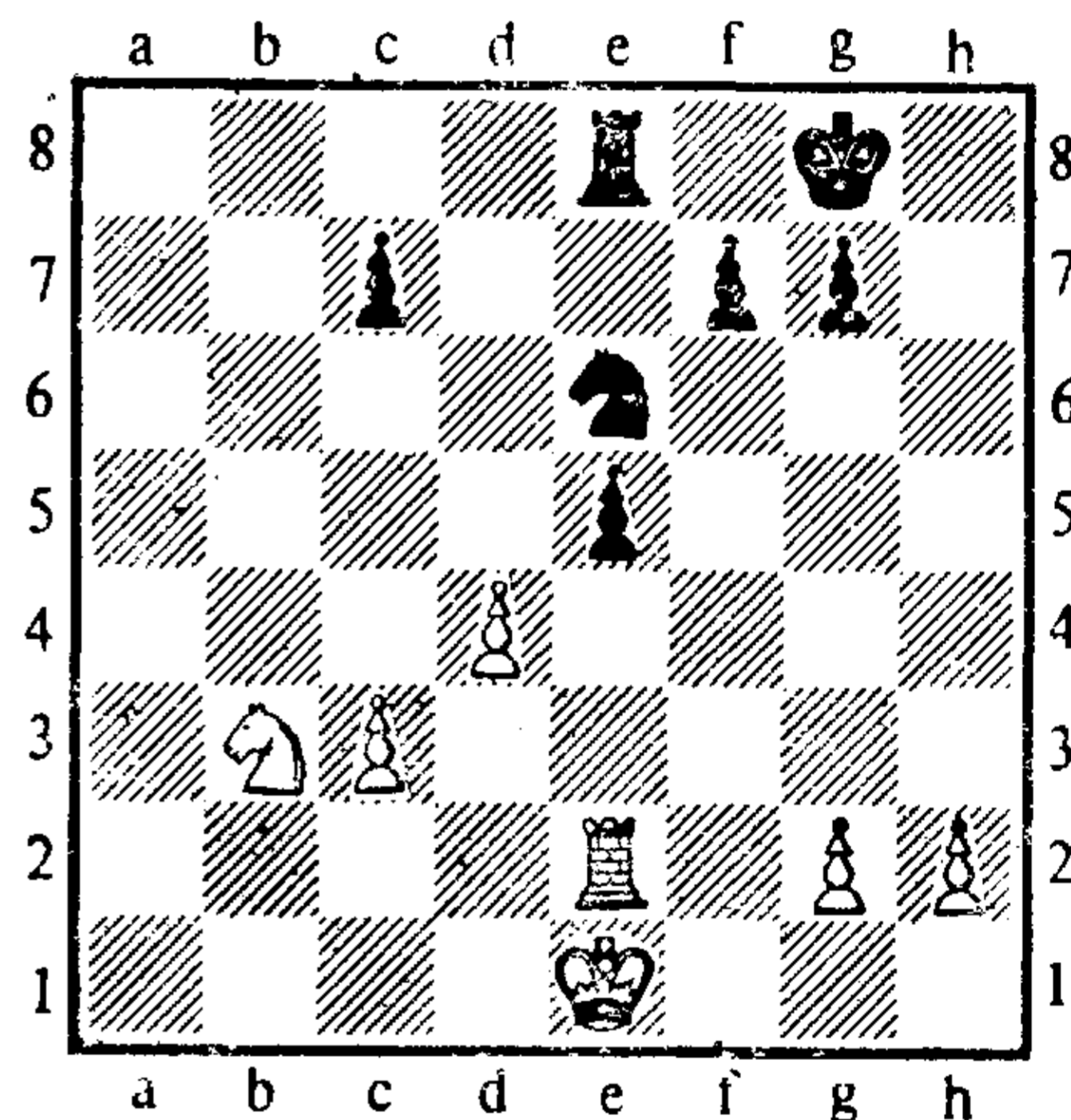
67



68



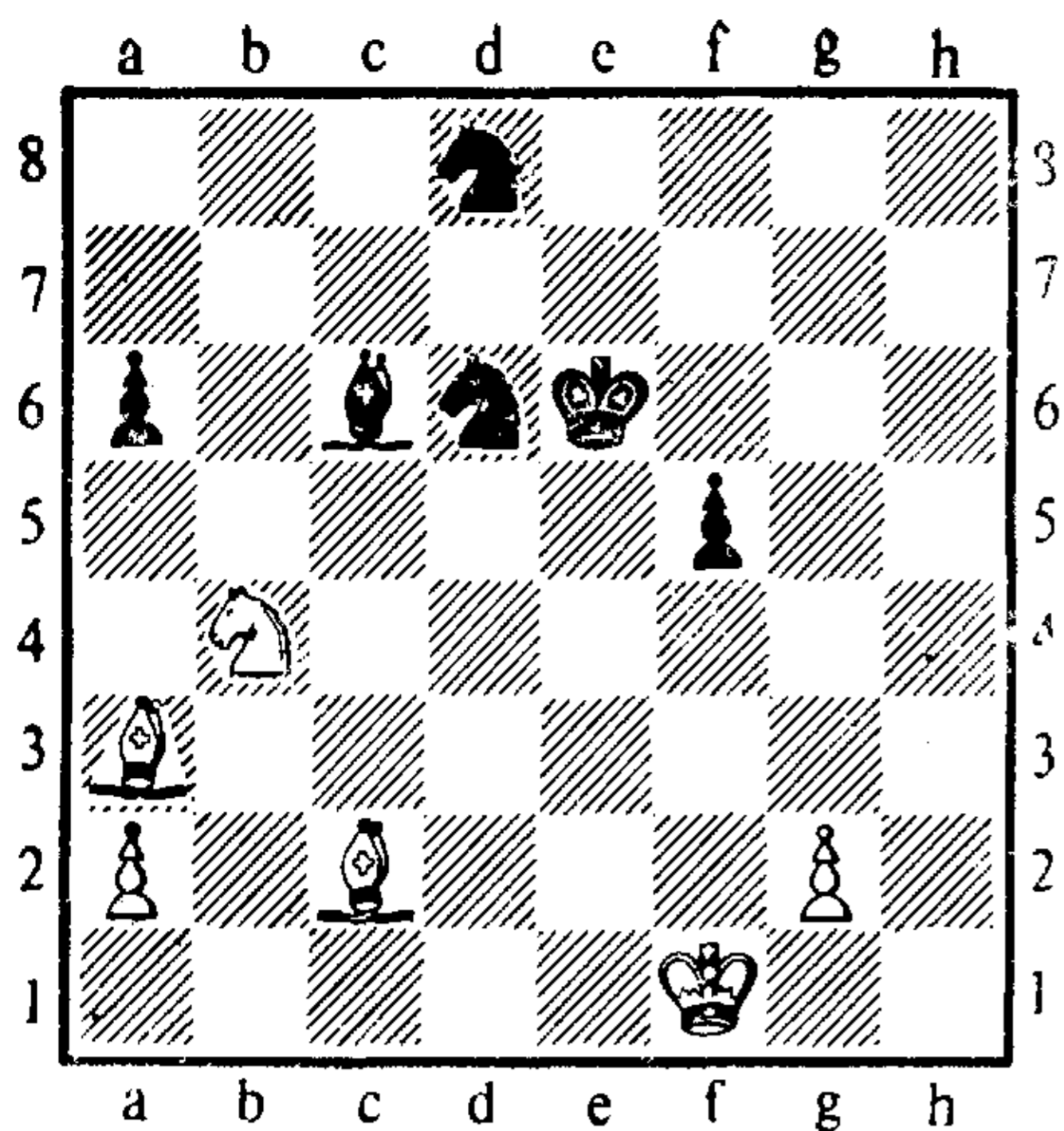
69



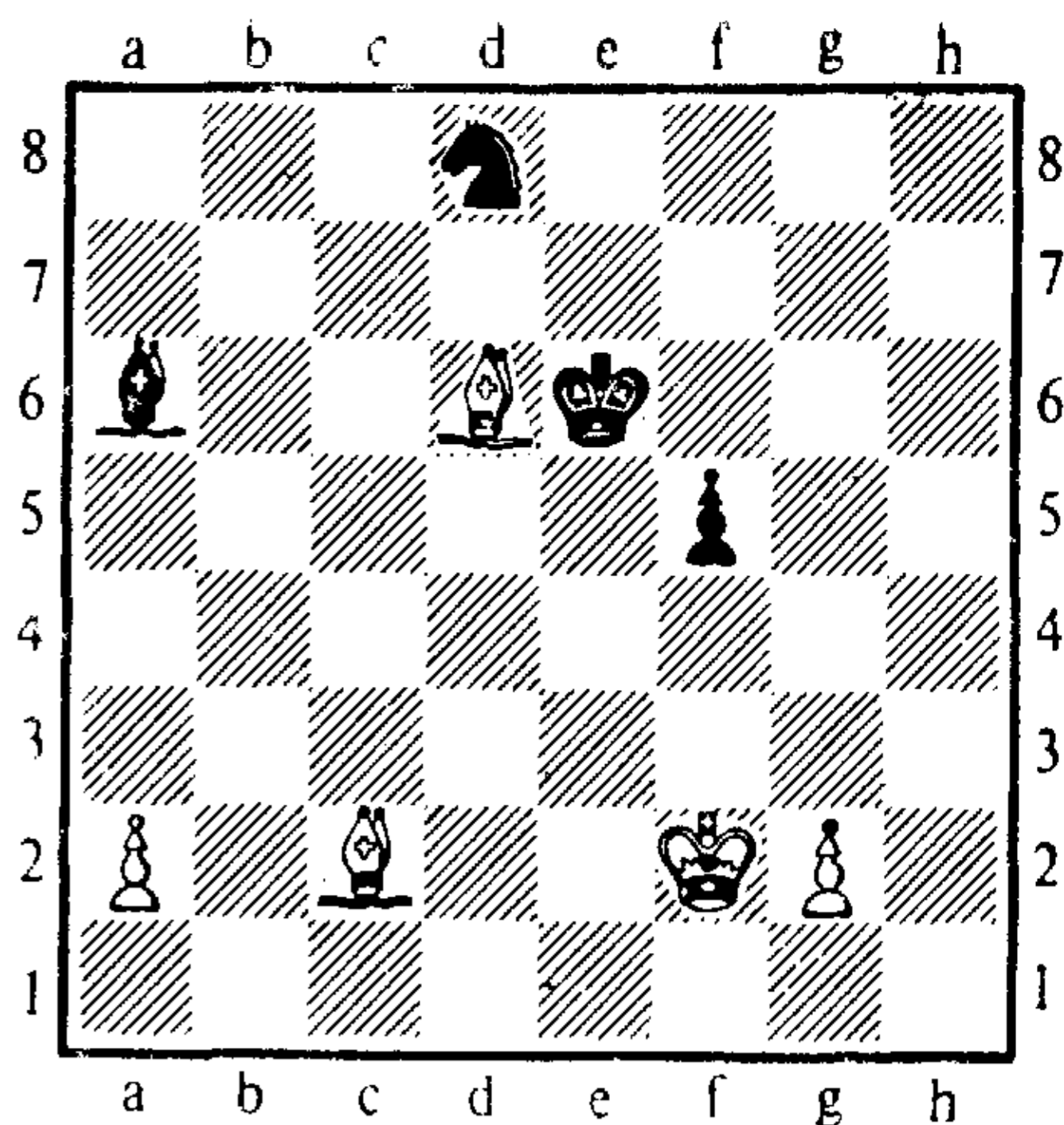
70

ситуация может иметь место только в случаях, когда первая и вторая сравниваемые позиции отличаются одна от другой либо соотношением материала, либо А.Б.-гранями — параметрами, определяющими в совокупности, какие взятия и пустые ходы разрешены.

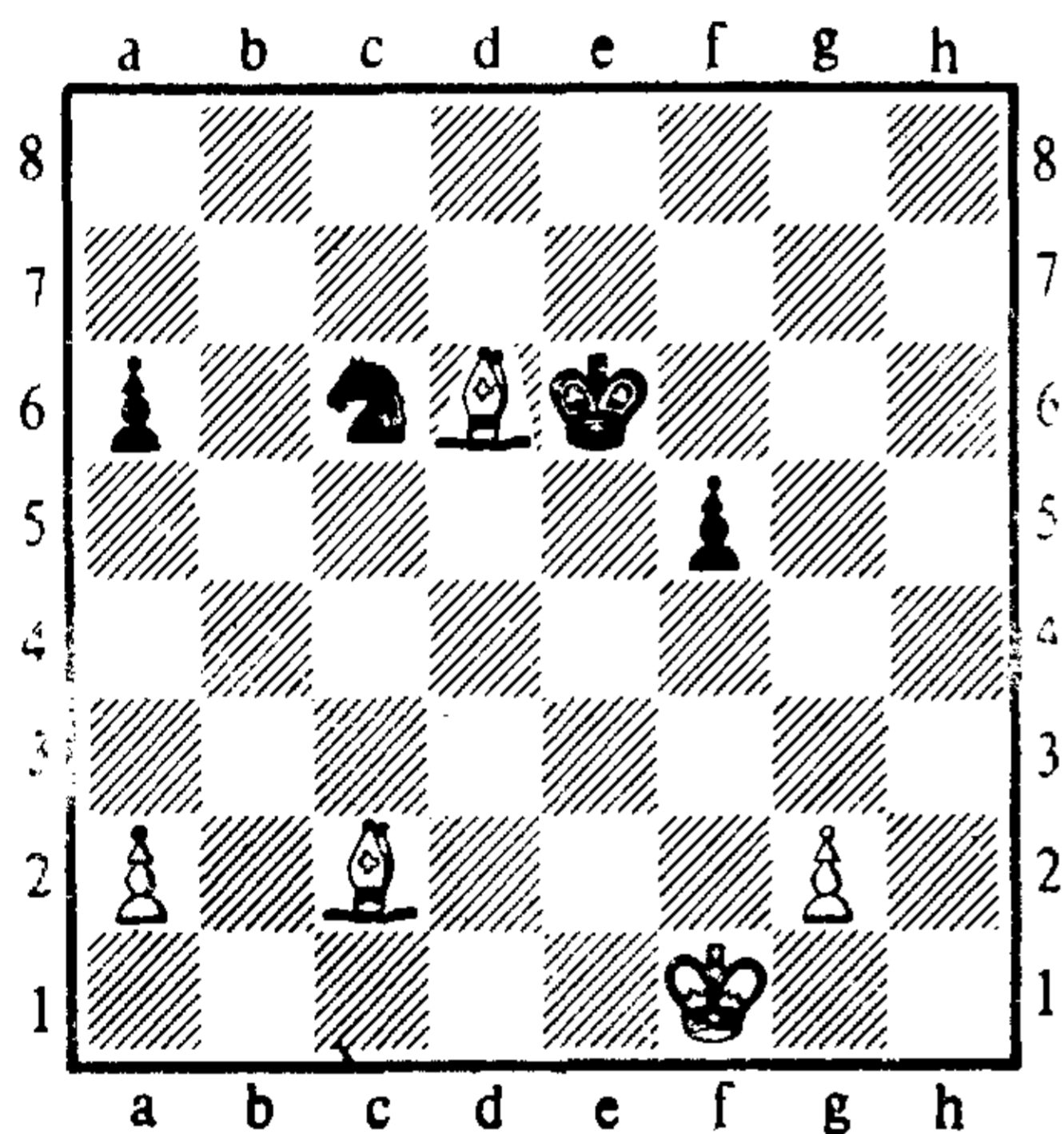
Теперь рассмотрим случаи, когда «первое отклонение от параллельности» варианта из второй сравниваемой позиции состоит в том, что из его конца можно сделать новый ход защищающейся стороны. Соответствующие условия влияния относятся к полям, откуда и куда могут делать новые ходы ее фигуры, и к линиям гипотетических новых ходов ее дальнобойных фигур. В информации о тестовом поддереве сведений о таких полях и линиях в явном виде нет (кроме одного подкласса новых ходов,



71



72



73

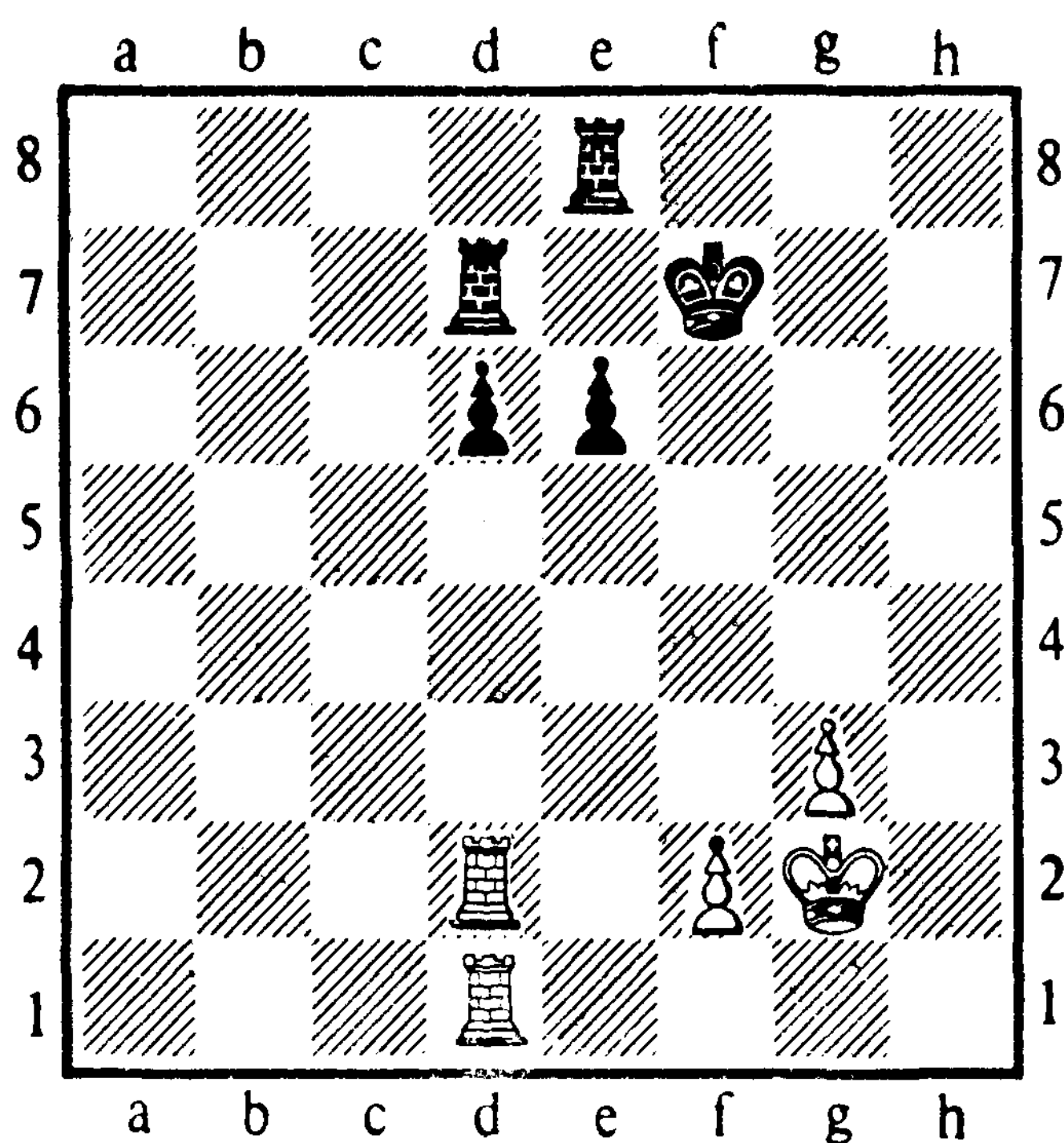
о котором мы будем говорить ниже). Поэтому диагностика рассматриваемых условий имеет более сложный характер.

Построим так называемую диагностическую доску. На некоторых ее полях будет стоять по нескольку фигур, некоторые фигуры будут стоять на нескольких полях и некоторые поля, оккупированные фигурами, будут прозрачными, т. е. не блокирующими линий хода

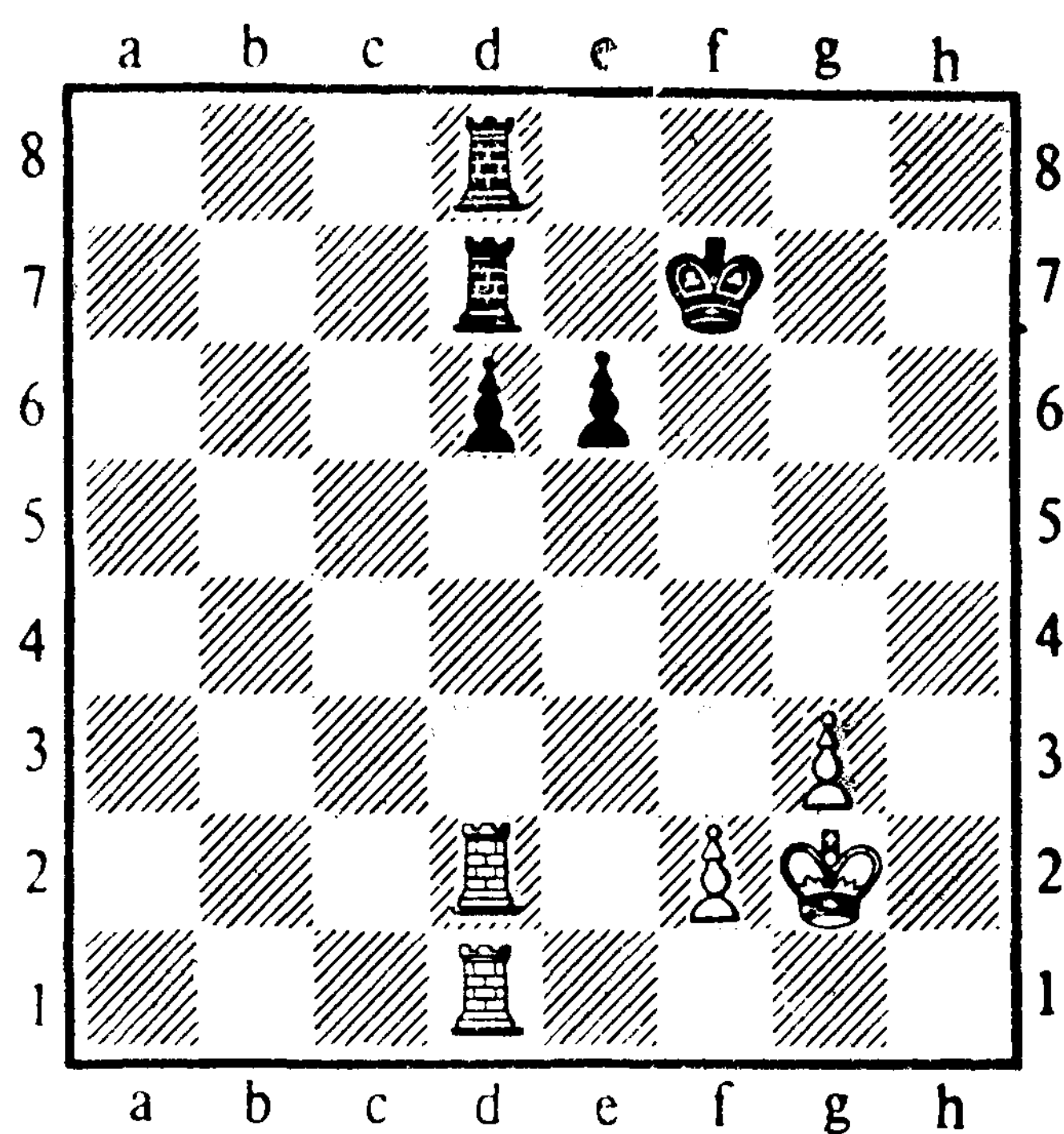
дальнобойных фигур. Правила построения диагностической доски и допустимых ходов на ней следующие:

а) на диагностической доске фигуры стоят на тех же полях, что и во второй сравниваемой позиции, и являются на них активными, т. е. могут с них ходить;

б) если фигуры, одинаково стоящие в обеих сравниваемых позициях (мы будем называть их старыми), двигались в тестовом поддереве, то они изображены на всех полях, где они были; если после ходов данной фигуры на данное поле противник сразу бьет ставшую на него фигуру или сразу возникает модельно-заключительная позиция, то на этом поле фигура пассивная, т. е. не может с него ходить, в остальных случаях — активная;



74



75

в) активные и пассивные фигуры, в том числе королей, можно бить, а королям давать шах, можно еще защищаться от шахов, даваемых в тестовом поддереве;

г) прозрачными являются поля, свободные от фигур во второй сравниваемой позиции, и поля «откуда», оккупированные в ней старыми фигурами;

д) про все фигуры указано, старые они или новые. На полях, где фигуры стоят в первой сравниваемой позиции, но не во второй, остаются их «призраки», имеющие соответствующий цвет.

Фигуры, активные и пассивные, а также прозрачные поля нужны для того, чтобы породить ходы, призраки и разбиение фигур на старые и новые — для выяснения, будут ли эти ходы новыми.

Пусть на диаграммах 74 и 75 изображены сравниваемые позиции. Из первой позиции белые выигрывают пешку: 1. Л:d6 и, если 1. ...Л:d6, то 2. Л:d6. Из второй позиции у черных есть ответ: 2. ...Л:d6. Диагностическая доска для этого примера изображена на рис. 13. На ее поле d6 стоят четыре фигуры: черная пешка, две белых ладьи и одна черная. Все ладьи в тестовом варианте ходили (били) на d6, но у них не было возможности ходить с d6. Значит, на d6 они — пассивные фигуры. Остальные фигуры на диагностической доске — активные. Кроме полей, свободных от фигур, на диаграмме 75 прозрачны еще поля d1, d2 и d7: в тестовом варианте с них ходят фигуры. Новой фигурой является только ладья d8, а на

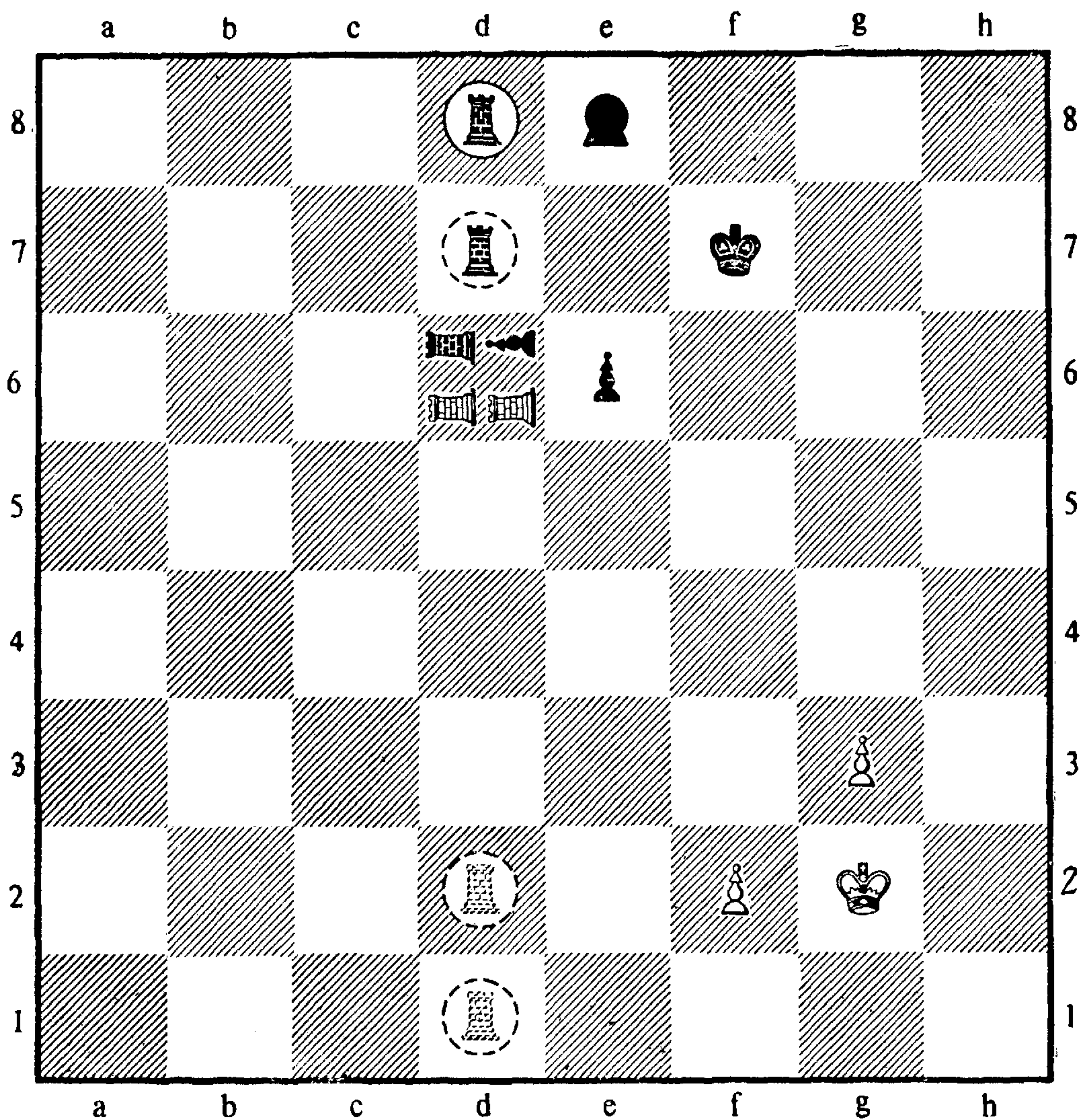


Рис. 13. Диагностическая доска

поле e8 стоит «черный призрак» (прозрачные фигуры на рисунке окружены пунктирной линией, новая фигура — сплошной, пассивные фигуры — лежат). На диагностической доске допустим новый ход Л8:d6 со взятием белой ладьи.

Вообще, все ходы, допустимые из концов вариантов параллельного поддерева (может быть, недостроенного), допустимы и на диагностической доске (обратное — не обязательно). Нас интересуют новые ходы защищающейся стороны, которые могут быть разрешены в модели. Для форсированной игры это взятия, шахи и защиты от шахов своему королю, даваемые в тестовом поддереве. Условия того, что такие ходы новые, аналогичны рассмот-

репным выше условиям невозможности ходов атакующей стороны из позиций параллельного поддерева.

8. Фигуры защищающейся стороны в позиции тестового поддерева нет на поле, куда она должна пойти.

Тогда рассматриваемый ход делает новая фигура. Таков ход 2. ...Л:d6 из последнего примера. Легко видеть, что и, наоборот, любой ход новой фигуры на диагностической доске будет новым из позиции параллельного поддерева, где он допустим.

9. На поле, куда должна пойти фигура защищающейся стороны, стоит другая фигура того же цвета (любого, если пойти, но не побить, должна пешка).

Так, на диаграмме 76 белые выигрывают пешку ходом 1. С:c3, а на диаграмме 77 у черных есть ответ: 1. ...e4+ и 2. ...С:c3. Если причина невозможности хода в тестовом поддерева именно такова, то на поле, куда идет фигура, на диагностической доске стоит призрак соответствующего цвета (любого для хода пешки).

10. На поле, куда должна пойти фигура защищающейся стороны, нет фигуры противника, которую она должна побить.

Можно показать, что такая фигура является новой. Отсюда условие: если на диагностической доске какая-нибудь новая фигура атакующей стороны находится под ударом противника (напомним, что прозрачные фигуры не ограничивают линий удара дальнобойных фигур), то влияние есть (пример мы не приводим, так как его легко построить).

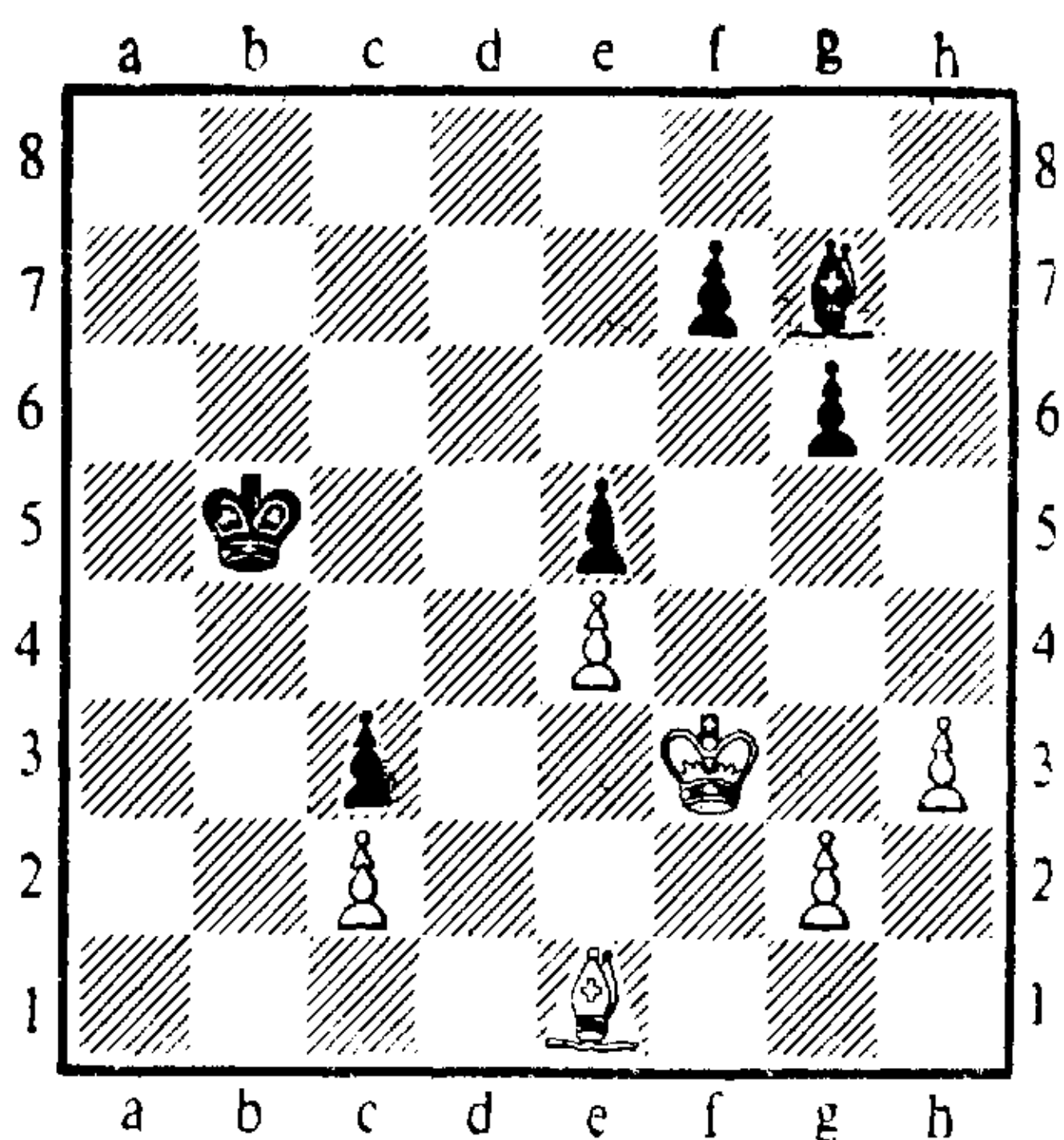
11. Линия хода дальнобойной фигуры защищающейся стороны блокирована.

В тестовом поддерева линия такого хода может быть блокирована только исчезающей фигурой. Поэтому программу должны интересовать ходы дальнобойных фигур через оккупированные призраками поля. Все они — новые из позиций параллельного поддерева, где допустимы (пример легко построить, и мы его не приводим).

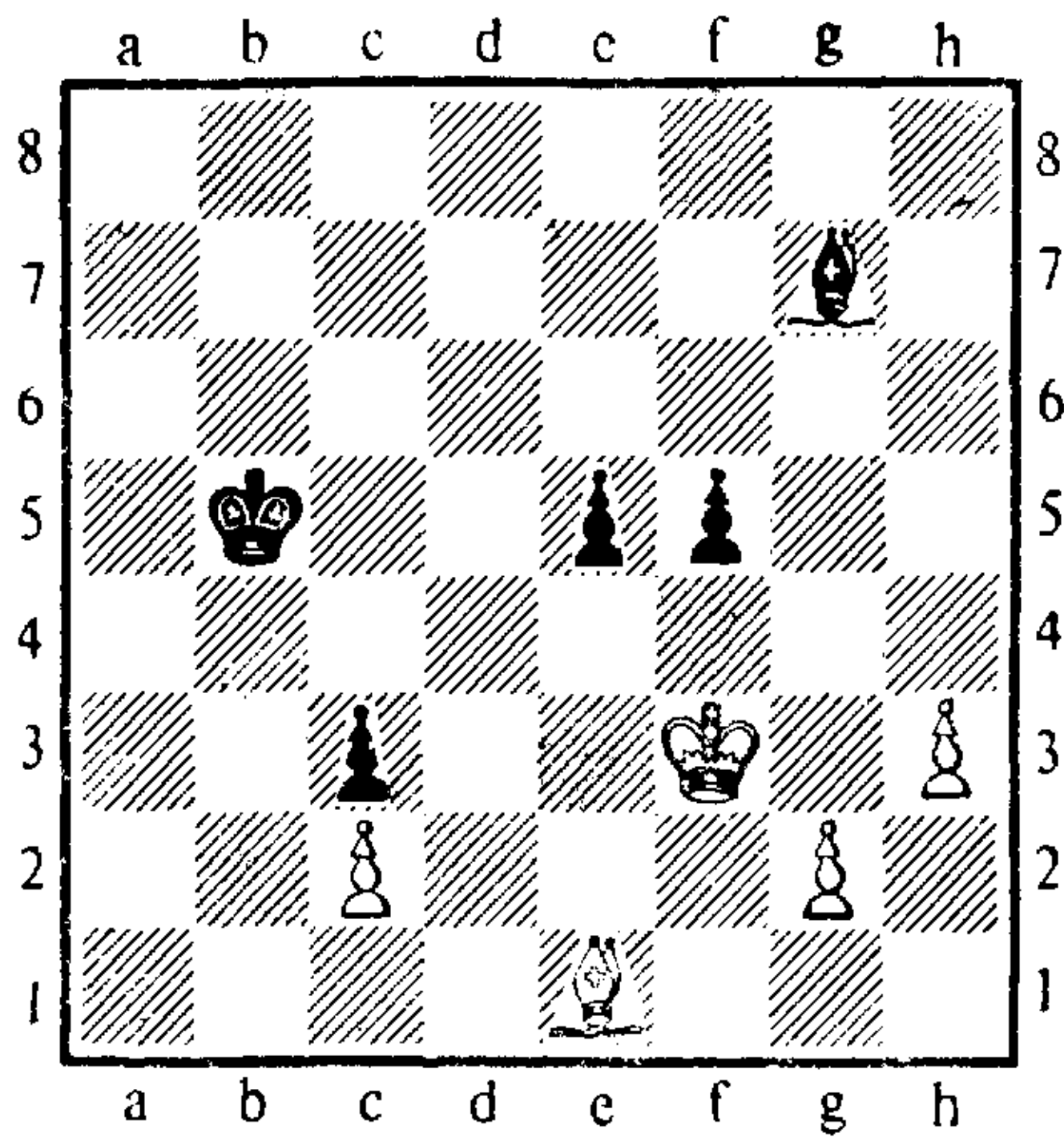
12. Ход перестал быть нелегальным в параллельном поддерева.

Так, на диаграмме 78 после 1. К:c4 Л:c4 2. Л:c4 у черных нет ответа 2. ...С:c4 (их слон d5 связан). Переставим черного короля на c7. Тогда этот ход станет допустимым, и белые не смогут выиграть пешку.

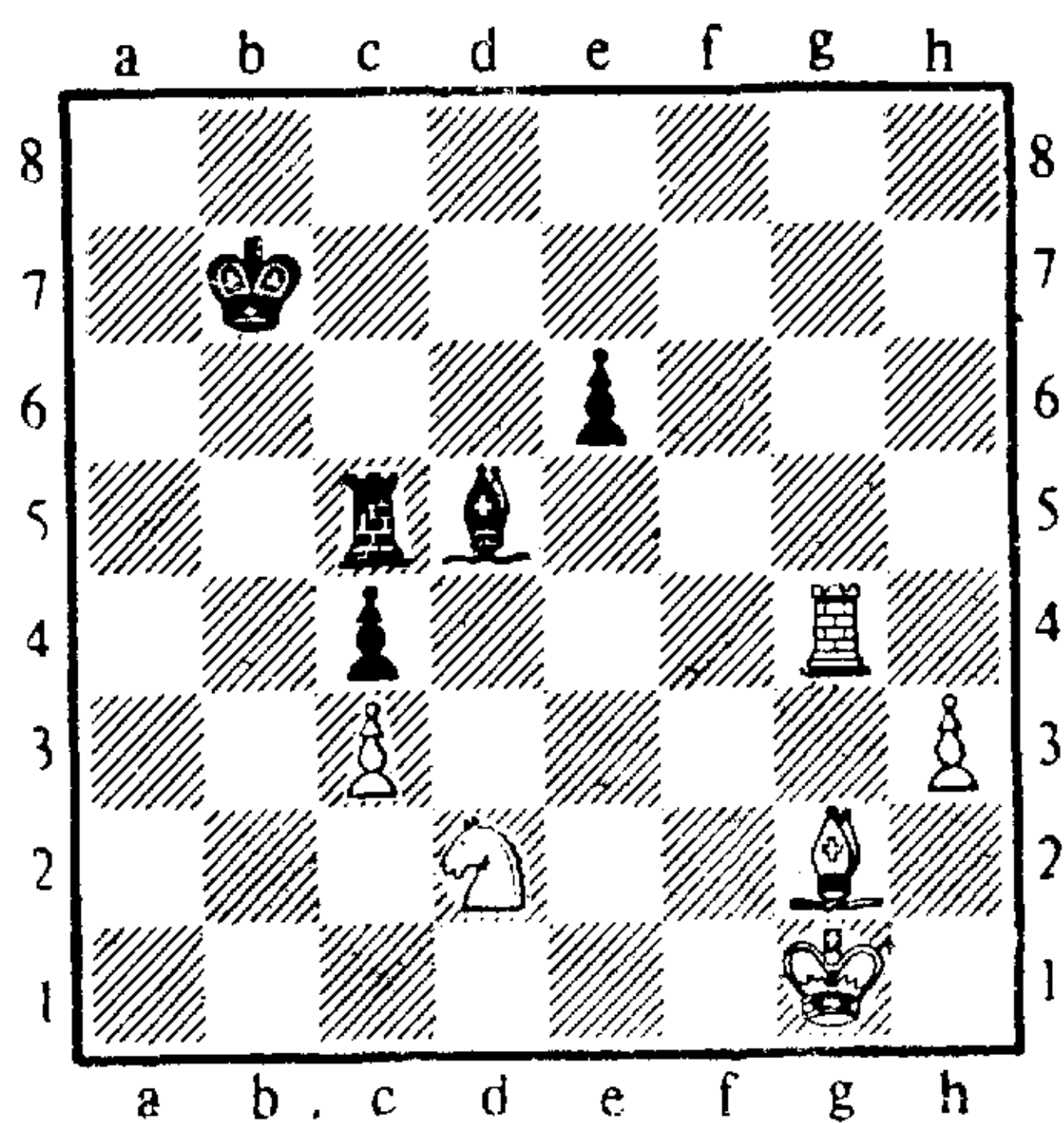
Нелегальность хода состоит в том, что после него король стороны, чей был ход, оказывается под ударом.



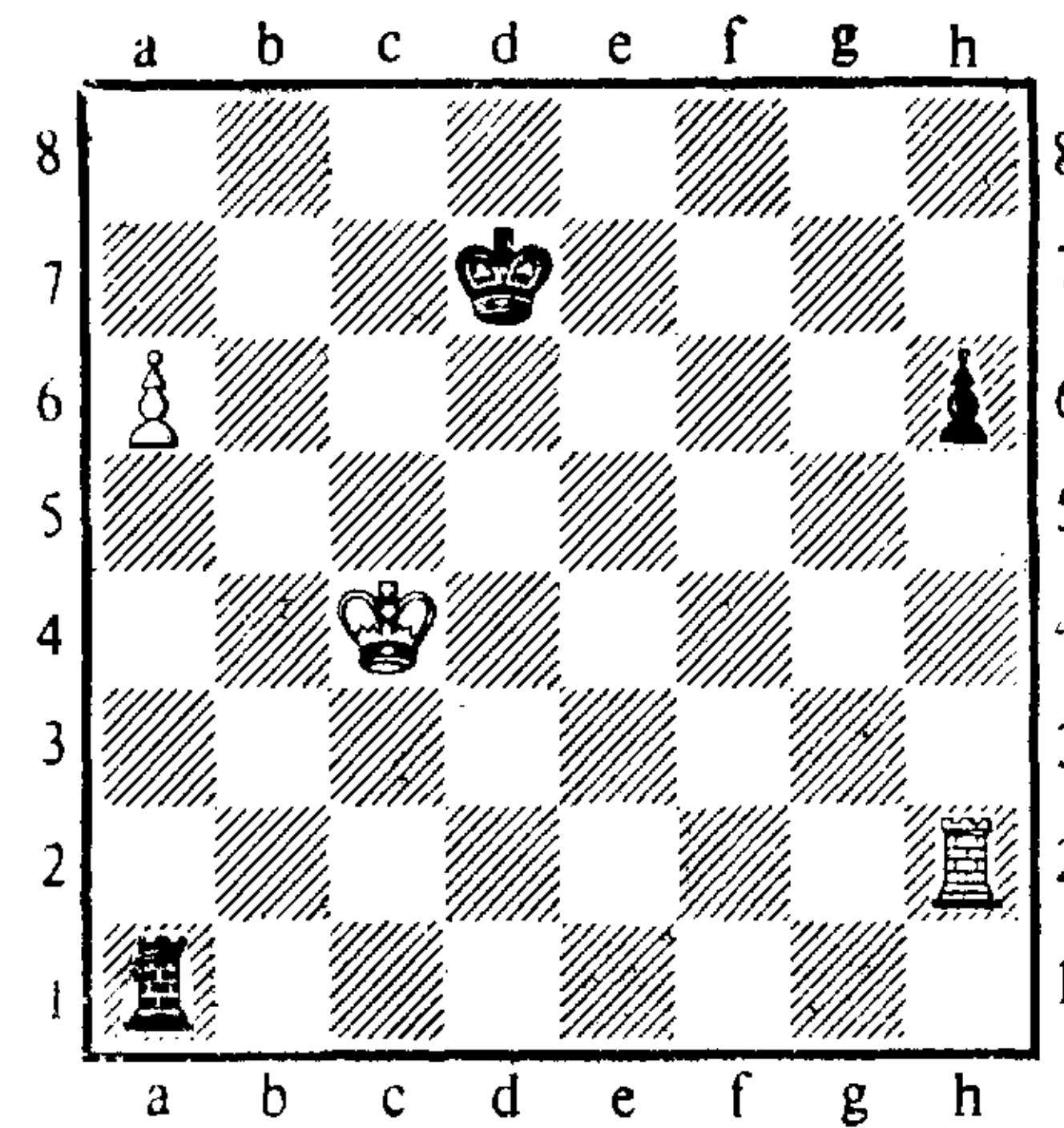
76



77



78



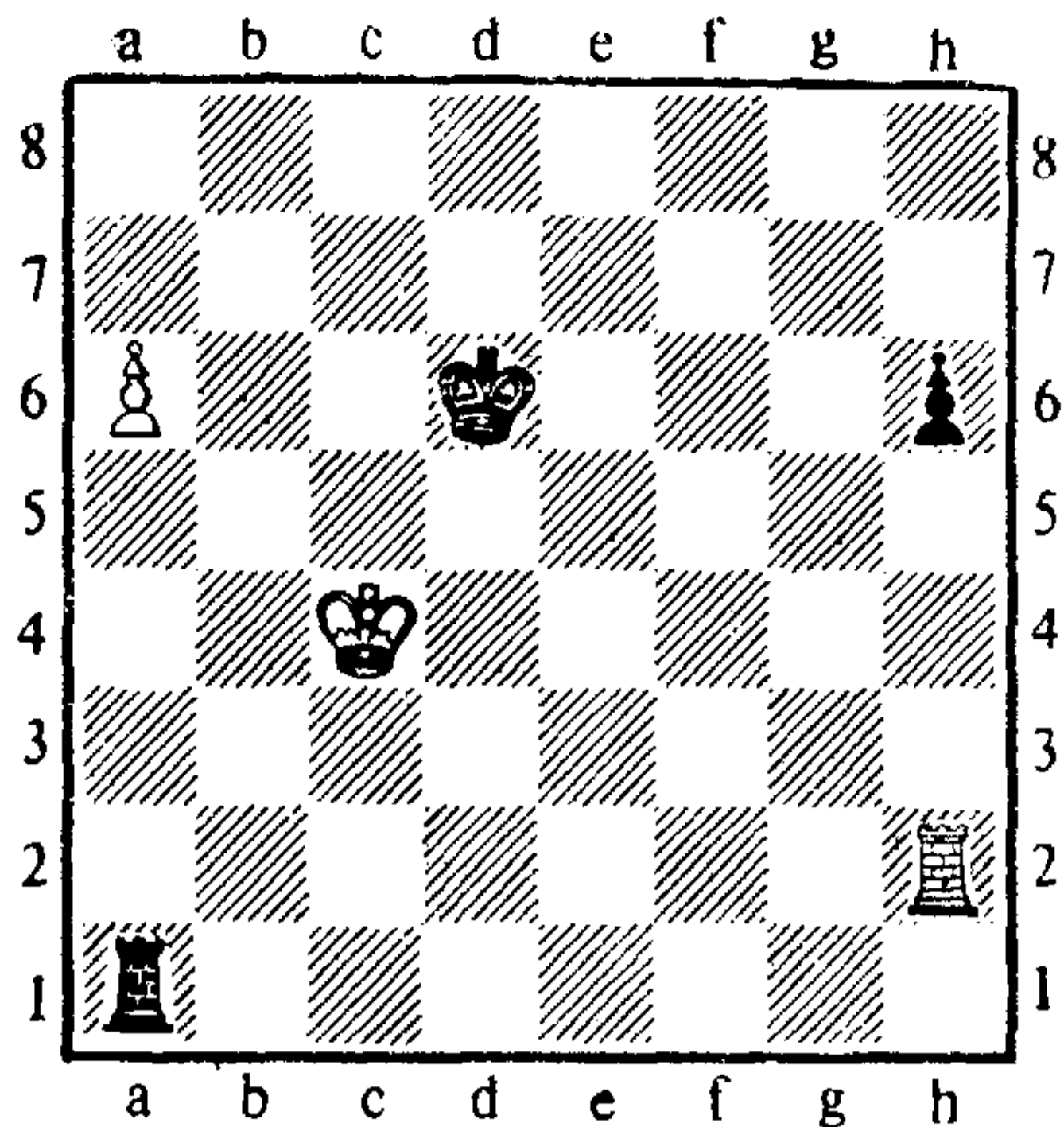
79

В процессе просмотра тестового поддерева можно запомнить соответствующую информацию: к полям «куда» атакующей стороны отнести поле, где после нелегального хода стоял король, к полям «откуда» — поле, оккупированное бьющей фигурой, а линию удара дальнбойной фигуры — к линиям хода. Если это сделано, то условие влияния по рассматриваемой причине совпадает с одним из первых четырех условий (в примере — с третьим).

13. Вместо шаха королю атакующей стороны из соответствующей позиции тестового поддерева есть только похожий ход, не являющийся шахом.

На диаграмме 79 изображена позиция, где черные ходом 1. ...Л:а6 выигрывают пешку, если же черные

сыграют таким же образом из позиции, изображенной на диаграмме 80, то последует 2. Л:h6+ и 3. Л:a6. К ходам защищающейся стороны на диагностической доске добавим условные ходы — взятия короля атакующей стороны после шахов. Если соответствующего «хода» нет в тестовом поддереве, то имеет место одно из условий влияния 8—11 (в примере — условие 10).



80

14. Из позиции тестового поддерева ход допустим, но не разрешен.

Соответствующее условие влияния обычно совпадает с условием пункта 7. В качестве примера можно рассмотреть позиции, возникающие после ходов 1. К:c6 К:c6 и 1. К:a6 Сb5+ 2. Кpf2 С:a6 из позиции, изображенной на диаграмме 71. Только теперь атакующей стороной являются белые.

Теперь вернемся к ситуации, когда некоторый вариант тестового поддерева ведет в модельно-заключительную позицию, где достигнута цель атакующей стороны, а параллельный вариант из второй сравниваемой позиции не ведет к достижению этой цели. Пусть атакующая сторона стремится к данному соотношению материала: либо к некоторому выигрышу, либо к сохранению статус-кво, либо даже к не слишком большому проигрышу. После одинаковых ходов в параллельных вариантах материал либо меняется одинаково, либо одинаково не меняется. Значит, в соответствующих позициях цель атакующей стороны одинаковым образом либо достигается, либо не достигается. Так же обстоит дело с достижением целей размена, уничтожения или оттеснения данной фигуры, оккупации данного поля и т. п.

Если цель иная, то рассматриваемая ситуация возможна, но обычно только при выполнении относительно легко проверяемых условий, которые можно считать дополнительными условиями влияния. Приведем два характерных примера.

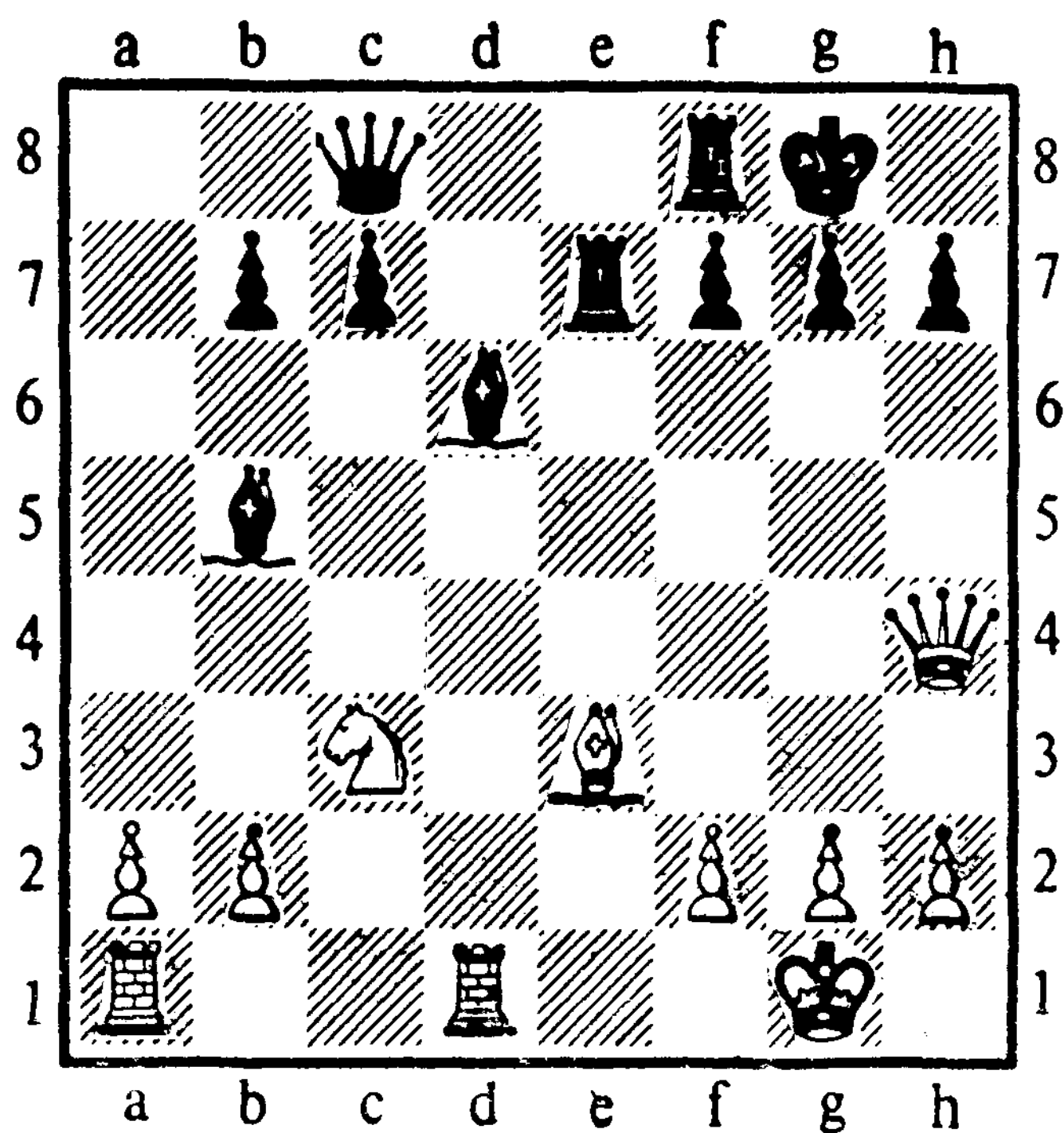
Если достигаемой в варианте тестового поддерева целью атакующей стороны является создание проходной

пешки и в параллельном варианте из второй сравниваемой позиции она не достигается, то либо пешка, которая становится проходной, — исчезающая фигура, либо ей преграждает дорогу в ферзи ударом или своим телом новая фигура — пешка противника (см. позицию, изображенную на диаграмме 62, и сравниваемую с ней). Если атакующая сторона добивается в варианте тестового поддерева и не добивается в параллельном варианте удара своей фигуры на данном поле, то такая фигура либо исчезающая (причем в данном варианте неподвижная), либо дальнобойная и на линии ее удара стоит новая фигура.

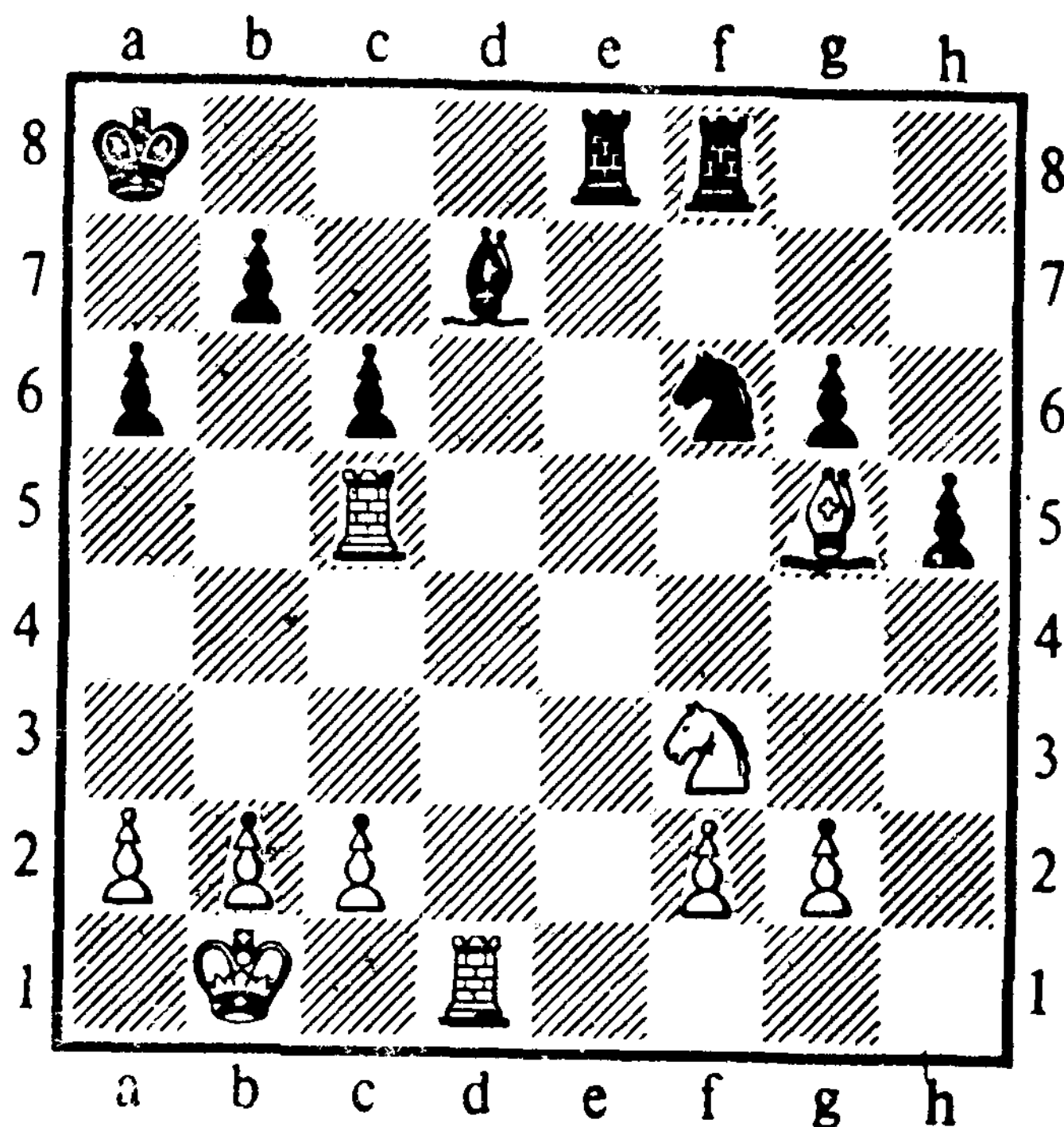
Для корректности оценки нужно еще, чтобы цель атакующей стороны в концах параллельных вариантов достигалась окончательно, т. е. чтобы они, как и соответствующие варианты тестового поддерева, вели в модельно-заключительные позиции. Конец варианта из сравниваемой позиции является модельно-заключительной позицией при выполнении некоторых условий, проверяемых без дополнительного перебора и зависящих от сравниваемой позиции, ее глубины в дереве перебора и ходов варианта. Различное выполнение условий, связанных со сравниваемыми позициями и их положением в дереве перебора следует считать дополнительными условиями влияния. Что же касается ходов параллельных вариантов, то они одинаковы.

Оценка по аналогии пока применяется только для позиций и ходов в тех частях шахматной модели, где действуют правила форсированной игры, и притом для целей, состоящих в достижении некоторого соотношения материала. Если в сравниваемых позициях соотношение материала и А.Б.-границы одинаковы, то концы параллельных вариантов одинаково являются или не являются модельно-заключительными позициями (это условие влияния уже было введено, так как от него зависит разрешение и запрещение ходов).

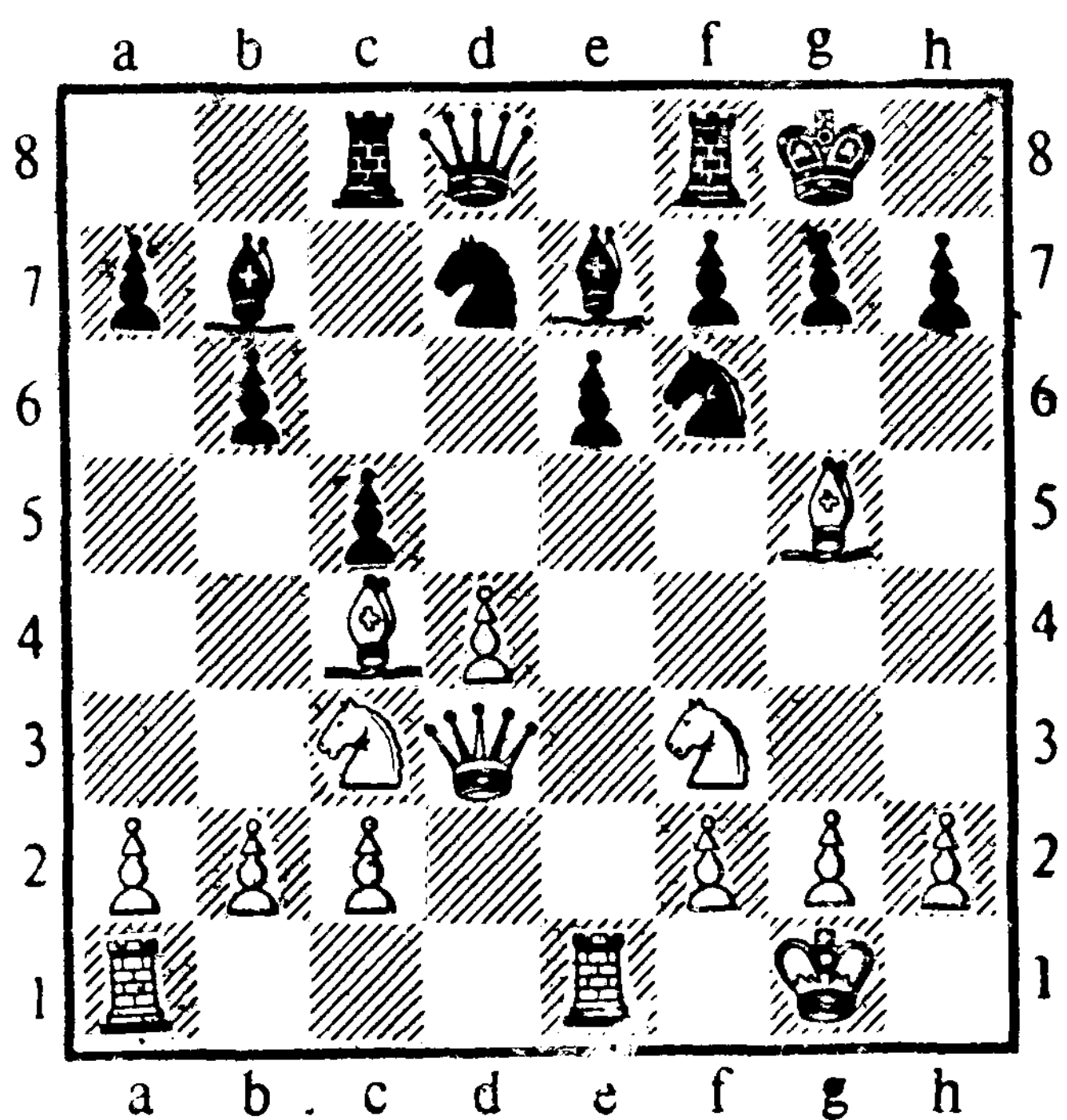
Если какое-либо условие влияния выполняется, то программа оценивает данный ход из второй сравниваемой позиции при помощи перебора вариантов. Это не значит, что его оценка по аналогии заведомо некорректна, и тем более, что она — иная, чем оценка того же хода из первой позиции. Просто на такую оценку рискованно полагаться. Зато если влияния нет, то нет и риска.



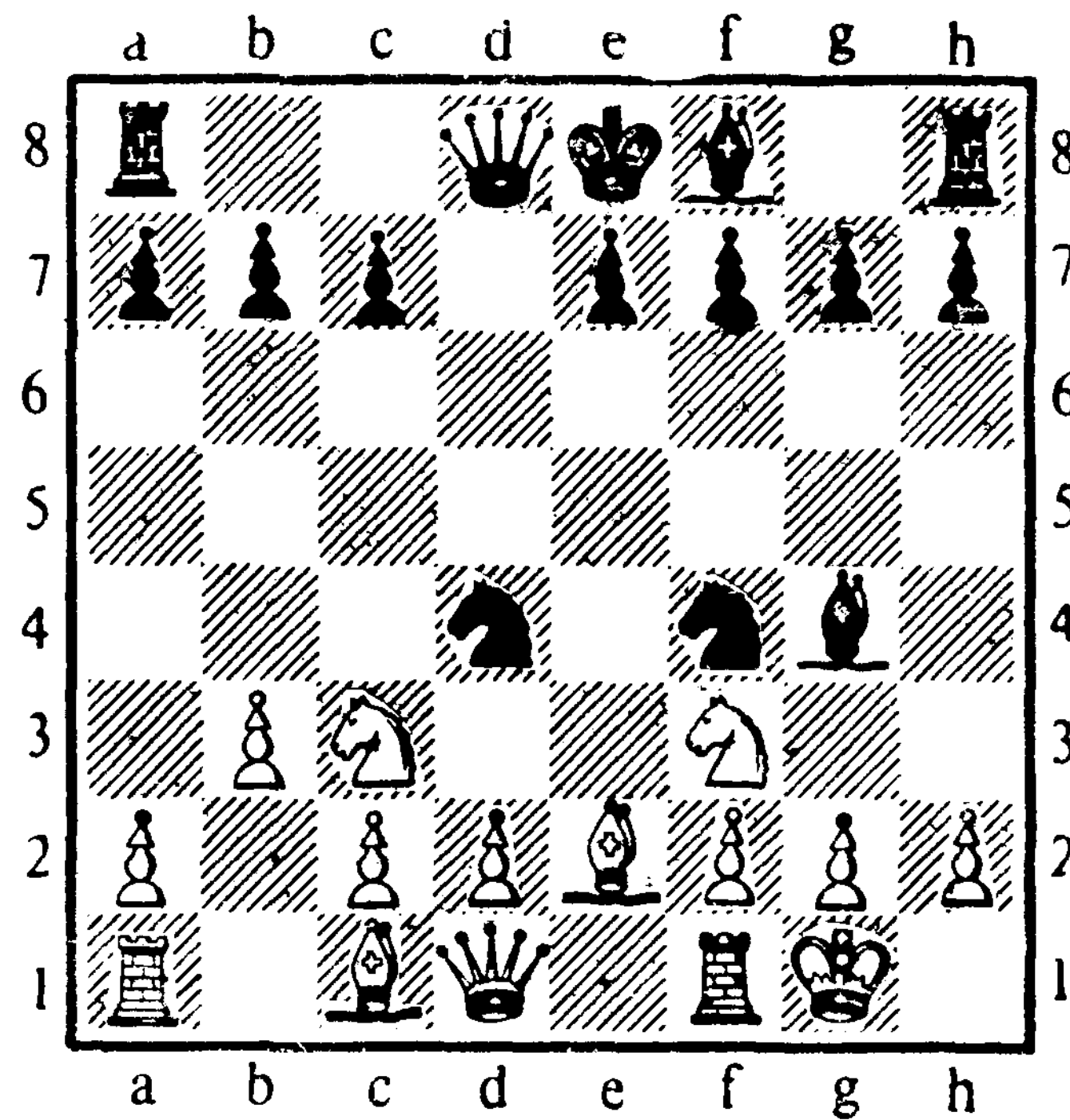
81



82



83



84

Для проверки условий влияния нужна информация о сравниваемых позициях и ходах тестового поддерева: откуда и куда ходили фигуры, где их били, линии ходов дальнбойных фигур, их шахов, нелегальные ходы, которую можно запомнить при переборе вариантов тестового поддерева и хранить довольно компактным образом. Однако диагностика влияния более трудоемка, чем хотелось бы, а сами условия — «избыточны», т. е. могут выполняться, когда «на самом деле» влияния нет. По-видимому, меры для борьбы с одним недостатком могут только усугубить второй. Удачный компромисс, скорее всего, будет найден в процессе экспериментов с программами.

В заключение — два примера. На диаграмме 81 черным не грозит потеря ладьи e7 после хода Л:d6, так как

они могут ответить Л:е3. Значит, есть время для спасения слона b5. Ход 1. ...Се8 не влияет на вариант 2. Л:d6 Л:е3 3. fe cd. После него черные не проигрывают материала, но в позиционном отношении он довольно неуклюж. Другие отходы слона: 1. ...Са6, 1. ...Сс6 и 1. ...Cd7 влияют на приведенный выше вариант. У белых возникают возможности новых взятий: Л:a6, Л:c6 и Л:d7. После 1. ...Са6 2. Л:d6 Л:е3 3. Л:a6 Л:c3 4. bc ba результат не меняется, но дерево перебора увеличивается. После 1. ...Сс6 2. Л:d6 Л:е3 3. Л:c6 Л:c3? черные проигрывают ладью (или фигуру, если они откажутся от хода 3. ...Л:c3), а после 1. ...Cd7 2. Л:d6 Л:е3 3. Л:d7 Л:c3 4. Л:f7! пешку.

На диаграмме 82 попытка белых выиграть слона d7 не проходит: 1. С:f6 Л:f6 2. Л:d7? Л:f3! Грозит мат ладьей на e1, и белые должны отдать, по крайней мере, пешку. Переставим белую ладью с c5 на c3. Влияние есть: на диагностической доске ладья c3 бьет поле f3, куда в приведенном выше варианте попадает черная ладья. Однако по существу ничего не меняется: после 3. Л:f3 так же, как и после 3. gf, черные могут играть 3. ...Le1X. Угроза черных слишком велика, чтобы ее смогла компенсировать возможность нового взятия, но для использования такого соображения нужно «помнить» о тестовом варианте слишком многое.

РАЗЛОЖЕНИЕ ВАРИАНТОВ НА «НЕЗАВИСИМЫЕ КОМПОНЕНТЫ»

В одной партии нашей программы с шахматистом 3-го разряда возникла следующая позиция (диаграмма 83, программа играла белыми). Первый раз ее нужно было оценивать за два хода до того, как она появилась на доске, причем в части поддерева модели, где действовали правила форсированной игры. Как убедиться в том, что ход 12. С:e6 плох? Есть разные способы обосновать такое мнение.

1. «Глуно бить фигурой пешку, защищенную пешкой», по-видимому, считал (подсознательно) противник программы и после 12. Лад1 cd 13. К:d4 Кc5? 14. Фh3 Ке4? 15. К:e4 К:e4 «получил» 16. К:e6!

2. Можно дополнить это категорическое мнение оговорками типа: «если после такого хода не вскрыются линии нападения на фигуры противника». Однако мы пока

не представляем себе достаточно полной и замкнутой системы правил разрешения и запрещения ходов, оговорок к этим правилам, оговорок к оговоркам и т. д. Вероятно, и у шахматистов нет четкой системы применения правил и оговорок. Противник программы, конечно, знал, что бывают вскрытые нападения, но при выборе своих 13-го и 14-го ходов не вспомнил о них.

3. При создании шахматной программы мы решили, что из любой позиции нужно смотреть все ходы, разрешенные в модели форсированной игры и не отсекаемые при помощи А.Б.-граней. Если добавить правила отсечения ходов по аналогии, то все равно придется смотреть многие варианты. Часть их отличается один от другого порядком ходов, а другие состоят из ходов более длинных вариантов.

4. Для сокращения перебора естественно изучать ходы С:f6, dс, С:e6, Л:e6 и Ф:h7+, допустимые и разрешенные из данной позиции, по возможности, независимо один от другого, т. е. из позиций вариантов, начинающихся одним из них, не разрешать другие и, таким образом, рассматривать эквивалентную, но более узкую модель. Этот принцип мы называем разложением вариантов на компоненты. Например, вариант 12. С:e6 fe 13. С:f6 С:f6 14. Ф:h7+ Кр:h7 (продолжение 15. Кg5+ С:g5 программа не смотрит, так как два шаха в глубине форсированного варианта ей запрещены) состоит из компонент: 1) С:e6 fe, 2) С:f6 С:f6 и 3) Ф:h7+ Кр:h7. Ходы разных компонент могут чередоваться: так, вариант 12. Л:e6 fe 13. С:e6+ Крh8 14. С:f6 С:f6 15. С:d7 Ф:d7 состоит из компонент Л:e6 fe С:e6 Крh8 С:d7 Ф:d7 и С:f6 С:f6. Эти разложения вариантов изображены на рис. 14.

Однако не всегда только первый ход вариантов из данной компоненты допустим из исходной позиции. В другой партии нашей программы встретилась позиция, изображенная на диаграмме 84 (программа играла черными). Варианты 8. ...Кf4:e2+ 9. К:e2 с возможным продолжением 9. ...Кd4:e2+ (это — иной ход, чем 8. ...Кd4:e2+, так как снимается с доски другая фигура), 10. Ф:e2 и 8. ...К:f3 9. С:f3 (с продолжением 9. ...С:f3, 10. Ф:f3) ничего не выигрывают, но составной вариант из них образовать нельзя, так как после 8. ...Кf4:e2+ 9. К:e2 К:f3+ у белых нет ответа 10. С:f3. Они должны играть 10. gf и после 10. ...С:f3 терять

пешку (недоступный современным программам расчет показывает, что у белых нет удовлетворительной защиты от маневра $\Phi d8-d7-g4(h3)-g2$ с матом, — впрочем, при продолжении партии программа может его найти).

Чтобы сократить перебор вариантов при помощи их разложения на компоненты, нужно как-то решить следующие проблемы:

1. Как определить, зависимы данные компоненты или нет.

2. Как продолжать перебор, когда обнаружена зависимость компонент, которые до этого считались независимыми.

3. Нужны ли оценки составных вариантов, и если да, то как найти, зная только компоненты.

4. Каковы условия корректности оценок по аналогии при покомпонентном, т. е. меньшем, переборе тестовых вариантов.

Оцениваемая позиция является корнем поддерева дерева шахматной модели программы. Это поддерево можно считать деревом некоторой шахматной модели, с которой мы в дальнейшем и будем иметь дело. Пусть все ходы стороны, чья очередь хода в данной позиции, разбиты на два класса. Тогда мы определим две подмодели с той же

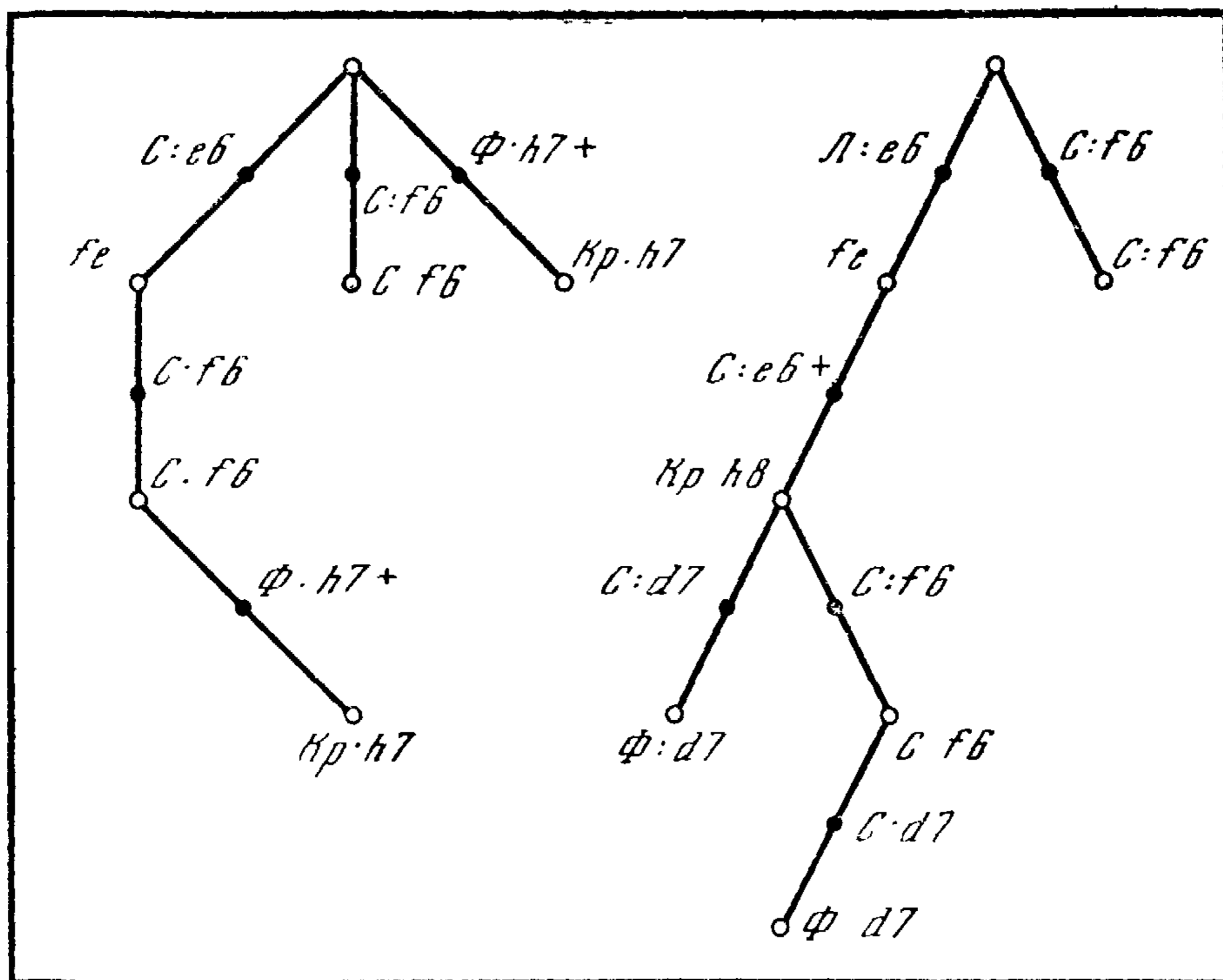


Рис. 14. Разложение вариантов на компоненты

начальной позицией. В первой подмодели указанной стороне разрешены ходы первого класса при условии, что они допустимы из позиции и разрешены в определенной выше модели (будем называть ее полной), во второй подмодели — второго класса (на тех же условиях). В обеих подмоделях правила разрешения и запрещения допустимых ходов другой стороны — те же, что и в полной модели.

Назовем сторону, которой принадлежит очередь хода в начальной позиции полной модели и подмоделей, атакующей, а другую — защищающейся. Если в полной модели атакующая сторона добивается некоторой цели, а в обоих подмоделях — нет, то подмодели должны влиять друг на друга. Построим так называемый критический вариант, разрешенный в модели, и его компоненты, разрешенные в подмоделях. Правила построения — следующие.

1. Сначала критический вариант и компоненты состоят из одной начальной позиции и совсем не содержат ходов.

2. Если, как в начале построения, в конце критического варианта очередь хода принадлежит атакующей стороне, то ей же принадлежит очередь хода в концах обеих компонент. Либо ход, каким атакующая сторона добивается своей цели в полной модели из конца критического варианта, допустим и разрешен из конца некоторой компоненты, либо нет, либо конец критического варианта — модельно-заключительная позиция. В первом случае мы продолжим критический вариант и эту компоненту указанным ходом, во втором и третьем закончим построение. Интересующий нас ход может быть допустим и разрешен из концов обеих компонент (когда классы содержат общие ходы). В таком случае мы продолжим любую компоненту, но только одну.

3. Если очередь хода в конце критического варианта принадлежит защищающейся стороне, то в конце одной из компонент она принадлежит ей же, а в конце другой — атакующей стороне. Либо ход, каким защищающаяся сторона не дает в соответствующей подмодели противнику достичь своей цели из конца компоненты, где ей принадлежит очередь хода, допустим и разрешен из конца критического варианта, либо нет, либо конец этой компоненты — модельно-заключительная позиция. В первом случае мы продолжим указанным ходом компоненту

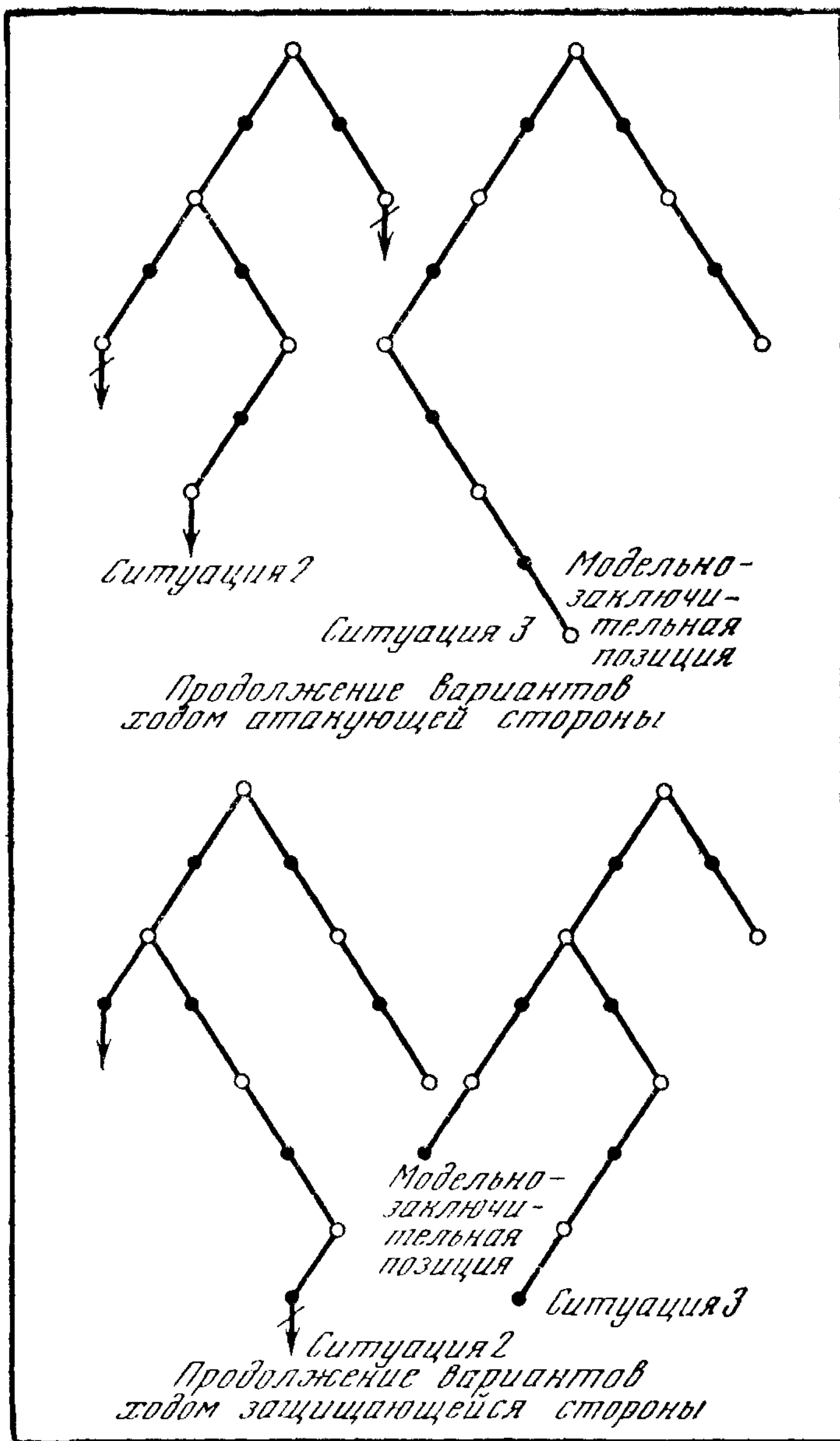
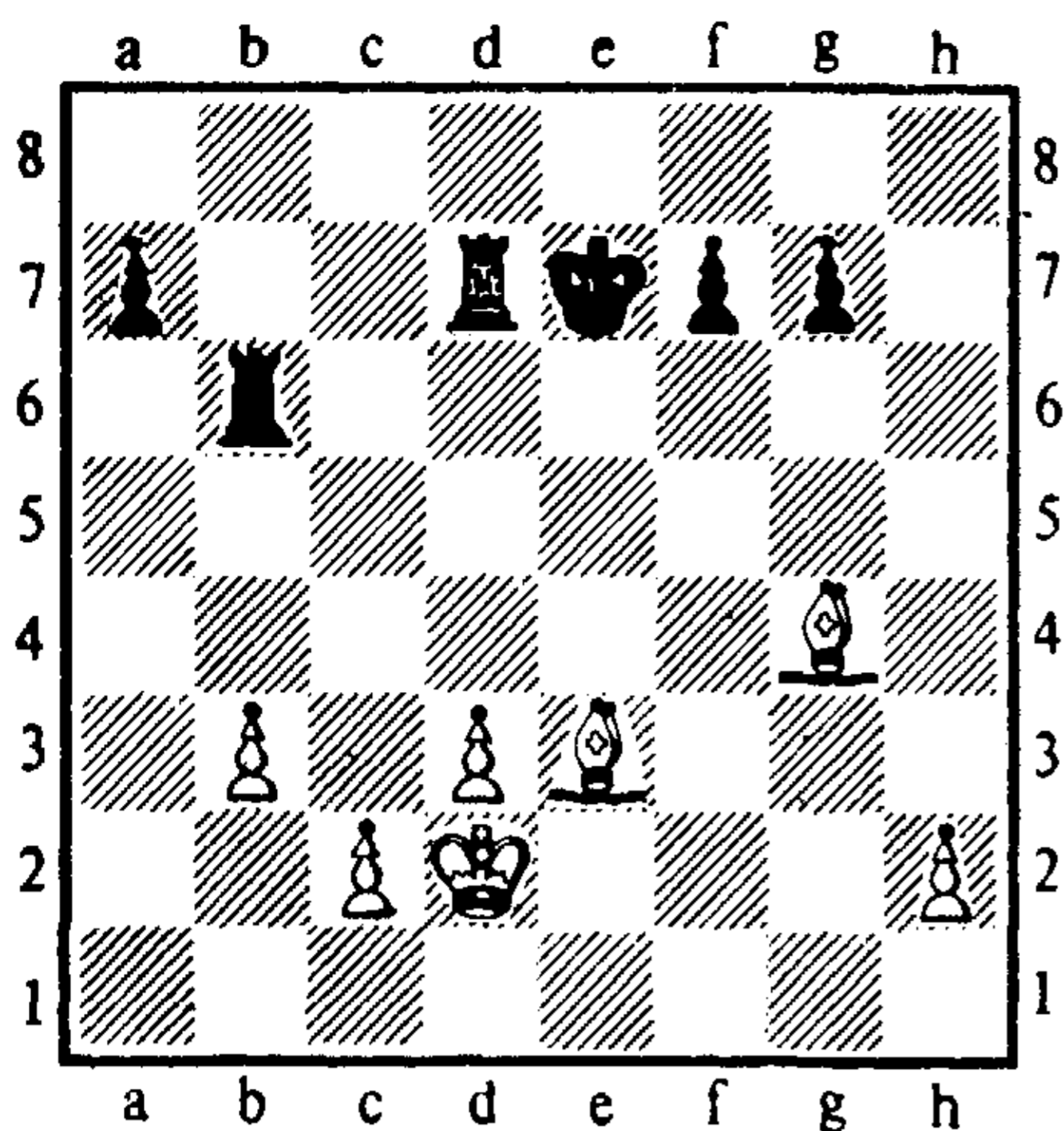


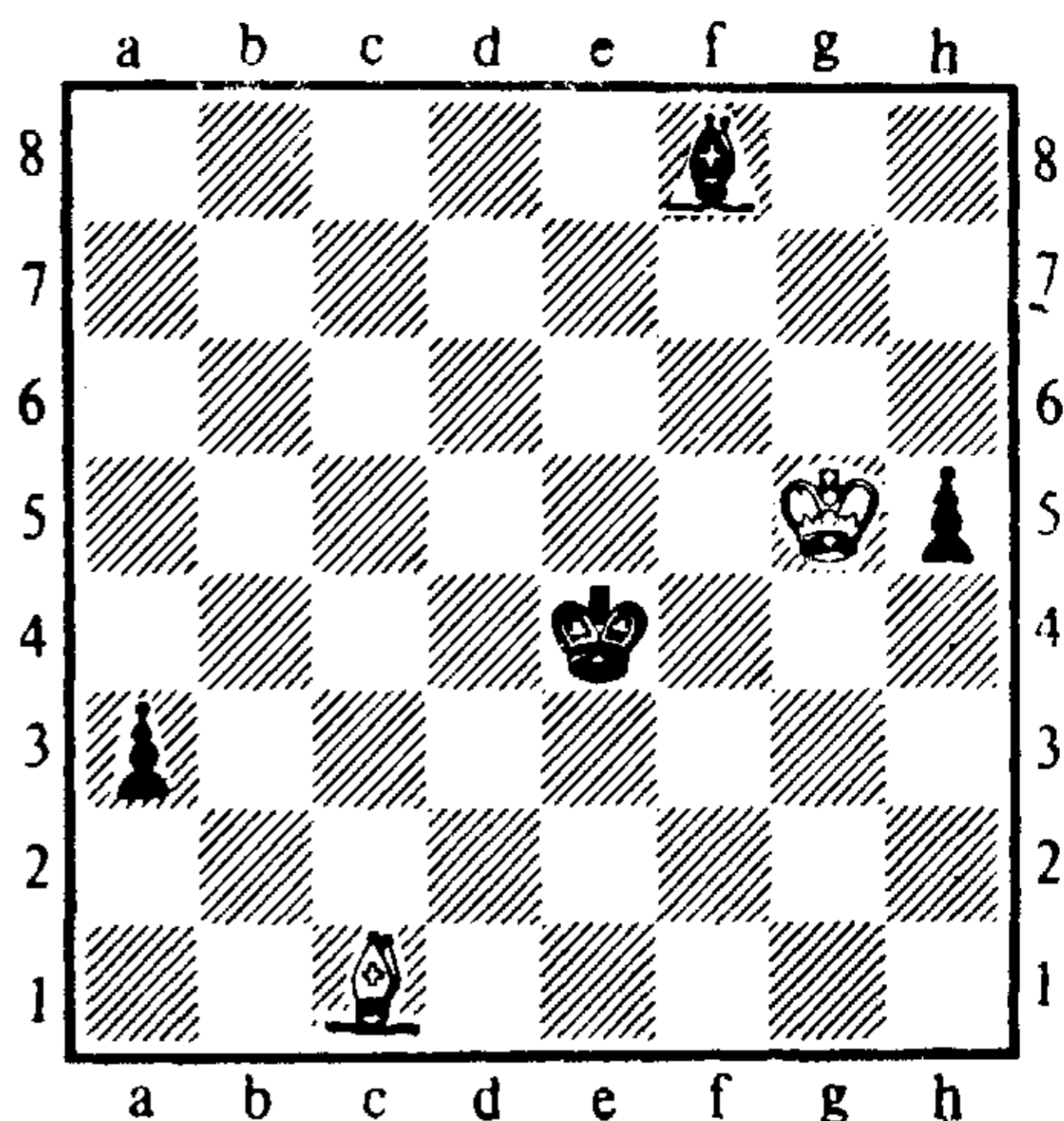
Рис. 15. Случай, когда критический вариант нельзя удлинить

и критический вариант, во втором и третьем закончим построение. Впрочем, на самом деле построение — мысленное: позиций и ходов, не принадлежащих подмодели, ни программа, ни мы не видели. Тем не менее мы знаем, какие ситуации возможны в конце процесса построения (рис. 15).

Условия влияния поддеревьев друг на друга близки к условиям влияния различий между сравниваемыми позициями на тестовое поддерево. По крайней мере, одно из них выполняется, если построение критического ва-



85



86

рианта и его компонент прекращается не из-за того, что конец варианта или компоненты оказывается модельно-заключительной позицией. Когда полная модель — форсированная игра и целью атакующей стороны является сохранение или минимальное изменение материала, остальные случаи невозможны. Исследование этих случаев, когда полная модель или цель атакующей стороны иная, еще не привело к достаточно широкому пониманию возможностей оценки вариантов при помощи их разложения на компоненты.

Приведем такой пример (диаграмма 85). Атакующая сторона — белые, они хотят выиграть не меньше, чем два качества в модели форсированной игры. В первой подмодели запрещен ход С:b6, во второй С:d7. В обеих подмоделях атакующая сторона не добивается успеха: в первой после 1. С:d7 Кр:d7 у нее нет разрешенных ходов, во второй то же происходит после 1. С:b6 ab. В обеих подмоделях белые выигрывают только по одному качеству, но в полной модели их цель достижима, так как, отказываясь от взятия слона для спасения второго качества, черные теряют больше. Тем не менее естественно считать наши подмодели не влияющими друг на друга: в них участвуют разные фигуры и линии составляющих их ходов не имеют общих полей. Поэтому в полной модели ходы из подмоделей можно производить в любом порядке: одинаково выигрывают варианты 1. С:d7 Кр:d7 2. С:b6 ab и 1. С:b6 ab 2. С:d7 Кр:d7.

Безопасный для более слабой стороны состав фигур на доске может быть достигнут в конце критического

варианта и не достигнут в концах компонент. На диаграмме 86 белые могут играть 1. С:а3 С:а3 2. Кр:h5. Пусть в первой подмодели не разрешен ход Кр:h5, а во второй — С:а3. Тогда состав фигур — король против короля и слона, при котором более сильная сторона не может дать мата, в этих подмоделях не достигается. В то же время указанные подмодели модели форсированной игры не влияют друг на друга.

По-видимому, дело в том, что цель атакующей стороны состоит из двух относительно независимых подцелей: в первом примере — выиграть качество на d7 и выиграть «другое качество» на b6, во втором — уничтожить пешку а3 и уничтожить пешку h5. Одна подцель достигается в первой подмодели, другая — во второй, а «полная» цель — в составных вариантах. Когда имеет место такой случай, надо либо отказаться от разложения вариантов на компоненты, либо оценивать ее достижимость в полной модели на основании оценок достижимости подцелей в подмоделях. Методы такой «синтетической» оценки еще не разработаны.

Как же сократить перебор, используя разложение вариантов на компоненты? Вернемся к позиции, изображенной на диаграмме 83. Сначала попробуем рассмотреть по отдельности пять подмоделей, в каждой из которых разрешен только один из ходов: С:f6, dc, С:e6, Л:e6 или Ф:h7+.

Дерево первой подмодели состоит из одного варианта:

12. С:f6 С:f6 13. ∅ (так мы будем изображать пустой ход), не выигрывающего и не проигрывающего материала.

Дерево второй подмодели несколько богаче:

12. dc К:c5 13. ∅.

13. Ф:d8 Л:d8 14. ∅.

И здесь только материальное равновесие.

Первая и вторая подмодели не влияют друг на друга. Значит, в объединенной модели, в которой разрешены ходы С:f6, dc и запрещены другие (выписанные выше), белые тоже не могут выиграть материал (естественно, они не должны его проиграть). Множество элементов информации, нужных для проверки влияния этой модели на остальные, состоит из полей и линий ходов дальнобойных фигур, относящихся к объединяемым первой и второй подмоделям.

Если белым не разрешены взятия и пустые ходы,

после которых у них не хватает материала, то в третьей подмодели есть только один вариант: 12. С:е6 fe.

Ход 13. Л:е6 — иной, чем 12. Л:е6, так как «съедается» другая пешка. Он не разрешен в полной модели форсированной игры: после него не достигается материальное равновесие, которому равна нижняя А.Б.-грань для белых. Не разрешен вместо него и пустой ход. Значит, после 12-го хода черных возникает модельно-заключительная позиция, где белые проиграли материал.

Эта подмодель и ранее рассмотренные не влияют друг на друга. Их можно было бы объединить без дополнительного перебора, но третья подмодель влияет на следующую четвертую: 12. Л:е6 fe 13. С:е6+ Крh8 14. С:d7 Ф:d7.

Выполняются сразу несколько условий влияния, в частности совпадают поля «откуда» для ходов 12. ...fe, разных потому, что в третьей подмодели таким ходом черные бьют слона, а в четвертой — ладью (другое условие — на одной из диагностических досок есть новый ход белых С:е6+). Вторая подмодель тоже влияет на четвертую.

Либо все приведенные выше варианты этих подмоделей надо просмотреть еще раз, либо еще при первом просмотре запомнить, что ходы, разрешенные в подмодели, объединяющей вторую, третью и четвертую, но не разрешенные в составляющей подмодели, в вариантах третьей и четвертой подмоделей запрещены по правилам форсированной игры и смотреть надо только варианты второй подмодели, разрешив дополнительно ходы С:е6 и Л:е6. Таким образом, добавляются еще варианты:

12. dc К:c5 13. С:е6.

13. Л:е6.

Дальше мы их не продолжаем, так как 13-е ходы С:е6 и Л:е6 можно оценить по аналогии с такими же 12-ми ходами белых, изученными раньше (с точки зрения человека еще проще опровергнуть их ответом 13. ...К:d3, но программа должна работать регулярно, и, кроме того, мы хотим показать, как сочетаются оценки по аналогии с разложением вариантов на компоненты).

Итак, мы выяснили, что в объединенной модели белые не могут выиграть материал и она не влияет на первую подмодель. Значит, белые не могут добиться выигрыша

материала в объединении первой—четвертой подмоделей. Остается рассмотреть пятую подмодель:

12. Ф:h7+ Кр:h7.

В первой подмодели слон g5 уходит с поля, откуда можно дать шах черному королю, попавшему на h7. Таким образом, первая и пятая подмодели влияют друг на друга. Их нужно объединить, причем добавляется только вариант: 12. С:f6 С:f6 13. Ф:h7+ Кр:h7 14. Кg5+ С:g5 (однако, если в глубине форсированных вариантов второй шах запрещен, то вариант кончается после 13-го хода черных).

В объединенной модели белые тоже не могут выиграть материал. Она не влияет на другую подмодель, объединяющую вторую, третью и четвертую. Поэтому можно закончить перебор и сделать выводы:

1) из позиции, изображенной на диаграмме 83, белые не могут выиграть материал;

2) ход 12. С:e6 проигрывает материал;

3) разложение вариантов на компоненты дало возможность сократить перебор.

Однако такого сокращения перебора можно не получить, если по-иному выбирать ответы черных. Например, если бы на 12. С:f6 черные играли бы не 12. ...С:f6, а 12. ...К:f6, то все подмодели оказались бы влияющими друг на друга. С другой стороны, на 12. dс черные могли бы ответить 12. ...bc, и вторая подмодель не влияла бы на четвертую; правда, такой ответ с позиционной точки зрения выглядит хуже, чем 12. ...К:c5. Мы можем сделать вывод, что для сокращения перебора полезно по возможности разделять функции фигур так, чтобы каждая принимала участие в небольшом количестве операций взятия. Впрочем, вопросы построения подмоделей с ограничениями на ходы обеих сторон пока еще почти не разработаны.

ШАХМАТЫ И ТЕОРИЯ ВЕРОЯТНОСТЕЙ

Теоретическое исследование качества хода, если он лучший в шахматной модели, долго не считалось актуальным. Предполагали, что позиционная компонента оценочной функции предотвращает грубо антипозиционную игру таким же образом, как материальная — жертвы «за так», а перебор «в глубину» нужен только для того, чтобы «не зевать». Однако опыт показал, что при более глубоком

переборе программы играют сильнее, хотя ни до чего определенного они во многих важных случаях «не досчитываются». В чем же причина такого положения? Какова роль оценочной функции при переборе, и прежде всего, каков характер связи между значениями оценочной функции и объективными оценками позиции?

Предположение о вероятностном характере оценочной функции кажется естественным. Действительно, чаще всего она отражает реальные достижения сторон на шахматной доске, но бывает и так, что эти достижения — мнимые. Вместе с тем не видно, как ее усовершенствовать, хотя бы настолько, чтобы она не ошибалась в позиционном отношении. Однако в шахматах все — такое определенное и логичное, а теория вероятностей изучает случайное. «Элементарные» утверждения об оценке позиции или значении оценочной функции для нее либо истинны, либо ложны. Значит, любое суждение о событиях на шахматной доске имеет вероятность, равную либо 1, либо 0 (первое, если оно — истина; второе, если — ложь). Теория же вероятностей в основном изучает промежуточные значения.

Все это так, но уже создатели теории вероятностей считали, что на самом деле в мире нет ничего случайного, а выведенные ими закономерности выполняются, когда причинные связи имеют достаточно сложный характер. Более слабую гипотезу, частично обоснованную только в наше время А. Н. Колмогоровым и его последователями, можно кратко сформулировать следующим образом: сложное похоже на случайное. Она и сейчас служит для оправдания вероятностного подхода к исследованию (однако не всегда). Воспользуемся ею и мы.

Будем считать значения оценочной функции, определяющие модельные оценки модельно-заключительных позиций в процессе работы шахматной программы, случайными величинами. Хотя способ их вычисления задан точно и не слишком сложно, их отношение к истинным оценкам этих позиций, по-видимому, имеет сложный характер. Мы попробуем дать некоторое представление об исследовании качества модельных оценок (определяющего вероятности ошибок при выборе хода программой), пользуясь только элементарными сведениями из теории вероятностей. Но прежде всего несколько замечаний об изучаемых объектах — оценках позиций и оценочной функции.

В шахматной партии возможны три исхода — выигрыш белых, выигрыш черных и ничья. Однако каждая сторона желает выиграть и, только поверив в недостижимость желаемого, ищет возможности сделать ничью. Иными словами, в каждый момент процесса выбора хода из данной позиции ничью причисляют к выигрышу или проигрышу. Поэтому мы в дальнейшем будем рассматривать только два исхода. Позиции, из которых сторона, чей ход, может добиться победы, мы будем называть выигранными, остальные — проигранными. Так как в шахматах белые и черные ходят по очереди, лучшие ходы из выигранной позиции ведут в проигранные, а остальные — в выигранные. Мы будем называть первые — выигрывающими ходами, а остальные — проигрывающими. Все ходы из проигранной позиции являются проигрывающими, т. е. ведут в выигранные позиции.

При построении оценочной функции программисты пользуются представлением о шкале предпочтения позиций, которая, по их мнению, в каком-то виде есть и у шахматистов, и вводят много градаций ее значения. Вначале рассмотрим более простой случай, когда градаций только две: оценочная функция равна 1, если считает позицию выигранной, и 0 — если проигранной.

Начнем с рассмотрения моделей Шеннона глубин, равных 0 и 1. В первой начальная позиция — модельно-заключительная и ее модельная оценка равна значению оценочной функции. Во второй модельно-заключительными являются позиции, возникающие после ходов из начальной. Если для всех них оценочная функция равна 1, то начальная позиция — проигранная в модели. Если же после хотя бы одного хода эта функция равна 0, то — выигранная в модели.

Значит, чтобы проигранная в шахматах начальная позиция была правильно оценена в модели глубины 1, после всех ходов из нее оценочная функция должна правильно оценивать возникающие позиции, вероятность чего не больше, а, как правило, гораздо меньше вероятности правильно оценить одну из этих выигранных позиций. Значение модельной оценки начальной позиции (и любой немодельно-заключительной) правильно, т. е. равно ее истинной оценке, в тех и только тех случаях, когда равно 0 значение модельной оценки некоторой позиции, возникающей после выигрывающего хода (такое значение правильно) или после проигрывающего хода (непра-

вильное значение). В модели глубины 1 эти позиции модельно-заключительные и их оценки равны соответствующим значениям оценочной функции. Это не менее, а, как правило, более вероятно, чем правильное значение оценочной функции после данного выигрывающего хода.

Чтобы произвести сравнение вероятностей, правильно оценить одну и ту же позицию в моделях Шеннона глубин 0 и 1, нужны сведения о корреляции (связи вероятностного характера) между значениями оценочной функции для разных позиций. Начнем с самого простого предположения, удобного для вычисления вероятностей сложных событий: эти значения — независимые случайные величины, т. е. вероятности данных наборов значений оценочной функции для нескольких позиций равны произведениям вероятностей каждого значения из набора.

Если выигрыш достигается единственным ходом, то либо выигранные, либо проигранные позиции, либо даже и те, и другие в модели Шеннона глубины 1 оцениваются не лучше, чем в модели глубины 0. Однако из многих шахматных позиций к выигрышу ведут несколько ходов (часто есть много таких ходов после достижения важной промежуточной цели или после грубых ошибок противника). Пусть имеется 10 ходов из начальной позиции (из позиций шахматного миттельшпиля обычно по шахматным правилам допустимы 40—50 ходов), а из выигранных 2 хода (наименьшее количество, большее, чем 1) ведут к победе.

В дальнейшем мы будем называть вероятности правильных значений оценочной функции и модельной оценки показателями качества последних (отдельно для выигранных и проигранных позиций). Если для выигранных позиций показатель качества оценочной функции и, значит, модели глубины 0 равен 0,99, а для проигранных 0,9, то для модельных оценок начальной позиции в модели Шеннона глубины 1 эти показатели соответственно равны: $1 - (1 - 0,9)^2 \cdot 0,99^8 = 0,9908$ и $0,99^{10} = 0,9044$. Когда для оценочной функции они равны 0,98 и 0,82, для модельной оценки — 0,9724 и 0,8171. Таким образом, при переходе к большей глубине показатели качества могут и расти, и уменьшаться.

Пусть теперь дана модель Шеннона глубины большей, чем 1. Модельные оценки позиций, куда ведут ходы из начальной, и показатели их качества определяются в моделях Шеннона на 1 меньшей глубины. Через них выра-

жаются модельная оценка начальной позиции и показатели ее качества, причем таким же образом, как в модели глубины 1 через значения и показатели качества оценочной функции. Это дает возможность рассчитать, как ведут себя показатели качества с ростом глубины модели (табл. 1). Примеры, приведенные в табл. 1, относятся к идеализированной игре, в которой из каждой позиции — 10 ходов и из каждой выигранной — 2 выигрывающих.

Таблица 1

Глубина перебора из позиции	Показатели качества для позиции					
	выигранной	проигранной	выигранной	проигранной	выигранной	проигранной
0	0,9900	0,9000	0,9900	0,8800	0,9880	0,9000
1	0,9908	0,9044	0,9867	0,9044	0,9909	0,8863
2	0,9915	0,9115	0,9918	0,8748	0,9880	0,9128
3	0,9927	0,9183	0,9853	0,9208	0,9931	0,8861
4	0,9937	0,9291	0,9944	0,8626	0,9877	0,9331
5	0,9952	0,9388	0,9819	0,9457	0,9959	0,8838
6	0,9964	0,9533	0,9974	0,8334	0,9869	0,9602
7	0,9979	0,9645	0,9728	0,9748	0,9986	0,8766
8	0,9988	0,9790	0,9995	0,7590	0,9850	0,9858
9	0,9996	0,9877	0,9421	0,9949	0,9998	0,8593
10	0,9998	0,9954	0,9998	0,5510	0,9802	0,9982

Показатели качества оценочной функции и модельных оценок можно изобразить точками на координатной плоскости (рис. 16). По горизонтальной оси откладываются значения показателя качества для выигранных позиций, по вертикальной — для проигранных. Оба показателя могут принимать значения от 0 до 1, но интерес представляет верхний треугольник (точки нижнего треугольника соответствуют оценочным функциям, у которых вероятность значения 1 для проигранных позиций больше, чем для выигранных). Если показателям качества одиночной функции соответствует точка, расположенная в так называемой области устойчивости, которая находится в верхнем правом углу этого треугольника, то показатели качества модельных оценок принадлежат той же области и с увеличением глубины приближаются к «точке достоверности» (оба показателя качества стремятся к 1). В иных случаях модельная оценка начальной позиции независимо от того, выигранная она или про-

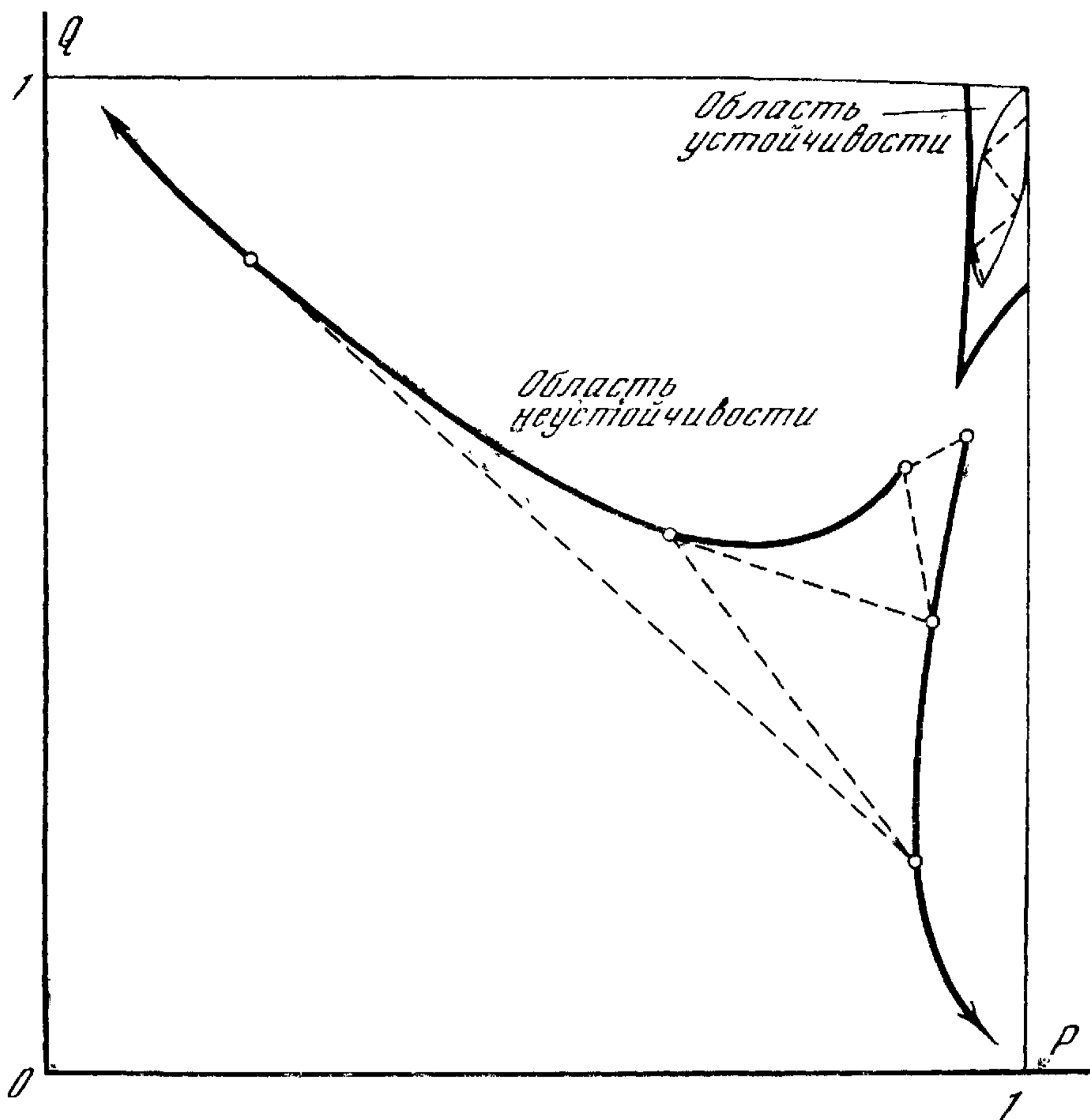


Рис. 16. Зависимость качества модельной оценки от глубины модели

игранная, с возрастающими вероятностями попеременно приближается то к 1, то к 0. На рисунке схематически изображены область устойчивости и типичные «способы поведения» показателей качества. «Соседние» показатели для глубин, отличающихся на 1, соединены пунктиром, а для глубин, отличающихся на 2, — сплошными линиями (они ближе друг к другу). Порог устойчивости для показателя, относящегося к выигранным позициям, существенно выше, чем для показателя, относящегося к проигранным.

Однако если выигрыш чаще всего достигается только серией единственных ходов, то области устойчивости не существует (точнее говоря, она состоит из одной точки достоверности). Это не удивительно: пока участник игры находится «на краю пропасти», он должен глядеть в оба, и только после достижения относительно безопасной части пути можно расслабиться, удовлетворившись общим представлением о грядущих опасностях.

Теперь несколько замечаний о реальных оценочных функциях и модельных оценках. Обычно значения первых (а значит, и вторых) имеют более двух градаций, сравнимых между собой как элементы числовой шкалы. Вместе с такой функцией мы будем рассматривать так называемые сжатые функции. Такая функция равна 1, если ее значение ближе, чем некоторый порог (для каждой функции — свой) к концу шкалы, «голосующему» за сторону, чей ход, и 0 в противном случае. Если показатели качества какой-либо сжатой функции принадлежат области устойчивости, то исходная функция, естественно, тоже обеспечивает повышение качества модельной оценки с ростом глубины модели. Справедливо, хотя не столь очевидно, и обратное: если оценочная функция хороша, то существует сжатая функция с показателями качества из области устойчивости.

Что известно о корреляции значений реальных оценочных функций для разных позиций? По-видимому, от функций с независимыми случайными значениями они отличаются в основном следующим.

1. Они «не любят менять своего мнения», т. е. каково бы ни было качество хода, они с большей вероятностью, чем следует для независимых случайных величин, после него «голосуют» за тот же исход, что и до него (при прочих равных условиях).

2. Они склонны к систематическим ошибкам. Вероятность нескольких ошибок «одного и того же знака» для близких позиций в дереве игры больше, чем произведение вероятностей каждой из этих ошибок.

Как меняется от этого качество модельных оценок? Общий характер его зависимости от глубины модели примерно такой же: есть область устойчивости показателей качества (их теперь больше, чем 2) и области значений параметров качества оценочной функции, для которых вероятности близких модельных оценок для выигранных и проигранных позиций с ростом глубины модели приближаются к 1 (добавляются области с более сложным поведением, тоже не обеспечивающим хорошего качества выбираемых ходов).

Можно сделать несколько замечаний о порогах устойчивости. Пусть для простоты оценочная функция принимает только два значения. Даже тогда есть не менее шести показателей качества: по три вероятности правильных значений оценочной функции (после выигрывающих

и проигрывающих ходов из выигранной позиции, а также после любых ходов из проигранной) при условии, что позиция до хода оценена правильно и неправильно. Жесткими являются пороги для двух из них: для вероятностей не ошибиться после выигрывающего хода из правильно оцененной выигранной позиции и после проигрывающего (т. е. любого) из правильно оцененной проигранной.

Что касается систематических ошибок, то они не слишком влияют на характер поведения модельных оценок. От второй и следующих ошибок после ходов из проигранной позиции и проигрывающих ходов из выигранной вообще ничего не зависит. Нужно ошибиться после выигрывающих ходов, чтобы модельная оценка позиции, из которой делаются эти ходы, оказалась неверной (при дополнительном условии — чтобы все позиции после проигрывающих ходов были оценены правильно), и потому пороги устойчивости для показателей качества, относящихся к таким ходам, должны быть более высокими, чем для функций с независимыми случайными значениями. Однако последние как раз относительно невелики.

Таким образом, игра вероятностей при их реальной корреляции скорее в пользу «хорошего поведения» модельных оценок. Но ничто не дается даром: с ростом глубины перебора качество модельных оценок медленнее приближается к пределу — их полной достоверности (если такое приближение вообще имеет место, т. е. показатели качества оценочной функции принадлежат области устойчивости).

Конечно, многое еще не ясно. Статистические свойства оценочных функций недостаточно изучены. Пороги устойчивости кажутся слишком высокими. Их существование не подтверждено на практике (правда, с оценочными функциями нарочито нелучшего качества мы еще не работали). Мы исследовали идеализированную игру, в которой не бывает «зевков» — грубо ошибочных ходов, опровергаемых только более глубоким перебором. Однако при игре в шахматы весьма важно не прозевать. (Менее идеализированную игру, где некоторые ходы являются зевками, тоже можно исследовать методами теории вероятностей. По-видимому, общая картина не изменится. Мы исключили зевки, чтобы в более чистом виде посмотреть, нужен ли более глубокий перебор для чего-нибудь, кроме борьбы с ними.)

Все же есть некоторые косвенные подтверждения хотя бы частичной адекватности нашей теории действительному положению дел. Например, из нее следует, что качество выбираемого хода не вполне монотонно зависит от глубины перебора. Имеются колебания, связанные с тем, являются ли ранги модельно-заключительных позиций четными или нечетными. Это явление мы наблюдаем довольно давно, но раньше не знали, как его объяснить (есть и другие косвенные подтверждения).

Шахматная модель — не та игра, для которой программа должна найти лучший ход из начальной позиции, а потому качество модельных оценок может оказаться выше, если их не определять по правилам теории игр. В этом отношении наша теория дает рекомендации, которые представляются довольно разумными.

Здесь и дальше модельной оценкой, или просто оценкой хода, мы будем называть модельную оценку позиции, возникающей после него, но с точки зрения стороны, сделавшей ход.

Если выигрыш из позиции достигается несколькими способами и качество оценочной функции неплохое, то с достаточно большой вероятностью не один ход из нее высоко ценится в модели, тем более, что ошибки при оценке плохих ходов здесь только на пользу делу. В то же время полное отсутствие высоко оцениваемых ходов из проигранной позиции менее вероятно, чем то, что таких ходов не больше данного количества (первая ситуация является частным случаем второй). Поэтому для оценки позиции должно быть важно не только то, как высоко оценивается самый сильный в модели ход из нее, но и сколько можно сделать таких или немного более слабых ходов.

Один способ модельной оценки, учитывающий это пожелание, был предложен еще до того, как мы стали исследовать качество модельных оценок методами теории вероятностей. Оценки модельно-заключительных позиций по-прежнему должны быть равны значениям оценочной функции. Для остальных позиций надо упорядочить оценки ходов из них, отобрать фиксированное количество лучших (например, две) и найти их арифметическое среднее.

Мы исследовали другой способ — считать модельной оценкой позиции оценку худшего хода из фиксированного числа отобранных лучших в модели. Он, скорее всего,

хуже, чем предыдущий (эти способы мы еще не сравнивали ни теоретически, ни на практике), но для него легче считать вероятности. Согласно расчету, область устойчивости существует в тех случаях, когда количество отбрасываемых ходов меньше количества (среднего) выигрывающих ходов из выигранных позиций. Иначе такой области нет или ей принадлежит «одна точка» — набор значений показателей, соответствующий полному совпадению оценочной функции с объективной оценкой. Области устойчивости для такого вычисления модельных оценок и для вычисления по правилу Цермело частично перекрываются, но ни одна из них не содержится в другой. Новый способ лучше, когда относительно более часты ошибки при оценке проигранных позиций.

Если необходим учет единственных ходов, но после небольших их серий можно играть почти как угодно, то, по-видимому, полезно верить оценкам, сосчитанным обоими способами, если они близки, а в противном случае считать глубже. Рассматривалась еще такая рекомендация: при переборе на нечетную глубину верить плохим оценкам позиций последнего ранга, а из позиций с хорошими оценками смотреть еще на глубину 2 полухода. Она обоснована, когда оценочная функция не любит менять своего мнения и оптимистично оценивает ходы. Последняя рекомендация была испытана на практике и показала себя с хорошей стороны.

Наконец, есть еще одна рекомендация, имеющая общий характер. Нецермеловские способы оценки позиций могут быть полезны на глубоких уровнях дерева игры, а выше оценки следует вычислять по Цермело. Это важно, так как все рекомендации (кроме углубления перебора для подтверждения оптимистических оценок) требуют отказа от отсечений при помощи А.Б.-граней. Действительно, теперь недостаточно найти один опровергающий ход (однако достаточно найти фиксированное число таких ходов, зависящее от принятого способа нецермеловской оценки). Самые «дорогие» отсечения относятся к менее глубоким уровням. Если принять рассматриваемую рекомендацию, то они останутся.

Применение теории вероятностей для обоснования алгоритмов шахматных программ и создания новых алгоритмов только начинается. Возникло много вопросов, которые пока еще не решены.

КОГДА МАШИНА СИЛЬНЕЕ ЧЕЛОВЕКА

Пусть на доске — пешечный эндшпиль со взаимно заблокированными пешками и нужно узнать, может ли король некоторой стороны, например белых, побить пешку противника. В естественной модели для этой задачи модельно-заключительными являются позиции с ходом белых, из которых рассматриваемая цель достигается следующим ходом. Из остальных позиций модели разрешены все шахматные ходы, т. е. ходы короля соответствующей стороны на свободные поля — не оккупированные пешками и не находящиеся под ударом противника (мы предполагаем, что у черного короля нет возможностей побить белую пешку).

Дерево рассматриваемой модели бывает необозримым, но все встречающиеся в нем позиции можно пересчитать (хотя и не по пальцам). Так как пешки в них стоят на фиксированных местах, одна позиция отличается от другой только тем, где стоят короли и чья очередь хода, причем все допустимые расположения королей можно определить заранее.

Когда дерево модели велико, за приемлемое время лучший ход из начальной позиции нельзя найти при помощи обычного перебора. Однако есть еще так называемый метод построения полей соответствия. Что это такое — станет ясно из следующего примера. Нужно выяснить, как играть белым из позиции, изображенной на диаграмме 87, которая приводится во многих шахматных учебниках. Забудем на некоторое время, где стоят короли, и посмотрим, где они должны стоять, чтобы белым было хорошо. Лучше всего, когда им принадлежит очередь хода, их король нападает на незащищенную пешку, а черный не может ответить тем же.

Если белый король стоит на с7, то черный ни с какого допустимого поля не защищает пешки с6. Правда, например, с поля b3 он атакует белые пешки (такая позиция проиграна за белых), но более или менее ясно, что его можно не выпустить из района, обведенного на диаграмме 88 сплошной линией. В дальнейшем мы часто не будем оговаривать предположения, что черный король находится там.

Если белый король стоит на d6, то черный, чтобы защищать пешки с5 и с6, должен стоять на b6.

Если белый король стоит на d7, а черный — не на b6 или b7, то пешка c6 беззащитна.

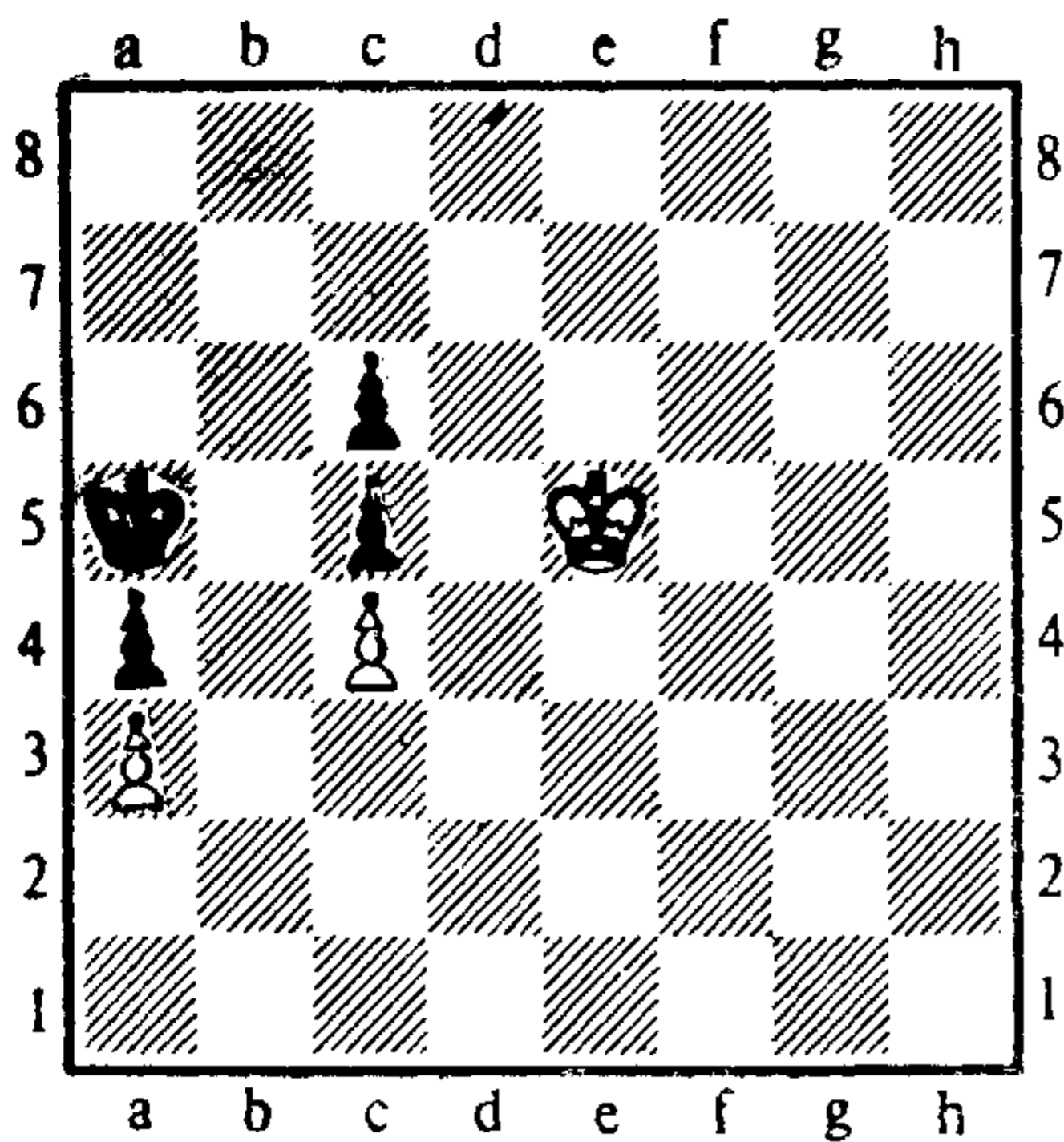
Есть еще позиции, где белый король нападает на пешки противника «с другой стороны» — с полей b7, b6 и a5. Для нас они не представляют интереса, так как белый король их не достигнет. Он будет маневрировать в районе, обведенном на диаграмме 89 пунктирной линией. Однако программе это «трудно объяснить» и, по-видимому, она будет рассматривать позиции с положениями белого и черного короля на всей доске.

Позиция с ходом белых, где их король стоит на c7, d7 или d6, а черный король не защищает атакованных пешек, отмечены в табл. 2. В строках этой и следующих таблиц расположены позиции с одинаковым положением белого короля («Б»), в столбцах — черного («Ч»), буквой «Н» обозначены недопустимые положения королей. Мы приводим только часть таблицы, соответствующую расположению обоих королей в отведенных им районах (в остальной части отмеченных позиций нет), но программа, скорее всего, должна иметь дело со всей таблицей. Да и нам, чтобы заполнить некоторые из приведенных ниже таблиц, приходилось рассматривать позиции, находящиеся за пределом выделенной части.

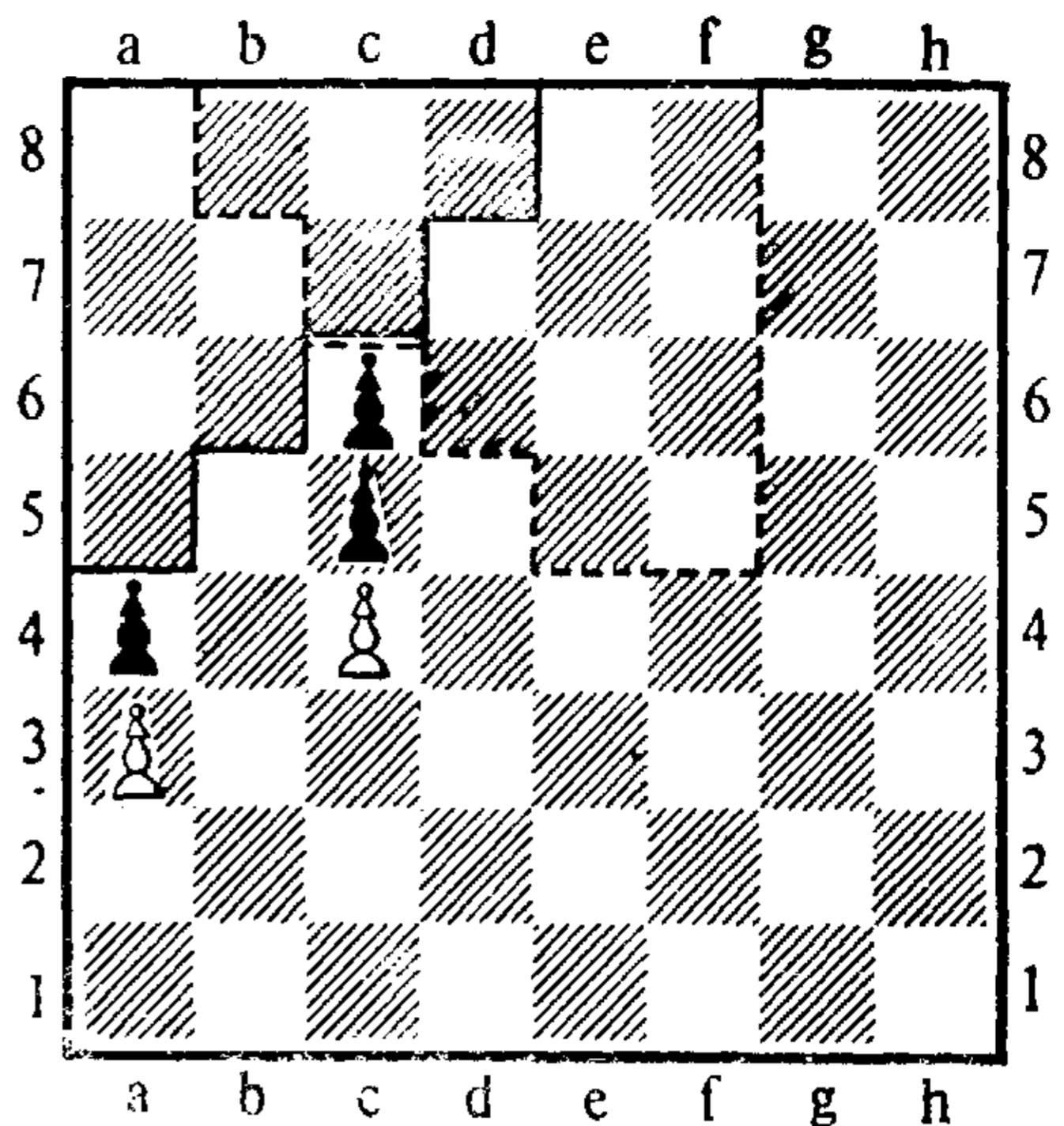
Отмеченные в табл. 2 позиции называются позициями нулевого ранга, и потому на пересечениях соответствующих строк и столбцов мы поставили число 0. Следующим

Таблица 2

Б	Ч	a5	a6	a7	a8	b6	b7	b8	c7	c8	d8
b8				Н	Н		Н	Н	Н	Н	
c7	0	0	0	0		Н	Н	Н	Н	Н	Н
c8							Н	Н	Н	Н	Н
d6	0	0	0	0			0	0	Н	0	0
d7	0	0	0	0				0	Н	Н	Н
d8									Н	Н	Н
e5											
e6											
e7											Н
e8											Н
f5											
f6											
f7											
f8											



87

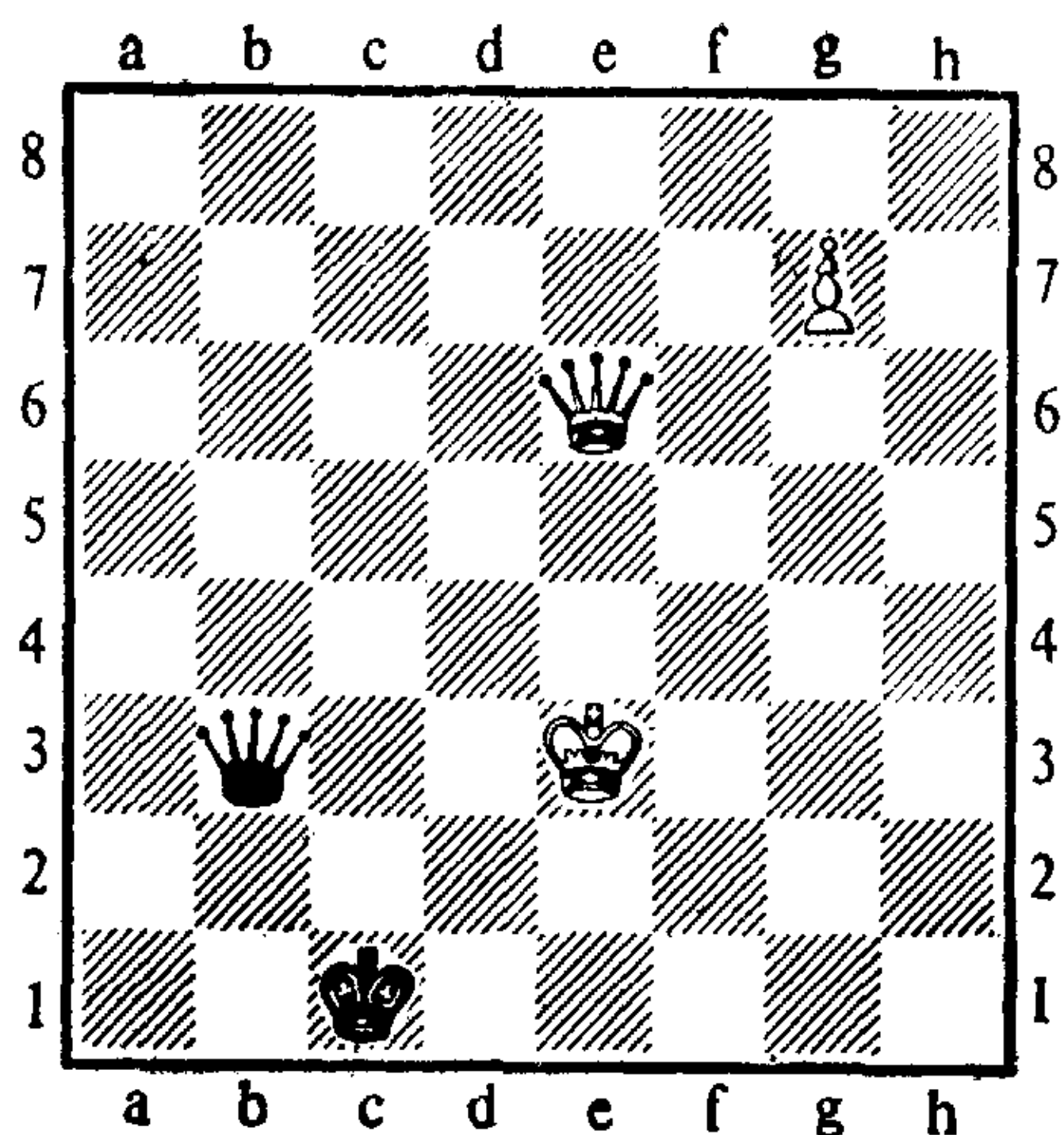


88

ходом белые бьют пешку, после чего выигрыш достигается без труда. Последнее обстоятельство для данной пешечной конфигурации легко проверить: черные вскоре теряют еще пешку и не в силах бороться с проходной пешкой противника, поддержанной королем. Однако для программы выделение позиций нулевого ранга — особое дело. Скорее всего, каждого кандидата в нулевой ранг — позицию, из которой белый король может взять пешку, надо считать начальной для некоторой шахматной модели (с небольшим деревом) и оценивать при помощи обычного перебора.

Позиции первого ранга — это такие, в которых очередь хода принадлежит черным, но любой их ход ведет в позицию нулевого ранга, т. е. черные не могут предотвратить проигрыш пешки (и партии) после следующего хода белых. Однако проще найти все позиции с ходом черных, не имеющие первого ранга. Сделаем «ходы назад» королем черных из всех позиций, не имеющих нулевого ранга. Мы попадаем в позиции непервого ранга. Действительно, из них есть ходы (обратные к данным ходам назад), ведущие в позицию ненулевого ранга. Все эти позиции мы отметим в табл. 3 знаком минус (—). Других позиций непервого ранга нет: если ни один ход назад из позиций ненулевого ранга не ведет в такую позицию, то все ходы из нее ведут в позиции нулевого ранга.

Несколько замечаний, полезных для конструирования алгоритма определения рангов. В позициях с королями и взаимно блокированными пешками, пока последние целы, ходы назад производятся по тем же правилам, что и обыч-



89

бенности позиций первого ранга. Позиция с белым королем на d6 и черным на a8 имеет первый ранг потому, что черный король стоит слишком далеко от поля b6 и не может в один ход попасть на него, чтобы создать единственную в рассматриваемой части строки поля d6 позицию ненулевого ранга (то же можно сказать обо всех позициях с белым королем на поле c7: поля ненулевого ранга с таким положением белого короля находятся в столбцах a2, a3, b2, b3, c3, d3 и d4). При том же положении белого короля черный на b6 стоит «слишком близко»: он должен уйти с этого поля. Такую ситуацию шахматисты называют цугцвангом, но для нашей реализации метода полей соответствия она ничем особо не выделена.

В позициях второго ранга очередь хода принадлежит белым, и они могут выбрать ход в позицию первого ранга. Не все такие позиции относятся ко второму рангу — некоторые из них уже получили нулевой ранг. Для выделения рассматриваемых позиций нужно действовать по столбцам: из всех мест табл. 3, помеченных числом 1 (точнее, из соответствующих им позиций), сделать допустимые ходы назад белым королем. Они ведут в позиции того же столбца, так как положение черного короля не меняется. Если такая позиция не была помечена числом 0, т. е. не имела нулевого ранга, то мы ее пометим числом 2 и скажем, что она имеет второй ранг. Таким образом получится табл. 4, где сохраняются все пометки табл. 2 и добавляются новые.

Из позиций второго ранга белые могут выиграть пешку через ход: они выберут ход, ведущий в позицию

ные шахматные ходы, но из позиций с ходом белых — черным королем, а из позиций с ходом черных — белым. Позиции, не получившие отметки, имеют первый ранг: все ходы из них ведут в позиции нулевого ранга (так не было бы, если бы существовали расположения королей, в которых при данной пешечной конфигурации и ходе черных последним пат).

Отметим некоторые осо-

Таблица 3

Б Ч	a5	a6	a7	a8	b6	b7	b8	c7	c8	d8
b8	—	—	Н	Н	—	Н	Н	Н	Н	—
c7	1	1	1	1	Н	Н	Н	Н	Н	Н
c8	—	—	—	—	—	Н	Н	Н	Н	Н
d6	—	—	—	1	1	—	1	Н	1	1
d7	—	—	—	—	—	—	—	Н	Н	Н
d8	—	—	—	—	—	—	—	Н	Н	Н
e5	—	—	—	—	—	—	—	—	—	—
e6	—	—	—	—	—	—	—	—	—	—
e7	—	—	—	—	—	—	—	—	—	Н
e8	—	—	—	—	—	—	—	—	—	Н
f5	—	—	—	—	—	—	—	—	—	—
f6	—	—	—	—	—	—	—	—	—	—
f7	—	—	—	—	—	—	—	—	—	—
f8	—	—	—	—	—	—	—	—	—	—

Таблица 4

Б Ч	a5	a6	a7	a8	b6	b7	b8	c7	c8	d8
b8	2	2	Н	Н		Н	Н	Н	Н	
c7	0	0	0	0	Н	Н	Н	Н	Н	Н
c8	2	2	2	2		Н	Н	Н	Н	Н
d6	0	0	0	0		0	0	Н	0	0
d7	0	0	0	0	2		0	Н	Н	Н
d8	2	2	2	2				Н	Н	Н
e5				2	2		2		2	2
e6				2	2		2		2	2
e7				2	2		2		2	Н
e8										Н
f5										
f6										
f7										
f8										

первого ранга, и как бы черные ни ответили, возникнет позиция нулевого ранга. Но они не могут сразу взять пешку.

Все не отмеченные в табл. 4 позиции не отмечены и в табл. 2, но не наоборот. Поэтому, когда мы сделаем из них ходы назад черным королем, новых, отмеченных знаком минус (—), позиций не возникнет, а некоторые из

Таблица 5

Б Ч	a5	a6	a7	a8	b6	b7	b8	c7	c8	d8
b8	—	—	Н	Н	3	Н	Н	Н	Н	—
c7	1	1	1	1	Н	Н	Н	Н	Н	Н
c8	—	—	—	3	3	Н	Н	Н	Н	Н
d6	—	—	—	1	1	—	1	Н	1	1
d7	3	—	—	—	—	3	—	Н	Н	Н
d8	—	—	—	—	—	—	—	Н	Н	Н
e5	—	—	—	—	—	—	—	—	—	—
e6	—	—	—	—	—	—	—	—	—	—
e7	—	—	—	—	—	—	—	—	—	Н
e8	—	—	—	—	—	—	—	—	—	Н
f5	—	—	—	—	—	—	—	—	—	—
f6	—	—	—	—	—	—	—	—	—	—
f7	—	—	—	—	—	—	—	—	—	—
f8	—	—	—	—	—	—	—	—	—	—

старых могут не получить и, действительно, не получают такой пометки. Это — позиции третьего ранга: после некоторых ходов из них возникают позиции второго ранга, а после остальных — более низкого. Мы пометим их числом 3 и получим табл. 5. В ней отмечены все позиции с ходом черных, где неизбежен проигрыш пешки в один или два хода. Аналогичным образом нужно определить позиции четвертого, пятого, шестого и следующих рангов. Первоначально заданная позиция окажется имеющей 16-й ранг. Теперь мы о ней вспомним и скажем, что выигрыш пешки из нее достигается 17-м полуходом (т. е. 9-м ходом).

А где же поля соответствия, именем которых назван наш метод? Через пару шагов после образования 16-го ранга позиций нового ранга не возникнет. Значит, процесс образования рангов нельзя будет продолжать (в интересующих нас частях таблиц не будет изменений после образования 15-го и 16-го рангов, их окончательный вид — это табл. 6 и 7). Из позиций, отмеченных «звездочкой» в табл. 6, с ходом белых и отмеченных «вечным минусом» в табл. 7 с ходом черных белые не могут достичь выигрыша. Каждой такой позиции соответствуют два поля: где стоит белый король и где — черный. Они и являются полями соответствия. Например, при ходе белых полю d6 для белого короля соответствует поле b6 для

Таблица 6

Б	Ч	a5	a6	a7	a8	b6	b7	b8	c7	c8	d8
b8		2	2	Н	Н	4	Н	Н	Н	Н	*
c7		0	0	0	0	Н	Н	Н	Н	Н	Н
c8		2	2	2	2	4	Н	Н	Н	Н	Н
d6		0	0	0	0	*	0	0	Н	0	0
d7		0	0	0	0	2	*	0	Н	Н	Н
d8		2	2	2	2	4	4	*	Н	Н	Н
e5		16	10	*	2	2	*	2	6	2	2
e6		4	*	8	2	2	4	2	6	2	2
e7		4	6	*	2	2	4	2	6	2	Н
e8		4	6	8	*	6	4	6	6	8	Н
f5		12	10	*	10	14	*	10	6	8	8
f6		8	10	8	10	*	12	10	6	8	8
f7		8	10	8	10	10	*	10	6	8	8
f8		8	10	8	10	10	12	*	6	8	*

черного, а при ходе черных — поля a5, a6, a7 и b7, с которых у него есть ходы на b6.

Наше изложение метода полей соответствия покажется несколько необычным для тех, кто знаком с ним из шахматных учебников. Оно — машинно-ориентированное. Зато, кроме полей соответствия, мы определили ранги позиций. Зная их, из позиции с ходом белых можно найти все выигрывающие ходы (если они есть), а среди них — выигрывающие в кратчайшее время (и определить это время); из проигранных за черных позиций с их ходом — ходы, позволяющие максимальным образом затянуть сопротивление, а из остальных — позволяющие не проиграть. Аналогичным образом можно исследовать те же позиции с точки зрения выигрыша черных, и тогда из каждой позиции с данной пешечной конфигурацией будет определяться лучший ход (когда белый и черный короли находятся в отведенных для них на диаграмме 88 районах, черные не могут выиграть).

Из позиции с ходом белых, имеющей ранг, лучше всего делать ход в позицию с ходом черных, имеющую минимальный из возможных, т. е. на один меньше, ранг. Ход в другую позицию, имеющую ранг, позволит черным затянуть сопротивление, а в позицию, помеченную в табл. 6 звездочкой (*), т. е. на поле соответствия, при ходе черных дает возможность последним добиться

Таблица 7

Б	Ч	a5	a6	a7	a8	b6	b7	b8	c7	c8	d8
b8		5	5	Н	Н	3	Н	Н	Н	Н	—
c7		1	1	1	1	Н	Н	Н	Н	Н	Н
c8		5	5	5	3	3	Н	Н	Н	Н	Н
d6		—	—	—	1	1	—	1	Н	1	1
d7		3	—	—	—	—	3	—	Н	Н	Н
d8		5	5	—	—	5	—	5	Н	Н	Н
e5		11	—	—	—	—	—	—	—	—	—
e6		—	9	—	9	—	—	9	5	7	7
e7		7	—	7	—	—	—	—	5	7	Н
e8		7	9	—	9	9	—	—	—	7	Н
f5		15	—	—	—	—	—	—	—	—	—
f6		—	—	—	13	13	—	13	—	—	—
f7		11	—	—	—	—	11	—	—	—	—
f8		11	13	—	—	13	—	13	—	—	—

ничьей. Черные из позиции, имеющей ранг, должны выбирать ходы, ведущие в позиции максимального, т. е. на один меньше, ранга, а из ничейных позиций — становиться на поле соответствия полю белого короля при ходе белых. Таким образом будет построен главный вариант игры из данной позиции:

1. Крf5 Крb6 (1. ...Краб проигрывает на один темп быстрее) 2. Крf6 Крb7 3. Крf7.

До сих пор белые делали единственные выигрывающие ходы, а черные — единственные ходы, позволяющие максимально затянуть сопротивление. Теперь у черных два таких хода: 3. ...Краб и 3. ...Крb8. В ответ на первый не теряет возможности выиграть ход 4. Крf8, а после второго хода 4. Крf6 (по шахматным правилам после первого повторения позиции еще нельзя требовать ничьей). Все это — ходы в позиции 13-го ранга, и если черные вернутся королем на b7, то и белым придется вернуться королем на f7, потеряв два темпа. В минимальный же 11-й ранг ведут одинаковые ходы белых: 4. Креб (после остальных черный король оказывается на поле соответствия). И в дальнейшем, если белые хотят поскорее выиграть пешку, а черные — подольше не отдавать ее, то обеим сторонам приходится делать одинаковые и единственные ходы:

3. ...Краб (Крb8) 4. Креб Кра7 5. Кре7 Краб 6. Крд8 Крb6

7. Крс8 Кр∞ 8. Крс7.

Ясно, что метод построения полей соответствия — как раз для машины (только, какие позиции имеют нулевой ранг?), но она способна и на большее: аналогичным образом исследовать окончания не с двумя, а с четырьмя движущимися фигурами. Количество разных позиций таких окончаний измеряется не тысячами, а миллионами и для шахматистов они совершенно необозримы. Вместо полей соответствия следовало бы говорить о соответствующих расположениях фигур обеих сторон, но их число столь велико, а закономерности столь неочевидны, что пока никто не собрался всерьез их исследовать.

Первой работой такого рода было исследование эндшпиля: король, ферзь и пешка g7 белых против короля и ферзя черных*. На доске — пять фигур, и все они могут двигаться, но пешка g7 сделает «ход вперед» и превратится в ферзя из позиций нулевого ранга, а ее ходы назад тоже не нужны, так как исследуются только позиции, когда она уже стоит на g7. Значит, рассматриваемые позиции будут отличаться друг от друга только положением королей, ферзей и очередью хода. Этих позиций — 15 930 523 (7 934 157 — с ходом белых и 7 996 366 — с ходом черных). Хорошо определить позиции нулевого ранга — трудная задача. В пешечных окончаниях с заблокированными пешками их не более 30, а в нашем эндшпиле — около 5,6 млн. «Руками» их не перебрать, а для программы нужны точные определения.

Например.

Позиция с королем, ферзем, пешкой g7 белых, их очередью хода, королем и ферзем черных имеет нулевой ранг, если выполняется хотя бы одно из условий:

- 1) белые дают мат в один ход;
- 2) белые первым ходом берут черного ферзя, и противник не может свести партию к ничьей;
- 3) белые делают ход g8Ф, и черные не могут в ответ добиться ничьей или выигрыша.

Зачем понадобились оговорки во 2-м и 3-м условиях? Рассмотрим такие примеры.

На диаграмме 89 белые могут взять ферзя — 1. Ф:b3, но после этого черным пат.

* См.: Комиссарчик Э. А., Футер А. Л. Об анализе ферзевого эндшпиля при помощи ЭВМ. — В кн.: Проблемы кибернетики. М.: Наука, 1974, вып. 29, с. 211—220.

На диаграмме 90 после 1. Ф:f7+ Кр:f7 белым не защитит пешки g7.

На диаграмме 91 после 1. Ф:g8 Кр:g8 у белых выбор, отдать пешку g7 или играть 2. Крг6 — пат.

На диаграмме 92 после 1. g8Ф черные дают вечный шах с полей e5, h2, b8.

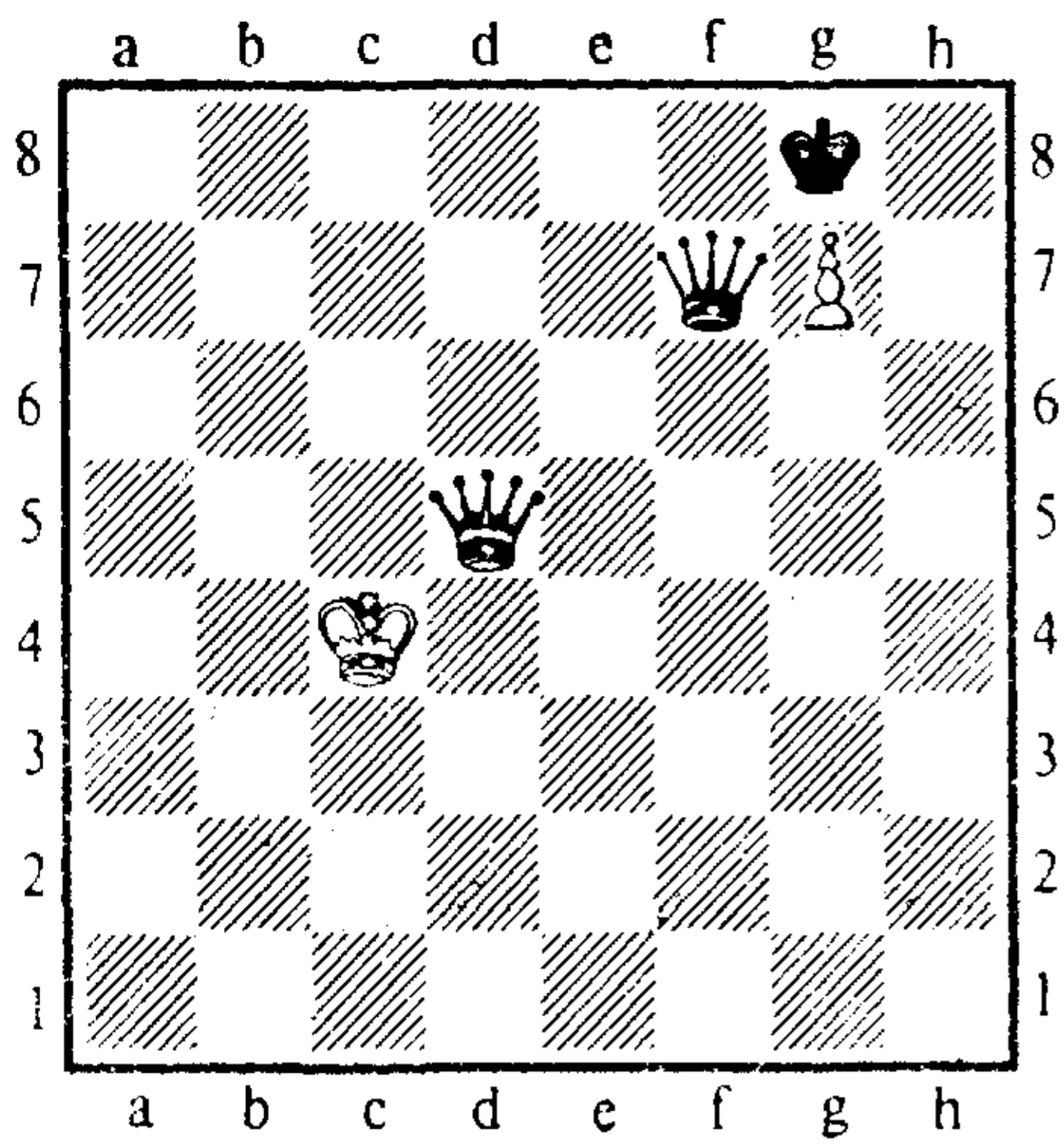
На диаграмме 93 после 1. g8Ф Фа4+ белые проигрывают ферзя.

На диаграмме 94 после 1. g8Ф черные дают мат в пять ходов: 1. ...Фd4+ 2. Кра8 (2. Кrb8 Фb6+ 3. Кра8 Фb7× или 3. Крс8 Фс7×) Фа4+ 3. Кrb8 Фb5+ 4. Крс8 (4. Кра8 Фb7×) Фb7+ 5. Крд8 Фd7×.

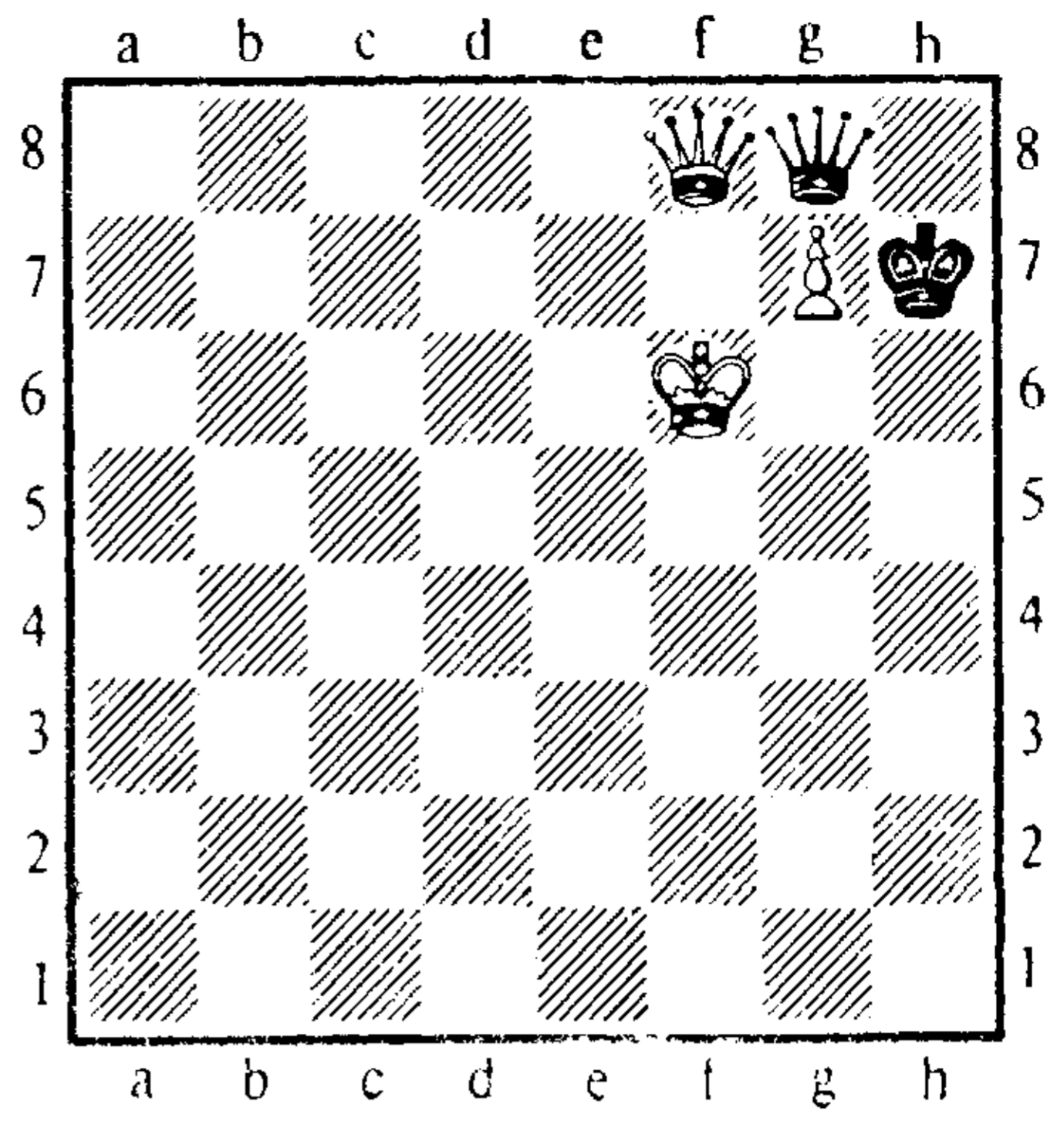
Программа порождает позиции с ходом белых и выделяет среди них позиции нулевого ранга, для чего последовательно перебирает все возможные расположения королей и ферзей, т. е. допустимые и не допустимые по шахматным правилам позиции данного окончания. Породив позицию, программа проверяет ее на допустимость (нет ли шаха черному королю) и в случае положительного ответа переходит к условиям нулевого ранга: смотрит все ходы вперед, выясняет, есть ли среди них взятия черного ферзя, маты в один ход и ход g8Ф. Если—нет, то позиция не принадлежит нулевому рангу, если есть мат в один ход — принадлежит, в остальных случаях нужно смотреть варианты. Однако возникают два вопроса:

- 1) какие разрешить ходы черных и белых,
- 2) на какой глубине кончать перебор.

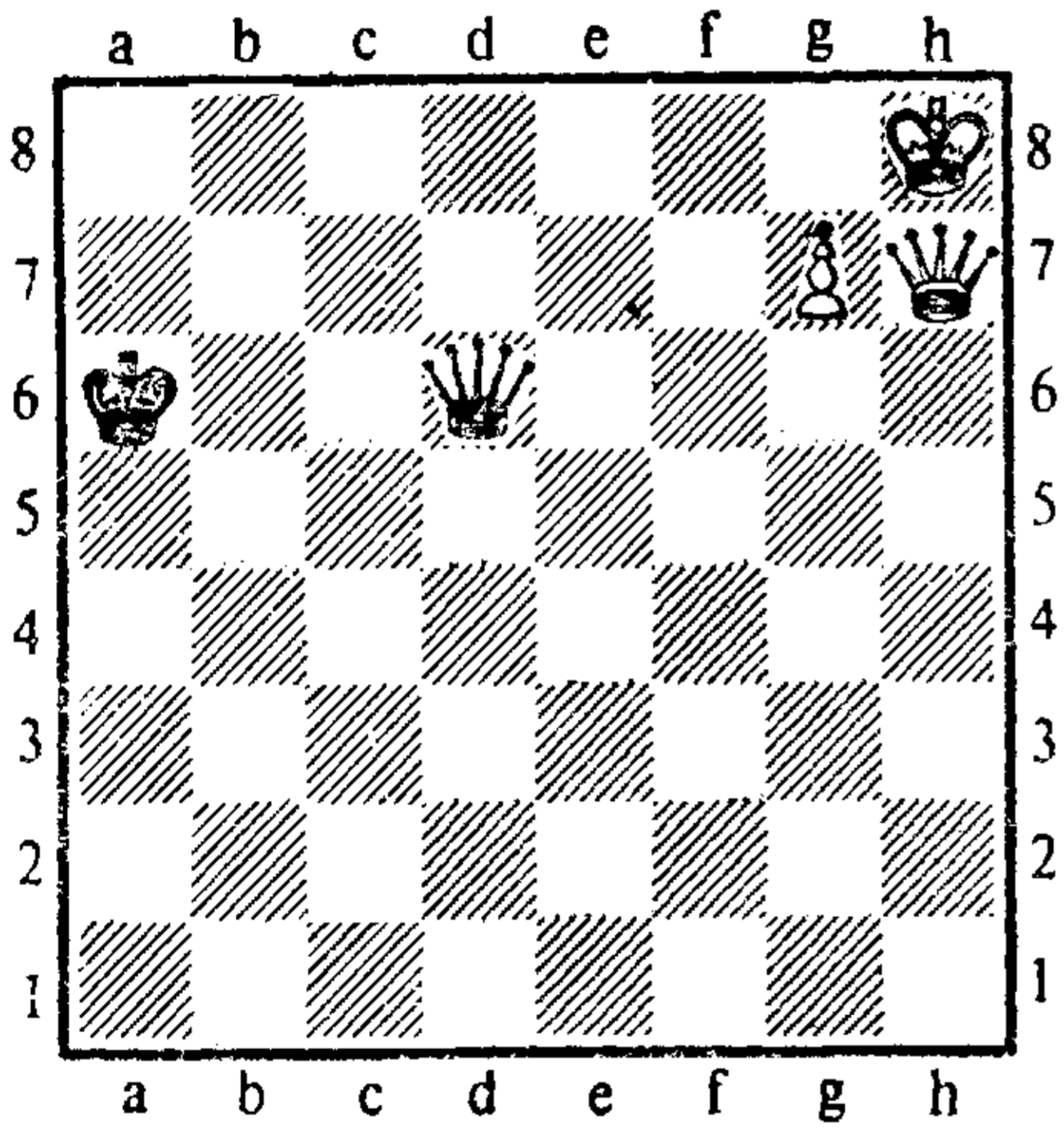
После взятия черного ферзя все просто: либо черным пат, либо в ответ они берут белого ферзя и возникшее окончание легко оценить, либо остаются без ферзя и проигрывают. Гораздо хуже обстоит дело после хода g8Ф, но и тогда можно сократить перебор. Черным следует запретить тихие ходы: с двумя ферзями на почти пустой доске белые могут сами перейти в атаку, дать мат или разменять ферзей. Правда, строго это не доказано, но совершенно очевидно. Как должны отвечать белые? От шахов, разумеется, нужно защищаться, и притом любыми способами, а на взятие ферзя ответить так же или дать шах (это тоже не доказано строго, но ясно, что иначе не выиграть). На второй вопрос мы пока отвечать не умеем. Однако программа была экспериментальной, и его решили волюнтаристски: после одного или двух шахов черные должны взять ферзя.



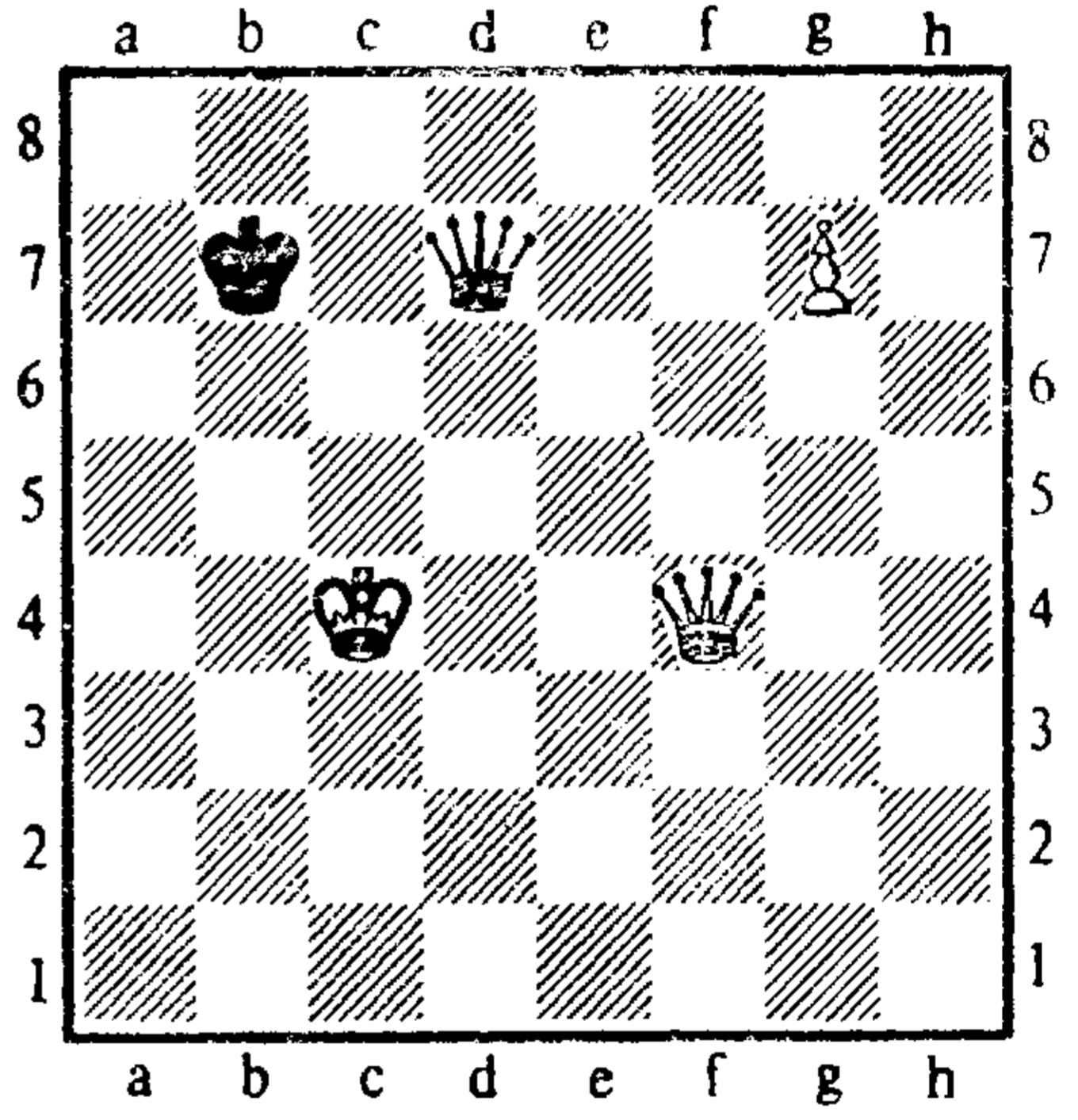
90



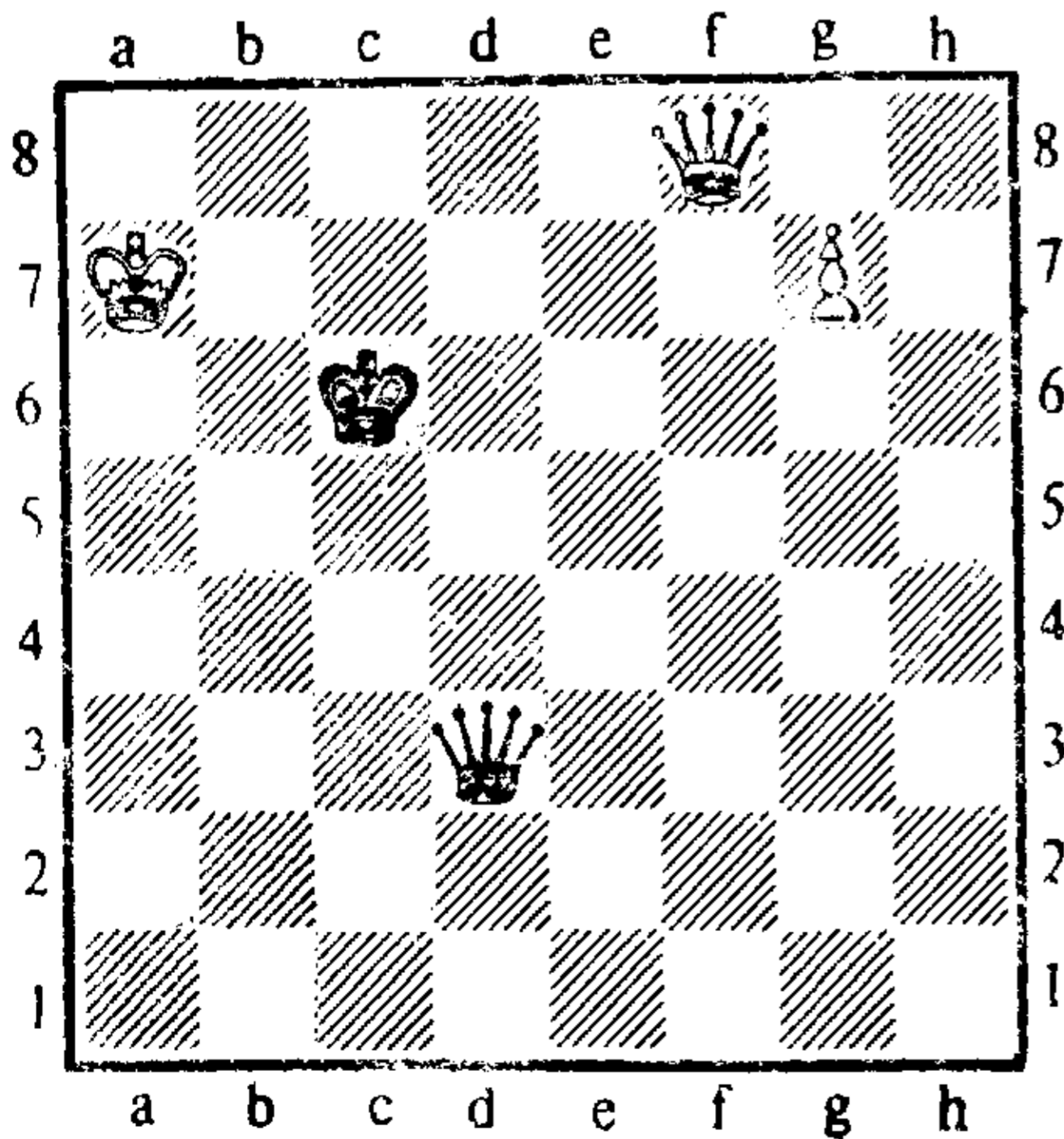
91



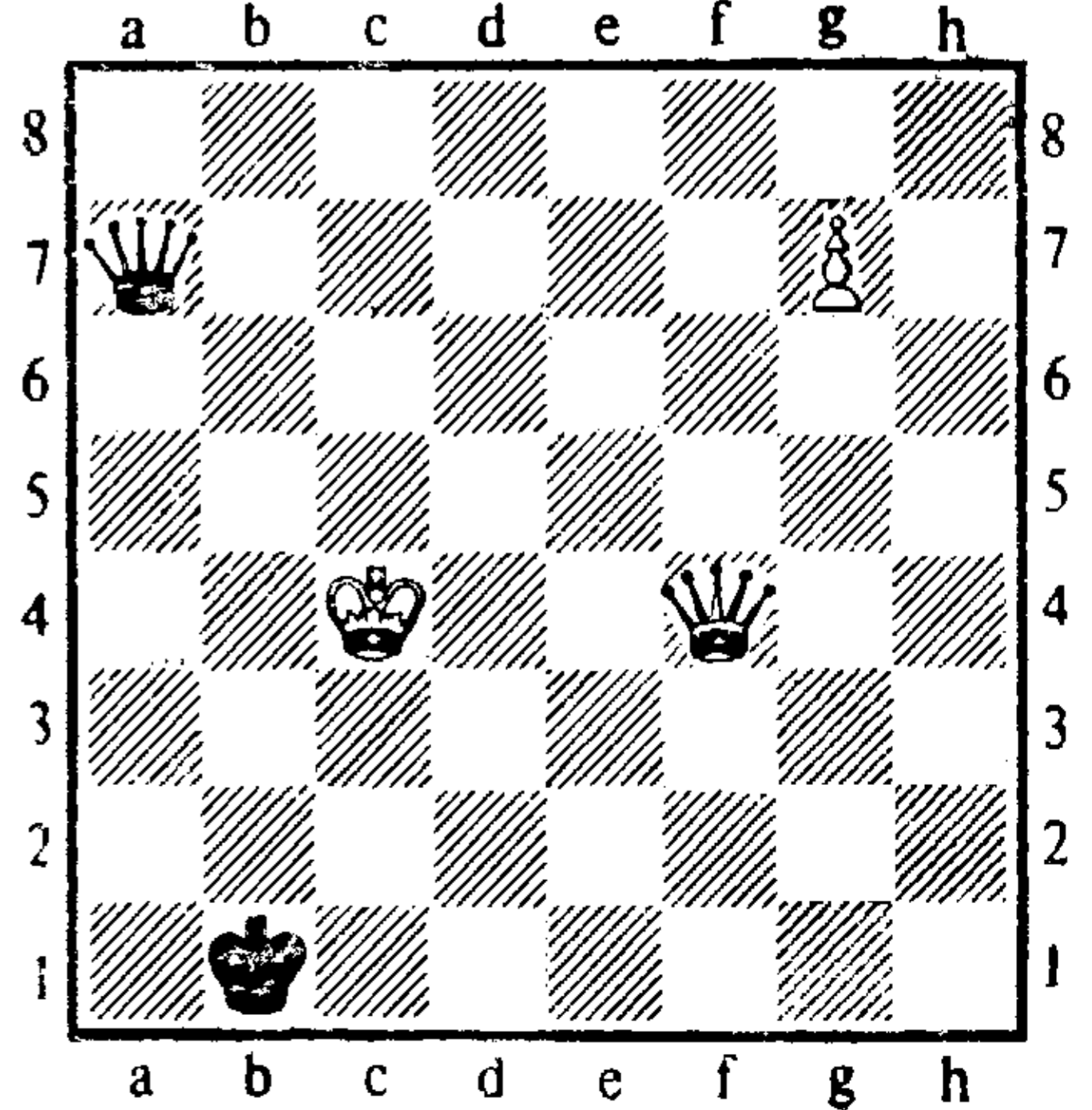
92



93



94



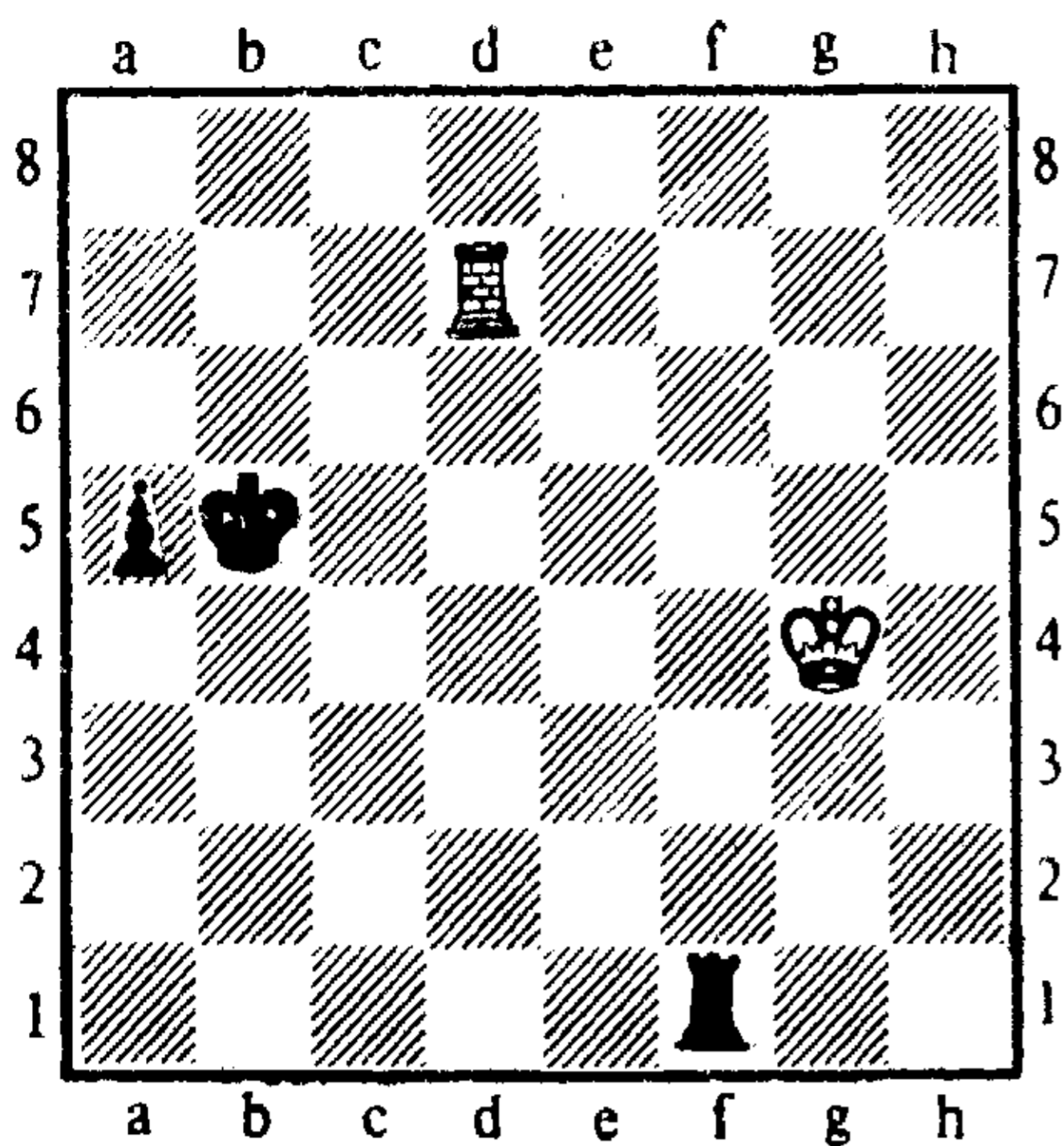
95

Таким образом, позиции, изображенные на диаграммах 92 и 94, считаются выигранными за белых и даже имеющими нулевой ранг, а изображенная на диаграмме 95 — не имеющей нулевого ранга, хотя после 1. g8Ф Фа4+ 2. Крс3 Ф:f4 черные получают мат в два хода: 3. Фb3+ Кра1 4. Фb2× или 3. ... Крс1 4. Фс2×, а после 1. ... Фа4+ 2. Крс3 Ф:g8 в три хода: 3. Фf1+ Кра2 4. Фе2+ Кра3 (4. ... Кра1 (Кrb1) 5. Фb2×) 5. Фb2+ Кра4 6. Фb4×. Однако таких ошибок сравнительно немного, и они, по-видимому, не влияют на игру из интересных позиций (у последних — большой ранг).

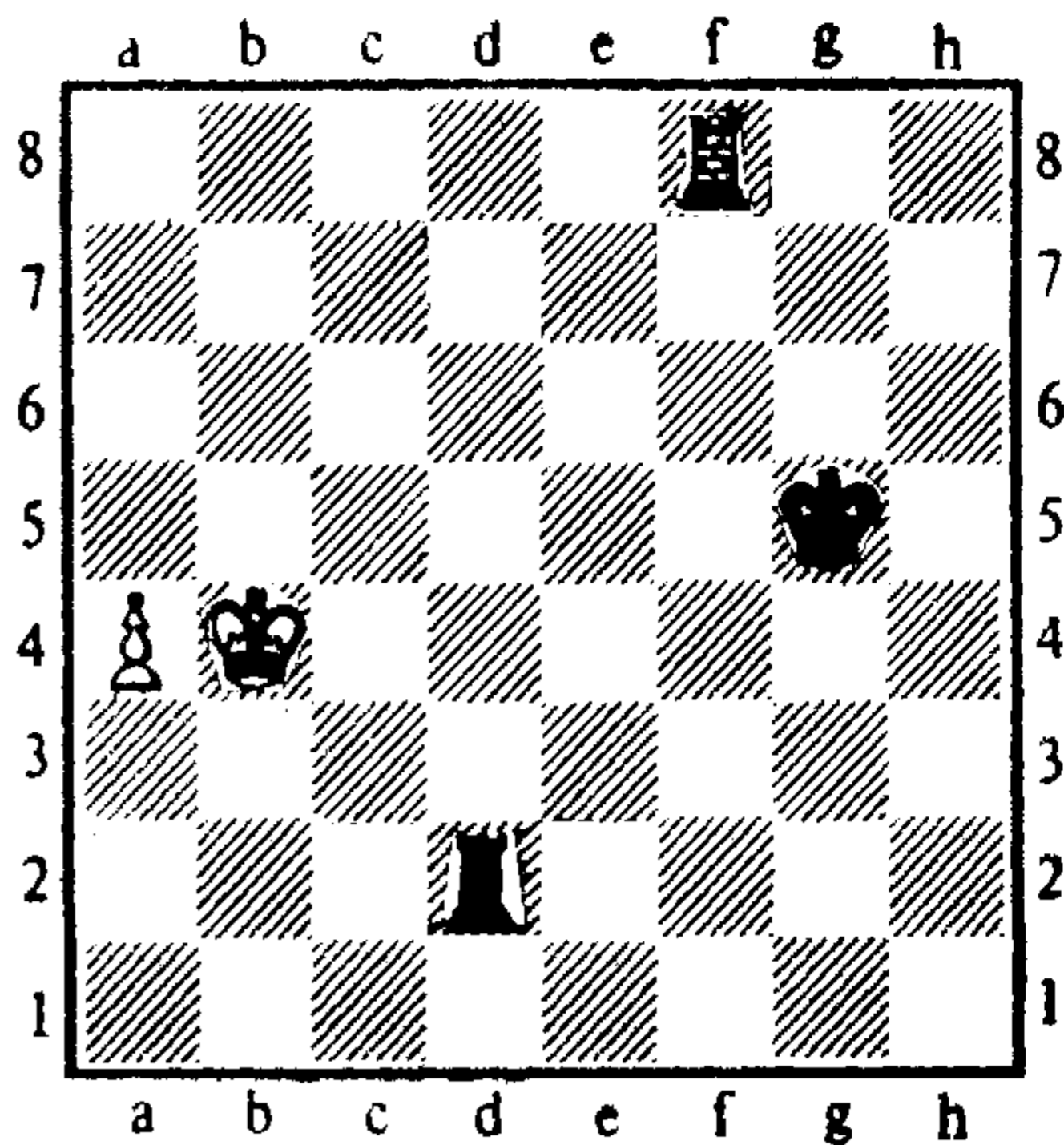
Правила допустимости ходов назад несколько отличаются от привычных, относящихся к ходам вперед: разрешается сделать ход «под шах», так как соответствующий ход вперед является защитой от этого шаха, но нельзя, чтобы после хода назад под ударом оказался король другой стороны — тогда ее предыдущий ход был бы нелегальным. Чтобы при определении рангов позиций с ходом черных не делать лишних проверок, заранее исключаются позиции, из которых они заведомо не проигрывают, например такие, что белые из них получают мат в один ход. При исключении допускались аналогичные ошибки: не проигранными за черных считались позиции, где те могут взять ферзя белых, пешку королем или незащищенную пешку ферзем. Зато количество проверяемых позиций сократилось почти втрое.

После успеха этой работы было решено приступить к полному исследованию часто встречающегося в партиях шахматистов окончания: король, ладья и пешка против короля и ладьи*, но теперь уже без ошибок. Для сокращения работы использовали симметрии шахматных правил: можно считать, что лишняя пешка у белых (эквивалентные позиции с лишней пешкой у белых и у черных показаны на диаграммах 96 и 97) и она расположена на вертикалях a, b, c или d (эквивалентные позиции с расположением пешек на разных флапгах изображены на диаграммах 98 и 99). Однако все равно пришлось рассмотреть около полутора миллиардов позиций.

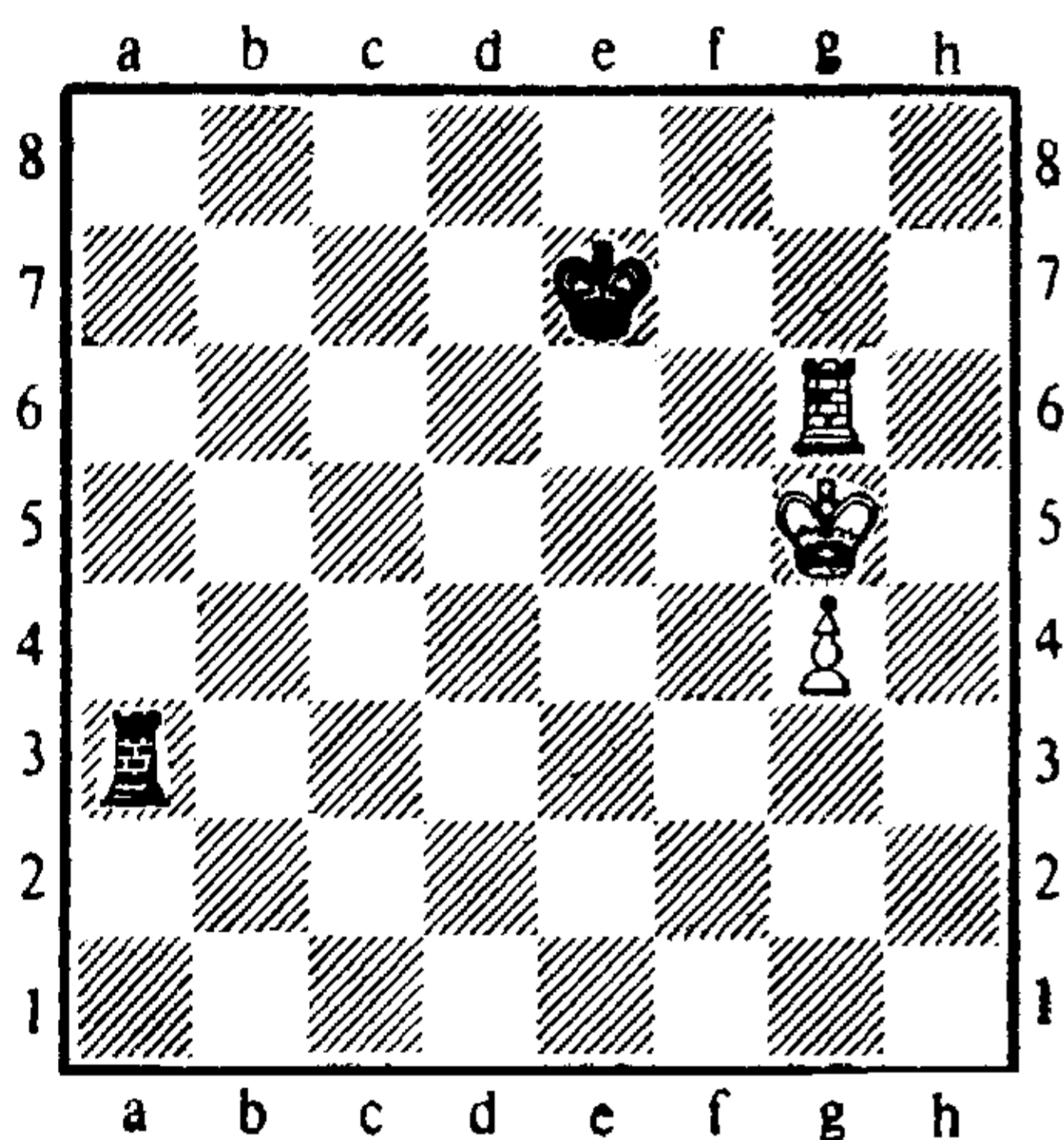
* См.: Александров А. Г., Бараев А. М., Гольфанд Я. Ю. и др. Анализ ладейного эндшпиля на ЭВМ. — Автоматика и телемеханика, 1977, № 7, с. 113—117; Александров А. Г., Арлазаров В. Л., Бараев А. М. и др. Обработка больших массивов на примере анализа ладейного эндшпиля. — Программирование, 1977, № 4, с. 45—54; Авербах Ю. Л. Пари. — Знание — сила, 1976, № 8, с. 53, 54.



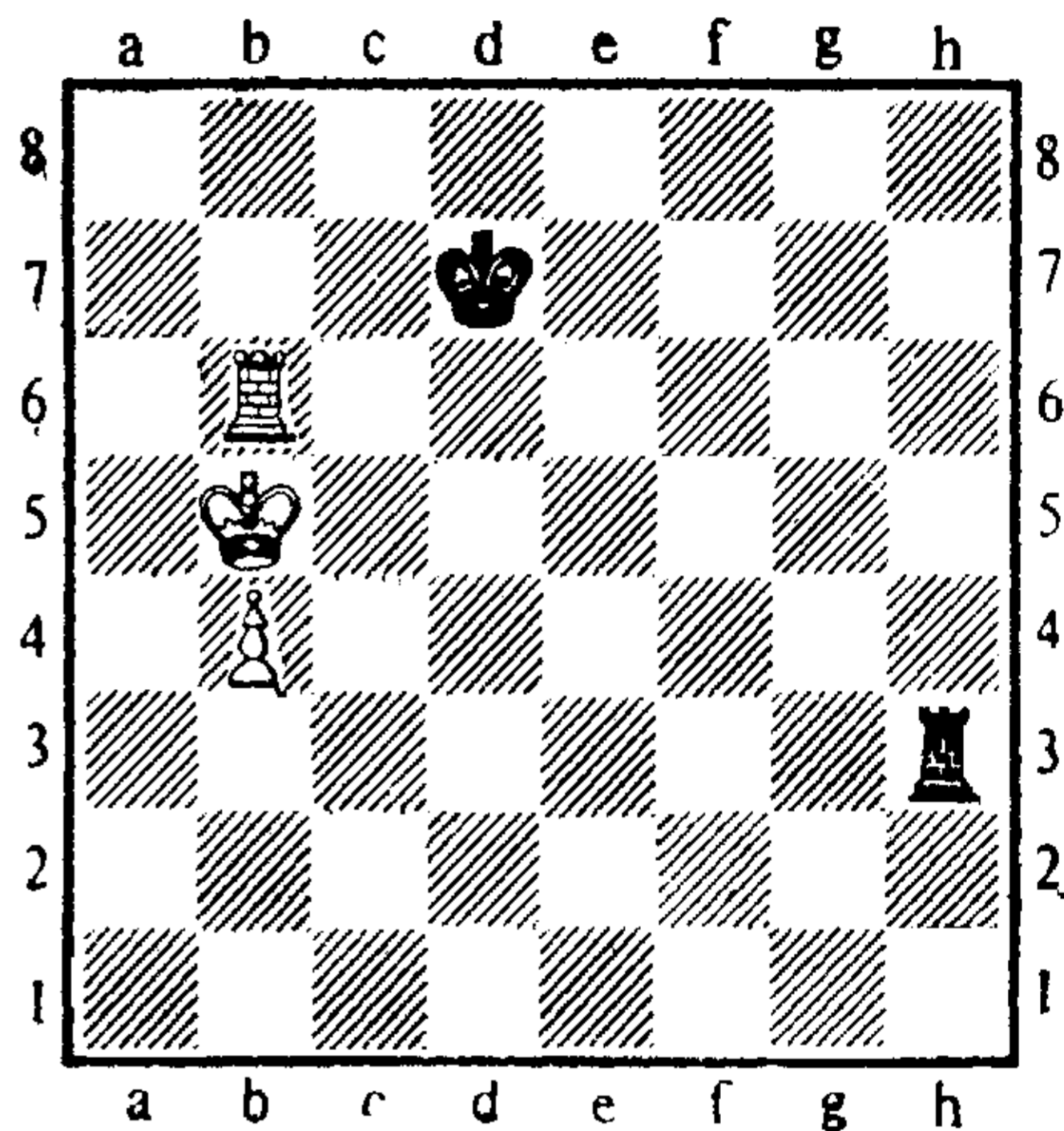
96



97



98



99

Чтобы избежать ошибок, аналогичных приведенным выше для ферзевого эндшпиля, все окончания, возникающие из ладейного эндшпиля после взятия фигуры или превращения пешки, были исследованы предварительно. Мы называем их младшими эндшпилями. Иногда, чтобы избежать пата, пешка должна превратиться не в ферзя, а в ладью или даже в слона, но последнее — только в случае, когда одновременно с таким превращением пешка бьет ладью слабой стороны. Другие превращения никогда не нужны, и потому есть следующие младшие эндшпили:

король, ферзь и ладья против короля и ладьи (пешка превратилась в ферзя),

король и две ладьи против короля и ладьи (пешка превратилась в ладью),

король, ферзь и ладья против короля (пешка взяла ладью и превратилась в ферзя),

король и две ладьи против короля (пешка взяла ладью и превратилась в ладью),

король, ладья и слон против короля (пешка взяла ладью и превратилась в слона),

король, ладья и пешка против короля (взята ладья слабой стороны, но без превращения),

король и ладья против короля и ладьи (взята пешка сильной стороны),

король и пешка против короля и ладьи (взята ладья сильной стороны).

Нужны также младшие эндшпили этих окончаний. Некоторые из них уже есть в приведенном выше списке. Так, окончание король и ферзь против короля и ладьи возникает после взятия ладьи сильной стороны из окончания: король, ферзь и ладья против короля и ладьи, а также после превращения пешки в эндшпиле: король и пешка против короля и ладьи. Других в списке нет, например, эндшпиля король и ладья против короля, возникающего хотя бы после взятия пешки из окончания король, ладья и пешка против короля. Поэтому список нужно дополнить такими окончаниями:

король и ферзь против короля и ладьи,

король и ферзь против короля,

король и ладья против короля,

король и слон против короля,

король и пешка против короля,

король против короля.

Таким образом были изучены 15 классов окончаний (включая и тот, ради которого все было затеяно, — король, ладья и пешка против короля и ладьи), причем перед началом исследования очередного класса исследовались его младшие эндшпили. Некоторые классы не нужно долго рассматривать: если у белых — король, один или со слоном, против одинокого короля, то всегда ничья; если у них есть хотя бы одна тяжелая фигура, а у противника — одинокий король, то черные не проигрывают только в тех случаях, когда на доске пат или возможно взятие этой и притом единственной тяжелой фигуры (тогда возникает либо ничейное окончание — король, один или со слоном против короля, либо эндшпиль —

король и пешка против короля, который бывает выигранным за белых или ничейным).

Остальные окончания были исследованы методом определения рангов позиций. В начале определяются позиции данного класса с ходом черных, где на доске стоит мат королю черных. Из них и из позиций младших эндшпилей, выигранных за белых, но с очередью хода черных производятся ходы назад в окончания данного класса, и таким образом определяются позиции нулевого ранга. На следующем шагу производятся ходы назад из ничейных позиций младших эндшпилей с ходом белых, не выигранных за них, и определяются заведомо ничейные позиции. Остальные шаги метода определения рангов производятся только из позиций исследуемого окончания.

Среди рассматриваемых классов есть два — король, ферзь и ладья против короля и ладьи, король и две ладьи против короля и ладьи, в позициях которых на доске пять фигур. Их полное исследование до мата потребовало бы слишком много времени и большой машинной памяти. Однако с помощью несложных шахматных рассуждений можно показать, что если ход белых и те могут ходить тяжелой фигурой, то они выигрывают. Все такие позиции были отнесены к нулевому рангу, как и позиции с ходом белых, где у них король и ферзь против короля и ладьи у противника и можно ходить ферзем (аналогичные рассуждения справедливы и в этом случае).

Несколько слов об основном эндшпиле. В нем тоже пять фигур. Однако пешка движется только вперед и не меняет вертикали (если не бьет фигуры, но в последнем случае возникает младший эндшпиль с одиноким королем черных). Поэтому, например, для короля, ладьи и пешки а7 белых против короля и ладьи черных в младших эндшпилях либо на доске четыре фигуры, либо на а8 стоит ферзь или ладья белых, а пешки нет. Для окончания же король, ладья и пешка а6 белых против короля и ладьи черных есть опорный эндшпиль (и притом главный) король, ладья и пешка а7 белых против короля и ладьи черных. Сначала изучаются окончания с пешкой на а7, потом — с пешкой на а6, на а5 и т. д. и так для каждой вертикали а, б, с и d. Только нумерация рангов общая: иначе программа будет находить слишком длинные выигрыши.

Общее время счета составило около 60 часов. Однако

после этого программа играла безошибочно и быстро: все позиции, их оценки и лучшие ходы хранились в памяти машины, хотя и на магнитных лентах, где в общем случае их долго искать, но расположенные так, чтобы при разыгрывании партии очередные позиции были близко. В результате машина тратила на выбор хода от 5 до 15 секунд (когда пешка стояла на королевском фланге или была у черных, применялись преобразования шахматной симметрии). Были исследованы также эндшпили король и ладья против короля и слона и король, слон и конь против короля (оказалось, что для мата всегда достаточно 34 ходов).

В заключение — о некоторых результатах исследования. Имеются 516 позиций, где на доске король, ферзь и пешка g7 белых против короля и ферзя черных; белые выигрывают, если игнорировать правило 50 ходов, но если его учитывать, позиции — ничейные. В старой редакции шахматного кодекса была оговорка: если шахматист докажет, что 50 ходов без взятий и движений пешек не хватит для выигрыша, то надо предоставить необходимое количество ходов с некоторым запасом. Никто ею не воспользовался, и она была отменена. Однако, по мнению видных шахматных теоретиков, теперь не грех ее восстановить,

Две позиции, из которых выигрыш достигается за максимальное количество ходов — 58, приведены на диаграммах 100 и 101. Рассмотрим главный вариант анализа игры из первой позиции:

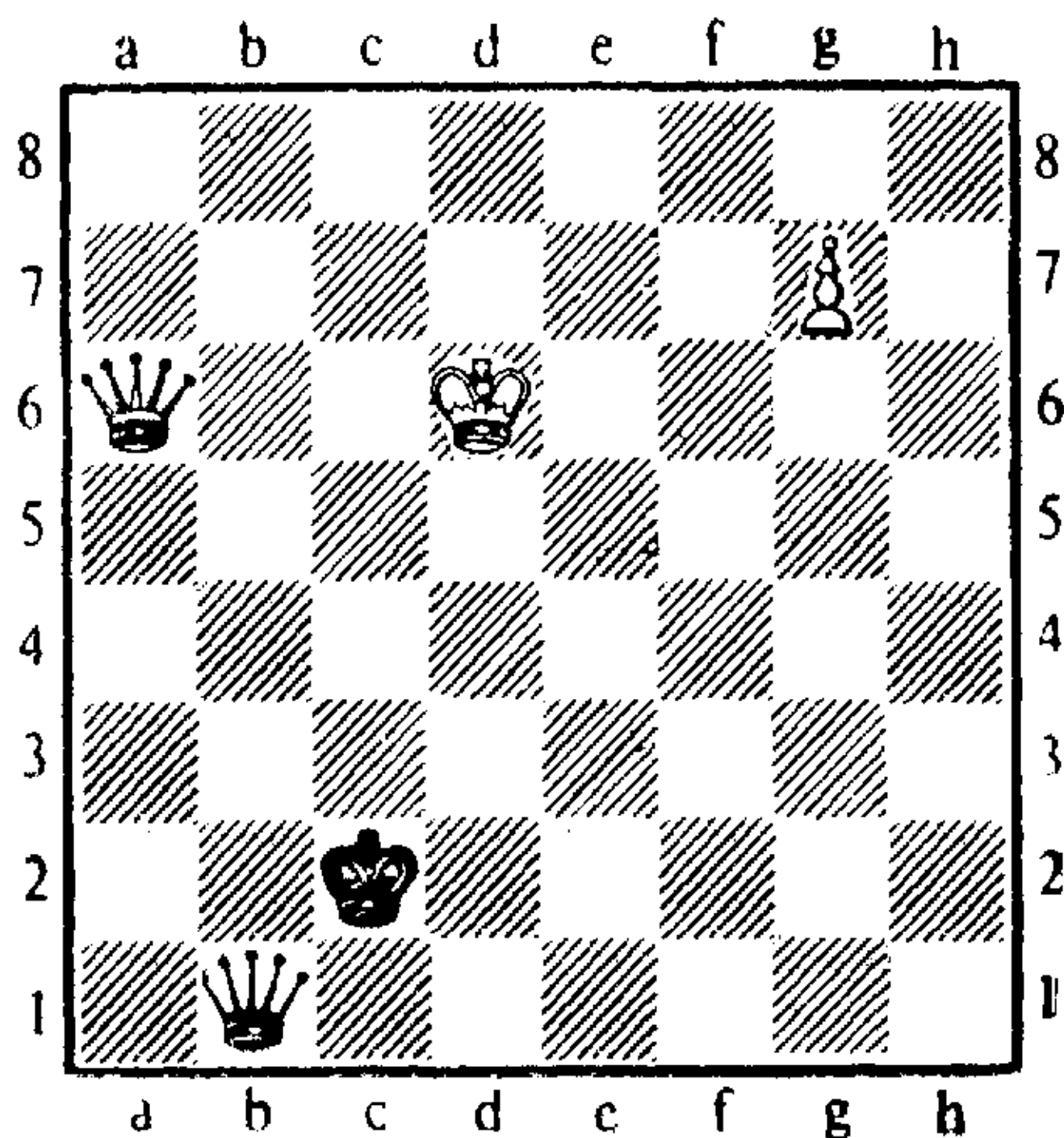
1. ...Фb4+ 2. Крe6 Фg4+ 3. Крf6.

Ход 3. Крf7 приводит к ничьей после 3. ...Фf5+. 3. ...Фf4+ 4. Крг6 Фе4+ 5. Крг5 Фе3+ 6. Крh5 Фf3+ 7. Крh6 Фh1+ 8. Крг5 Фd5+ 9. Крf6 Фd4+ 10. Крf7 Фd7+ 11. Крг6 Фg4+ 12. Крh7 Фh3+ 13. Крг8!

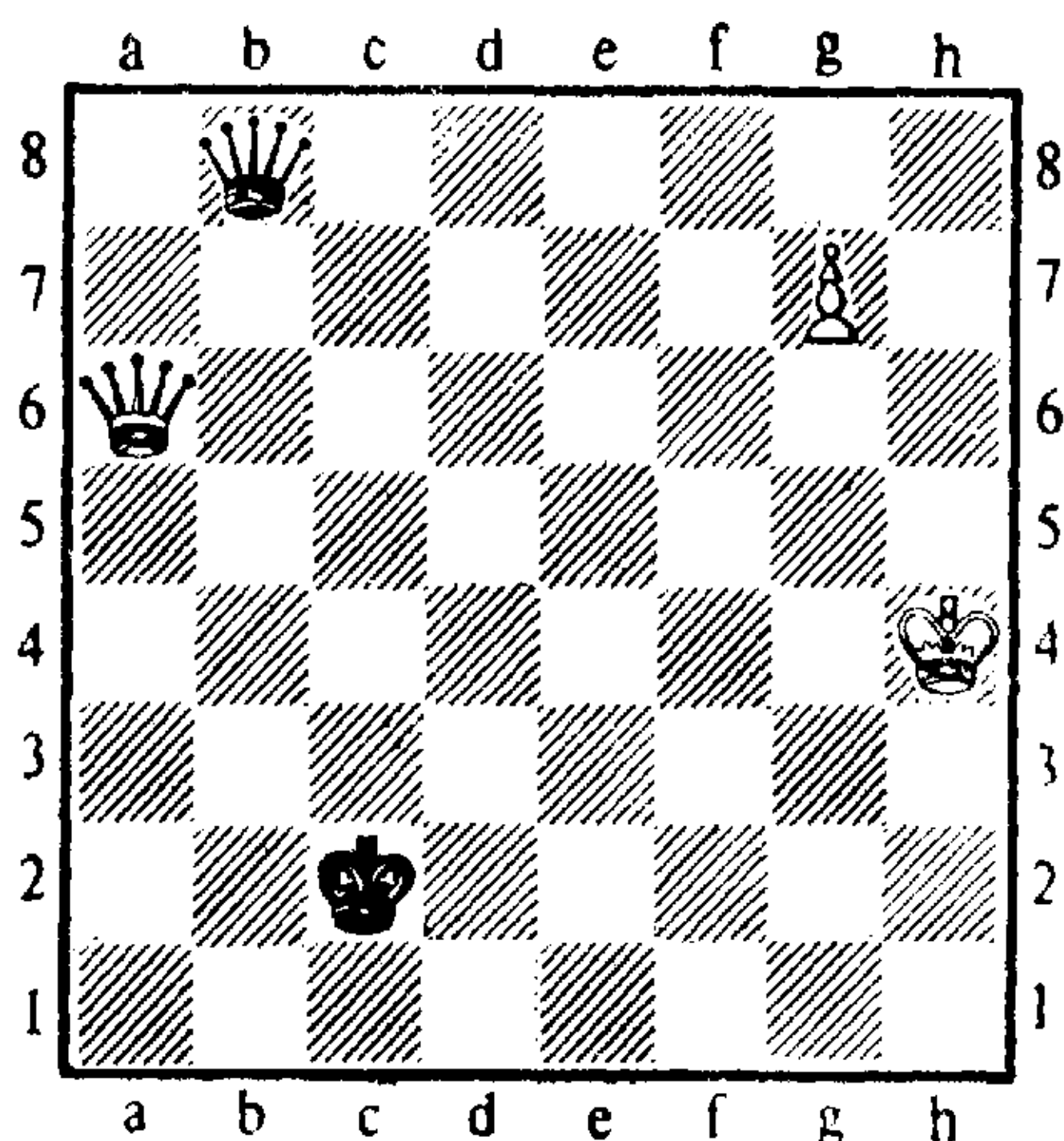
Более естественным выглядит ход 13. Фh6. В этом случае у черных не было бы ни одного шаха (13. ...Фd3+ (Фf5) 14. Фg6). Белые получили бы передышку и могли бы ею воспользоваться, чтобы улучшить положение своего ферзя. Однако, как ни странно, после 13. Фh6 Фd7 выигрыша у белых нет.

13. ...Фf5 (после 13. ...Фb3+ 14. Крf8 белые выигрывают быстрее).

14. Фа2+ Крс1 15. Фh2! (единственный путь к выигрышу) Фd5+ 16. Крh8 Фd4 17. Фc7+ Крb1.



100



101

Белый ферзь улучшил свою позицию, одновременно защитив пешку. Теперь король белых может выбраться из угла:

18. Крh7 Фe4+ 19. Крh6 Фe3+ 20. Крг6 Фe6+
21. Крг5 Фd5+ 22. Кpf6 Фf3+ 23. Кре7 Фe4+
24. Крд8 Фа8+ 25. Крд7 Фd5+ 26. Крс8 Фe6+.

Ближайшими ходами белый король маневрирует на вертикалях а, b и с, смежных с вертикалью b, на которой находится король черных. Это ограничивает возможности черного ферзя. Так, на предыдущем ходу нельзя было играть 26. ...Фа8+ из-за ответа 27. Фb8+.

27. Кrb8 Фе8+ 28. Кра7 Фа4+ 29. Кrb6 Фb3+
30. Кра6 Фа2+ 31. Фа5 Фg8.

Шахи кончились, и черный ферзь вынужден занять пассивную позицию. Белые же, наоборот, централизуют своего ферзя, заняв одно из ключевых полей для этого эншила — d4.

32. Фb4+ Кра2 33. Фd4! Фе6+ 34. Кrb5 Фе8+;
35. Кrb4 Фb8+ 36. Крс3 Фg3+ 37. Крд2 Фg2+
38. Кре1 Фh1+ 39. Кpf2 Фh2+ 40. Кpf3 Фh3+
41. Кpf4 Фh2+ 42. Крг5 Фg3+.

Характерно, что при «своем» ферзе на d4 белый король может ходить «как угодно», не выпуская выигрыша, а раньше ему часто приходилось делать строго единственные ходы. Однако подводные камни еще остаются: сейчас ход 43. Фg4 приводит к ничьей.

43. Кpf6 Фf3+ 44. Кре6 Фc6+ 45. Кре5 Фе8+
46. Кpf4 Фf7+ 47. Крг3 Фg6+ 48. Крh3 Фh7+
49. Крг2 Фg6+ 50. Кpf1 Фb1+ 51. Кре2 Фb5+

52. Kpd2 Фb3 53. Фа7 + Krb2 54. Фf2 (ферзь встал в задсаду) Фg8 55. Фb6 + Кра3 56. Фb7 Кра4 57. Kрс3 Кра5 58. Фb4 + Кра6 59. Фс4 + и белые выигрывают.

В процессе борьбы белый король почти два раза обошел всю доску. Его маршрут показан на диаграмме 102. Из позиции, изображенной на диаграмме 101, игра идет таким же образом: после 1. ...Фh2+ 2. Krg5 Фg3+ 3. Krf6 Фf4+ позиция совпадает с возникающей после третьего хода черных в рассмотренном нами варианте.

Перейдем теперь к окончанию король, ладья и пешка против короля и ладьи. Имеются четыре позиции, из которых при лучшей игре обеих сторон к выигрышу белых, т. е. переходу в выигранный ими эндшпиль с другим составом фигур, ведут самые длинные варианты, состоящие из 60 ходов. Очередь хода в них принадлежит черным, а фигуры расположены следующим образом:

- 1) белые Kрс3, Лс4, п. b2, черные Kpe4, Лd1
- 2) белые Kрс3, Лс4, п. b2, черные Krf4, Лd1
- 3) белые Kpd1, Лd6, п. b2, черные Kph6, Ла8
- 4) белые Kpd1, Лd6, п. b2, черные Krg7, Ла3.

Коллизии с правилом 50 ходов не возникает, так как в процессе игры белая пешка движется с b2 до b8. Приведем такой вариант из первой позиции (диаграмма 103). Ходы белых, отмеченные восклицательным знаком, — единственные, выигрывающие из соответствующих позиций, а ходы черных — единственные, позволяющие максимальным образом затянуть сопротивление.

1. ...Kpe5! (после хода 1. ...Kpd5 белые выигрывают в 28 ходов).

2. Лс5+! Kpd6! 3. Krb4! Лb1! 4. Лс2! Лf1 5. Krb5! Лf5+!

Лучшая защита. Остальные ходы ведут в 50-й ранг и ниже.

6. Krb6 Лf8! 7. Лd2+! Kpe5! 8. Kрс7.

Ход 8. Krb7 — той же силы, 8. Кра7 выигрывают на два хода позже, а остальные ходы приводят к ничьей.

8. ...Лf4 (столько же времени могут продержаться черные после 8. ...Лf1) 9. Kрс6 Лс4+! (остальное быстро проигрывает) 10. Krb5! Лс8! 11. Лh2!

Это, по существу, единственный выигрывающий ход, так как 11. Ле2+ приводит к той же позиции, но на два хода позже.

11. ...Лb8+! 12. Kрс6 Kpe6 (диаграмма 104) 13. Лh6+!!

Любой шахматист сыграл бы здесь 13. Ле2+, отбрасывая черного короля от центра. Однако после 13...Крf5! выигрыша у белых уже не было бы. Смысл шаха по горизонтали в том, чтобы передать черным очередь хода (в данной позиции фигуры обеих сторон расположены лучшим образом). Не достигал той же цели ход 13. Лg2 из-за 13...Крf5!

13. ...Кре7 14. Лh7+ Кре6 15. Лh2! Кре7.

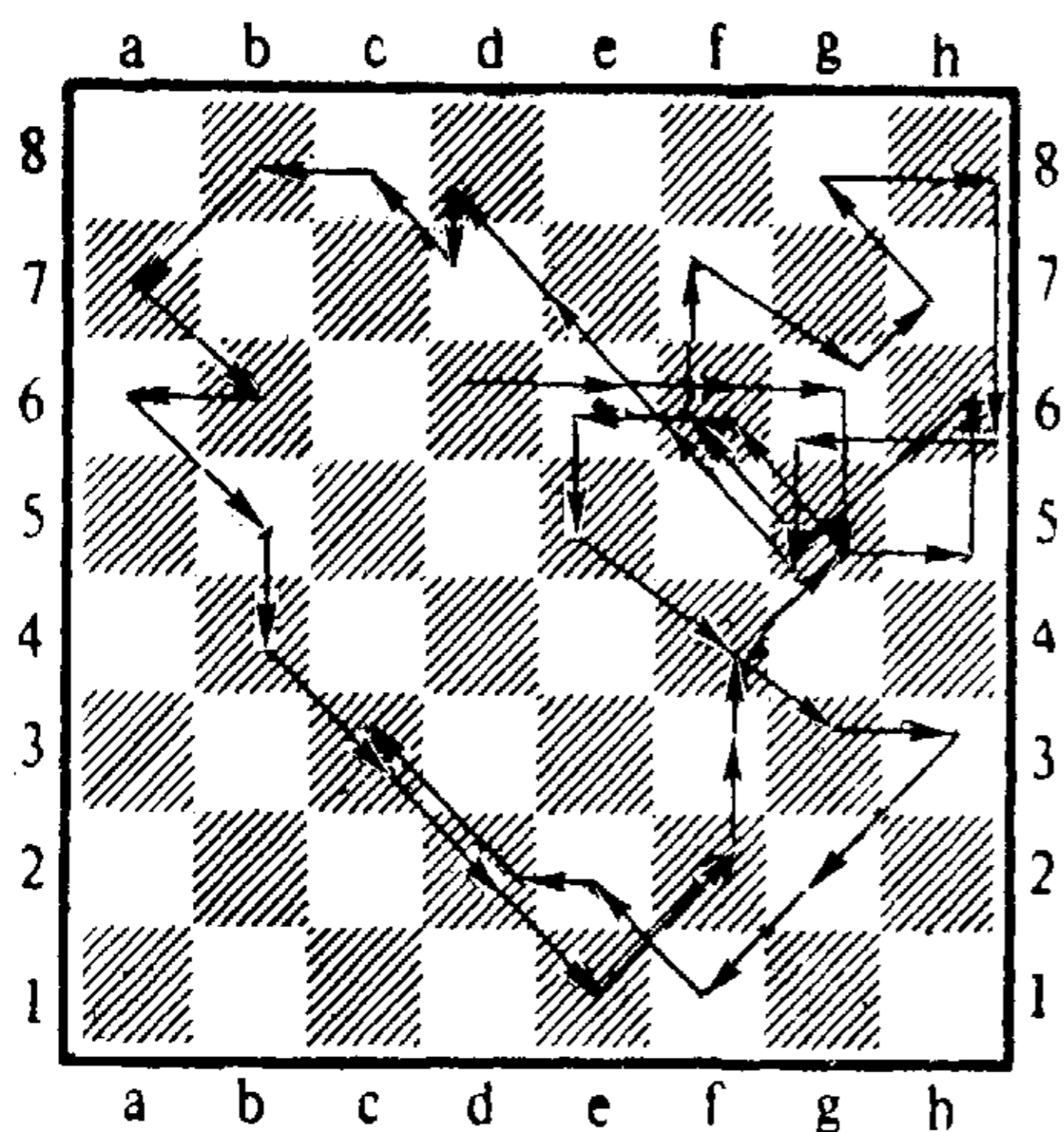
Ходы 13. ...Кре5 и 15. ...Крf5 проигрывают почти вдвое быстрее (28-й ранг). В обоих случаях белые играли бы Лh5+ с последующим Лb5, приходя к одним и тем же позициям.

16. Крс7 Лb4 17. Ле2+ (теперь этот шах выигрывает) Крf7 18. Крс6 Лb8! 19. Крс5 Лс8+! (следующий по силе ход 19. ...Лb3 ведет в 36-й ранг) 20. Крд5 Лd8+ 21. Крс4 Лс8+! 22. Крд3 Лd8+ 23. Крс2 Лс8+ 24. Крb1 Лb8 25. Ле3.

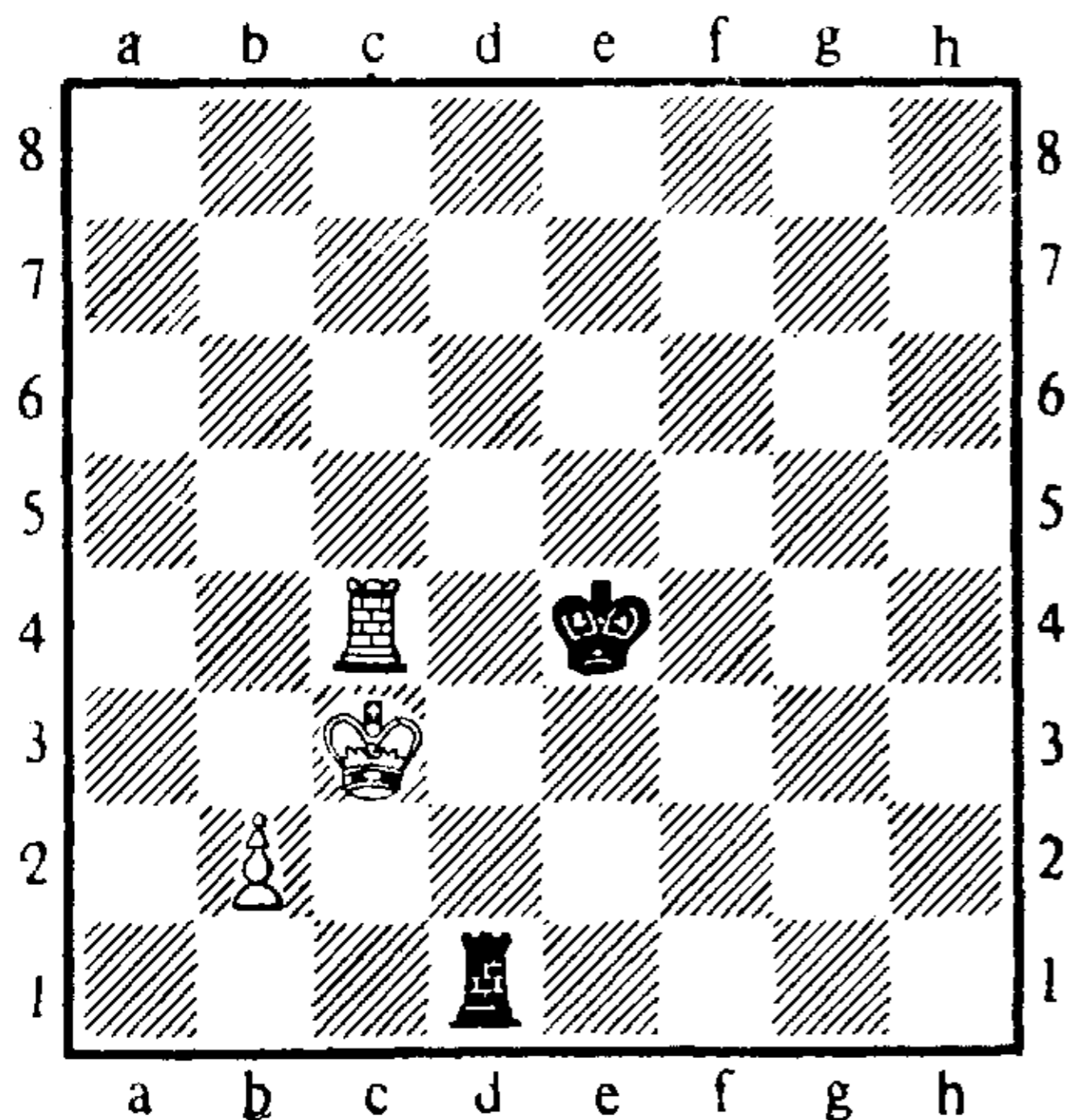
Это уже — известный «человеческий» способ обеспечить движение пешки при «лобовой» атаке черной ладьи и отрезанном по вертикали е черном короле.

25. ...Лd8 26. Крс2.

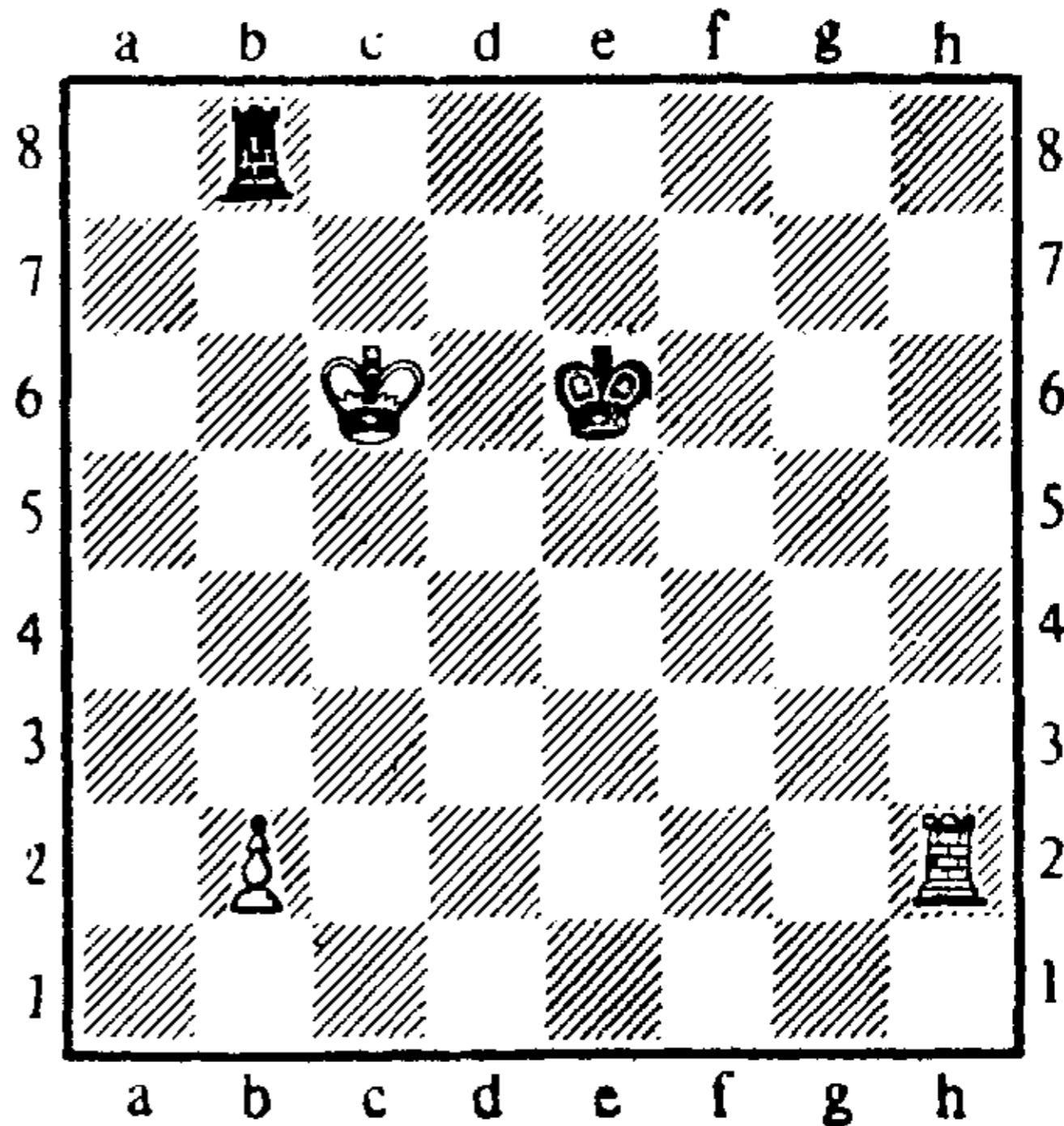
Пешку пока двигать рано: 26. b3? Лd2! Поэтому король снова идет в наступление.



102



103



104

26. ...Лс8+, 27. Крд3 Лб8 28. Крс3 Лс8+
29. Крд4 Лд8+ 30. Крс5 Лс8+ 31. Крд6 Лб8 32. b3.

Наконец-то после длительного маневрирования белым удалось двинуть пешку. Зато теперь дело пойдет быстрее.

32. ...Лб5 33. Крс6 Лб8 34. Лд3 Крf8 35. Крс5 Кре7
36. b4 Лс8+ 37. Крb5 Лб8+ 38. Кра4 Ла8+ 39. Крb3 Лб8
40. Лд4 Кре6 41. Крс4! Кре5 42. Лд5+ Кре6 43. b5 Лс8+
44. Лс5! Лб8 45. Крb4 Кре7 46. Кра5 Крд6 47. Лg5 Лс8
48. Крb6 Лд8 49. Крb7 Лд7+ 50. Кра6 Ле7 51. b6 Ле3
52. Кра7 Крс6 53. Лg6+ Крb5 54. Лд6 Лf3 55. b7 Ла3+
56. Крb8 Лс3 57. Лд2 Крс6 58. Ла2 Лб3 59. Крс8 Ле3.

С «человеческой» точки зрения максимальным образом затягивает сопротивление ход 59. ...Л:b7. Белым необходимы три хода, чтобы получить решающий материальный перевес: 60. Лс2+ Крb6 61. Лб2+ Кр∞ 62. Л:b7. Однако этот ход меняет состав фигур на доске, т. е. ведет в позицию выигранного за белых младшего эндшпиля. Все такие позиции были отнесены к нулевому рангу. Программа считает, что нужно оттянуть переход в младший эндшпиль: если 60. b8Ф, то 60. ...Ле8X.

60.Лс2+ Крд6 61. b8 Ф.

И белые выигрывают.

Глава V

НЕ ХОДОМ ЕДИНЫМ...

ВРЕМЯ!

До сих пор мы говорили о шахматной программе почти исключительно, как о программе выбора хода из данной позиции. Однако обычно она играет партию, т. е. выбирает много ходов подряд. Мы подчеркивали, что ее задача — делать хорошие ходы за ограниченное время, но пока в основном занимались экономией времени при выборе отдельно взятого хода. Между тем, когда играют программы, правила контроля времени такие же, как и для шахматистов, т. е. лимитируется время, которое тратят противники на определенное количество ходов. Таким образом, программистам приходится решать «глобальные» проблемы экономии и распределения времени.

Одна из возможностей игры программы, не укладывающаяся в рамки выбора отдельного хода, — использование

информации, полученной ранее и имеющей отношение к данной позиции, возникшей из предыдущей. Какая это информация? Некоторое количество вариантов из данной позиции программа смотрела при выборе предшествующего хода, и если не обманулась в ожиданиях, т. е. противник выбрал ответ, который она считала лучшим, то посмотрела всю предпоследнюю ступень каскада (мы предполагаем, что эталон глубины перебора для нее на два полухода меньше, чем для последней ступени). Экономия времени от этого не слишком велика, но и ею не следует пренебрегать. Рассматриваемая ситуация возникает довольно часто, особенно при игре с примерно равным по силе противником.

Если же противник выбрал другой ответ, то возникающая позиция заслуживает пристального внимания: либо программа ошиблась при оценке рассматриваемых позиций, либо ошибку допустил противник. Хотя и в этом случае программа начинает перебор не на пустом месте (от предыдущего хода остались опровергающий ответ программы на ход противника и варианты, доказывающие относительный успех стороны, чьи ходы она выбирает, чаще всего на два полухода более короткие, чем те, которым она в конечном счете будет верить), время выбора хода может оказаться бóльшим, так как заранее нельзя исключить худшую возможность.

Выше мы рассматривали службу лучших ходов. Информация для нее формируется в процессе выбора хода и сохраняется после того, как ход выбран. Поэтому она может быть использована при выборе следующего хода (в процессе которого она пополняется и изменяется). Таким образом, с самого начала нового перебора ходы рассматриваются в относительно разумном порядке, что, как известно, экономит время. Так же используется, пополняется и изменяется информация об угрозах и плохих ходах для оценок по аналогии и разложения вариантов на независимые компоненты. Передача такой информации от хода к ходу, вероятно, дает даже бóльшую экономию времени, чем исключение младших ступеней каскада.

Вообще, в предыдущих главах мы описывали многие виды избыточной информации о позициях и процессе перебора, которую создает и использует шахматная программа. Эту информацию тоже часто можно передавать от хода к ходу. Однако по большей части экономия от этого невелика, так как такая информация создается не

для всех позиций, просматриваемых в процессе перебора, а лишь для немногих или даже одной — позиции, из которой надо выбрать ход. Возможность экономии состоит в другом: рассматриваемую информацию следует не создавать заново из минимально необходимого описания позиции, а переделывать из аналогичной информации о предыдущей и сведениях об изменениях.

Почти на поверхности находится резерв — время обдумывания ходов противником. Пока он не сделал хода, можно изучать либо младшие ступени каскада для многих ответов противника, либо старшую для того хода, который программа ранее считала лучшим для противной стороны (если противник будет думать слишком долго, то хватит времени на многое, но такие случаи — редкость). Не так уж трудно сравнить экономию времени при том или ином способе при достаточно общих предположениях, но идеи этого сравнения хорошо видны и при изучении простого предположения: время на выбор хода противником, на выбор ответа на него данной программой и на построение предпоследних ступеней каскада для всех возможных выборов хода противником одинаково.

В течение выбора хода противником программа либо посмотрит предпоследние ступени каскада для всех возможных его ответов, либо выберет ответ на один из них. В первом случае будет сэкономлено время одной предпоследней ступени (остальные можно было не смотреть), во втором — все время выбора следующего хода программы (ей не надо, как шахматисту, еще раз бегло просматривать варианты), если ход противника был угадан, и ничего в ином случае. Чтобы в первом случае экономия была больше, чем во втором, на один указанный ход в среднем должно приходиться столько не угаданных, сколько обычно разных ходов из рассматриваемых позиций, но программа угадывает гораздо чаще (обычно в половине случаев). Так как наши предположения не чересчур далеки от реальности, второй способ обещает больше экономии. Он и принят в действующих программах.

Еще один резерв — использование дебютной справочной. Пока дебют не кончится или противник не сделает хода, на который в ней нет рекомендуемого ответа, программа практически не тратит времени на ходы. Правда, теперь дебютными справочными обзавелись все мало-мальски сильные программы, и выигрыш времени от ее использования более или менее компенсируется аналогич-

ным выигрышем времени программ-противников, но тем более важно ее иметь.

Машинная дебютная справочная нужна не только шахматной программе, шахматистам она тоже пригодится. Ее создание и поддержание в порядке — типичные задачи так называемого системного программирования. Мы не будем касаться машинных тонкостей — форматов описания ходов и позиций, расположения информации на машинных устройствах памяти и т. п., но о том, что содержится в дебютной справочной и как одна информация связана с другой, скажем*. Это — информация о ходах и позициях ветвящихся вариантов из начальной позиции шахмат (см. диаграмму 1), т. е. ее структура такая же, как у дерева игры.

В разных местах дебютной справочной могут встретиться одинаковые позиции, как, например, после вариантов принятого ферзевого гамбита: 1. d4 d5 2. c4 dc 3. Kf3 Kf6 4. e3 c5 5. C:c4 cd 6. ed и защиты Каро—Канн: 1. e4 c6 2. d4 d5 3. ed cd 4. c4 dc 5. C:c4 Kf6 6. Kf3 (забавно, что в этих вариантах у центральных пешек разная судьба: так, в первом пешка e2 переместилась на d4, пешка d2 была взята на поле d4 черными, а пешка d5 сама взяла на c4, где и была побита; во втором же варианте пешка d2 так и стоит на d4, а пешка e2 с e4 побилла черную пешку d5 и была в свою очередь уничтожена).

Одинаковые позиции встречаются и в разных местах деревьев игровых моделей, используемых программой для выбора хода. Однако попытки использовать имевшуюся информацию о позиции, встретившейся второй раз, показали, что требуются очень тонкие алгоритмы, чтобы затраты времени на поиск и, особенно, идентификацию ранее исследованных позиций с изучаемой в данный момент не превышали выигрыш от использования такой информации. Как мы увидим, идентификация позиций дебютной справочной производится при активном участии человека во время ее создания, а также ее изменений. Поиск же позиции в процессе использования справочной не требует большого времени. Если отказаться от иденти-

* Более подробно дебютная справочная описана в статье: Гольфанд Я. Ю., Футер А. Л. Реализация дебютной справочной для шахматной программы. — В кн.: Проблемы кибернетики. М.: Наука, 1974, вып. 29, с. 201—210.

фикации одинаковых позиций и вместо этого дублировать варианты из них, то изменения придется вносить во все дубли, которые не так-то просто найти.

Таким образом, структура расположения ходов и позиций в справочной — не дерево, а так называемый ориентированный граф с корнем и без циклов (ориентированных). Как и дерево игры, он состоит из вершин — позиций и ориентированных ребер — ходов (которые называют еще дугами). Единственное отличие — в том, что вершина может быть не только началом, но и концом нескольких ребер. На рис. 17 приведена часть графа дебютной справочной. Информация в ней собрана по позициям. Для каждой указано, какие ходы из этой позиции есть в справочной и в какие позиции такие ходы ведут. Последнее сделано в виде прямого указания на место в памяти машины, где расположена информация о возникающей после хода позиции (такую ссылку называют еще адресом рассматриваемой информации), и потому не требуется сложного поиска. К тому же приняты программистские меры, чтобы адреса позиции до и после хода были расположены на машинных носителях памяти «близко», т. е. переход от первого ко второму не требовал бы большого машинного времени. Для всех ходов, после которых возникают одинаковые позиции, указан один и тот же адрес информации, т. е. произведена идентификация позиций.

Шахматной программе нужны еще рекомендации, какие ходы выбирать из позиций справочной (информация, которой умеют пользоваться шахматисты — оценка позиции, сведения, где и когда она встретилась, кто играл, ссылки на литературу и т. п. ей пока недоступна). Чаще всего из каждой рассматриваемой позиции рекомендуется вполне определенный ход, но нетрудно предусмотреть возможность нескольких рекомендаций с тем, чтобы в дебютах партий выбор из рекомендованных ходов производить по очереди или случайно, а в будущем — на основе более или менее обобщенных сведений о противнике (в настоящее время имея в виду конкретного противника можно только «выбить» дебютный вариант, но и этим пользуются нечасто).

Как шахматная программа использует справочную? Пусть, например, она играет черными. Сначала она находит сведения о начальной позиции шахмат, в частности первые ходы дебютов, которые есть в справочной, и

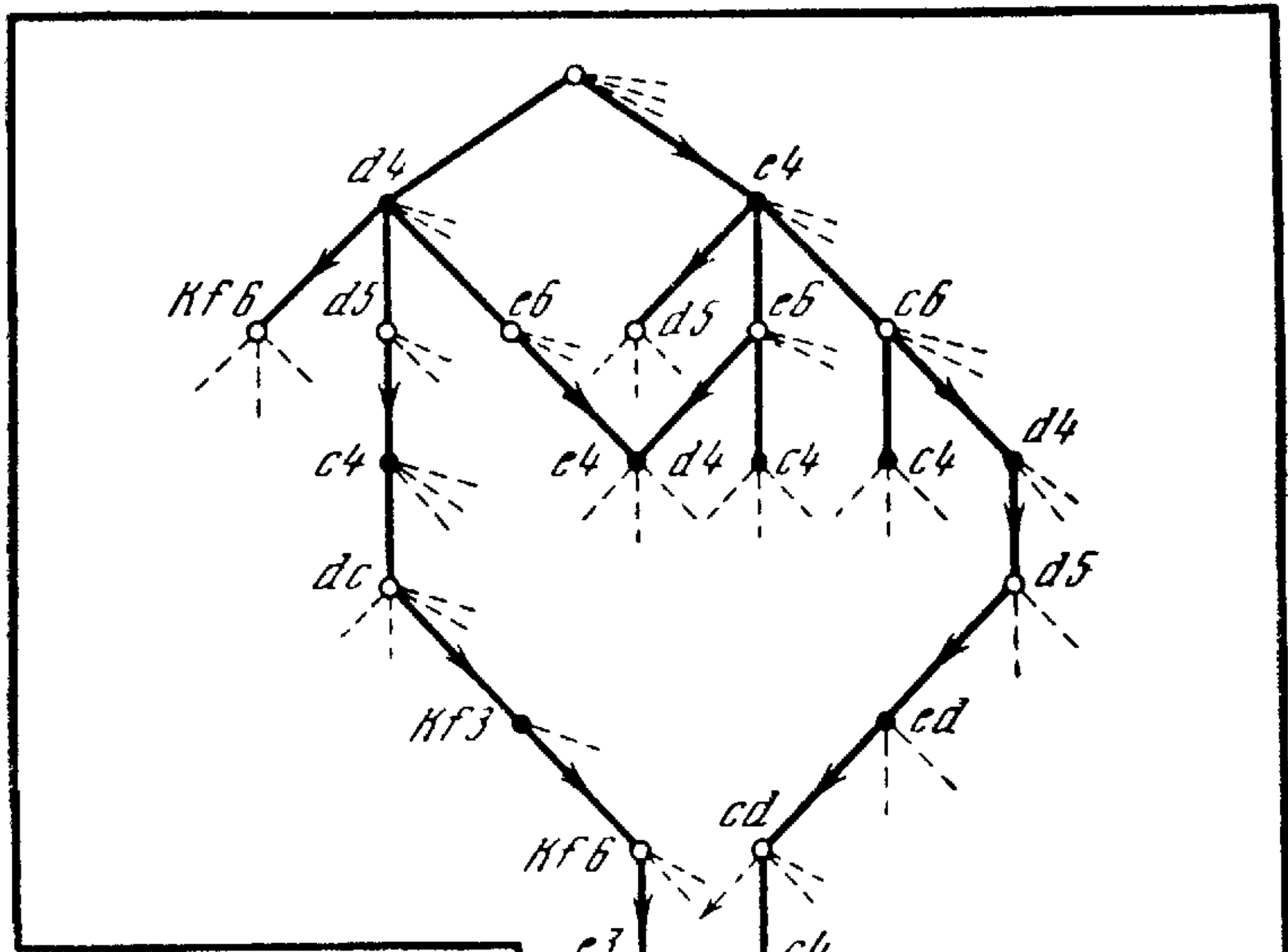


Рис. 17. Фрагмент дебютной справочной

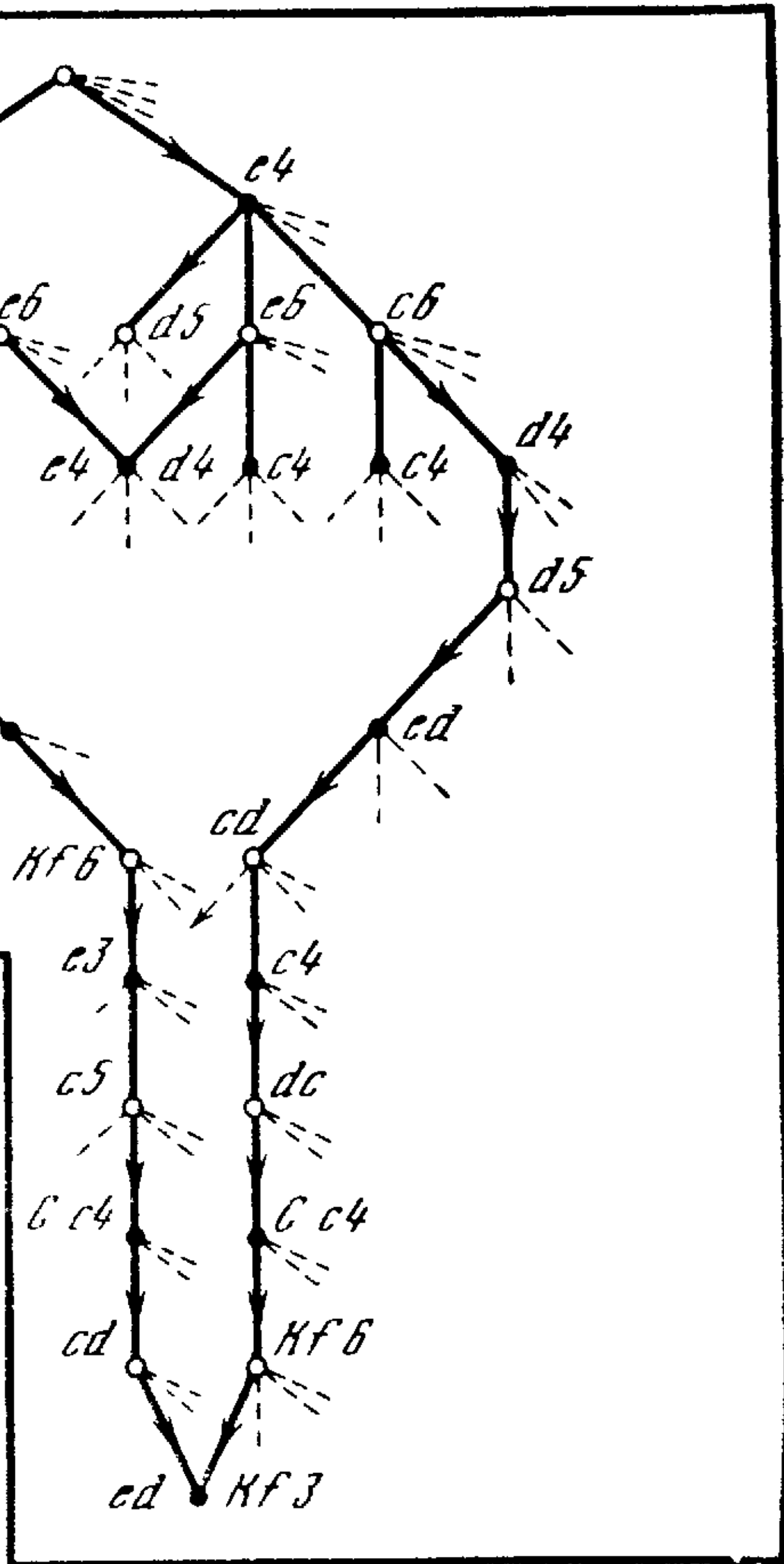
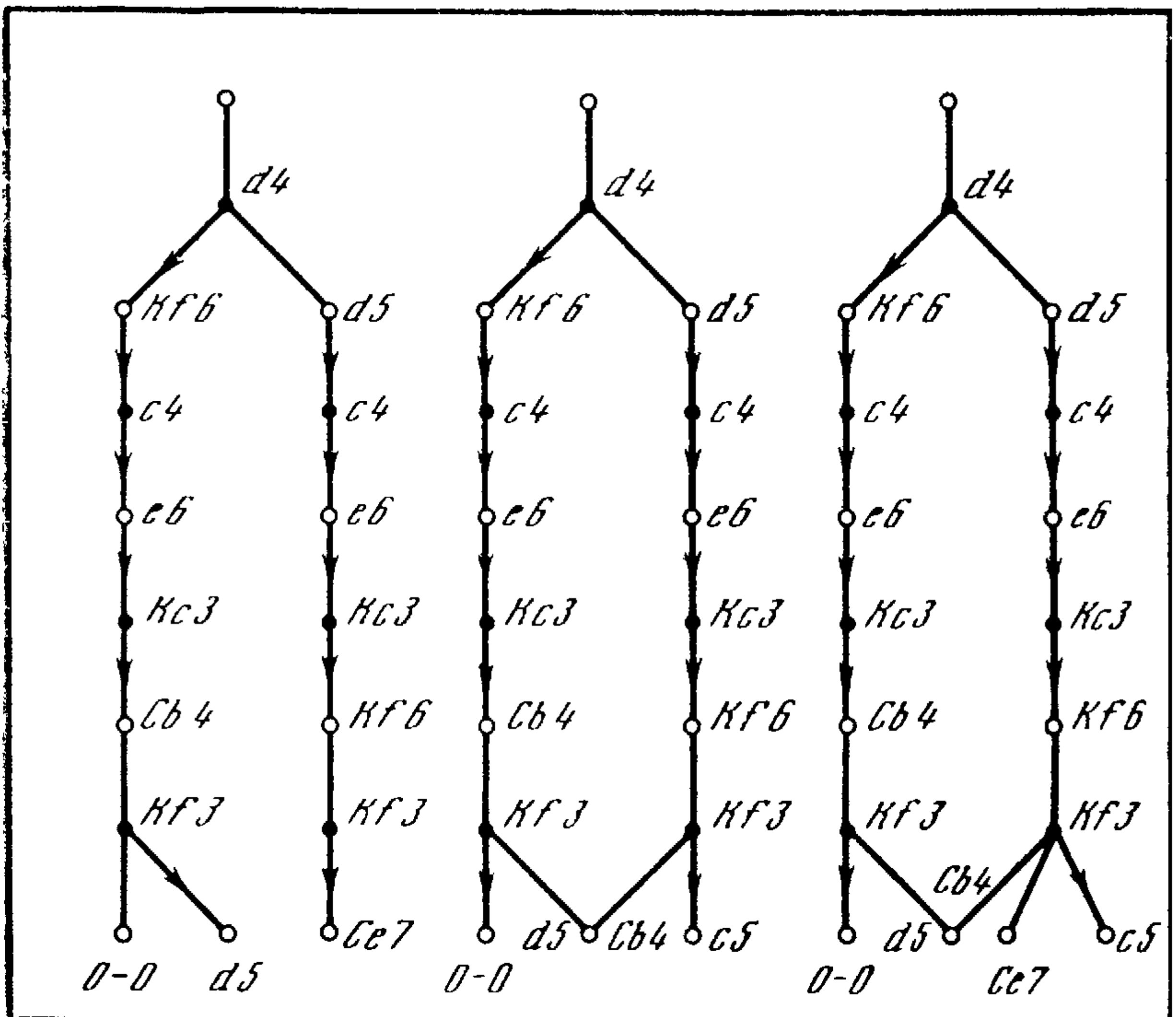


Рис. 18. Пополнение и изменение дебютной справочной



адреса сведений о возникающих после таких ходов позициях. Как только ей будет сообщен ход противника, имеющийся в справочной, она находит информацию о стоящей на доске позиции, а о предыдущей «забывает». Теперь она находит рекомендованный ход, и его выбирает. Затем переходит к информации о новой стоящей на доске позиции и ждет ответа противника, чтобы действовать, как уже было описано выше. Если же хода противника в справочной нет или нет рекомендованного хода из возникающей после него позиции, то программа начинает «думать» самостоятельно и к дебютной справочной больше в ходе партии не обращается.

За один прием справочную не создать, да и после создания нужно вводить в нее новые варианты, менять рекомендации и т. д. Рассмотрим, как производится «сеанс» создания или корректировки справочной. На рис. 18 слева изображена часть старой справочной (в самом начале, после того, как готова программа для ее создания и изменения, старая справочная состоит из одной, начальной позиции шахмат и не содержит ходов из нее), в которую надо внести следующие изменения:

1) после 1. d4 Kf6 2. c4 e6 3. Kc3 Cb4 4. Kf3 рекомендовать не 4. ...d5, а 4. ...0—0 (интересующие нас рекомендованные ходы на рисунке отмечены «галочкой» в середине соответствующего ребра);

2) после 1. d4 d5 2. c4 e6 3. Kc3 Kf6 4. Kf3 добавить ходы 4. ...c5 и 4. ...Cb4;

3) в этом же варианте вместо хода 4. ...Ce7 рекомендовать новый 4. ...c5;

4) отметить, что в том же варианте после 4. ...Cb4 возникает та же позиция, что и после 1. d4 Kf6 2. c4 e6 3. Kc3 Cb4 4. Kf3 d5.

Эти изменения нужно представить тоже в виде ориентированного графа, изображенного на рис. 18 в центре. Нужно произвести операцию слияния графа старой справочной с этим графом, в результате чего интересующая нас часть справочной будет иметь вид, изображенный на рис. 18 справа. Просматривая ходы и позиции графа новых вариантов, программа ищет их в старой справочной, что нетрудно сделать, начиная с корня последней, благодаря системе ссылок, соответствующих ходам. Если в старой справочной нет хода, то программа добавляет его к информации о позиции, из которой он сделан, и переносит в справочную информацию о позиции после хода.

Если не совпадают рекомендации, то программа обновляет их, если в графе дополнения идентифицируются концы разных вариантов, то такая идентификация производится и в справочной.

Дебютная справочная для шахматной программы должна иметь некоторые особенности. Когда у одной из программ-противников кончается дебют, она часто выбирает ходы, которых нет в «человеческих» дебютных руководствах. Если такого хода нет в справочной программе противника, то на следующем ходу у той тоже кончается дебют. Поэтому в справочную следует включить естественные машинные ходы из рассматриваемых позиций и хорошие ответы на них. Так иногда удается сделать 3—4 хода по справочной, пока противник тратит время на свои ответы.

Вообще, выход из дебюта пока еще нерешенная проблема. Приведем пример из партии «CSC» (США) — «Advance 1.0» (Англия), сыгранной на Третьем чемпионате мира среди шахматных программ (Линц, 1980 г.).

1. e4 e6 2. d4 d5 3. Kc3 Cb4 4. e5 c5 5. a3 C:c3+ 6. bc Ke7.

Разыграна французская защита, один из главных ее вариантов. До сих пор программы играли, как гроссмейстеры. Но вот белые вышли из своей дебютной справочной и сразу заиграли в силу 3-го разряда, т. е. в свою силу.

7. dc?

Программа белых всерьез считает, что выигрывает таким способом пешку. Однако и более сильная программа считала бы так потому, что черные отыгрывают пешку только через восемь полуходов, а оценить большие позиционные невыгоды, которые проявляются раньше, действующие программы еще не умеют. Авторы дебютной справочной не должны были обрывать вариант в этом месте, тем более, что игра черных проста и естественна.

7. ...Фа5 8. Фd4? Kbc6 9. Фе3?

Белые упорно цепляются за лишнюю пешку и с каждым ходом их позиция ухудшается. Более сильная программа уже поняла бы, что пешка незащитима и перестала дарить противнику темпы.

9. ...d4 10. Фg3? Kf5 11. Фd3 Ф:c5 12. Kf3 dc.

В итоге белые сами остались без пешки.

Таким образом, надо внимательно смотреть позиции, которыми кончаются дебютные варианты, и продолжать

варианты, если в таких позициях у программы есть соблазн совершить типичную машинную ошибку. Серьезные создатели справочника для шахматных программ так и поступают, но дальше не идут. Между тем даже в рамках существующих программ можно предусмотреть передачу дополнительной информации из справочной программе, выбирающей ход при помощи перебора вариантов (в дальнейшем мы будем называть ее основной частью шахматной программы). Например, когда программа думала сама над предыдущим ходом, то массивы лучших ходов, угроз и плохих ходов содержат полезную информацию. Стоило бы заполнять их и при переходе из справочной.

Подготовка шахматиста к дебюту далеко не исчерпывается тем, что он заучивает дебютные варианты. Он связывает с ними планы игры в миттельшпиле (иногда даже в эндшпиле) и оценки тех или иных обстоятельств на шахматной доске. Так, в дебюте, случившемся в рассмотренной нами партии шахматных программ, белые блокируют пешечную цепь черных e6—d5. Уход центральных пешек с блокадных полей d4 и e5 допустим, но с тем, чтобы эти поля в дальнейшем были оккупированы белыми фигурами. Иначе черные добиваются серьезного позиционного успеха. Перед 7-м ходом белых их фигуры еще не готовы к выполнению блокадных функций (попытка играть Фd4 опровергается ответом Кс6). Значит, ход 7. dс заслуживает осуждения.

В будущем в дебютных справочных будет храниться и такая дополнительная информация. Она будет передаваться переборной части шахматной программы, когда справочная заканчивается, и может состоять из сведений о признаках, учитываемых при вычислении оценочной функции, их весах, об актуальности позиционных целей — о критических полях, рекомендуемых маневрах фигур, разрешенных и запрещенных стратегиях и т. п. (однако нередко в миттельшпиле характер позиций постепенно сглаживается, и такую информацию программа должна уметь забывать).

Несмотря на все меры экономии, шахматная программа обычно работает в условиях дефицита времени (кроме случаев, когда у нее легкий выигрыш), так как есть много способов повысить качество выбираемых ходов, увеличив время выбора. Поэтому она учитывает, сколько времени уже потрачено, решает, сколько отпустить на вы-

бор очередного хода, управляет перебором так, чтобы затрата времени не слишком превышала запланированную и во всяком случае ей не засчитали бы поражения из-за просрочки времени.

Самое простое — учет времени. В современные машины встроены весьма точные электронные часы, и программа в любой момент может узнать «который час». Она это делает в начале выбора очередного хода, в те моменты процесса перебора, когда можно изменить решение о том, как его продолжать, но не слишком редко, чтобы не столкнуться с большими неожиданностями, наконец, после того, как ход выбран, чтобы вычислить, сколько времени было потрачено на выбор и сколько его осталось до очередного контроля.

Проблемы распределения времени весьма сложны. Шахматисты тоже решают их не всегда удачно. Некоторые даже тратят его «как бог на душу положит», в лучшем случае оставляя некоторый резерв на цейтнот. Программа так действовать не может: души у нее нет (по крайней мере, без специальной заботы программиста «душа» программы не станет распределять время). Существуют два подхода к распределению времени: планировать его заранее или оперативно решать, не пора ли прекратить размышления над данным ходом. Многие шахматисты используют оба — вторым корректируют первый. В некотором смысле так же поступают и программы. В идеале шахматисты признают два способа планирования расхода времени: тратить его более или менее равномерно (не считая быстрого воспроизведения на доске дебютных заготовок) или постепенно сокращать время выбора ходов. Первый оптимален, если противник вообще не ошибается, а у стороны, чье время планируется, частота ошибок в зависимости от времени обдумывания в ходе партии приблизительно одинакова. Второй также исходит из предположения о безошибочной игре противника, но уповает на то, что в процессе игры возникают все более ясные позиции и вероятность ошибок уменьшается.

Между тем, если учитывать возможность ошибок противника, распределение времени должно зависеть от характера позиций. Если программа рассчитывает на благоприятный результат (выигрыш или ничью), то ей полезно несколько сократить время на обдумывание очередного хода, чтобы сохранить резерв для поиска опровержений

грядущих ошибок противника. Если же она боится худшего, то время надо тратить сейчас: когда станет очень плохо, лишнее время не поможет. Впрочем, поправки к плану распределения времени по этим причинам сравнительно невелики, и пока не очень актуальны.

Гораздо важнее зависимость времени на выбор хода от характера позиции, из которой его надо выбрать. Есть позиции, из которых надо делать ход без больших размышлений, а есть и такие, где надо подумать. Самые сложные из них шахматные теоретики называют критическими. Приведем два примера.

Позиция, изображенная на диаграмме 105, возникла в партии по переписке Неергард—Симагин (1964 г.). Белые, оставив короля в центре, начали пешечную атаку на королевском фланге. Если черные не найдут в данный момент возможностей активной контригры и позволят противнику укрепиться, скажем ходом Кс3, то им придется нелегко. Черные почувствовали это и серией энергичных ударов вскрыли минусы построения белых. Последовало:

16. ...b5! 17. cb d5!! 18. ed e4! 19. Ф:e4.

Если 19. fe, то очень сильно 19. ...Ке5.

19. ...С:g4 20. Фf4.

В случае 20. Ф:g4 Л:e3 21. Крf2 Сс5 у черных сильная атака.

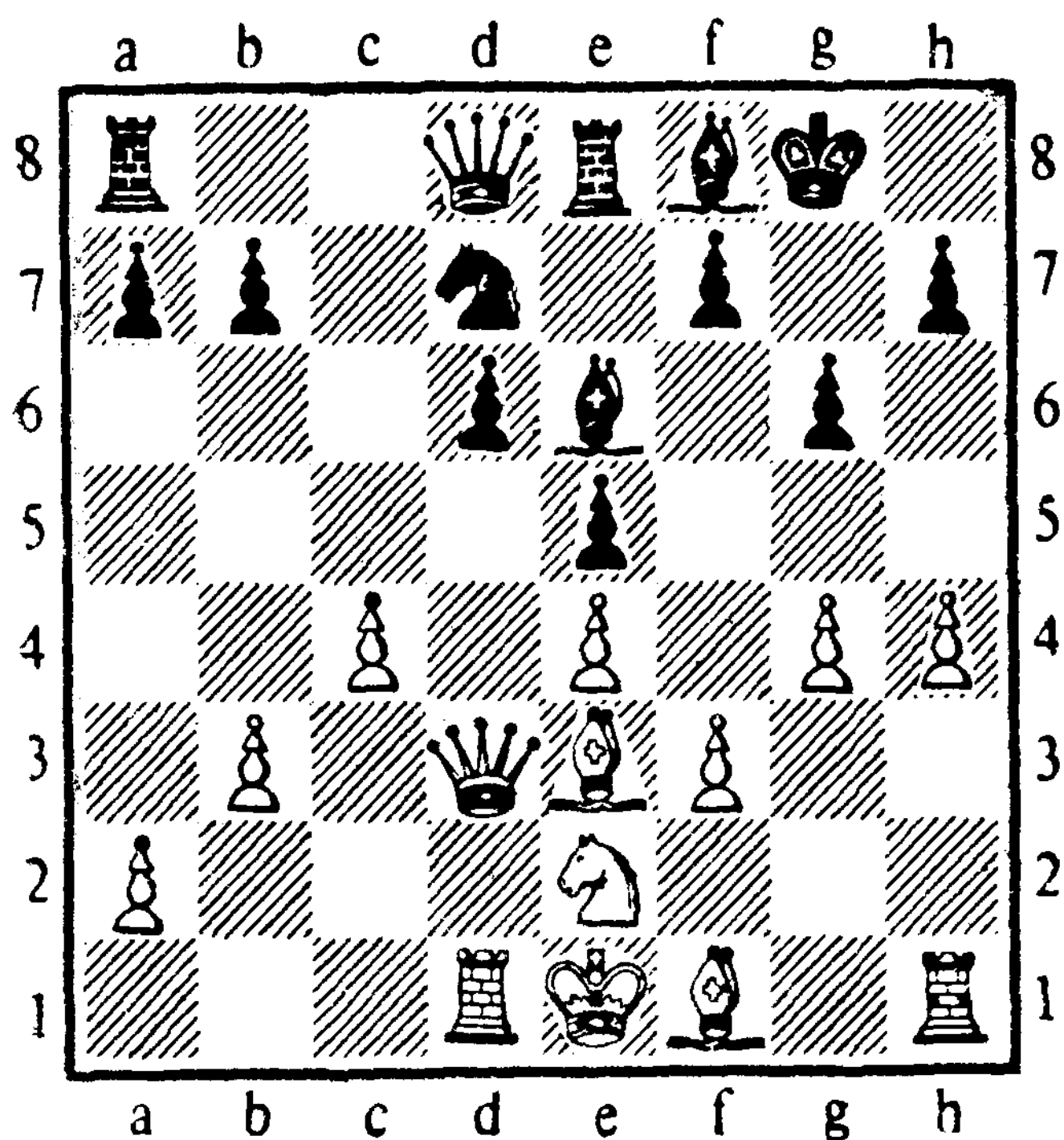
20. ...Сh5 21. Крf2 Ке5 22. Сg2 Сd6 23. Фа4 Лс8 24. Лd2 Фf6.

Все фигуры черных включились в атаку. Белые не имеют защиты от множества угроз. Партия продолжалась недолго:

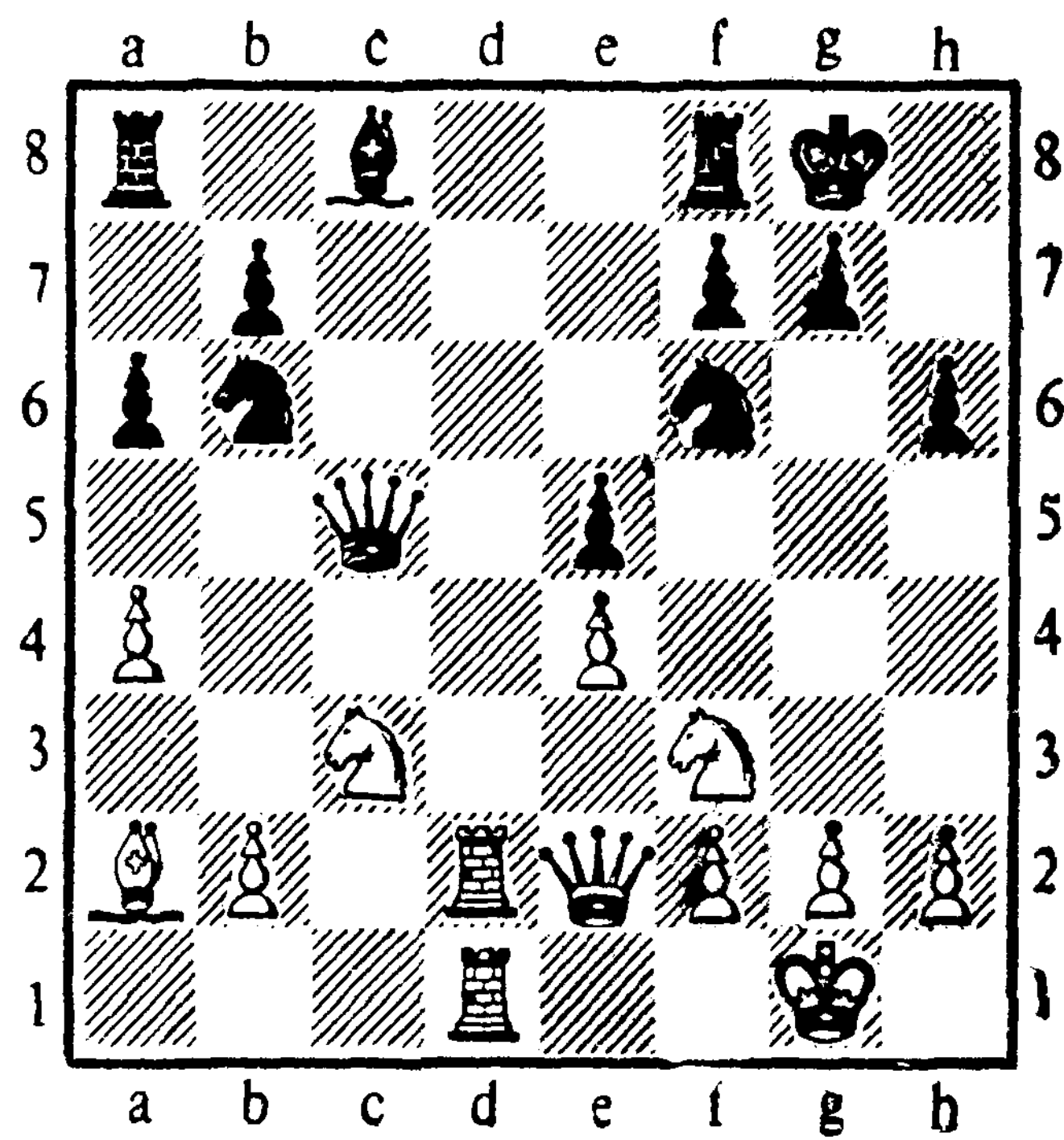
25. Сg5 Фf5 26. Кf4 С:f3! 27. Сh3 (или 27. С:f3 Сс5+ 28. Крг3 К:f3 29. Кр:f3 Ле3+) Сg4 28. Крг2 Лс2.

Белые сдались.

Можно ли было предвидеть все это, выбирая 16-й ход черных? Наверное, нет. Однако в этом и не было необходимости. Достаточно было, во-первых, убедиться в том, что при спокойной игре черные получают плохие позиции; во-вторых, найти план активизации, связанный с ходами b5, d5, довольно стандартными для позиций этого рода, и ходом e4, реже встречающимся, но тоже естественным; в-третьих, увидеть, что после них фигуры черных действительно активизируются: конь может попасть на e5, один слон — на g4, другой — на d6 или e5, ладья e8 оказывается на открытой линии в противостоянии с бе-



105



106

лым королем, другая займет открытую линию с и у ферзя достаточно возможностей встать на активную позицию; в-четвертых, убедиться, что ждать нельзя: после хода Кс3 поля b5 и d5 оказываются под новым ударом белых.

В партии Ботвинник—Сорокин (Седьмой чемпионат СССР, 1931 г.) после 19-го хода черных возникла следующая позиция (диаграмма 106). Все фигуры белых расположены активно, у них сильное давление по вертикали d. Однако пунктов для вторжения пока не видно, и стоит черным развить слона на g4 или e6, как преимущество белых испарится. В этой критической позиции белые находят единственный и далеко не очевидный ход, позволяющий им закрепить свой перевес:

20. Фе3! Ф:e3 21. fe.

Черные не могут избежать размена ферзей. Однако теперь у белых сдвоенные изолированные пешки e3 и e4, обычно являющиеся долговременной слабостью. В данной позиции она вполне компенсируется слабостью не сдвоенной и не изолированной черной пешки e5.

21. ...Cg4 22. a5 Кс8 23. Лс1 С:f3 24. gf Ке7 25. Кd5.

Изолированная жизнь пешек e3 и e4 быстро кончилась, и перевес белых стал несомненным. В дальнейшем они легко довели его до победы.

Однако в некоторых вариантах пешки e3 и e4 оставались изолированными гораздо дольше, и реально возможный расчет вариантов с нормальной, несколько поверхностной оценкой позиций, которыми эти варианты кончаются, не может привести к выбору 20-го хода белых.

Вместе с тем острых атакующих возможностей у белых нет (у черных — тоже), т. е. все варианты сильно ветвятся. Нужно посмотреть те же варианты, но изменить оценочную функцию — резко усложнить ее, что приведет к росту времени на выбор хода (не говоря уже о том, что те же позиции программа будет смотреть второй раз). Сигналом к такой переоценке может быть то, что при первом переборе значение модельной оценки ходов, из которых программа делает выбор, заметно хуже, чем в начальных ступенях каскада.

В новой оценочной функции должно быть учтено, что у черного ферзя много обязанностей: он защищает пешку e5, противодействует ходу белых a5, оттесняющему черного коня b6 на одно из полей, где он мешает другим черным фигурам. После его размена у черных трудности с развитием ферзевой ладьи и защиты пешки e5 (из-за связки пешки f7 она на некоторое время становится как бы изолированной). У белых появляются конкретные поля для вторжения d5, c7, может быть, даже e7 и d8. Все это сказано «человеческими словами». Как перевести их на «машинный язык», т. е. разработать алгоритмы их определения, мы пока не знаем. Неясно также, какие должны быть их веса.

Сформулируем некоторые проблемы, связанные с использованием в программе понятия критической позиции.

1. Как узнать, что позиция критическая.

2. Сколько добавочного времени отвести на выбор хода из такой позиции и как изменить управление перебором из нее.

3. Как оценивать позиции при переборе из позиции, признанной критической.

О подходах к решению этих проблем мы можем сказать немного. Приведенные примеры и некоторые другие показывают, что есть следующие признаки критичности: заметные отличия модельной оценки позиции в зависимости от глубины перебора из нее, значительные изменения состава фигур на доске и увеличение количества форсированных вариантов. Однако, по-видимому, есть и другие признаки. Чтобы рассмотреть попытки дифференцированного подхода к выделению времени на выбор хода, нужно предварительно остановиться на том, как вообще программа распределяет время и управляет перебором.

О третьей проблеме нам нечего сказать, кроме того, что она — по-видимому, самая трудная.

Перейдем к описанию распределения времени и управления перебором в действующих программах. В начале выбора очередного хода программа определяет среднее время, которое она может тратить на ход, т. е. делит оставшееся до контроля время на число оставшихся ходов. Результат показывает, сколько отвести на очередной ход. Например, наша программа после 25-го хода в партии планирует именно такое среднее время, а до этого — в полтора раза больше.

Сейчас программа всегда смотрит первую ступень каскада — один полуход и форсированную игру (она может себе это позволить, так как не попадает в безнадежный цейтнот). Затрату времени на просмотр трех ходов следующей ступени каскада она прогнозирует, умножая время обдумывания просмотренной ступени на соответствующие подобранные коэффициенты (они разные для различных ступеней каскада). Если мы заменим младшие ступени каскада информацией от предыдущего хода, то для прогноза аналогичным образом можно использовать информацию о прошлых затратах.

Если такой прогноз не превышает плана затраты, то программа переходит к следующей ступени каскада. В процессе перебора она смотрит, сколько уже потрачено времени на один ход из данной позиции, и считает, что столько же будет потрачено на следующий ход. Если такого количества времени не осталось, она делает выбор из уже просмотренных ходов. Однако начав ступень каскада, она смотрит первые три хода, сколько бы времени это ни заняло. Таким образом, она учитывает один из признаков критичности — рост количества форсированных вариантов и избегает необходимости учитывать, что просмотр одного хода обычно требует больше времени, чем просмотр каждого из остальных.

Конечно, описанный метод распределения времени нуждается в усовершенствовании. В частности, он не обеспечивает использования всего времени, данного программе для работы. Однако способы такого усовершенствования пока неясны.

ТРЕНИРОВКА ШАХМАТНОЙ ПРОГРАММЫ

Конечно, спортивная сторона состязаний шахматных программ должна быть на заднем плане по сравнению с научной, но общий дух XX века не позволяет ею пренебрегать. Кроме того, эти стороны не противоречат одна другой: без участия программы в состязаниях нельзя объективно оценить научную ценность положенных в ее основу принципов, подготовка к последним и анализ сыгранных партий необходимы и в научных целях. Эта деятельность требует заботы программистов, в том числе создания соответствующих частей программы.

Турниры шахматных программ стали уже обычным делом, партии этих турниров много комментируют, используя термины, естественные для комментариев к партиям шахматистов. Если это более или менее понятно, когда речь идет о чисто шахматной стороне, то обсуждение «психологической» и «турнирной» обстановки, в которой проводятся машинные партии, у многих может вызвать возражения. Однако как поступить, если подготовка программы к участию в турнире и подведение итогов ее участия — серьезное дело, не менее важное, чем для шахматистов, и в некоторых существенных отношениях аналогичное тренировочной работе последних.

Правила турниров программ несколько отличаются от правил турниров шахматистов, но многие отличия имеют временный характер. Так, контроль времени — 2 часа на 40 ходов и по 1 часу на каждые следующие 20 (применяемый в состязаниях людей, кроме турниров и матчей высшей категории) — раньше не был абсолютным: можно было иногда останавливать часы программы под предлогом того, что произошла авария с машиной. Сейчас машины стали более надежными, в частности и потому, что развитие линий связи между машинами позволило каждой программе играть на «своей» машине. Поэтому часы останавливаются только в случаях, когда произошла авария на той части линий связи, которую предоставляют организаторы турнира.

Важнее другие отличия. Если программа сделает невозможный ход, то ей засчитывают поражение. Причиной такого хода может быть ошибка в программе, но чаще всего в этом виноват оператор, который ранее передал программе не тот ход, который сделан на доске, и последняя, может быть, уже несколько ходов играет не из тех позиций. Зато тот факт, что фигуры на доске двигают

не сами программы, а тоже операторы, учитывается: правило «тронул — ходи» отменено. Вообще, вопрос о правах и обязанностях операторов очень важен, но плохо разработан, с одной стороны, из-за недостаточного опыта проведения таких турниров, с другой — из-за того, что уже создается электронный судья, который резко изменит их обстановку.

Неоднократно перед организаторами турниров программ ставили вопрос о введении гандикапа в зависимости от быстродействия и других параметров машины, т. е. программе, играющей на лучшей машине, предлагали устанавливать меньший лимит времени. Однако такой гандикап противоречил бы основной цели турниров — демонстрации абсолютной силы шахматных программ, а не выяснению того, какая из них лучше. Поэтому переход на совместимую, но более мощную машину ведет к повышению качества игры.

Чтобы получить представление о проблемах турнирной подготовки программы, мы рассмотрим сначала процедуру внесения в нее изменений. Такое изменение может потребоваться из-за плохой работы какого-нибудь алгоритма, отсутствия в последнем какой-либо части или просто из-за обнаруженной ошибки программиста. После любой корректировки программа становится как бы новой, т. е. неотлаженной (мы уже не говорим о случаях, когда изменения вызваны развитием машинно-ориентированной шахматной теории и имеют более общий характер).

Сначала измененная программа отлаживается на позиции, где были замечены недостатки старой программы, для проверки нового алгоритма в условиях, ради которых он был создан. Потом следует проверка на целом ряде подобных позиций, чтобы, так сказать, выяснить, лечит ли лекарство от болезни: как ведет себя новый алгоритм, всегда ли он включается, когда нужно, сколько тратит времени и т. д. Затем начинается самое трудное — проверка побочных эффектов внесенных изменений. К сожалению, бывает и так, что два алгоритма, хорошие по отдельности, но не лишенные недостатков, вместе работают плохо. Иногда же алгоритм «почему-то» включается не в тех ситуациях на какие рассчитан.

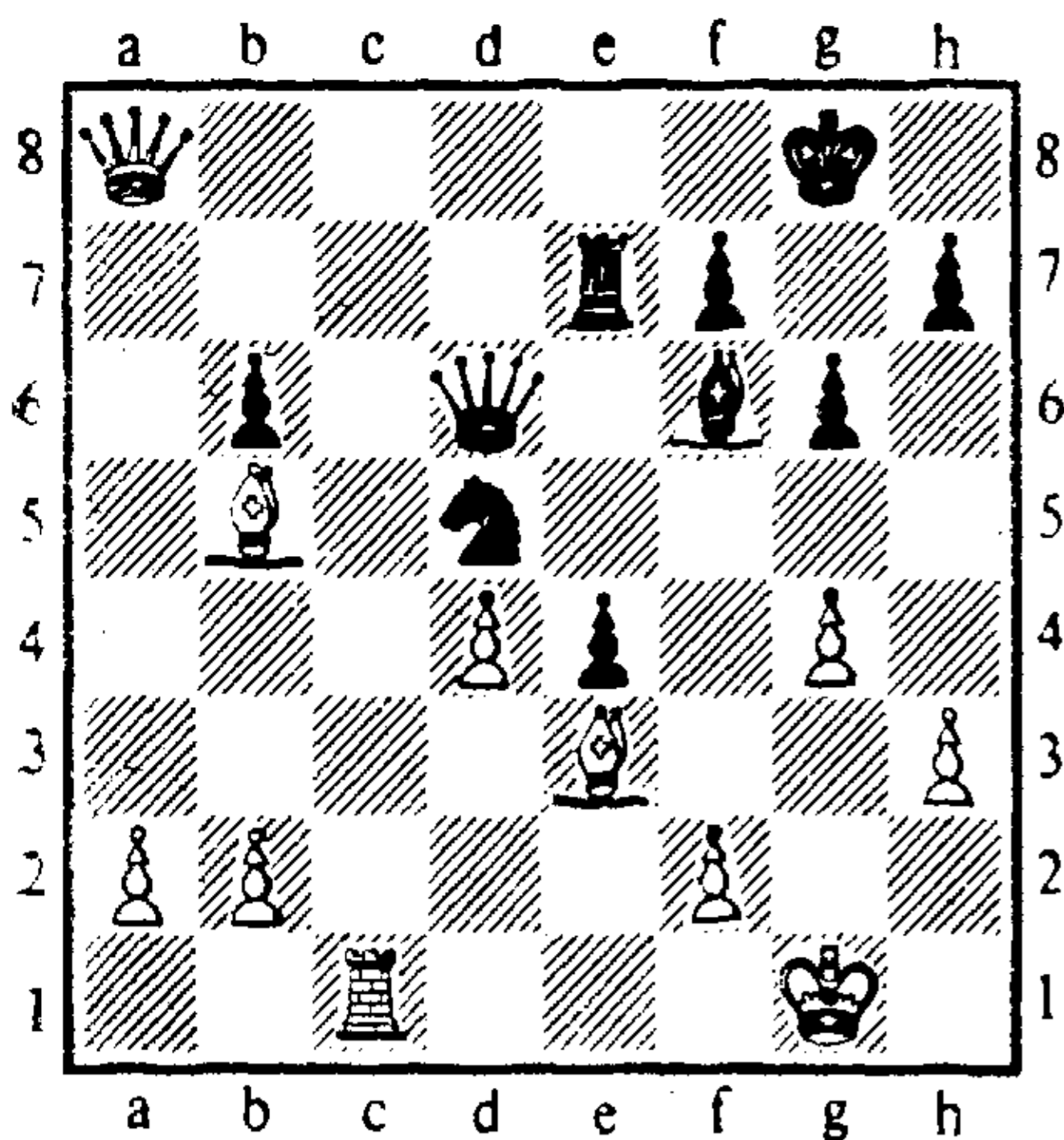
Здесь хотелось бы сделать лирическое отступление о том, что такое отлаженная программа. Принято считать, что она правильно реализует задуманный алгоритм. Однако в теории алгоритмов, наоборот, для определения,

что такое алгоритм, используется понятие программы, и с такими определениями мы попадаем в порочный круг. Выход из него состоит в том, чтобы отказаться от понятия отлаженной программы, постулировав наличие в ней ошибок и определяя отладку программы, как процесс изучения ее поведения, поиска ошибок программиста или неверных представлений о том, что программа должна делать.

Для эвристических программ, т. е. таких, математическое обоснование которых вызывает сомнения (а для игровых в особенности), по существу, нет разницы между неудачным алгоритмом, неверным алгоритмом или ошибкой в программе. Действительно, неверный алгоритм или алгоритм, реализуемый программой с ошибкой, — это тоже эвристический алгоритм — правда, не тот, который имел в виду автор, но ниоткуда не следует, что он хуже задуманного.

Когда-то, давным-давно, еще на машине первого поколения М-2 жила-была программа для игры в подкидного дурака. И не только жила, а еще и неплохо играла. В один прекрасный день авторы ее вдруг обнаружили, что две очень важные подпрограммы записаны в одно и то же место памяти машины (это было в идилические времена, когда программисты распределяли машинную память «своими руками»), и на самом деле работала только одна из них, когда надо и когда не надо. Удивились авторы и решили сделать все правильно: нашли свободное место в памяти (трудно было — ведь память машины была куда меньше, чем сейчас), перенесли туда одну из подпрограмм — ну, думают, вот теперь она заиграет! Аи нет, программа не стала играть лучше. Некоторые утверждали, что даже хуже (но это уже из области эмоций).

Наш опыт показывает, как часто поиск ошибок в программе приводит к признанию ее правоты: просто то, что на первый взгляд кажется ошибкой, при внимательном изучении оказывается необходимым следствием установок программистов, которые они собирались реализовать. Известным примером служит партия «Дачесс» — «Каисса» на Втором чемпионате мира среди шахматных программ в 1977 г. (диаграмма 107). «Каисса» сыграла 34. ...Ле8, отдавая ладью, после чего, естественно, проиграла партию. После часа исследования в поисках ошибки она сумела доказать, что была права, показав в ответ на другие ходы мат при помощи красивой комбинации



107

34. ...Kpg7 35. Фf8+!! Kр:f8
 36. Ch6+ Kpg8 (или
 36. ...Сg7) 37. Лс8+] и мат
 в два хода.

Как же в этих условиях убедиться в правильности внесенных в программу изменений, как отлаживать программу, как проверять ее готовность к турниру? Не удивительно, что треть программы составляют алгоритмы наблюдения, не нужные для выбора хода и вообще игры машины в шахматы.

Они используются для того, чтобы понимать, как и почему программа избирает тот или иной ход, и, естественно, выключаются во время игры в турнирах. Однако без них последняя была бы невозможной.

В шахматной программе есть две управляющие подпрограммы, так называемые мониторы. Один — чтобы после того, как сыграна партия, можно было в точности повторить ситуации при выборе заинтересовавших исследователей ходов. Он работает во время «нормальной» игры и, так сказать, ведет протокол партии, точно фиксируя время на обдумывание, свое и противника. Напомним, что современные шахматные программы думают за время противника и распределяют свое время в зависимости от того, сколько они уже потратили. Значит, точная ситуация зависит от уже затраченного на обдумывание времени.

Кроме того, при выборе очередного хода программы используют информацию, полученную при выборе предыдущего. Первый монитор, естественно, запоминает такую информацию, чтобы при исследовании ситуацию можно было в точности повторить. Как знают все программисты, эта повторяемость абсолютно необходима для отладки программ. Рассматриваемый монитор нужен также для того, чтобы при отладке и подготовке программы к состязанию она могла находиться в обстановке, «максимально приближенной к боевой».

При исследовании работы программы после турнира или при подготовке к нему нужно использовать различные режимы работы. По существу, ведется диалог с ма-

иной. Однако в отличие от ставших привычными диалогов, когда ответы на вопросы уже хранятся в памяти машины или могут быть получены после несложной переработки хранящейся в ней информации, машина должна работать «на всю железку», чтобы суметь ответить на задаваемые вопросы. Поэтому не стоит задавать их с дисплея (оперативное средство диалога — встроенный в машину телевизор) и получать на нем же ответ. Можно ненароком задать глупый вопрос и потерять много машинного времени. Что же касается ответа, то над ним тоже следует подумать, а на дисплее он долго не хранится.

Таким диалогом с машиной управляет второй монитор. Он включает и выключает алгоритмы наблюдения по требованию программиста. Эти требования вводятся в машину с перфокарт, и алгоритмы наблюдения выдают ответ на печать. Наоборот, первый монитор в ходе работы программы выдает на дисплее некоторую заранее определенную информацию: сколько времени уже продумала машина, на какую глубину она смотрит варианты, какой ход из стоящей на доске позиции она смотрит, а в конце работы — какой она выбрала ход. Ну и, разумеется, он печатает краткий протокол, такой, какие шахматисты ведут во время игры в официальных состязаниях.

Сидя у дисплея, можно во время состязания и при отладочной работе наблюдать за ходом перебора в реальное время. В отладочных режимах можно включать и выключать разные подпрограммы, выполняющие определенные функции в процессе перебора, т. е., по существу, менять алгоритм выбора хода. Есть возможность переигрывать одни и те же партии разными вариантами программы, получая по ходу дела разные сведения о процессе выбора хода (далее будет рассказано, какие это сведения). Ведется также архив сыгранных партий. Он хранится на машинных хранителях памяти и, как показала практика, часто нужен. Например, мы широко использовали его при создании этой книги.

Как устроена система алгоритмов наблюдения? Ее можно сравнить с телевизионной камерой, которая может показывать либо всю сцену (для любителей спорта — футбольное поле) общим планом, либо отдельных исполнителей (игроков) — крупным. Общий план — усредненные статистические данные о процессе перебора: количество всех рассмотренных позиций, их число на каждом уровне

дерева перебора, число позиций в подмоделях форсированной игры с разбивкой по уровням и т. д. В качестве крупного плана выступает последовательная информация о всех ходах, сделанных в переборе заданной части дерева — так называемая трасса перебора. Есть также «наплыв» (если продолжать телевизионную аналогию), когда можно получить информацию, обобщенную по части дерева и, постепенно уменьшая эту часть, дойти до трассы перебора.

Кроме того, алгоритмы наблюдения сопровождаются существенными, а также все новые подпрограммы, позволяя получать как статистические данные на больших отрезках перебора об их функционировании, так и единичные сообщения такого рода.

Алгоритмы наблюдения не зависят один от другого и включаются автономно. Однако их сообщения согласованы по формату так, что машинная выдача имеет вид, понятный не только профессиональным программистам. Поэтому ею могут пользоваться шахматисты, знакомые с общими принципами перебора. То же относится и к виду входных сообщений для обоих мониторов. С помощью описанных средств удастся находить подпрограммы, виновные в нежелательных последствиях, и четко выделять ситуации, когда такие последствия выявляются.

Только после такой работы имеет смысл пользоваться обычными средствами отладки больших программ — распечаткой заданных участков памяти и результатов выполнения подпрограмм. Специально для программистов, считающих единственным средством отладки так называемый дамп — распечатку всей памяти в момент проявления ошибки, т. е. своеобразную патологоанатомию в программировании, мы отмечаем, что для отладки шахматной программы дампы почти бесполезны. Во-первых, летальные исходы, когда программа из-за ошибки перестает работать, крайне редки. Во-вторых, если уж они бывают, то совсем не в момент фактической ошибки, а после того, как программа еще некоторое время поработает и «заметет следы» ошибки — обычно так, что их уже не найти.

Наоборот, чтение значительно превышающих по объему все данные трасс перебора совершенно необходимо, хотя является, пожалуй, более трудным занятием. Без него не обойтись, например, при исследовании побочных эффектов, которые бывают трех видов:

1) выбор слабого хода из позиции, где по предварительным соображениям новый алгоритм вообще не должен ничего менять;

2) выбор сильного хода из такой позиции, но по неправильным причинам;

3) увеличение времени выбора хода.

Обнаружить эффекты второго и третьего видов, имея лишь текст партии, нельзя. Найти их причины нельзя, имея лишь общие протокольные и статистические сведения. Поэтому имеет значение не только выдача подробной информации о процессах выбора ходов, но и ее внимательное чтение. Последнее в большой степени зависит от удобства формы выдачи и от того, насколько она не загромождена излишними подробностями. Идеально было бы получать информацию о тех (и только тех) случаях, которые возникли из-за ошибок программы или недостатков алгоритмов. Когда такие ситуации можно предварительно формально описать, как, например, слишком долгий поиск достаточно сильных ходов, можно ставить «ловушки» и сильно сокращать выдачу.

Однако, к сожалению, большинство интересующих нас ситуаций не поддается формализации (по крайней мере, пока). Их приходится «вылавливать», читая десятки метров машинной выдачи, причем не «по диагонали», а внимательно, как доказательства трудной теоремы, которое у тебя не получилось, а в новой журнальной статье опубликовано. Игра стоит свеч — возможность обнаружить слабые места программы на ранней стадии, не допустить их проявления в партиях турниров повышает надежность программы и позволяет быстрее приходить к новым идеям, т. е. нужно и спорту, и науке.

Займемся еще побочными эффектами. Пусть, например, программа часто проигрывала из-за того, что развивала слонов на e3 или d3 (e6 или d6), еще не сделав хода пешкой, которую такой слон блокирует (пример несколько надуманный, выбранный для простоты). Легко запретить такие ходы программе или, что лучше, изменить оценочную функцию, включив в нее признак слона перед центральной пешкой на исходной позиции с большим отрицательным весом. Пусть тем не менее мы вставили в программу запрет. Проверка в позициях, где мы были ею недовольны, блистательно покажет, что она «исправилась». Но когда мы сыграем несколько партий (иногда достаточно и одной), то возникнет позиция, из

которой необходимо сделать запрещенный ход, скажем, для переброски слова на другой фланг, или просто чтобы отступить от нападения пешки.

В более сложных случаях побочный эффект может проявиться нескоро или в такой ситуации, где не очень-то понятно, какой алгоритм отвечает за не понравившийся выбор. Вот тут и начинает работать система наблюдения. Для возможно быстрого обнаружения побочных эффектов (а ведь это важно для науки) и устранения их причин игра программой целых партий, причем преимущественно в состязаниях, — идеальный способ порождения проверочных позиций. Поэтому о наличии таких эффектов можно судить по тому, сколько партий сыграла программа после последнего изменения (чем больше играла программа, тем вероятнее, что ее алгоритмы свободны от необнаруженных побочных эффектов).

Играть партии нужно еще и для того, чтобы оценить эффективность различных алгоритмов и правильность выбранных для них параметров. Собственно говоря, потому игровые программы столь популярны у исследователей проблем искусственного интеллекта, что, не имея возможности теоретически доказать правильность своих идей, они имеют возможность эффективной их проверки в состязаниях. Таким образом, участие программы в турнирах можно рассматривать как заключительную стадию эксперимента, начинающегося с придумывания эвристического алгоритма и кончающегося его проверкой.

Ясно, что чем короче цикл эксперимента, тем больше разных идей и методов можно опробовать. От чего же зависит время одного цикла? Во-первых, от скорости придумывания идей, но не она лимитирует. Все, с кем мы встречались, имеют интересные идеи по улучшению шахматных программ, да и у нас их большой запас (далеко не все идеи, изложенные в книге, реализованы). Во-вторых, от программного обеспечения эксперимента. Если система наблюдения более или менее удовлетворительна, то нам приходится пользоваться самыми трудоемкими системами программирования, потому что надо «выжимать время», т. е. обеспечивать самую быструю реализацию придуманных алгоритмов.

Впрочем, мы бы поступились такими требованиями, если бы существующие методы программирования обеспечивали существенное его ускорение по сравнению с программированием на ассемблере, пропагандируемым таким

авторитетом, как Д. Кнут. Особенно если бы дело обстояло более благополучно с третьей причиной задержки экспериментов — недостаточной мощностью машинного оборудования. Одна и та же программа работает по-разному на разных машинах (об этом мы будем говорить ниже). Зависимость скорости эксперимента от мощности машины имеет своеобразный характер. Если последняя позволяет вести диалог с программой, выполняющей большой перебор, то эффективность эксперимента резко возрастает, так как возникает более правильное соотношение времени работы машины и программиста без машины.

Теперь о надежности программы. Если сыграть партию в шахматы — лучший способ обнаружить ошибку в программе, то ведь турнир — это несколько таких партий и, значит, просто идеальный случай для программы проявить свои ошибки. Тут есть противоречие между научной и спортивной стороной дела. Если взглянуть на турнир, как на генеральный эксперимент, то чем больше недостатков в алгоритмах он выявит, тем лучше, тем яснее, куда двигаться дальше. А если рассматривать его как спортивное состязание, то каждая ошибка может и, скорее всего, будет стоить очка. В качестве первого средства безопасности программа снабжается простеньким алгоритмом, который в летальных случаях (сбой, ошибка в программе или невозможный ход) выдает буквально первый попавшийся правильный ход в позиции. Это позволяет программе продолжать борьбу в партии дальше. Естественно, такая ситуация регистрируется монитором и при домашнем анализе (после турнира) тщательно анализируется.

Поэтому безошибочная игра большого количества партий перед турниром показывает надежность программы и представляет собой основную часть тренировки. Не менее важной частью является подготовка дебютного репертуара программы. Вначале использование дебютной справочной шахматными программами служило двум целям — экономии времени и избавлению от вопиющих дебютных ошибок, характерных для самостоятельной игры большинства программ. Сейчас, когда турниры шахматных программ стали регулярными, добавилась и третья, вполне человеческая, — подготовка к дебютному репертуару противника. «Каисса» в 1974 г. имела новинку в качестве основного дебютного варианта за черных в ответ на

1. e4 — скандинавскую партию и т. д. В 1977 г. американская программа «Дачесс» уже была хорошо подготовлена именно к этому дебютному варианту за белых. В 1980 г. на Третьем чемпионате мира скандинавская партия была едва ли не самым популярным дебютом (заметим, что и шахматисты вернули этому дебюту права на гражданство).

Идеальная дебютная подготовка программы должна достигать еще одну цель — при выходе из дебюта, когда программа сама начинает думать, позиция должна быть ей понятна, т. е. естественные с точки зрения машины ходы должны вести к правильному плану развития. К сожалению, эта задача на сегодняшний день очень сложна.

Наконец, эндшпильная подготовка программы. Время от времени программа не может выиграть очевидный с точки зрения человека эндшпиль не потому, что не видит возможности выигрыша, а потому что видит их слишком много и мечется от одной к другой. Так, при недостаточно глубоком переборе при матовании одинокого короля королем и ладьей программа не может выбрать, к какому именно краю теснить короля соперника (то, что надо теснить к краю, это она понимает). Мы используем три способа во избежание таких ситуаций. Первый — резкое увеличение глубины перебора при малом количестве фигур, второй — изменение эндшпильной и матовой оценочной функции (и ждем в этом случае новых неприятностей). Третий — алгоритм, следящий за троекратным повторением позиции. Этот алгоритм запоминает все позиции по ходу партии, и если позиция, стоящая на доске, уже встречалась в партии, то ходу, который программа сделала в тот раз из этой позиции, приписывается оценка ноль без всякого перебора. Поэтому, когда программа выигрывает, она уклоняется от повторения позиции, а проигрывая, наоборот, стремится к нему. Интересно используют такой же алгоритм авторы программы «Чесс-4». Если в нашей программе оценка за повторение хода постоянно равна нулю, то в «Чесс-4» она вводится непосредственно перед партией. Когда турнирное положение заставляет играть на выигрыш, эта оценка занижается, когда желательна ничья — завышается.

Хотелось бы в этой связи рассказать о роли автора шахматной программы на турнире. Во время турнирной партии правилами запрещается передавать программе что-либо, кроме ходов противника и, в ответ на запрос

программы, показаний шахматных часов. И роль программиста в это время со стороны кажется ролью пассивного наблюдателя, а фактически является психологическим испытанием (вспомним родителей абитуриентов). Единственное, чем реально может в этот момент помочь своей программе автор — это следить за качеством связи терминала, установленного в турнирном зале, с машиной, на которой работает программа. Если же эта связь нарушится, что вызовет необходимость восстановления ситуации, требуется максимально быстро снова привести программу к возможности думать в прерванной позиции.

Другое дело — между партиями. Правилами разрешено вводить в программу любые изменения между партиями, но, как говорил Марк Твен, благоразумие велит этим не пользоваться. Даже если действительно найдена ошибка (что не всегда очевидно в суматошной обстановке анализа после партии), вряд ли повторится ситуация, ее вызвавшая (конечно, если у программы был солидный турнирный опыт, во время которого это ошибка не проявлялась), а вот возможность в следующей же партии наткнуться на побочный эффект в случае неаккуратного исправления очень велика. Мы позволили себе менять во время турнира лишь дебютную справочную по заранее продуманной и проверенной процедуре для подготовки к известному противнику (вставили новую дебютную заготовку в скандинавской партии, но тщетно — противник сыграл d4) да слегка менять алгоритм распределения времени на обдумывание. В качестве скорее психологической меры для самоуспокоения во время последнего турнира мы держали наготове запасную (суперотглаженную, но не такую интересную, как игравшая) версию программы.

КОНСТРУКТОРЫ МАШИН ТОЖЕ ИЗУЧАЮТ ШАХМАТЫ

Чтобы программа играла в шахматы, конечно, необходима машина. «Посторонние» даже чаще говорят «шахматная машина» а, не «шахматная программа». Как правило, первое выражение неверно, поскольку большинство программ использует обычные универсальные машины, на которых можно решать разные задачи. О том, что эти машины будут играть в шахматы, конструкторы их и не думали. Чем быстрее машина, тем глубже она может просматривать варианты в отпущенное на обдумывание время, и, таким образом, одна и та же программа может

демонстрировать разную силу игры на разных по скорости машинах.

С другой стороны, скорость работы программы зависит от умения программиста максимально использовать возможности машины, поэтому шахматные программы обычно пишут на языках, приближенных к кодам машины, — ассемблерах, и при этом используются разные ухищрения для ускорения программы.

Важным моментом для ускорения программы (впрочем, не только шахматной) является выбор способа представления информации. В первых программах, в основном из-за недостаточного объема памяти машин первого поколения, хранилась минимальная необходимая информация для представления шахматной позиции. Например, позиционный список фигур, с указанием, где стоит какая фигура. Однако при таком представлении позиции очень много времени тратится на обработку информации. Оказалось, что определенная избыточность информации ведет к более эффективной ее обработке. Здесь возникает классический для программирования конфликт между требованиями на объем памяти и требованиями на быстродействие программы.

К существенному ускорению процедур преобразования позиций при исполнении хода привел так называемый дифференциальный принцип. Мы проиллюстрируем его на очевидном примере пересчета материальной оценки позиции. Материальная оценка позиции — это сумма весов всех фигур белых минус сумма весов фигур черных. Если программа делает ход из позиции A в позицию B , то она должна вычислить материальную оценку позиции B . Конечно, можно просуммировать веса всех фигур, но это займет заметное время. Дифференциальный принцип состоит в том, что в качестве материальной оценки позиции B берется материальная оценка позиции A . Если ход из A в B — не взятие, то оценка правильна. Если же он — взятие, то нужно оценку соответствующим образом откорректировать.

Этот же дифференциальный принцип применяется для переделки всей информации о позиции. Таким образом, избыточность этой информации не ведет к потере времени на ее вычисление.

Другим важным способом ускорения является выделение части информации, не зависящей от текущей позиции, в специальную область, чтобы тем самым уменьшить

объем информации о позиции. К такой не зависящей от позиции информации относится состав фигур на доске, если к шахматным фигурам добавить «призраки» — фигуры, в которые превращаются съеденные фигуры.

Самыми трудоемкими подпрограммами, связанными с шахматными правилами, являются подпрограммы порождения ходов (генератор) и исполнения хода (исполнитель). Генератор ходов определяет по заданной позиции и схеме перебора, какие ходы нужно рассматривать в этой позиции. Исполнитель хода строит информацию о позиции, возникающей из данной после заданного хода. Эти подпрограммы вместе с подпрограммой, вычисляющей статическую оценку, являются основой шахматных знаний программы. Скорость работы этих трех подпрограмм и определяет скорость работы шахматной программы в целом.

Шахматы как игра возникли очень давно, когда вычислительных машин и в помине не было. Тем не менее некоторые правила шахмат удивительно приспособлены к программированию, например шахматная доска имеет очень удобный для программистов размер $64=2^6$. Некоторые, но далеко не все. Очень неприятны правила движения дальнобойных фигур — слона, ладьи и ферзя, не говоря уже о правилах, доставляющих неудобство и людям, — рокировке, превращении и, в особенности, взятии на проходе. Если пешка, конь или король могут двинуться только на одно поле в заданном направлении, то для дальнобойных фигур приходится определять возможные ходы в цикле.

Все это ведет к потере скорости работы программы. Но если мы не можем (да и не хотим) менять правила игры в шахматы, то ведь изменить вычислительные машины вполне возможно. Например, можно добавить команды для определения допустимых ходов дальнобойных фигур по заданному направлению, или, как мы говорим, команды для построения лучей на доске, заполненной фигурами. С точки зрения конструкторов вычислительных машин это несложно (только никому, кроме авторов шахматных программ, не нужно). Так, система команд машины М-20, на которой играла шахматная программа ИТЭФ АН СССР, выигрывшая матч у американской шахматной программы в 1967 г., была дополнена такими командами*. Однако в те времена создание и переделка

* Конструкции А. С. Кривоорода и Н. И. Бессонова.

вычислительных машин были трудоемкими и эта практика распространения не получила.

Следующая попытка сделать специальную вычислительную машину для игры в шахматы относится к 1975 г.*, когда стало возможным использовать системы автоматизированного проектирования, т. е. включить вычислительную машину в процесс проектирования такого шахматного устройства. Логическая схема этого устройства (создатели назвали его «Хеопс») также отражала геометрию шахматной доски, заполненной фигурами, но, кроме того, была дополнена спецификой именно шахматных программ. Для этого устройства генератор ходов — уже не подпрограмма, а одна быстро выполняемая команда. Так же дело обстоит и с исполнителем хода.

Для избежания трудностей, связанных с построением общего математического обеспечения для этого устройства, оно работает как приставка к ЭВМ PDP-11, таким образом все операции ввода—вывода обслуживаются стандартным обеспечением этой ЭВМ. На PDP-11 также реализованы переборные алгоритмы.

Следует отметить, что работа по созданию «Хеопса» была предпринята не с целью ускорения конкретной шахматной программы, а с одной стороны, как попытка создать стандартное базовое устройство для разработчиков шахматных программ, с другой — для демонстрации возможностей системы автоматизированного проектирования, которая позволила за относительно короткий срок (1 год) создать уникальный шахматный процессор.

В этом же русле лежит создание шахматной системы «Белл», объединяющей шахматную программу и два специальных устройства, обеспечивающих быстрое выполнение трудоемких с точки зрения универсальных ЭВМ операций. Кроме генератора и исполнителя ходов, этим устройством обеспечивается еще и быстрая реализация переборной схемы.

Система «Белл» интересна по двум причинам. Во-первых, это единственный известный случай параллельной разработки шахматной программы и вычислительной машины для нее. Во-вторых, «Белл» показывает удивительные спортивные результаты. После победы в чемпионате

* См.: *Moussouris J., Halloway J., Greenblatt R. Cheops: A chess oriented processing system.* — In: *Machine Intelligence / Ed. J. E. Hayes et al.: John Wiley a. Sons, 1979, vol. 9, p. 351—360.*

мира среди шахматных программ 1980 г. «Белл» официально выполнил норму шахматного мастера. Конечно, эти спортивные результаты являются следствием высокой скорости работы системы. Так, все остальные программы осуществляют при нормальном для турниров шахматных программ контроле времени 2 часа на 40 ходов перебор по шенноновской схеме на глубину 5—6, изредка 7 полуходов, а «Белл» устойчиво перебирает на глубину 8 полуходов*.

Достижения электроники используются шахматными программистами не только для усиления шахматных программ, но и для их популяризации. Сейчас бурно развивается индустрия игровых автоматов (не путать с игральными!) для игры в интеллектуальные игры — шахматы, шашки, бридж, нарды и др. Эти автоматы представляют собой стандартные микрокомпьютеры, в которые запаяны игровые программы. Создание таких программ имеет специфические сложности, в основном из-за ограниченности оперативной памяти, и требует высокого уровня программирования. Иногда при этом рождаются интересные идеи. Некоторые авторы микропрограмм отказались от позиционной оценки в глубине вариантов. Все ходы из данной позиции упорядочиваются по оценке непосредственно следующих из них позиций и потом из них выбирается первый не проигрывающий по материалу ход. На первый взгляд такая схема должна играть существенно хуже шенноновской. Однако практика показывает, что в позиционной игре такая схема ничем не хуже, а проигрывают микрокомпьютеры большим машинам из-за меньшей глубины перебора.

Наряду с популяризацией шахматных программ, шахматные автоматы популяризуют микроЭВМ, да и вообще вычислительную технику. Через них широкая публика впервые знакомится с вычислительными машинами. Большая часть микроЭВМ, поступающих в продажу (если не считать калькуляторы и ручные часы), — это игровые

* В этой связи интересно взглянуть на график, показывающий, что зависимость силы игры программы от объема производимого ею перебора носит логарифмический характер. Из этого же графика следует, что через 10 лет, если не упадут темпы ускорения шахматных программ, программы будут играть в силу лучших шахматистов. См.: *Nemborn Monroe Recent Progress in Computer Chess. — Advances in Computers, 1979, vol. 18, p. 59—117.*

автоматы. Готовящиеся сейчас к выпуску программируемые микроЭВМ для бытового пользования имеют в стандартном обеспечении игровые программы.

Игровые автоматы породили также целый набор технических средств для того, чтобы сделать общение с машиной проще и привлекательнее. Первые автоматы по способу обмена информацией очень напоминали калькуляторы, только вместо чисел вводились и выводились шахматные ходы. Это требовало от играющего с автоматом человека умения быстро (ведь время обдумывания учитывается!) набирать ходы на клавишах.

Сначала игровые автоматы научились говорить. Параллельно с выводом хода на табло, синтезируется произношение этого хода (такая синтезация использовалась с самого появления машин — машины играли музыку, произносили фразы и т. д.). Включение такой возможности в игровые автоматы сделало их более привлекательными, но основной трудности — специальной подготовленности партнера машины — не преодолело.

Эта проблема была решена с изобретением специальной шахматной доски, автоматически читающей ход противника по передвижению фигуры на доске. Осуществляется это с помощью магнитов, помещенных под каждое поле доски и регистрирующих появление и исчезновение фигур на доске. Заметим, что при этом не требуется различать фигуры, поскольку начальная позиция фиксирована, а каждый ход — это перемещение фигуры, т. е. какую фигуру сняли с поля, откуда сделан ход, ту фигуру и поставили на поле, куда он сделан. Таким образом, для передачи хода машине не требуется никакой специальной подготовки и даже не требуется знать шахматную нотацию (а только правила самой игры).

Столь же просто реализуется передача ходов от машины человеку. В углу каждого поля этой специальной доски помещена маленькая лампочка. Когда машина придумает ход, она сначала зажигает лампочку на поле «откуда», а когда фигура с этого поля снята — лампочку на поле «куда». Очень важным обстоятельством является исключение таким образом случайных ошибок человека, характерных для игры с первыми автоматами. В основном они заключались в том, что человек в пылу борьбы на доске делал не тот ход, который машина указывала на табло, и в дальнейшем он и машина разыгрывали разные позиции. Иногда такая игра продолжалась несколько хо-

дов, прежде чем обнаруживалась ошибка, и удовольствие от игры, конечно же, терялось.

Еще более остро проблема случайных ошибок человека стоит во время турниров шахматных программ. Каждую программу на таком турнире представляет оператор. Он передает ходы, сделанные противником, машине, передвигает фигуры на доске, согласно выданному его машиной ходу, и переключает шахматные часы. Со стороны все выглядит так, будто операторы играют в нормальном человеческом турнире, используя машины в качестве подсказчиков. После окончания партии судьи проверяют, совпадают ли сделанные на доске ходы с теми, что выдавала машина. Однако вполне возможно (и не раз бывало в турнирах), что оператор случайно сделает (или передаст) неверный ход — и тогда возникает ситуация, когда программы будут играть разные партии. Кроме того, оператор (особенно, если он не имеет турнирного опыта) может забыть перевести шахматные часы, и его программе будет засчитано поражение. Существуют довольно сложные правила на этот счет, которые все время дополняются и изменяются.

На помощь машинам и тут должна прийти машина. Уже заканчивается создание электронного судьи для турниров шахматных программ. Это будет машина, связанная со всеми машинами, участвующими в турнире. Она будет проверять правильность передаваемых программами ходов, считать время, затраченное на обдумывание каждой программой, передавать ответы противника. Все это исключит человека из турнира шахматных программ и тем самым уменьшит возможность случайных ошибок, столь свойственных людям. С другой стороны, ускорится процесс передачи хода от одной программы к другой, занимающий сейчас около 5% игрового времени на турнирах шахматных программ.

Неизвестно, как отнесутся к такому предложению шахматисты, но электронный судья (наряду с обычным, а не вместо него) был бы кстати и на обычных шахматных турнирах. На Московском международном турнире 1980 г. всем понравилась электронная шахматная доска, которая позволяла немедленно переносить ходы на демонстрационную доску, автоматически записывать партию и регистрировать время на обдумывание.

В заключение хотелось бы поговорить о перспективах усиления шахматных программ за счет использования бо-

лее мощной вычислительной техники. Что можно использовать в дальнейшем? Скорость вычислительных машин уже существенно не увеличится. Специальные шахматные машины уже построены. Куда же идти дальше?

Этот вопрос стоит, естественно, не только перед создателями шахматных программ. Есть много задач, которые сейчас решаются не до конца или вообще не решаются на машинах из-за их ограниченной мощности. Ответом на этот вопрос является решение таких задач одновременно на нескольких машинах (использовать машины примерно так же, как лошадей в тройке). Таким образом возникает система машин, параллельно решающих одну и ту же задачу. Проблема в том, как распределить процесс решения задачи на эти параллельные машины. Кроме обычных трудностей, связанных с применением нового, здесь кроется и психологическая трудность. Люди мыслят (или думают, что мыслят) последовательно, и представить себе параллельный процесс решения задачи, по крайней мере, непривычно.

Уже появилась область теории программирования, в которой исследуются параллельные алгоритмы, но параллельные алгоритмы перебора — это пока терра инкогнита. Первая мысль, которая приходит в голову, — распределить ходы между машинами поровну и, когда каждая машина выберет лучший ход среди своих, сравнить эти ходы и выбрать самый лучший. На первый взгляд такой перебор будет во столько раз быстрее перебора на одной машине, сколько у нас машин. Однако это не так, поскольку при последовательном переборе существенно используется информация об уже проведенной части перебора. В итоге время перебора первого хода составляет в большинстве случаев больше половины всего времени перебора. Таким образом, все машины закончат работу и будут ждать ту, которой достанется первый ход. И уж, конечно, нельзя рассчитывать, что добавление новых машин в эту работу даст хоть какое-нибудь ускорение.

Существенно бы ускорило дело, если бы каждая машина, получив новую информацию, сообщала бы об этом всем остальным. Тогда в отличие от последовательного перебора, когда используется информация о переборе предыдущих ходов, можно было бы использовать информацию о переборе следующих и, быть может, общая картина изменилась бы. В этом тоже есть одна неприятность. По привычке мы пренебрегаем временем на передачу этой

информации, поскольку в одной машине такая передача, и правда, мгновенна. Но обмен информацией между машинами — вещь, гораздо более сложная. Одна машина должна быть готова к передаче данных, другая — к их приему, все это немного напоминает установление связи между радиолюбителями и, безусловно, требует большого времени. Можно выделить одну машину-почтальона, которая бы принимала сообщения от всех других машин и передавала бы их по назначению, а прямой обмен между машинами запретить. Но такое решение, сокращая время на передачу данных, делает скорость машины-почтальона существенным ограничением скорости работы всей системы.

Был предложен метод двоичного распараллеливания*, когда одновременно рассматриваются только два хода и два ответа на каждый ход и т. д., т. е. если есть 2^k машин, то деление пополам идет на всех уровнях до глубины k . Обмениваются информацией при этом методе только машины, перебирающие два соседних хода, и не требуется централизованного обмена информацией. Этот метод эффективнее предыдущего, тем не менее скорость работы такой системы машин далеко не пропорциональна их числу.

Еще один способ использовать сразу много машин — закрепить за каждой свою функцию (например, одна машина генерирует ходы, другая их делает, третья вычисляет оценку позиций), а перебор вести по-старому — последовательно. Таким образом обмен информацией между машинами сводится к минимуму, и есть надежда существенно ускорить перебор.

Наконец, можно закрепить за каждой машиной свое поле шахматной доски. Это может оказаться очень выгодным, поскольку изменение состояний полей доски в зависимости от других полей происходит крайне редко (только при работе исполнителя хода).

* См.: *Marsland T. A., Campbell M. S., Rivera A. L. Parallel Search of Game Trees: Technical Report TR80-7 / Department of Computing Science. The University of Alberta, Canada. Edmonton, 1980.*

Глава VI

ВАШ ХОД, МАШИНА!

Машины играют в шахматы уже около 20 лет. Если первые программы создавались усилиями энтузиастов-одиночек, то сейчас в мире насчитывается более сотни действующих программ, проведено три чемпионата мира среди ЭВМ, создана Международная ассоциация шахматного программирования (ИССА). Машины сыграли множество партий как между собой, так и против человека. Ниже мы прокомментируем несколько таких партий, что даст возможность ближе ознакомиться с особенностями машинной игры.

ПЕРВЫЕ ШАГИ

Приводимая ниже партия — не из самых первых, но беспомощность первых программ она иллюстрирует хорошо. Партия была сыграна в матче до телеграфу в 1967 г. между советской и американской программами. Советская программа использовала полнопереборную схему с глубиной расчета три полухода и последующим форсированным вариантом. Американская пускала в перебор только небольшое количество разумных с ее точки зрения ходов, что позволяло ей считать на большую глубину.

США — СССР (2-я партия матча)

1. e4 Kf6 2. e5 Kd5 3. Kf3 e6 4. Cb5 a6.

В то время еще не были разработаны дебютные справочные, и машины «творили» с первого хода.

5 Ca4 b5 6. Cb3 Cb4.

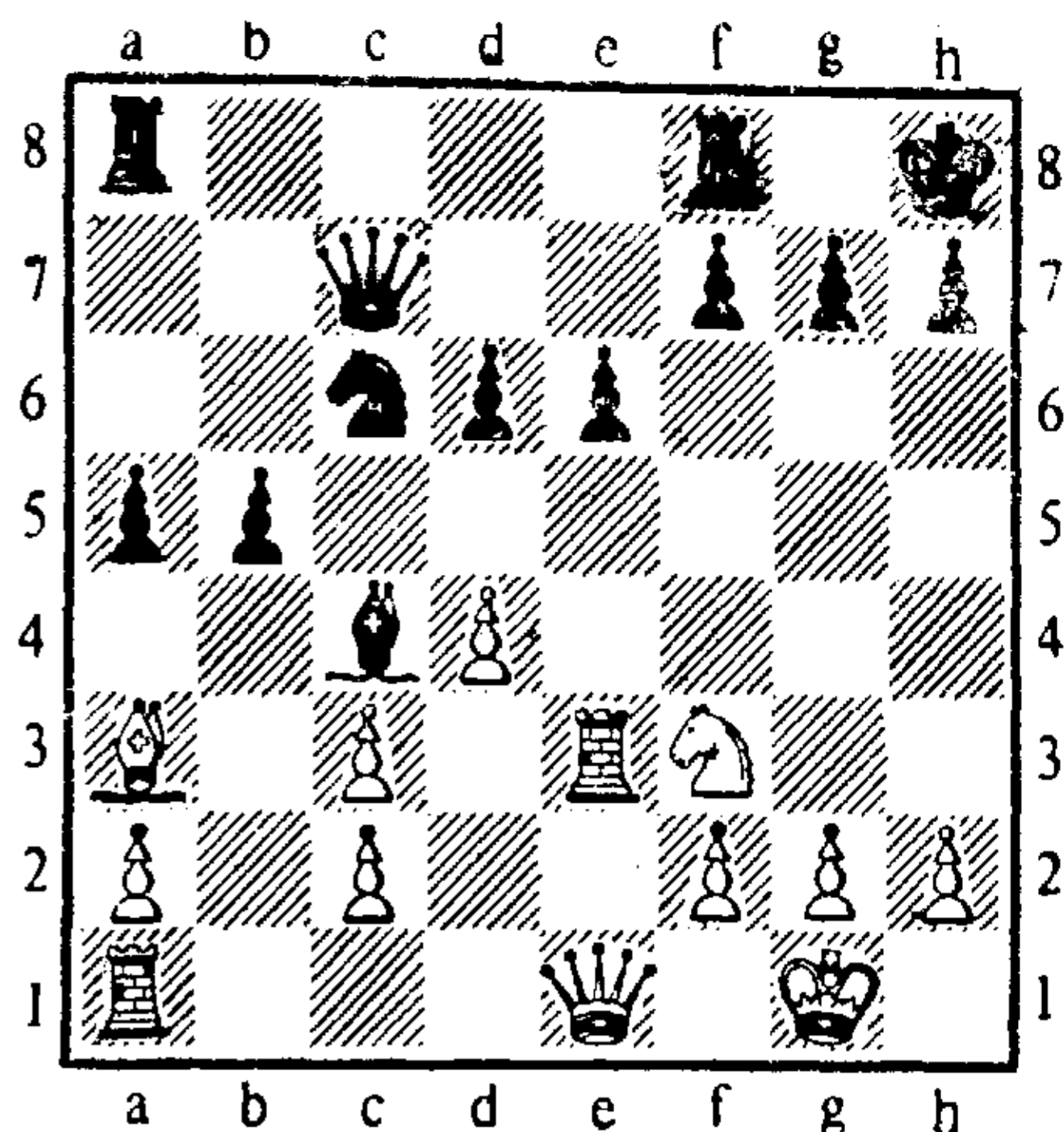
Типичный случай позиционной ошибки из-за малой глубины расчета. Черные развиваются и предупреждают важный для белых ход 7. d4, не замечая, что после 6. ...Cb4 7. c3 Cc5 (три полухода кончились!) белые все-таки играют 8. d4.

7. Kc3 Kf4 8. 0—0 Cb7 9. d4 C:c3 10. bc Kd5
11. C:d5 C:d5

12. Ca3 d6 13. ed.

Наша программа сочла ход 13. ed очень слабым. Оценка позиции, с точки зрения машины, резко изменилась в ее пользу. Действительно, белые обменяли свою центральную пешку e5 на пешку c7 и открыли противнику линию c, на которой у них зияют слабости.

13. ...cd 14. Лe1 Кс6
 15. Лe3 0—0 16. Фе2 Сс4
 17. Фе1 Фс7 18. Сb4 а5
 19. Са3 Крh8 (диаграмма 108).



108

Черные собираются играть
 20. ...f5, что сразу не про-
 ходило (по их расчетам) из-
 за ответа Л:e6. На самом
 деле вариант 19. ...f5
 20. Л:e6 b4! оставлял чер-
 ных с материальным переве-
 сом, но для этого требовался
 шестиполуходовый расчет.

20. Кg5 h6 21. Ке4 Лfd8 22. К:d6.

У американской программы шкала ценностей фигур
 такова, что ладья с пешкой приравнивается к двум лег-
 ким фигурам. Наша же программа считает, что в резуль-
 тате этой разменной операции белые остаются без пешки.

22. ...Л:d6 23. С:d6 Ф:d6 24. а3 Ке7 25. Лe5 Кс6.

Предок «Каиссы» еще не следил за повторением по-
 зиции, и после 26. Лe3 могла возникнуть ничья.

26. Лс5 e5 27. Фе4 Лаб.

Только теперь машина видит, что в ответ на 27. ...Лс8
 последует 28. а4. На протяжении ближайших ходов, судя
 по оценкам, даваемым нашей программой, ее позиция
 быстро ухудшается. Здесь мы имеем как раз тот случай,
 когда стратегия далекого просмотра небольшого числа
 ходов имеет преимущество перед коротким полным пере-
 бором. Ходы белых Лс5, Фе4, а4 должны входить в лю-
 бую разумно отбираемую группу ходов, в то время как
 черные никакими хитростями не могут помешать планам
 противника.

28. Лd1 g6 29. Лd2 g5.

Грозило 30. Фе3 с выигрышем пешки, однако лучше
 было 29. ...Крh7.

30. Лd1 а4 31. Лd2 f6?

Усилить такую позицию трудно и человеку. Во всяком
 случае для этого нужно разработать многоходовый план.
 Если белые стоят на месте, то возможна, например, сле-
 дующая последовательность ходов за черных: Крг7, f6,
 Лb6, Сf7 и т. д. Не имея плана, черные делают очень
 слабый ход. Они видели, конечно, ответ 32. Фg6, но счи-

тали, что после 32. ...Фf8 у них все благополучно. Шахматист никогда бы не закончил анализа варианта на такой позиции, разве что сочтя ее неприемлемой. Действительно, после 33. de! черным плохо.

32. Фе3 ed 33. cd Ке7 34. Фg3 Ф:g3 35. hg.

На 35. fg машина собиралась играть 35. ...Ле6, и если 36. g4, то 36. ...f5, избавляясь от слабой пешки. Включение на конце расчетной ветки подпрограммы «ФВ» (форсированный вариант) позволило ей увидеть, что после 37. gf К:f5 нельзя пойти 38. Л:f5 из-за 38. ...Ле1+ 39. Кpf2 Лf1+ и 40. ...Л:f5.

35. ...Кd5 36. Лс8+ Крh7 37. Лf8 b4! 38. ab К:b4 39. с3 Кd5 40. Лс8.

Партии матча игрались только до 40-го хода, а дальше присуждались. Шахматист легко бы выиграл эту позицию черными, но, учитывая слабую игру машины, было решено считать партию закончившейся вничью.

ПСИХОЛОГИЯ МАШИННОЙ ИГРЫ

Машина и психология. Какая может быть между ними связь? Однако наблюдая за игрой машины, трудно отделаться от впечатления, что она испытывает определенные эмоции, а некоторые ходы делает из психологических соображений. Шахматисты, играя с машиной, даже пытаются учитывать «машинную психологию».

В этом плане представляют интерес приводимые ниже партии. В первой из них «Каисса» играла черными с любителем среднего уровня, но после первых семи ходов партию белых взялся продолжать кандидат в мастера с намерением немедленно расправиться с машиной. Вот что из этого вышло...

Человек — «Каисса»

1. d4 Кf6 2. с4 с5 3. е3 cd 4. ed d5 5. Кс3 Кс6 6. Кf3 Cf5 7. Се2 dc 8. С:c4 Фа5 9. 0—0 е6 10. d5?!

Белые хотят «запутать» машину в осложнениях, но при этом сами не все аккуратно просчитывают, надеясь, что кривая вывезет.

10. ...0—0—0 11. Cd2 ed! (диаграмма 109).

Человек не учел, что как раз машину-то на испуг не возьмешь, она «железная» и не боится призраков. Намеченный ход 12. К:d5, оказывается, проигрывает из-за

12. ...Л:d5 13. С:a5 Л:d1 и
14. ...К:a5, и черные оста-
ются с материальным пере-
весом.

12. Сb5? d4!

Белым надо было сми-
риться с потерей пешки и
начать играть в «правиль-
ные шахматы», теперь же
они теряют фигуру.

13. С:c6 dc 14. С:b7+
Кр:b7 15. Фb3+ Фb6
16. Ф:c3 Сс5 17. b4.

Опять неточность. При
фёрзях у белых было больше шансов на благополучный
исход партии.

17. ...Cd4 18. К:d4 Ф:d4 19. Ф:d4 Л:d4 20. Сс3 Лd5
21. Лfe1 Ле8 22. Л:e8 К:e8 23. f3 Лd3 24. Лс1 g5.

А здесь уже белым, чтобы спастись, недостаточно хо-
рошо играть в шахматы. Спасти может только знание
слабых сторон машинной игры.

25. Кpf2 Кс7 26. Се1 Ла3 27. Лс5 Л:a2+
28. Кpg3 Сg6 29. Л:g5 Ле2 30. Cf2 f5 31. f4 Кd5
32. Сс5 Лb2 33. h4 Лb3+ 34. Кph2 К:f4 35. Cd6 Кd5.

Ход 35. ...Ке6 форсировал размен ладей, но в ран-
ней версии программы, которая вела эту партию, еще
не были предусмотрены размены при материальном пере-
весе.

36. h5 Се8 37. Л:f5 Крс6 38. Сс5 a5! 39. Ле5 Cf7
40. Лf5 Се8 41. Ле5 ab.

А вот насчет повторения позиции машина уже пони-
мает.

42. Cd4 Лd3 43. Са1 Ке3 44. Л:e8 Кg4+.

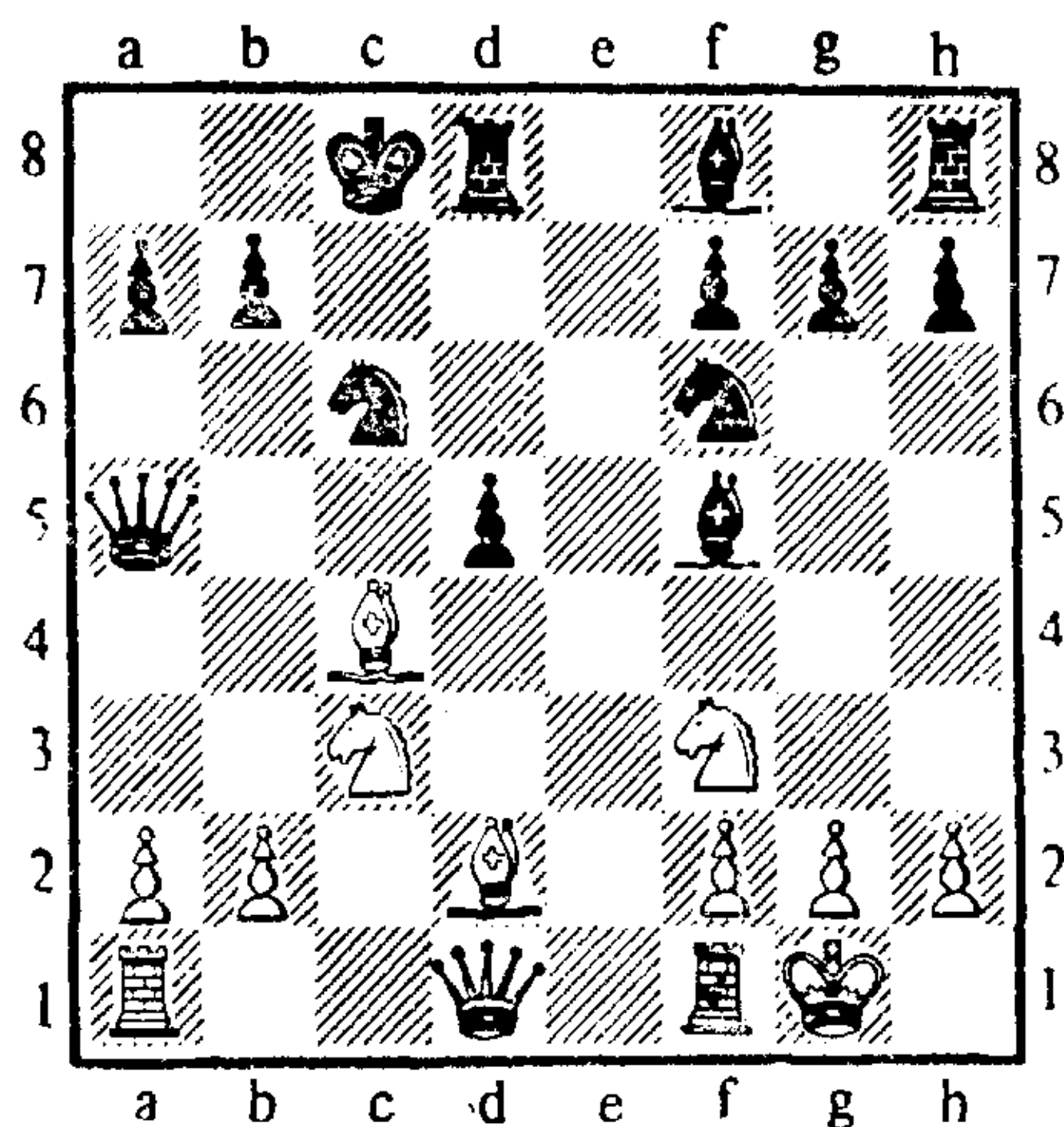
Просто так машина фигур не отдает...

45. Кpg1 Лd1+ 46. Ле1.

Людам за ход до мата сдаются, но здесь — последняя
надежда: «А вдруг короткое замыкание?!».

46. ...Л:e1X! — Увы!

Следующая партия была сыграна в турнире второго
разряда, где играли школьники. Ее трудно определить
иначе, как партия с детективным сюжетом, настолько
остры и неожиданны были возникавшие в ней пере-
петы. Но если машина реагировала на все холодно, то
нервная система человека, наверняка, испытывала зна-



109

чительные перегрузки. Надо сказать, к чести школьника, что к концу партии он все же проникся машинным образом мышления и совершил, казалось бы, невозможное...

«Каисса» — школьник

1. e4 e6 2. d4 a6 (?).

Черные сознательно делают не лучший ход, чтобы выбить машину из дебютной справочной. Определенный резон в этом есть, но и человеку теперь придется преодолевать дополнительные трудности.

3. Kf3 d5 4. Kc3 Cb4 5. Cd3.

После 5. e5 возникла известная позиция с лишним темпом у белых (сделан ход Kf3), и черным было бы непросто уравнивать игру. Ход, избранный «Каиссой», тоже сохраняет перевес. Для машины он более естествен, так как белые развили фигуру и готовят рокировку.

5. ...Kf6 6. Cg5 de 7. C:e4 h6 8. C:f6 Ф:f6
9. 0—0 0—0 10. Фd3 Лd8 11. Ch7+ (!?)

Белые первыми завершили развитие и ходом в партии начинают оригинальную и рискованную операцию.

11. ...Kph8 12. Ke4 Фе7 13. Ke5!

Теперь нельзя пойти 13. ...Kp:h7 из-за 14. Kf6++ с матом. В то же время белые создали угрозу 14. Cg6 Лf8 15. C:f7! Для ее отражения черные обязаны напасть на коня e5.

13. ...Cd6 14. K:d6.

Ход 14. f4 не понравился белым из-за 14. ...C:e5 15. fe Kc6.

14. ...cd 15. Kc4 g6 (?)

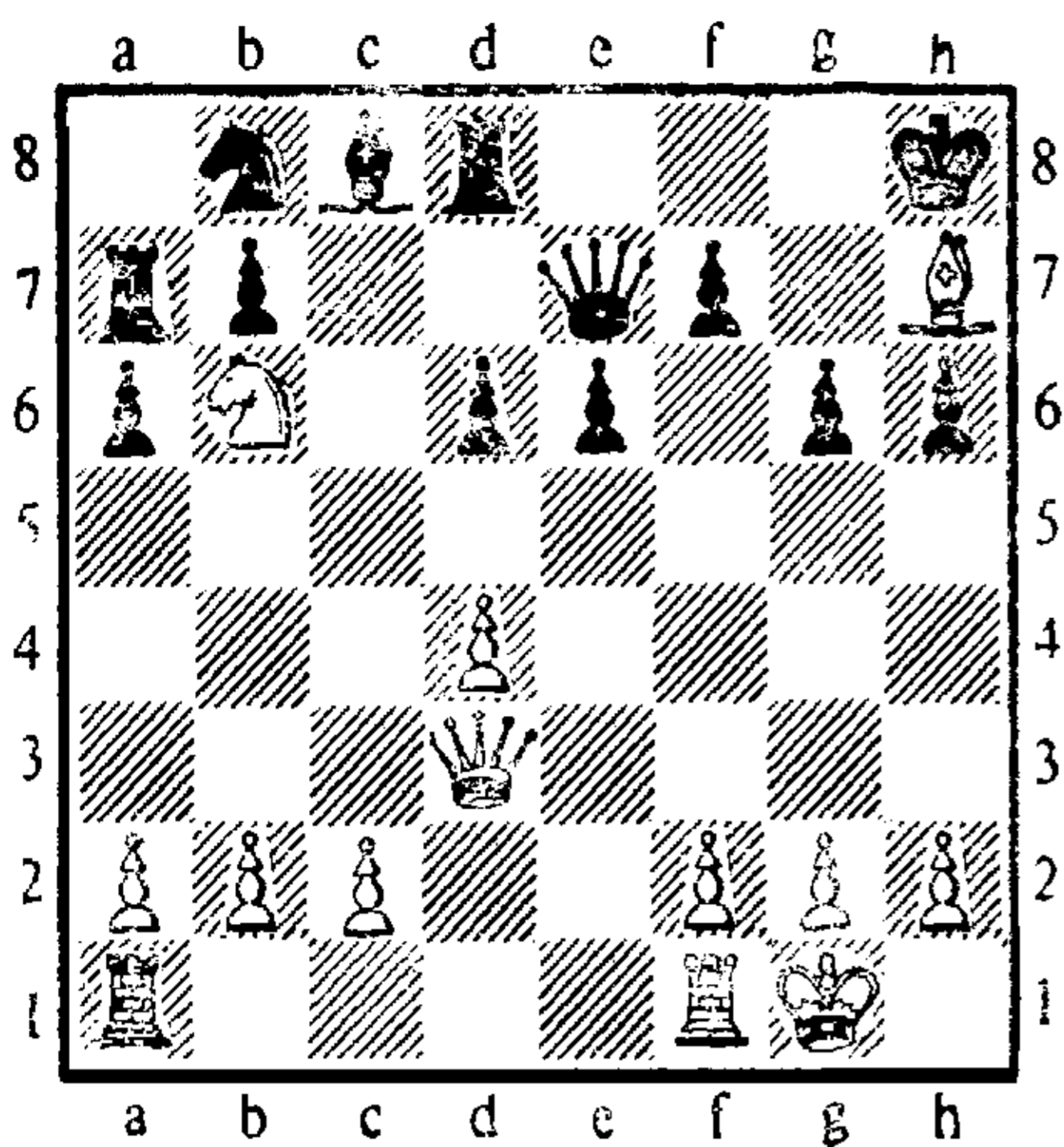
Застрявший на h7 слон стал причиной серьезных трудностей для белых. После правильного 15. ...Kd7! 16. Лаe1 d5 17. Ke5 Kf8! 18. Cf5 ef 19. Kg6+ (или 19. Kc6 Фd6) K:g6 20. Л:e7 K:e7 у черных легко выигранная позиция. Однако в этот момент, решив, что партия уже сделана, черные начали играть поверхностно, явно недооценив тактические возможности машины.

16. Kb6 Ла7 (диаграмма 110).

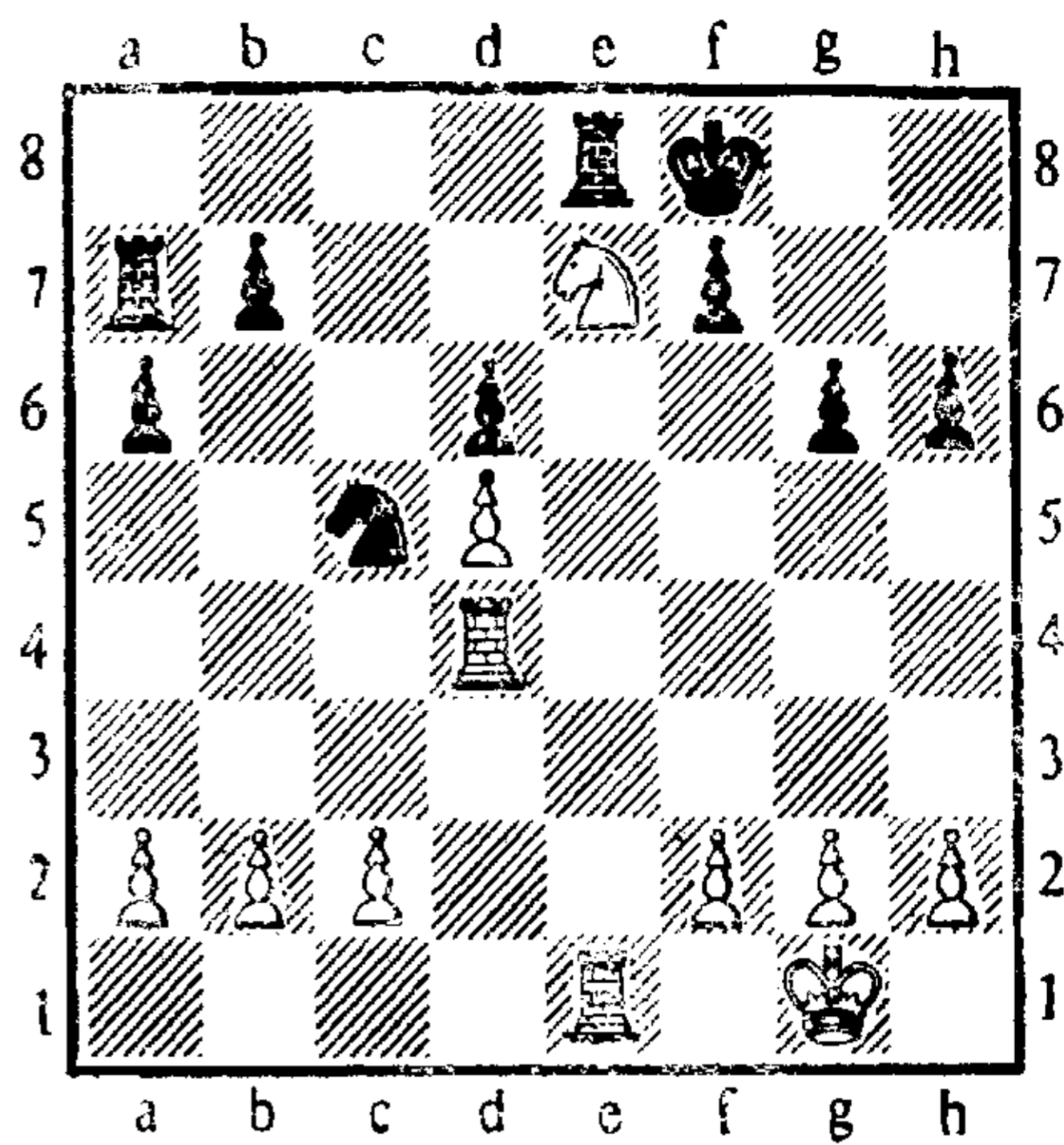
17. d5!!

Никто из наблюдавших за партией не понимал смысла этого хода. Почему «Каисса» так безвольно отдает слона вместо очевидного 17. C:g6? Не понимая этого и противник, тут же взявший фигуру.

17. ...Kp:h7 18. Фd4!



110



111

Тихий ход, после которого фигура отыгрывается. Заметим теперь, вернувшись на ход назад, что ничего лучшего, чем 17. ...Кр:h7, у черных уже не было (если 17. ...e5, то 18. Фе3!).

Растерявшись от неожиданного поворота событий, черные не находят сильнейшего в позиции хода 18. ...Кс6!, который «Каисса» видела, еще играя 17. d5. В этом случае у черных оставалась лишняя пешка в тяжелофигурном эндшпиле.

18. ...e5 19. К:c8 ed 20. К:e7 Кpg7.

Любопытный момент: второй раз в этой партии белой фигуре отрезаны поля отступления, и второй раз черные льстят себя надеждой... Деплассированная фигура — действительно большой минус в позиции. Перспективы у нее невеселые: либо выживет, либо погибнет. Но главное, она требует постоянного внимания и сковывает возможности своих фигур.

На 19-м ходу у «Каиссы» был выбор: сыграть 19. Фе3, оставаясь без пешки после 19. ...Кс6!, или, как в партии, получить «стреноженного» коня. В общем виде подобный вопрос, конечно же, не решается. Можно только отметить, что чем ближе к концу варианта возникает деплассированная фигура, тем опаснее ситуация для соответствующей стороны.

21. Лfe1 Кpf8 22. Ле4 Кd7 23. Лae1 Кс5?

Черные опять торопят события и попадают в беду. После правильного хода 23. ...Лаа8! они могли бы выиграть коня. Действительно, считая на пять полуходов вперед, «Каисса» сочла бы безопасным для себя вариант

24. Л:d4 Ле8 25. Лde4 Кf6 26. Л4е3 (26. Лf4? Л:e7!),
в котором она даже выигрывает пешку. Однако после
26. ...Лad8 у белых нет возможности помешать ходу
27. ...Лd7 (27. Кpf1 Лd7 28. Лf3 Лd:e7!)

24. Л:d4 Ле8? (диаграмма 111).

25. К:g6+!

Черные в нокдауне... Если первая охота (на слона) закончилась для них сравнительно благополучно (ничего не выиграли), то на этот раз они сами теряют качество и пешку. Воистину, неумелый охотник сам становится дичью!

25. ...fg 26. Лf4+ Кpg7 27. Л:e8 b5 28. a3?

Весьма прискорбный факт: при пятиполуходовом переборе оценочная функция не смогла побудить белых к более полезному ходу!

28. ...Лс7 29. Лf3 Ка4 30. b3 Л:c2!

Почему машина проиграла пешку? Вот, что она считала перед своим тридцатым ходом: 1. b3 Л:c2 2. Ле7+ (2. ba? Лс1+!) Кpg8 3. Ле8+ (кончились пять полуходов — начинается форсированный вариант) Кpg7 4. Ле7+ Кpg8 5. ba! и у черных «нет» хода 5. ...Лс1+, поскольку шахи на большой глубине запрещены. Так иногда машина обманывает сама себя. Можно, конечно, запоминать опровергающие шахи и включать их в нужный момент на любой глубине, но это уже тема специального разговора.

31. Ле7+ Кpg8 32. Ле8+ Кpg7 33. Лfe3.

Имея перевес, «Каисса» отказывается от повторения позиции — она знает, что это ведет к ничьей.

33. ...Кс3 34. Л3е7+ Кpf6 35. Ле6+ Кpg5 36. h4+ Кр:h4.

В этот момент возник сбой в телевизоре, через который шла передача ходов. Пока устраняли неисправность (по регламенту — за время машины), «Каисса» оказалась в цейтноте. Последние четыре хода, оставшиеся до контроля, ей пришлось делать в ускоренном темпе, ведя короткий перебор, и вот что произошло в партии:

37. Л:g6 h5 38. Л:d6?

«Каисса» вела здесь расчет на три полухода и поэтому не увидела решающего продолжения 38. Ле3!, так как после 38. ...Лс1+ 39. Крh2 вариант обрывается... Школьник тут надолго задумался. Он правильно понял ситуацию и нашел ход колоссальной силы — свой единственный практический шанс.

38. ...Кb1!! 39. Л:a6 Кd2! 40. b4? Лc1+.

Сделав этот ход, черные тут же предложили ничью, считая, что дают вечный шах. После сорока ходов партия, согласно регламенту, должна была откладываться и присуждаться. Часы были остановлены, и тут вдруг выяснилось, что неожиданно мат получают... белые!

(41. Кph2 Кf1+ 42. Кpg1 Кg3+! 43. Кph2 Лh1×!)

Как тут быть? Является ли в данном случае факт предложения ничьей частью информации об отложенной позиции? В шахматном кодексе нет на этот счет точных указаний. Поэтому партия, в которой оба короля чудом избежали мата, и в которой было столько приключений, по справедливости была признана ничьей.

ПРОИГРЫВАЕТ ТОТ, КТО ОШИБАЕТСЯ ПОСЛЕДНИМ

Если противник плохо считает варианты и допускает «зевки», то у него мало шансов на успех в борьбе против педантичной машины. Следующая партия хорошо это иллюстрирует.

«Каисса» — школьник

1. e4 e5 2. Кf3 Кc6 3. Сb5 a6 4. Са4 Кf6 5. 0—0 d6 6. с3 Се7 7. Ле1 Сg4 8. h3 Ch5.

Противнику «Каиссы» не повезло — он попал на ее длинную дебютную ветку и еще не скоро с нее сойдет. В этой стадии партии машина, как говорят, играет легко — отвечает мгновенно и проблем у нее — никаких.

9. С:c6+ bc 10. d4 ed 11. cd 0—0 12. Кbd2 Кd7.

Только здесь дебют для «Каиссы» закончился, и она, перебрав около 20 000 ходов, сделала самостоятельный ход.

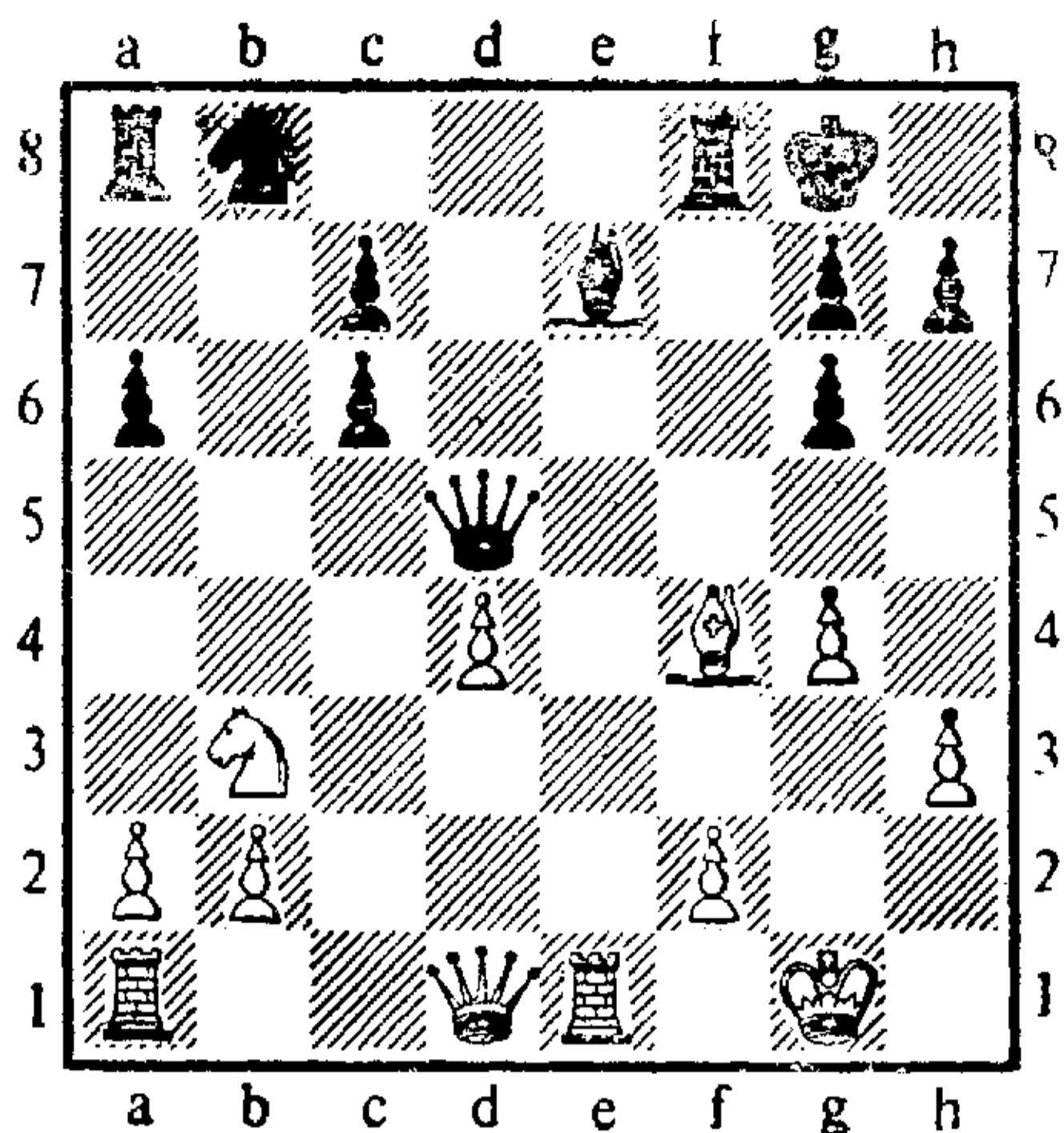
13. Кc4 d5?

Если ход машины был вполне добротным, то ответ школьника явно неудачен. Скорее всего, черные просто не считались с возможностью хода Ка5.

14. Ка5! Кb8.

У черных образовались слабости — поле с5, а также отсталая пешка с6 на открытой линии. Однако сейчас они хотят избавиться от позиционных дефектов путем 15. ...de 16. Л:e4 с5. Кроме того, грозит 15. ...С:f3 16. Ф:f3 Сb4. Следующим ходом «Каисса» предупреждает обе эти возможности.

15. Кb3 Ch4?



112

20. ed Ф:d5 21. К:g6 fg (диаграмма 112) 22. С:c7?

В погоне за пешкой «Каисса» упускает значительную часть преимущества. Человек предпочел бы вариант 22. Л:e7 Л:f4 23. Кс5!, жертвуя, наоборот, пешку, но не давая черному кошу войти в игру. Например, 23. ...Ф:d4 24. Ке6! (выигрывает и 24. Ле8+ Крf7 25. Лf8+) Ф:f2+ 25. Крh1 Фf3+ 26. Ф:f3 Л:f3 27. Лd1! с выигрышем. Если 23. ...Л:d4, то 24. Ле8+ Крf7 25. Фе2 и черные беззащитны. Программа, ведущая расчет на пять полуходов, увы, этого не видит.

22. ...Сh4 23. Сg3 Лf3??

После 23. ...С:g3 24. fg Кd7 лишняя пешка белых не дает им шансов на выигрыш, так как фигуры противника более активны, а слабости белых чувствительнее. Такова цена только одной ошибки — хода 22. С:c7. Но справедливость все же торжествует: тот, кто совершал ошибки чаще, делает и последнюю в партии ошибку.

24. Ле8+! Крf7.

Ход 24. ...Лf8 проигрывал «только» слона, теперь же черные остаются без ладьи.

25. Ле5!

Черные сдались.

ТАК ИГРАЮТ ЧЕМПИОНЫ

С примерами творчества первой чемпионки мира «Каиссы» мы уже достаточно ознакомились. Приводимая ниже партия сыграна в 1979 г. в Детройте на турнире

Еще один слабый ход. По-видимому, черные хотели завлечь машину в ловушку: 16. g4 Сg6 17. g5? Сh5! Такой расчет в корне неверен: ловушка эта — для человека, а не для машины.

16. g3 Се7 17. Cf4 Фd7?

Черные делают ходы, не считая вариантов, а машина только этим и занимается. Неудивительно, что позиция черных ухудшается шаг за шагом.

18. g4! Сg6 19. Ке5 Фе6

машин, который ежегодно (начиная с 1970 г.) проводится американской Ассоциацией по вычислительной технике.

Черными в этой партии играла программа «Чесс» — чемпионка мира, завоевавшая это звание в 1977 г., белыми — ее будущая преемница программа «Белл», победившая в 1980 г. на Третьем чемпионате мира среди ЭВМ.

«Белл» — «Чесс»

1. d4 Kf6 2. c4 c5 3. d5 e6 4. Kc3 ed 5. cd d6
6. e4 g6 7. Kf3 Cg7 8. Ce2 0—0 9. 0—0 Le8 10. Kd2 Ка6
11. f3 Kc7 12. a4 b6 13. Kc4 Ca6 14. Cg5 h6 15. Ch4 g5.

Все это разыграно в соответствии с рекомендациями дебютных библиотек каждой из машин.

16. Cf2.

Слабее 16. Cg3 из-за 16. ...Kh5 и нельзя 17. C:d6 ввиду 17. ...C:c4.

16. ...Kh5 17. Ke3 Cc8!

Идет маневренная борьба. Черные совершенно справедливо отказываются от размена слонов и защищают слабое поле f5, где мог бы расположиться белый конь.

18. Фс2 Kf4 19. Cc4 Cd7 20. Lfd1 Фf6 21. Cg3 Kh5.

Лучше сразу 21. ...a6, намечая продвижение b6—b5.

22. Ce1 Kf4 23. Kph1 a6! 24. Cg3 b5!

Черные захватили инициативу на ферзевом фланге.

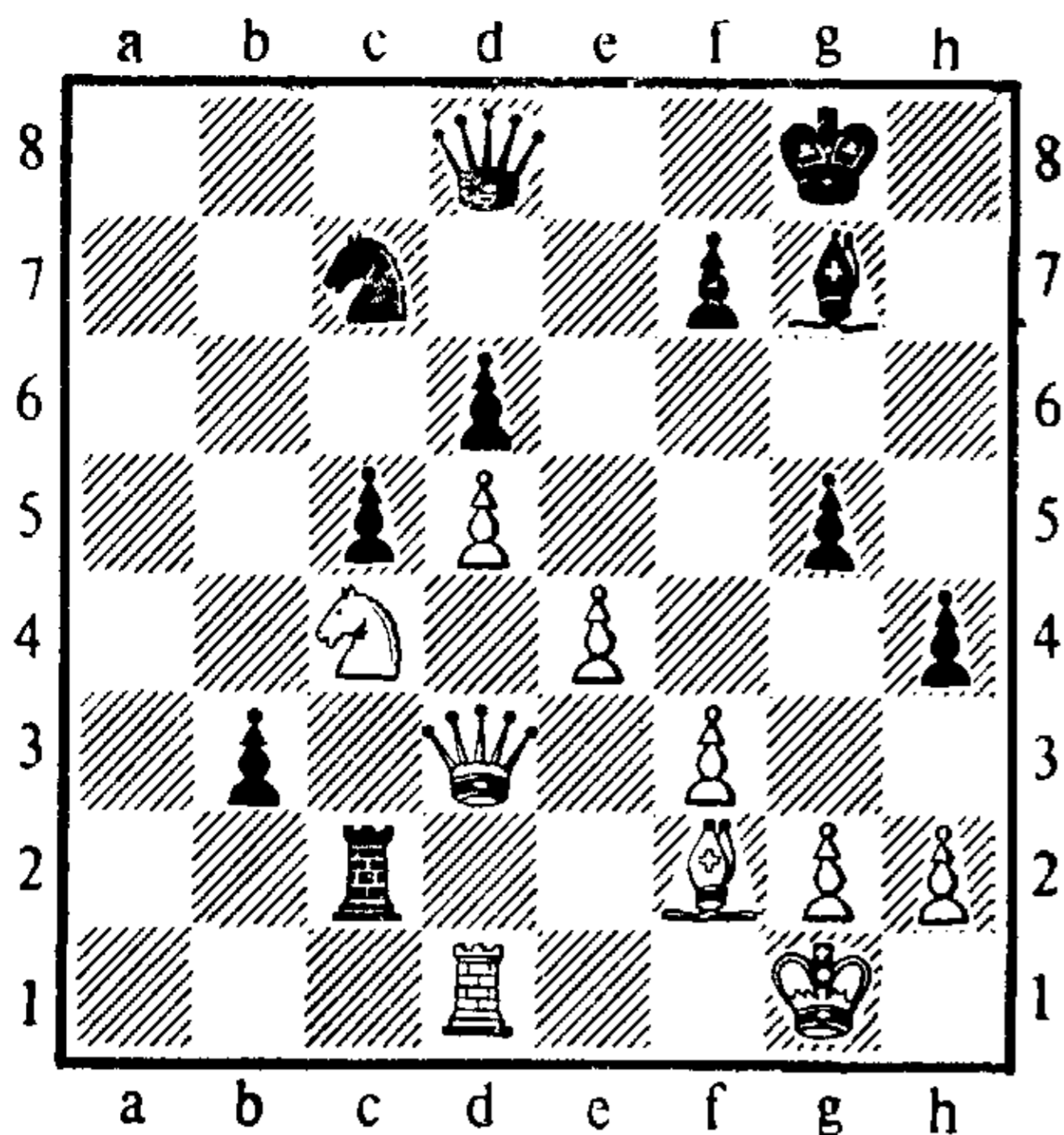
25. ab ab 26. Л:a8 Л:a8 27. Cf1 b4.

Ход белых 26. Л:a8, отдавший противнику линию а, был серьезной ошибкой. Видимо, их оценочная функция придает большой вес ладье d1, контролирующей центральные поля. Собственно, это общий недостаток, свойственный любой статической оценочной функции, поскольку никакой набор формальных признаков не может вполне адекватно отразить существо позиции. Динамическая оценка позиции предполагает в ней качественный учет возможных изменений и соответственно этому переоценку весов различных позиционных факторов.

После 27. ...c4! у белых трудная позиция. Грозит 28. ...b4 и 29. ...Ca4 с выигрышем качества, возможен перевод коня на c5. Ходом в партии черные преждевременно отдают противнику важный пункт c4.

28. Ke2 b3 29. Фb1 (29. Ф:b3? Ca4!) Kh5
30. Cf2 Kf4 31. Kc4 K:e2 32. C:e2 Cb5 33. Cg3 Ла4
34. Фс1 Cf8.

Грозило 35. C:d6, и если 35. ...C:c4, то 36. e5!



113

Однако ход в партии пассивен и теперь прорыв 35. е5 давал белым большой перевес. Вообще, позиция очень сложна и в связи с возможностью образования белыми проходной пешки d требует от обеих сторон далекого и точного расчета. По-видимому, сильнейшим за черных был ход 34. ...С:c4 со следующим вариантом: 35. С:c4 Ф:b2 36. Ф:b2 С:b2 37. С:b3 Лb4 38. Сс2.

Теперь плохо для черных: 38. ...Ке8? из-за 39. е5! или 38. ...Лb6? ввиду 39. Лb1! Ке8 40. е5! Правильно только 38. ...Се5 39. С:e5 de и теперь проходная пешка белых обезврежена (40. d6 Ке6).

35. Лd2 Фd8 36. Фf1 h5 37. Кpg1 h4 38. Cf2 Cg7 39. Ке3 С:e2 40. Ф:e2 Ла1+ 41. Лd1 Ла2 42. Фd3 Л:b2 43. Кс4 Лс2 (диаграмма 113).

44. е5!

Очень сильный ход. Если сразу 44. Ф:b3, то 44. ...Лс3, и черные еще держатся.

44. ...С:e5 45. К:e5 de 46. Ф:b3 Ле2 47. Кpf1 с4

48. Фb7! Ла2 49. Сb6 h3.

В проигранной позиции черные по-человечески изобретательно изыскивают шансы, но белые пока на высоте.

50. Ф:c7! (50. gh? Фf6!) Фf6 51. Фd8+ Ф:d8 52. С:d8 Л:g2 53. Ле1?

Начиная с хода 44. е5!, белые исключительно сильно вели борьбу, но сейчас спотыкаются почти на ровном месте и выпускают победу. Легко выигрывало 53. Са5 Л:h2 54. Кpg1! Лg2+ 55. Кrh1, и от движения пешки d нет защиты. Человеку такой вариант рассчитать нетрудно, а машине, чтобы увидеть все до конца, нужен перебор на десять полуходов вперед (55. ...Ла2 56. d6 Л:a5 57. d7 Ла8 и включение «ФВ» — d8Ф+ приносит выигрыш белым). Таким образом, проведение узконаправленного глубокого перебора по-прежнему остается актуальной задачей шахматного программирования.

Ничья.

МАТЧ С ШАХМАТНЫМ МАСТЕРОМ

В 1968 г. международный шахматный мастер Д. Леви бросил вызов программистам, заявив, что в течение ближайших 10 лет ни одна машина не сможет победить его в серьезном матче из нескольких партий. И действительно, несколько раз мастер достаточно убедительно продемонстрировал, что машины пока еще не в состоянии конкурировать с шахматным профессионалом.

Программа «Чесс» одной из первых попробовала свои силы в единоборстве с мастером — и безуспешно. Зато ее вторая попытка в августе 1978 г. заставила изрядно поволноваться экзаменатора. Уже в первой партии матча, играя черными, «Чесс» далеко не очевидной жертвой коня добилась совершенно выигранной позиции, и только ее слабая эндшпильная техника позволила мастеру спасти пол-очка.

Д. Леви — «Чесс» (1-я партия матча)

1. g3 d5 2. Cg2 e5 3. d3.

После этого хода «Чесс» вышла из дебютной справочной. Белые специально выбрали такой порядок ходов, чтобы побыстрее заставить машину мыслить самостоятельно. Зная особенности машинной игры, Д. Леви обычно стремится к закрытым позициям и длительной маневренной борьбе.

3. ...Kf6 4. Kf3 Kc6 5. 0—0 Cd7.

Этот ход по-человечески как-то не смотрится, но американская программа испытывает к нему определенное пристрастие.

6. b3 Cc5 7. Cb2 Fe7 8. a3 e4!

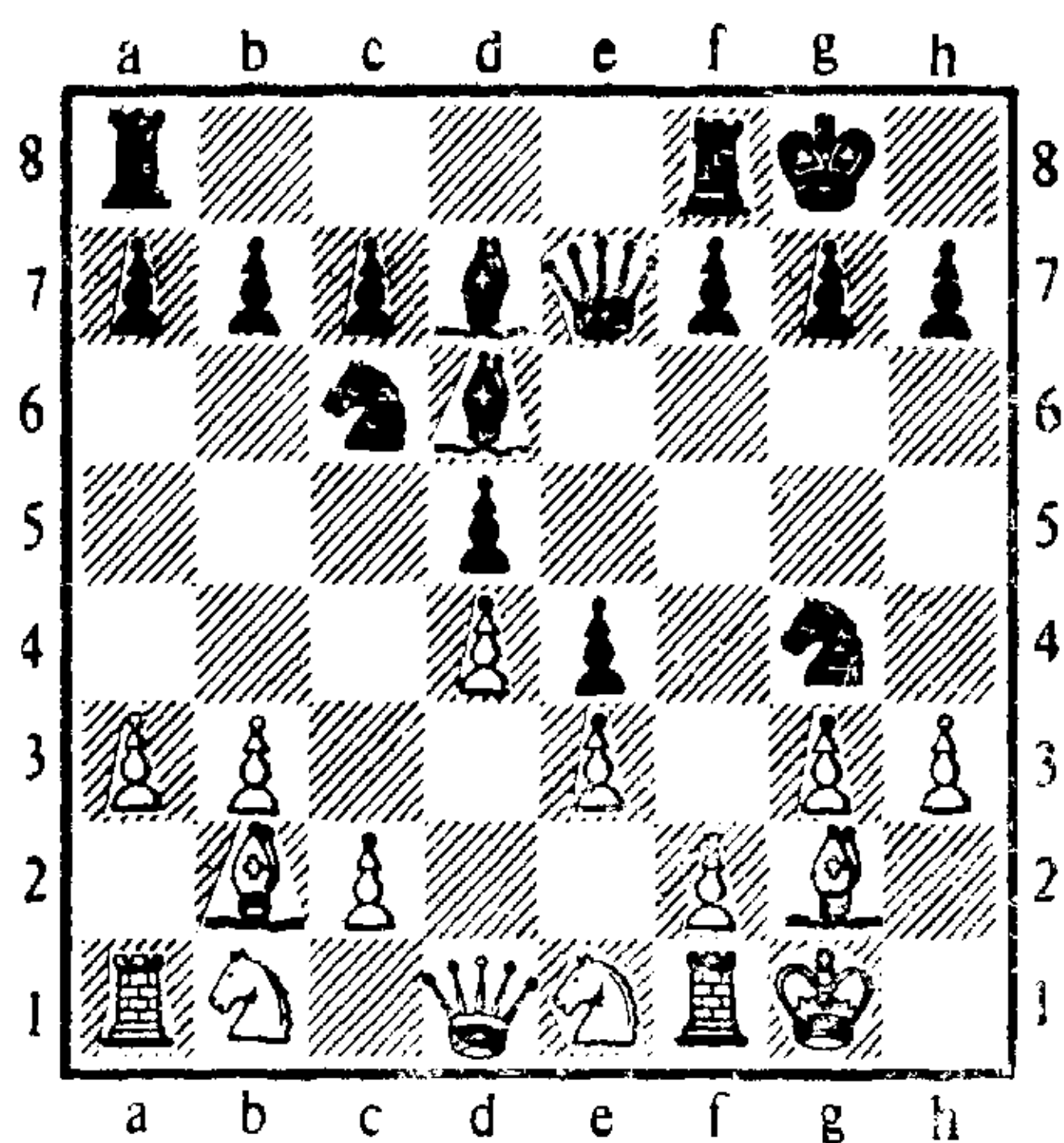
Черные активно разыграли дебют и оценивают свою позицию как лучшую.

9. Ke1 0—0 10. d4 Cdb6 11. e3 (сильнее 11. c4!) Kg4!
12. h3.

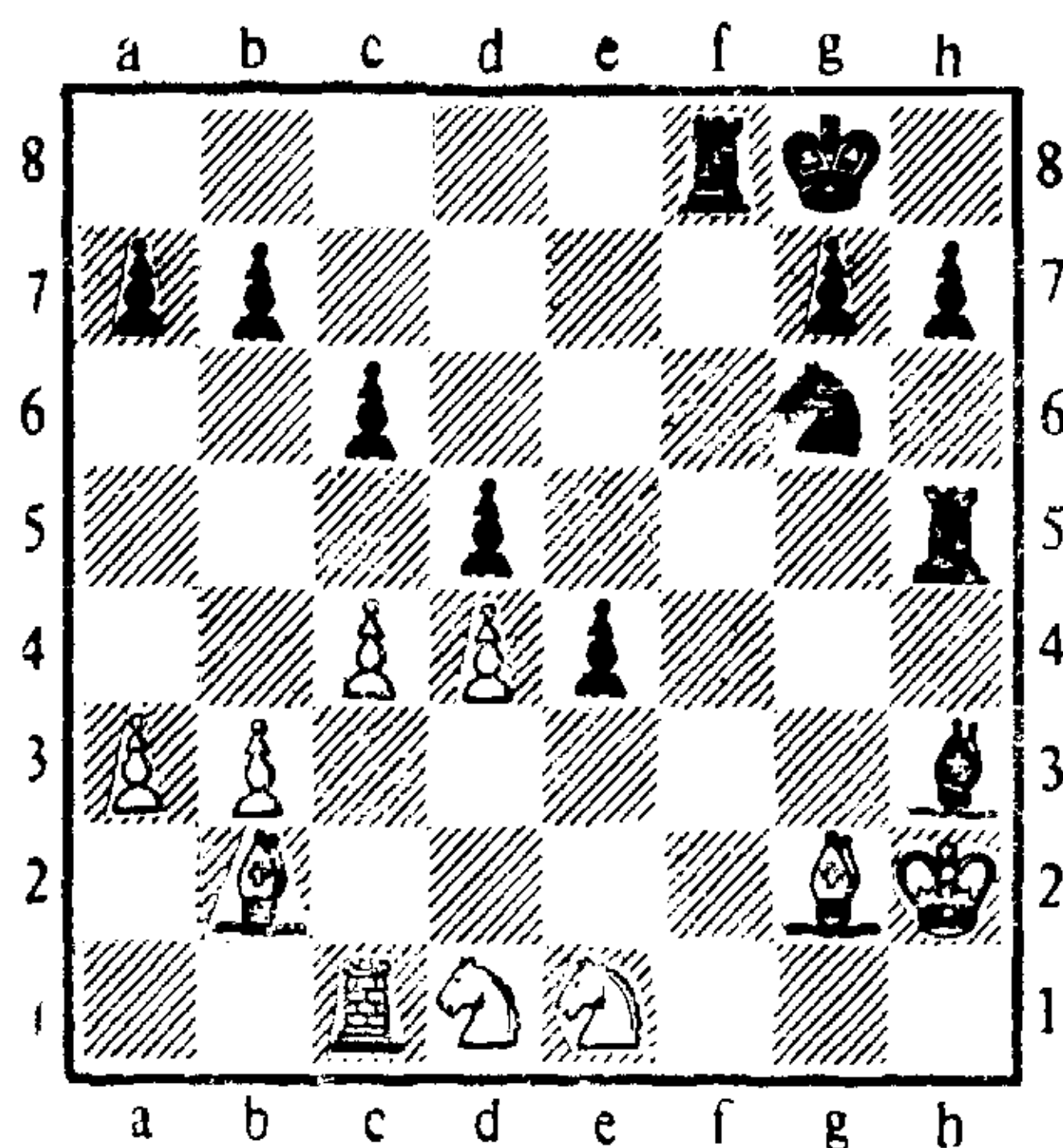
В ответ на 12. c4 теперь могло последовать 12. ...Фg5, и если 13. c5, то 13. ...С:g3! (диаграмма 114).

12. ...К:e3!

Любопытно, что играя 11. ...Kg4, черные вместе с ходом напечатали следующую оптимальную ветку: 12. h3 Kf6 13. Kc3 a6 14. f4, т. е. предполагаемую последовательность лучших ходов за обе стороны. Однако, когда дело дошло до хода 12. h3 в партии, машина, по-



114



115

считав чуть дальше, сочла возможным пожертвовать фигуру.

13. fe Фg5 (этого хода не видели белые, играя 12. h3)
 14. g4 Ф:e3+ 15. Лf2 Сg3 16. Фе2 Ф:f2+
 17. Ф:f2 С:f2+ 18. Кр:f2 f5!

У черных ладья и две пешки против двух легких фигур белых, т. е. на доске примерное материальное равновесие, однако все белые фигуры расположены крайне неудачно. Последним ходом «Чесс» вскрывает линии для своих ладей, и положение белых становится критическим.

19. gf Ке7!

Еще один сильный ход. Черные подключают коня к атаке и в то же время заботятся о защите своего пешечного центра (на ход с4 теперь есть ответ с6).

20. с4 Л:f5+ 21. Крг1 с6 22. Кс3 Лh5 23. Крh2 Лf8
 24. Кd1 Кg6 25. Лс1 С:h3! (диаграмма 115).

Черные выигрывают еще одну пешку и окончательно раскрывают позицию белого короля.

26. С:h3 Лf1 27. Кg2 Лf3 28. cd Лh:h3+
 29. Крг1 cd
 30. Лс8+ Кf8?

Значительно сильнее ход 30. ...Лf8, разменивающий активную белую ладью.

31. Сс3 Лd3 32. К1e3 Лh:e3 33. К:e3 Л:e3
 34. Сb4 Лf3 35. Лd8.

У черных три лишние пешки, у белых более активны фигуры. Человек в такой позиции не стал бы держаться

за все свои лишние пешки, а пожертвовал бы одну-две из них, чтобы избавиться от давления, но получить ясно выигранную позицию. Вот примерный вариант: 35. ...Лf5 (или Лf7) 36. С:f8 Л:f8 37. Л:d5 g6 38. Ле5 Лf3 39. Л:e4 Крf7! — и белым плохо.

35. ...h6 36. Л:d5 Л:b3 37. Лd8 Лf3 38. Ла8 g5 39. d5 h5 40. d6 Кpg7.

Черные начали освобождаться от связки в самый последний момент, так как уже грозило 41. d7 (нельзя было пойти 40. ...Крf7 из-за 41. Л:f8+! Кр:f8 42. d7+). Но время уже упущено, и, по-видимому, выигрыш — тоже.

Окончание партии приводим без комментариев. Заметим только, что через полтора десятка ходов уже черным пришлось бороться за ничью и найти для этого единственный ход 56. ...Лh8!

41. Л:a7 Лf7 42. Ла5 Крf6 43. Сс3+ Кpg6 44. Ле5 Лf3 45. Сb4 Лf4 46. Ле7 Лf7 47. Л:e4 Лd7 48. Ле7 h4 49. Кpg2 g4 50. Крh2 b6 51. Кpg2 Лd8 52. a4 Кd7 53. a5 Кf6 54. ab Кd5 55. b7 К:e7 56. de Лh8 57. Cd6 Крf6 58. b8Ф Л:b8 59. С:b8 Кр:e7 60. Cf4 Крf6 61. Cd2 Кpg6 62. Се1 Кpg5 63. Cf2 Крh5 64. Се1.

Ничья.

В этой партии проявилась характерная для машин неровность игры — отлично проводя отдельные фрагменты, они гораздо хуже играют в технически простых (для человека) позициях, где нить игры диктуется в основном общими соображениями.

Добавим еще, что мастер все же победил машину в матче, но с почетным для нее счетом $3\frac{1}{2} : 1\frac{1}{2}$. При этом в четвертой партии «Чесс» использовала ошибку человека и довела партию до победы.

ОГЛАВЛЕНИЕ

	От редактора	3
	Введение	5
Глава I.	Шахматная программа — теория и реальность	13
	Как научить машину играть в шахматы кое-как	13
	Что такое лучший ход и как его найти	19
	Порядок перебора и количество перебираемых позиций	28
Глава II.	Модели шахматной игры	39
	Во что играем	39
	Шахматная программа и шахматная теория	48
	Эвристики человека и машины	60
Глава III.	Борьба за материал	71
	Материал на доске и в перспективе	71
	Форсированная игра и подготовка к ней	81
	М. М. Ботвинник о программировании борьбы за материал	93
Глава IV.	Программисты изучают шахматы	105
	Как использовать аналогию для оценки позиций	105
	Разложение вариантов на «независимые компоненты»	122
	Шахматы и теория вероятностей	130
	Когда машина сильнее человека	140
Глава V.	Не ходом единым.	159
	Время!	159
	Тренировка шахматной программы	173
	Конструкторы машин тоже изучают шахматы	183

Глава VI. Ваш ход, машина!	192
Первые шаги	192
Психология машинной игры	194
Проигрывает тот, кто ошибается послед- ним	199
Так играют чемпионы	200
Матч с шахматным мастером	203

Георгий Максимович Адельсон-Вельский
Владимир Львович Арлазаров
Александр Рафаилович Битман
Михаил Владимирович Донской

МАШИНА
ИГРАЕТ В ШАХМАТЫ

Утверждено к печати
Редколлегией серии
научно-популярных изданий АН СССР

Редактор издательства **Н. Б. Прокофьева**
Художественный редактор **Н. А. Фильчагина**
Технический редактор **Т. В. Полякова**
Корректоры **Р. З. Землянская, Н. И. Казарина**

ИБ № 24564

Сдано в набор 25.03.83. Подписано к печати 13.07.83. Т-
Формат 84 × 108^{1/32}. Бумага книжно-журнальная.
Гарнитура обыкновенная. Печать высокая
Усл. печ. л. 10,9. Уч.-изд. л. 11,6. Усл. кр.-отг. 11,22.
Тираж 43000 экз. Тип. зак. 260. Цена 75 коп.

Издательство «Наука»
117864 ГСП-7, Москва В-485
Профсоюзная ул., 90.

Ордена Трудового Красного Знамени
Первая типография издательства «Наука»
199034, Ленинград, В-34, 9 линия, 12