Д.М.КОМСКИЙ, Б.М.ИГОШЕВ

ЭЛЕКТРОННЫЕ АВТОМАТЫ И ИГРЫ



Д. М. КОМСКИЙ, Б. М. ИГОШЕВ

ЭЛЕКТРОННЫЕ АВТОМАТЫ И ИГРЫ

МОСКВА ЭНЕРГОИЗДАТ 1981

ББК 32.816
К 63
УДК 519.713+519.83

Рецензент А. В. Шилейко

Комский Д. М., Игошев Б. М.

К 63 Электронные автоматы и игры. — М.: Энергоиздат, 1981. — 168 с., ил.

65 к.

В популярной форме излагаются элементарные сведения по теории игр и идеи, лежащие в основе работы автоматов игрового типа. Приводятся схемы и описания конструкций простых кибернетических устройств (играющих автоматов), рекомендуемых для самостоятельного изготовления в любительских условиях.

Для широкого круга читателей, интересующихся автоматикой, технической кибернетикой и теорией игр, увлекающихся конструированием различных технических самоделок.

К $\frac{30501\text{-}596}{051(01)\text{—}81}$ 194-82 1502000000

ББК 32.816

6Ф6.5

ДАВИД МАТВЕЕВИЧ КОМСКИЙ И БОРИС МИХАЙЛОВИЧ ИГОШЕВ

ЭЛЕКТРОННЫЕ АВТОМАТЫ И ИГРЫ

Редактор издательства Н. В. Ефимова
Обложка художника Е. Н. Волкова
Технический редактор А. С. Давыдова
Корректор М. Г. Гулина
ИБ № 2654

Сдано в набор 17.06.81. Подписано в печать 13.11.81. Т-27761. Формат 84×108$^{1}/_{32}$. Бумага типографская № 3. Гарн. шрифта литературная. Печать высокая. Усл. печ. л. 8,82. Уч.-изд. л. 9,05. Тираж 150 000 экз. Заказ № 788. Цена 65 к.

Энергоиздат, 113114, Москва, М-114, Шлюзовая наб., 10

Владимирская типография «Союзполиграфпрома» при Государственном комитете СССР по делам издательств, полиграфии и книжной торговли 600000, г. Владимир, Октябрьский проспект, д. 7

© Энергоиздат, 1981

РАССМАТРИВАЯ ЭТИ ВЕЩИ БЛИЖЕ, ЧИТАТЕЛЬ ВСКОРЕ УВИДИТ В НИХ НЕ ТОЛЬКО ПРОСТЫЕ ИГРЫ, НО И ОСНОВАНИЕ ДЛЯ ИНТЕРЕСНЫХ И ГЛУБОКИХ РАЗМЫШЛЕНИЙ.

ХРИСТИАН ГЮЙГЕНС, 1657 г.

КОНСТРУИРОВАНИЕ ИГРАЮЩИХ МАШИН НА ПЕРВЫЙ ВЗГЛЯД МОЖЕТ ПОКАЗАТЬСЯ СКОРЕЕ ИНТЕРЕСНЫМ ВРЕМЯПРЕПРОВОЖДЕНИЕМ, ЧЕМ СЕРЬЕЗНОЙ НАУЧНОЙ ЗАДАЧЕЙ... ОДНАКО ЭТА РАБОТА ИМЕЕТ СВОЮ СЕРЬЕЗНУЮ СТОРОНУ И ВАЖНУЮ ЦЕЛЬ.

КЛОД ШЕННОН, 1949 г.

Предисловие

Когда лет 30 тому назад на страницах газет и журналов стали появляться сообщения о создании электронных кибернетических машин, способных играть в домино, шашки, шахматы и другие игры, читатели поразному воспринимали эти известия. Одни, удивленно всплескивая руками, говорили: «Подумать только! До чего дошла техника!» Другие пожимали плечами: «Неужели ученым больше делать нечего?» — «Что вы, — возражали третьи. — Пусть забавляются. Надо же и ученым отдохнуть после напряженной работы».

И невдомек было и тем, и другим, и третьим, что конструирование играющих машин — это работа напряженная, серьезная и очень важная: появление теории игр и играющих машин раскрывало новые, широкие возможности для решения многих важнейших народнохозяйственных задач.

Теперь иные времена. Теория игр стала сегодня обычным учебным предметом для студентов экономических, математических и некоторых других факультетов, а бу-

дущие инженеры — специалисты по автоматике — на студенческой скамье изучают игровые системы автоматического управления. Исследования, связанные с разработкой теоретических проблем в этой области, с созданием играющих машин и программ для них, интенсивно ведутся во многих научных учреждениях у нас в стране и за рубежом. Конструированием же простейших играющих автоматов в последние годы с увлечением начинают заниматься энтузиасты технического творчества всех возрастов, даже юные техники. Ведь это так интересно: своими руками построить умный автомат, способный обыграть любого партнера — человека!

Наша книга написана прежде всего именно для таких энтузиастов технического творчества, которые желали бы познакомиться с принципами построения и действия играющих автоматов, с тем чтобы в дальнейшем, возможно, приобщиться к созданию подобных кибернетических устройств и даже собственноручно построить некоторые из них. Эти читатели найдут здесь подробные описания некоторых простых играющих автоматов, а также рекомендации по их изготовлению и налаживанию. Описанные электронные кибернетические устройства разнообразны по характеру и степени сложности, но вполне доступны для изготовления в любительских условиях. Все они были сконструированы и построены в технических кружках и других творческих коллективах любителей под руководством и при непосредственном участии авторов. Многие из этих автоматов демонстрировались на областных, республиканских и всесоюзных выставках.

Авторы надеются, что читатели — энтузиасты технического творчества, конструируя подобные кибернетические устройства, получат полезные знания в области автоматики и кибернетики, а также практические умения и навыки, которые, несомненно, пригодятся в будущем. А построенные ими играющие автоматы доставят впоследствии немало радостных минут умельцам и их друзьям во время демонстраций на вечерах занимательной техники, выставках, лекциях и конференциях, посвященных электронике и кибернетике.

Однако содержание нашей книги не исчерпывается описанием простых играющих автоматов. Рассматривая различные конструкции этих электронных устройств и излагая принципы их работы, авторы не могли не кос-

нуться, хотя бы кратко, основных понятий и важнейших идей теории игр, на которых базируются эти принципы. Ведь именно математическая теория игр — один из главных разделов кибернетики — дает научно обоснованные рекомендации поведения в конфликтных ситуациях, указывая, «как играть, чтобы не проиграть».

Поэтому пытливый и любознательный читатель встретится на страницах книги с описаниями некоторых игр разных времен и народов, убедится в том, что игры — это не только развлечения в часы досуга и спортивные состязания, познакомится с классификацией игр и различными методами их анализа. Все это позволит ему получить начальные представления о теории игр, о различных приложениях этой науки и ее роли в создании автоматов, способных решать игровые задачи.

Исходя из сказанного выше, авторы адресуют свою книгу не только энтузиастам и любителям технического творчества, но и рассчитывают на благосклонное внимание к ней самого широкого круга читателей, интересующихся достижениями электроники, автоматики и кибернетики. Книга может быть полезна также для лекторов и пропагандистов, учителей, руководителей технических кружков школ и внешкольных детских учреждений.

Отзывы и замечания просим посылать по адресу: 113114 Москва, М-114, Шлюзовая наб., д. 10, Энергоиздат.

Авторы

ГЛАВА ПЕРВАЯ

ИГРЫ И АВТОМАТЫ

Игры на каждом шагу

Сколько существует на свете различных игр? Тысячи? Десятки тысяч? Или, может быть, миллионы?

Вряд ли кто ответит на этот вопрос хотя бы приблизительно. И уже, конечно, ни одному человеку не переиграть всех игр — на это просто не хватит человеческой жизни.

Игр существует множество. Рожденные различными народами в разные эпохи, они легко шагают через века и континенты, сопровождая человека на всем его жизненном пути — от младенческих лет до глубокой старости. И у каждой игры свои правила, свои особенности. Настольные игры, например, не похожи на подвижные, спортивные игры отличаются от литературных. Хоккей не спутаешь с баскетболом, а шахматы — с лото. И все же, несмотря на это несходство, есть один, главный признак, одинаково присущий всем без исключения играм. Это — наличие конфликта, столкновения интересов.

Двое играют в шашки. Каждому во что бы то ни стало хочется выиграть. Но чтобы выиграть, нужно нанести поражение своему противнику. Интересы игроков сталкиваются в остром конфликте.

Дети играют во дворе в салки. «Салка, салка, догони-ка!» — выкрикивают они, бегая вокруг «салки» — того, кто водит. И тот стремится догнать и «осалить» кого-либо из играющих — прикоснуться к нему рукой. Они же стараются увернуться, не дать догнать себя. Опять столкновение интересов.

На ледяном поле встречаются прославленные хоккейные команды СССР и ЧССР. Эта игра должна решить, какая из команд станет чемпионом мира. Чехословацкие хоккеисты, безусловно, приложат все силы, чтобы побе-

дить. Но и игроки сборной СССР полны решимости выиграть встречу. Снова столкновение интересов, конфликтная ситуация, которая разрешается только в игре.

Конфликтные ситуации, в которых сталкиваются противоположные интересы двух или большего числа лиц, наблюдаются не только в развлечениях и спорте.

Торопясь на работу, вы вышли на улицу и подходите к перекрестку. Надо бы поскорее пересечь улицу и продолжать путь. Но... красный огонек светофора принуждает вас остановиться, чтобы переждать поток автомашин. Они тоже спешат, и интересы водителей вступили в конфликт с вашими интересами.

Вы решили воспользоваться трамваем и подходите к остановке. Здесь в ожидании трамвая уже собрались два-три десятка других граждан. И хотя вам хотелось бы поскорее занять место в салоне вагона, приходится стать в очередь — ваши интересы столкнулись с интересами других пассажиров.

Разумеется, далеко не все жизненные конфликты столь примитивны и не всегда они так просто разрешаются.

Многие конфликты гораздо серьезнее и сложнее. Иногда столкновение интересов отдельных людей достигает большой остроты и драматизма, а развитие конфликта приводит порой даже к трагической развязке. Не случайно конфликты, столкновения интересов признаны одной из главных тем в художественной литературе. Почти каждое литературное произведение содержит не менее двух участников, имеющих различные (во всяком случае, не совпадающие) интересы. В таких условиях действия этих героев неизбежно сопровождаются развитием некоторого конфликта, который обычно так или иначе разрешается, иногда мирно, даже полюбовно, иногда драматически. Авторы художественных произведений описывают и анализируют на страницах своих поэм, рассказов, повестей, новелл сложнейшие жизненные конфликты. До сих пор лучшими источниками наших знаний о человеческом конфликте являются классическая трагедия и серьезный роман.

Однако в последнее время все большее внимание изучению конфликтных ситуаций начинают уделять математики — специалисты по теории игр. Дело в том, что под игрой можно понимать вообще всякий вид соревнования с определенной системой правил, условий и огра-

ничений, в соответствии с которыми действуют участники игры, добиваясь выигрыша. А под такое определение подходят не только спортивные игры и игры-развлечения, но и многое другое. Фактически это определение позволяет рассматривать игру как модель любого конфликта. Противостоят ли деятельности человека в конфликте интересы других людей или стихийные силы природы, с точки зрения теории игр, это не меняет существа дела.

С конфликтными ситуациями и играми нам приходится сталкиваться буквально на каждом шагу. При этом в некоторых конфликтах против нас выступает реальный противник, заинтересованный в нашем поражении; этот противник не только сознательно препятствует нашему успеху, но и старается сделать все от него зависящее, чтобы добиться своей победы. В иных же конфликтных ситуациях такого реального противника нет, против нас действуют лишь «слепые силы природы». Природа незлонамеренна, она просто поступает так, а не иначе: иногда во вред человеку, а иногда — к его выгоде; но всегда ее действия влияют на результат наших действий. Поэтому, если мы не знаем заранее, как будут проявляться в том или ином конфликте силы природы, мы можем считать природу своим партнером в некоторой игре.

Каждый раз, вступая в игру, мы сталкиваемся с необходимостью принимать решения: как лучше всего поступить в сложившейся ситуации? Как играть, чтобы не проиграть?

Не всегда легко ответить на эти вопросы. И далеко не каждый игрок, вступая в игру, знает заранее, какой путь может привести его к выигрышу. Нередко бывает и так, что запальчивый игрок, начинавший игру, будучи вполне уверенным в своем превосходстве над противником, в ходе игры вдруг с ужасом обнаруживает, что чаша весов склоняется не в его сторону; тщетны его отчаянные попытки исправить дело, поражение становится неминуемым!

Почему же, все-таки, люди вступают в игру? Что толкает их на борьбу, соревнования и другие конфликты даже в тех случаях, когда объективными причинами они в действительности с самого начала обречены на поражение? Что движет игроком?

Прежде всего, конечно, это — стремление улучшить

свое положение и надежда (иногда — слепая) на выигрыш. Игрок — всегда оптимист. Не имея возможности предвидеть заранее исход игры, он все же верит, что добьется победы.

Несомненно также, что важнейшим фактором здесь является и сама неопределенность исхода игры, т. е. то обстоятельство, что обычно игрокам заранее неизвестно, кто выиграет, а кто испытает горечь поражения. Именно неопределенность исхода побуждает людей к сознательному вступлению в конфликт. Именно это обстоятельство привлекает к играм не только участников, но и наблюдателей, болельщиков.

Математическая теория игр занимается научным анализом игр — моделей различных конфликтов. Методы анализа зависят от характера игр и во многом определяются причинами неопределенности их исхода.

В чем же причины этой неопределенности? Почему игроки обычно, вступая в игру, не знают, каким будет ее результат? С чисто качественной точки зрения причины неопределенности исхода игры можно разделить на несколько групп.

1. Существуют игры, в которых правила игры, в принципе, дают возможность каждому игроку проанализировать все разнообразные варианты своего поведения и, сравнив эти варианты, избрать тот из них, который ведет к наилучшему (для этого игрока) результату. Неопределенность исхода таких игр связана обычно с тем, что количество возможных вариантов (комбинаций) в игре слишком велико, так что практически игрок не может перебрать и проанализировать все эти варианты (во многих играх для этого даже не хватило бы всей человеческой жизни!). Игры этой группы называются комбинаторными. В качестве примеров явно выраженных комбинаторных игр можно назвать шашки, шахматы. В дальнейшем мы убедимся, что существует немало и других игр, неопределенность исхода которых вызвана именно их «комбинаторной» сложностью. Научная разработка методов анализа таких игр и способов определения «правильного», оптимального поведения игрока в этих играх ведется с помощью различных математических приемов; в частности, при этом используется и комбинаторика — раздел математической науки, который занимается изучением комбинаций и перестановок предметов.

2. Другим источником неопределенности исхода игры является влияние различных случайных факторов. Во многих играх случайные события могут оказывать решающие воздействия на результаты игры. Нередко это даже специально предусмотрено правилами игры (бросание жребия, монеты и пр.). Случайное может также появляться в игре в результате действия тех или иных «стихийных сил» (рассеивание при стрельбе, метеорологические условия и т. п.). Игры, исход которых оказывается неопределенным исключительно в силу случайных причин, называются азартными играми (от французского hasard — случай). Типичные примеры таких игр — рулетка, разного рода игры в кости, игра в «орлянку». Говорить о «правильности», оптимальности поведения игрока в азартной игре не приходится: ведь исход игры здесь не зависит от его действий. Игрок может лишь решить, принимать или не принимать участие в игре. При научном анализе азартных игр широко используется теория вероятностей — наука о закономерностях случайных явлений; нередко и здесь полезным оказывается также применение комбинаторики.

3. Неопределенность исхода игры может быть вызвана также и тем, что каждый из игроков, принимая решение о выборе образа действий во время игры, не знает, какой стратегии будет придерживаться его противник. При этом неведение игрока о поведении и намерениях его противника носит принципиальный характер (оно, например, может быть обусловлено правилами игры). Игры, в которых неопределенность исхода возникает по указанной причине, называются стратегическими играми. Простейшим примером такой игры является игра в «две монетки»: два участника игры одновременно кладут на стол по монете; если окажется, что монеты выложены одинаковыми сторонами вверх, то выигрывает первый игрок, в противном случае — второй. Для анализа стратегических игр и решения вопроса о «правильности», оптимальности поведения игроков в таких играх приходится использовать и комбинаторику, и теорию вероятностей, и ряд других специальных разделов математической науки.

Таким образом, анализ причин неопределенности исхода игры позволяет нам разделить все игры на три основные группы: комбинаторные, азартные и стратегические.

Разумеется, можно указать игры, сочетающие в себе черты комбинаторных и азартных игр (например, разного рода карточные пасьянсы, где неопределенность обусловлена, с одной стороны, случайным расположением карт в колоде, а с другой — комбинаторной сложностью конфигураций, составленных из открытых карт на столе). Точно так же стратегичность игры может сочетаться с ее комбинаторностью (например, «морской бой» — разновидность шахмат, где каждый игрок играет на своей доске, не зная расположения фигур противника), с азартностью (домино), а также с комбинаторностью и азартностью одновременно (преферанс, в котором азартность проистекает от случайного расклада карт, стратегичность — от назначения игры и определения «сноса», а комбинаторность — от трудности ориентировки в раскладах карт даже в тех случаях, когда они раскрыты). Все это требует еще большего разнообразия приемов и методов для научного исследования игровых задач и вместе с тем вызывает необходимость подробной классификации игр.

Вообще игры можно классифицировать по различным признакам. Так, игры можно разделить на антагонистические и неантагонистические, исходя из такого признака, как отношение игроков к исходу игры. По числу ходов игры подразделяются на конечные (т. е. заканчивающиеся после конечного числа ходов) и бесконечные. По количеству участников игры делятся на игры одного игрока (карточные пасьянсы, «игра в пятнадцать» и т. п.), парные игры — с двумя участниками (шашки, шахматы, фехтование, бокс) и множественные — с тремя и более участниками (домино, некоторые карточные игры). В некоторых множественных играх участники игры образуют коалиции. При наличии двух постоянных коалиций множественная игра фактически превращается в парную. Так, например, игра в домино является коалиционной игрой, если четыре игрока группируются попарно.

Различают игры и по сумме выигрыша. В шахматах, домино, многих карточных играх один игрок выигрывает то, что проигрывают остальные; общая сумма выигрыша всех игроков равна нулю. Поэтому такие игры называются играми с нулевой суммой. Игры, в которых выигрыш одного и проигрыш другого не равны, называются играми с ненулевой суммой.

Важнейшей характеристикой игры является характер и объем сведений о ходе игры, которыми располагают ее участники. Если каждый из игроков полностью осведомлен о состоянии игры на всех ее этапах и знает в каждый момент все ресурсы и возможности своих противников (игра ведется «в открытую»), то такая игра называется игрой с полной информацией. К таким играм относятся шашки, шахматы, «крестики — нолики».

Имеются игры, в которых информация о ходе игры неполная, ее участники не знают точно сил и возможностей противника (например, неизвестно, как распределились карты или косточки домино в начале игры). Эти игры носят название игр с неполной информацией.

Игры, исход которых случаен и не зависит от поведения игроков, мы назвали выше случайными или азартными. В отличие от них игры, в которых нет случайностей и результат полностью определяется поведением игроков, их личными ходами (комбинаторные и некоторые стратегические игры), называются детерминированными играми.

Итак, в теории всякий конфликт может быть представлен в виде игры, а каждая игра может быть охарактеризована рядом признаков и отнесена в зависимости от этого к определенному классу. Например, шахматы — это антагонистическая конечная парная детерминированная комбинаторная игра с нулевой суммой и полной информацией.

Разумеется, при исследовании конфликтных ситуаций математики не ограничиваются их представлением в виде игр (моделированием) и классификацией этих игр. «Сортировка» игр нужна лишь для того, чтобы легче было для однотипных игр найти общие методы их решения — выработать рекомендации по наиболее рациональному образу действий в ходе развития конфликтной ситуации. Именно в этом и заключается основная цель математической теории игр.

В последующих главах читатель познакомится с элементами математической теории различных игр: комбинаторных, азартных, стратегических. При этом довольно много внимания придется уделить азартным играм. Не потому, конечно, что мы собираемся рекламировать такие игры, как «орлянка», рулетка, игра в кости или в карты. Эти и некоторые другие азартные игры на деньги и иные материальные ценности, разжигающие нездоро-

вый ажиотаж и низменные страсти, безусловно, достойны решительного осуждения. Нас будет интересовать лишь случайность их исхода, так как случай, как мы уже знаем, нередко оказывает решающее влияние на исход конфликтов, весьма далеких от игр типа рулетки или «орлянки». Вместе с тем названные игры благодаря простоте условий и четкости правил могут служить наглядными схемами, на которых очень удобно изучать закономерности, присущие многим гораздо более сложным конфликтам. Анализ некоторых азартных игр позволит нам также легко усвоить математические понятия, которые понадобятся при знакомстве с более сложными стратегическими играми, а также с принципами работы отдельных узлов и устройств, используемых в играющих автоматах.

Бесстрастные партнеры

Около двухсот лет тому назад по странам Европы разъезжал человек, именовавший себя придворным советником австрийской императрицы Марии-Терезии, изобретателем и механиком Вольфгангом фон Кемпеленом. Останавливаясь в столицах и больших городах, он демонстрировал всюду построенную им чудесную машину — механического игрока в шахматы.

«Почтеннейшей публике» показывали громоздкий ящик, в котором был расположен сложный механизм: хитроумное сплетение валов, эксцентриков, шестеренок, пружин. На ящике была укреплена большая кукла со специальными захватами на руках вместо пальцев, одетая в экзотический турецкий наряд. Зрителям предоставлялась возможность осмотреть и даже ощупать рычаги, соединяющие руки-захваты с механизмом внутри ящика. Перед «турком» на крышке ящика располагалась шахматная доска. Желающим предлагали ...сыграть с куклой в шахматы. В глубоком изумлении следили зрители за игрой. «Турок», управляемый загадочным механизмом, иногда подолгу думал над очередным ходом, но затем, ловко захватывал нужную фигуру, уверенно переставлял ее на доске. Через каждые двенадцать ходов изобретатель заводил механизм автомата с помощью огромного железного ключа.

Играла кукла-машина очень хорошо. Она могла разыгрывать тонкие комбинации, подстраивала своему

противнику самые замысловатые ловушки и почти всегда выигрывала. Но даже редкие поражения шахматного автомата не могли уменьшить всеобщий восторг и изумление публики. Слава о диковинной машине быстро распространилась по всей Европе.

Механическим шахматистом заинтересовался даже Наполеон Бонапарт, страстный любитель шахмат. Император Франции изъявил желание сыграть с машиной. Этот необычный поединок состоялся в торжественной обстановке в присутствии многочисленной придворной знати в Шенбрунне в 1809 г. и закончился поражением знаменитого полководца.

После смерти Кемпелена механического «турка»-шахматиста приобрел импрессарио Мальзель, который долго еще продолжал показывать его в городах Германии, а в 1826 г. отправился с «чудесной машиной» за океан, в Нью-Йорк, надеясь разбогатеть на широко разрекламированных сеансах игры. Машина Кемпелена и в Америке вызвала подлинную сенсацию, а также бурную дискуссию о возможном внутреннем устройстве механизма и принципе его работы. Между прочим, в этой дискуссии принял участие известный американский писатель Эдгар По, написавший по этому поводу большой очерк, в котором доказывал, что механический игрок, демонстрируемый Мальзелем,—не более чем мистификация. Впоследствии, когда «секрет» машины Кемпелена был раскрыт, оказалось что Эдгар По был прав.

Рассказывают, что в городе Филадельфии во время одной из демонстраций «чудесной машины», когда она уже одерживала победу над очередным своим противником, в здании музея, где показывали машину, вспыхнул пожар. Крики и замешательство зрителей «испугали» машину. Она прекратила игру, затем крышка ящика приподнялась и из него выбрался небольшого роста человек... И только тогда выяснилось, что движениями куклы во время игры управлял опытный шахматист, укрывающийся в тайнике, тщательно спрятанном среди механизмов. Сложное и оригинальное устройство давало ему возможность следить за расположением фигур на шахматной доске, а система рычагов и передач помогала перемещать фигуры.

Шахматный «автомат» Вольфганга фон Кемпелена был, конечно, грубым надувательством «почтеннейшей публики»: ведь играл-то в шахматы, думал, разыгрывал

комбинации не хитроумный механизм, а человек! Тем не менее нельзя не отдать должное высокому мастерству венгерского механика, сумевшего в те далекие годы создать столь сложный и четко действовавший механизм.

Впрочем, для конца XVIII — начала XIX вв. вообще было характерно страстное увлечение многих талантливых часовщиков и механиков машинами и устройствами, способными воспроизводить действия живых существ. Интерес широкой публики к таким машинам был очень велик: ведь на протяжении веков люди мечтали о создании искусственного человека (гомункулюса), мысль об этом занимала их умы не менее, чем заманчивые попытки открыть философский камень — средство превращать все металлы в золото. Конструирование и постройка таких человекоподобных моделей-автоматов были тогда как бы экзаменом на аттестат технической зрелости механика, сулили ему известность и славу. Собственно говоря, многих мастеров-механиков того времени даже неправильно называть часовщиками. Это были талантливые инженеры-конструкторы. Некоторые из них достигали в своей работе столь высокого мастерства, что их изделия представляли собой замечательные произведения искусства.

Именно в эти годы жили и создавали своих андроидов — механических аналогов животных и людей — швейцарские часовщики Пьер и Анри Дро, французский механик Жак Вокансон, австрийский мастер Фридрих Кнаусс, выдающийся русский механик Иван Петрович Кулибин и другие. К числу таких талантливых механиков своего времени принадлежал и Вольфганг фон Кемпелен. Позднее, в XIX в., «большая» техника заметно охладела к механическим моделям живых организмов, а потом и вовсе потеряла к ним интерес. Андроиды нашли свой последний приют в тихих залах технических музеев. А в XX в. на смену им пришли «электрические люди» — роботы.

Новые времена принесли с собой и новые идеи. Наряду с валами, эксцентриками, шестеренками и пружинами в дело пошли электромагнитные реле, конденсаторы, фотоэлементы, электронные лампы, транзисторы. Инженеры и изобретатели, придавая своим конструкциям внешнее сходство с человеком и животными, могли теперь добиваться гораздо большего подобия, чем это удавалось создателям андроидов. Роботов заставляли не

только двигаться, но видеть и слышать, произносить слова и даже целые фразы, отвечать на вопросы, выполнять различные команды и пр. «Электрические люди» приобрели большую популярность. Как когда-то андроидов, их стали возить по разным городам и показывать публике, демонстрировать на выставках. Неудивительно, что появились электронные устройства, подобные псевдоавтомату Кемпелена.

Вот что рассказал об одной из таких современных мистификаций в своей лекции в октябре 1955 г. крупнейший американский кибернетик Клод Шеннон. «Несколько лет тому назад мое внимание привлек современный двойник Мальзельского автомата. Один мой друг из Калифорнии написал мне, что на местной выставке и по телевидению показывали машину, играющую в шашки. Победить ее было почти невозможно — даже игру с чемпионом США она свела вничью, — и большинство считало, что это и в самом деле не что иное, как электронная вычислительная машина. Исследовав проблему программирования игры в шахматы и шашки, я был настроен довольно скептически, особенно из-за того, что машина играла так хорошо и была такой портативной. Поэтому я предложил произвести осмотр устройства. После изрядной «сыскной» работы мой друг, наконец, выследил игрока в шашки на старом складе. Он сообщил, что единственной «электронной частью» машины был электрический вентилятор для спрятанного человека-оператора» [26].

Конечно, в век электроники, радио и телевидения нет необходимости прятать человека внутрь шахматной машины. Он может управлять ее движениями по радио — даже на большом расстоянии. Ведь управляют же операторы с Земли космическими аппаратами, удаленными на многие миллионы километров! Но если машина — это только руки (механические или электрические — все равно), помогающие человеку передвигать фигуры на шахматной доске, то такую машину еще нельзя считать автоматическим игроком. Настоящий играющий автомат должен сам анализировать ситуацию, складывающуюся на каждом этапе игры, и самостоятельно выбирать очередной ход, стремясь к выигрышу.

Возможны ли такие автоматы? Да, возможны.

Первый играющий автомат сконструировал и построил еще в начале этого столетия испанский ученый,

президент Академии наук в Мадриде Леонардо Торрес-и-Кеведо. Этот автомат представлял собой механизм, разыгрывавший окончание шахматной партии королем и ладьей белых против черного короля, которым играл человек — противник автомата. Как известно, в таком ладейном эндшпиле результат игры заранее предопределен в пользу белых, и существует сравнительно простой алгоритм[1], ведущий к их выигрышу при любом начальном расположении фигур и любых возможных ходах черного короля: ладья и король белых оттесняют черного короля на край шахматной доски, после чего на крайней горизонтали ему объявляется мат.

Для реализации этого алгоритма изобретатель сконструировал довольно сложное (по тем временам) электромеханическое устройство. Каждое поле шахматной доски было составлено из трех металлических пластинок, изолированных одна от другой резиновыми прокладками. Пластинки эти, служившие электрическими контактами, были соединены с источником тока и системой переключателей и электромагнитов, расположенных под шахматной доской. Черный король, игравший против автомата, имел металлическое основание. При установке этой фигуры на то или иное поле шахматной доски замыкалась соответствующая электрическая цепь и в автомат поступал сигнал, приводивший в движение электромагниты. Белые фигуры были изготовлены из дерева, но в основании каждой из них имелось отверстие, в которое был вставлен железный шарик. Поэтому электромагниты, передвигаясь под шахматной доской при каждом очередном ходе автомата, увлекали за собой одну из белых фигур — короля или ладью, перемещая их в соответствии с выигрывающим алгоритмом.

Если человек, игравший с автоматом, нарушал правила игры, появлялась световая надпись *Первая ошибка* и автомат переставал играть до тех пор, пока его противник не исправлял ошибку. В случае второго нарушения правил партнером автомат высвечивал на табло надпись *Вторая ошибка*, а при третьей ошибке автомат «сердился» и прекращал игру.

---

[1] Алгоритм — точное предписание, определяющее содержание и последовательность действий, которые нужно выполнить для получения определенного результата.

Играющий автомат Л. Торреса-и-Квеведо впервые экспонировался на Всемирной выставке в Париже еще перед первой мировой войной, но впоследствии был почти забыт. Однако много лет спустя он снова оказался в центре внимания парижан: на конгрессе кибернетиков, состоявшемся в Париже в 1951 г., сын изобретателя Гонзалес Торрес-и-Квеведо продемонстрировал «электрического игрока в шахматы», сконструированного его отцом. В автомат были введены некоторые усовершенствования, соответствующие «духу времени»: когда король черных оказывался под шахом, громкоговоритель, установленный в автомате, восклицал: «Шах королю!» А в конце игры, одерживая победу над партнером-человеком, он триумфально возвещал: «Мат!» Присутствовавший на конгрессе выдающийся ученый, «отец кибернетики» Норберт Винер согласился сыграть несколько почетных поединков с автоматом. Но и он не мог избежать поражения!

Играющий автомат Квеведо действовал против своего партнера совершенно самостоятельно и всегда побеждал, если последний не нарушал правил игры. Однако, разумеется, лишь с большой степенью условности можно считать, что этот автомат анализировал складывавшуюся перед каждым ходом ситуацию. Фактически все возможные в игре позиции были заранее предусмотрены изобретателем, и на каждый ход черного короля в конструкцию автомата была «вложена» возможность ответного хода, безусловно ведущего к победе. Вместе с тем автомат Квеведо, реализовавший специфический алгоритм выигрыша в ладейном эндшпиле, был непригоден, в принципе, для решения каких-либо других игровых задач.

Позднее, в 30-х и 40-х гг. нашего столетия, различными конструкторами было создано немало других электромеханических и электронных устройств, подобно автомату Квеведо, предназначенных для реализации выигрывающих алгоритмов в простых комбинаторных играх. Цель изготовления таких играющих автоматов в большинстве случаев заключалась в демонстрации перед широкой публикой возможностей техники своего времени. Поэтому такие автоматы появлялись обычно на крупных международных технических выставках, и их показ носил скорее рекламный, нежели научный характер.

Так, в 1939 г. на Всемирной выставке в Нью-Йорке демонстрировался один из первых автоматов, построенных специально для игры в «Ним» (в этой игре двое поочередно берут по определенным правилам камешки из двух или нескольких кучек; выигрывает тот, кому достанется последний камешек). Очевидцы рассказывают, что интерес посетителей выставки к этому экспонату был огромный. С утра до позднего вечера небывалое оживление царило в павильоне, где показывали этот автомат. Громкие споры, восхищенные возгласы и скептические замечания сменялись тишиной, полной напряженного ожидания. Нетерпеливая молодежь, степенные отцы семейств и почтенные леди — все с увлечением играли с автоматом в камешки, или, точнее, в лампочки, ибо вместо обычных для игры в «Ним» камешков здесь использовались электрические лампочки накаливания, включаемые поочередно автоматом и его партнером-человеком. Автомат, представлявший собой релейно-контактное устройство, играл, следуя выигрышной стратегии, и всегда побеждал.

Впоследствии были построены и другие автоматы для этой игры. В некоторые конструкции была «заложена» более широкая программа действий: автомат выигрывал, когда выигрыш вообще был возможен, но обычно он предоставлял первый ход человеку в выигрышной позиции, так что последний мог и выиграть, если играл безошибочно; если же противник допускал хотя бы один ошибочный ход, то автомат перехватывал инициативу и выигрывал.

В 1940 г. У. Кейстером была построена одна из первых электрических машин для игры в «крестики и нолики» на поле из девяти клеток, а позднее появились аналогичные устройства для других подобных игр. Все эти автоматы создавались главным образом в рекламных, учебных и иных специальных целях, и каждая из них была приспособлена для решения только одной, конкретной игровой задачи.

Переворот в применении автоматических устройств для решения игровых задач произошел в конце 40-х гг. нашего столетия, когда появились и стали все шире использоваться для решения различных практических и научных задач ЭВМ.

Современная ЭВМ — это довольно сложный комплекс электронной и электротехнической аппаратуры.

В состав ЭВМ входят многие тысячи полупроводниковых диодов, транзисторов, конденсаторов, а также микромодули, интегральные микросхемы и другие детали. Все они группируются в систему связанных между собой блоков и устройств. Главнейшие из них: запоминающее устройство (память машины), управляющее устройство, арифметическое устройство, а также устройство ввода исходных данных и устройство вывода результатов. Для того чтобы ЭВМ могла решить задачу, в нее вводится программа решения — совокупность команд, показывающих, какие действия и в какой последовательности нужно производить над исходными данными. Эти данные также вводятся в память машины. Затем арифметическое устройство приступает к вычислениям согласно командам, поступающим с управляющего устройства. Промежуточные результаты накапливаются в памяти машины и используются по мере надобности арифметическим устройством для продолжения вычислений. Окончательный ответ подается на устройство вывода результатов, где ему придается форма, удобная для прочтения и изучения.

Важнейшие достоинства цифровых ЭВМ — их быстродействие (десятки миллионов вычислительных операций в секунду) и универсальность: одна и та же ЭВМ может решать самые разнообразные математические и логические задачи.

Почему же с появлением ЭВМ именно к этим машинам обратились конструкторы играющих устройств — автоматов?

Дело в том, что для принятия решения в конфликтной ситуации обычно приходится выполнить ряд расчетных и других логических операций. При этом во многих случаях необходимо выполнить большой объем вычислений в предельно сжатые сроки. А ЭВМ способны успешно справиться с этим, совершая такие действия автоматически и с большой скоростью. Поэтому неудивительно, что сразу же после создания первых ЭВМ возникла идея применить их для решения игровых задач. И в самом деле, вскоре появились составленные математиками программы для «работы» ЭВМ в качестве партнеров в таких играх, как, например, «Ним», «крестики — нолики», домино, некоторые карточные игры и простейшие игры на шахматной доске. На научных конференциях и технических выставках стали все чаще демонстрировать

игровые способности различных компьютеров (так стали называть ЭВМ), причем последние справлялись с возложенной на них ролью весьма успешно.

В 1949 г. Клод Шеннон высказал ряд важных соображений о возможности машинной игры в шахматы, дав тем самым толчок для большого количества исследований в этом направлении. Целые коллективы ученых в разных странах включились в работу по созданию искусственного «электронного шахматиста», ибо стало ясно, что успех в этом деле открывает путь к решению самых сложных проблем управления. Ведь машина, умеющая хорошо играть в шахматы, найдет себя и в таких сложных «играх», где выигрышем будет сталь, зерно, автомобили, электроэнергия, здоровье и безопасность людей. Сам К. Шеннон привел целый список задач, автоматизация решения которых в той или иной мере аналогична автоматизации игры в шахматы: перевод с одного языка на другой, конструирование релейно-контактных схем, оркестровка мелодий, управление распределением телефонных вызовов, военно-стратегические проблемы и другие. Многие из этих задач уже теперь успешно решаются. Разработка методов решения с помощью ЭВМ игровых задач позволяет ученым и инженерам глубже исследовать возможности этих кибернетических устройств, улучшать их и совершенствовать, расширяя сферу их применения.

Каким же образом выполняет ЭВМ роль партнера в различных играх? В настоящее время известно немало разнообразных принципов, которые могут быть положены в основу выступления компьютера на этом поприще. Выбор того или иного из них зависит главным образом от характера и сложности игры.

Обратимся, например, к таким играм, в основе которых лежит строгая и хорошо разработанная математическая теория (сюда относятся, как мы дальше увидим, многие комбинаторные игры). Эти игры позволяют в любом положении путем относительно несложных вычислений определить ход, ведущий к выигрышу. Поэтому здесь для ЭВМ нет никаких трудностей в «овладении» мастерством игрока. Достаточно ввести в машину соответствующую программу — и она станет достойным противником в игре с человеком.

В качестве примера приведем автоматизацию с помощью ЭВМ игры в «Ним» с тремя кучками предметов

в таком ее варианте: каждый игрок при своем очередном ходе может взять любое число предметов, но только из одной кучки, и выигрывает тот, «чья последняя рука» (т. е. кто возьмет последний предмет). В следующей главе мы подробно исследуем подобные игры и убедимся в том, что здесь для каждого игрока возможна одна из двух ситуаций. При первой ситуации игрок всегда может делать ходы, ведущие к его бесспорному выигрышу, а при наличии второй ситуации этот игрок может проиграть при правильной игре противника, его выигрыш возможен только в случае ошибки противника.

В 1955 г. Н. А. Криницким была составлена программа, по которой ЭВМ «Стрела» могла играть в «Ним» против человека. Программа эта предписывает машине действовать так, что при наличии для нее первой ситуации она всегда может совершать только правильные ходы (ведущие к ее выигрышу). При наличии для нее второй ситуации машина делает ходы, при которых ошибка со стороны противника наиболее вероятна. Внешне игра машины с человеком выглядит так. На картонном листе, разграфленном на три части, раскладывают фишки. Оператор — человек, работающий за пультом управления ЭВМ, вводит в память машины информацию о том, сколько фишек лежит в каждой кучке и кому принадлежит первый ход. После каждого хода противника с пульта вводят информацию о том, из какой кучки и сколько фишек он взял, и нажимают кнопку с надписью *Пуск*. В течение долей секунды ЭВМ «обдумывает» свой ход, т. е. производит необходимые вычисления, в результате чего получается ответ машины. Затем она останавливается, и на пульте вспыхивают лампочки, по которым можно узнать, из какой кучки и сколько фишек машина «берет». Если ЭВМ находится в ситуации бесспорного выигрыша, то загорается еще дополнительная сигнальная лампочка. По этому сигналу оператор, демонстрирующий игру машины, заранее знает, что ее противник должен проиграть.

Многократно проводившиеся опыты показали, что ЭВМ играет в «Ним» и другие подобные игры в сотни раз быстрее человека и не совершает ошибок, которые нередко допускает даже игрок, хорошо знающий алгоритм оптимальной игры.

Иной принцип используется при составлении программы работы ЭВМ для таких игр, где нельзя указать

строго определенные математические формулы, по которым можно было бы вычислить ходы, ведущие к выигрышу. Если число различных позиций в игре не слишком велико, то в запоминающее устройство машины вводятся все возможные варианты игры — составляется «словарь» игры, т. е. набор рекомендаций вида: «Если противник пойдет..., то надо отвечать ходом...» Это — своеобразный «рецепт» на все случаи, которые могут возникнуть в игре. Когда машине нужно сделать очередной ход, она просматривает свой «словарь» и выбирает наилучший ход для продолжения игры. Такая машина всегда играет оптимально. Наибольшее, на что может надеяться ее противник, — это ничья, если только вообще она возможна. Примерами таких программ, основанных на использовании «словаря» с перечнем всех возможных вариантов игры, могут служить программы для игры в «крестики — нолики» на поле из девяти клеток или программа для игры «Волк и охотники» на шахматной доске.

Надо заметить, что программы для игр машин, составленные на основании алгоритма типа «словарь», большого практического значения не имеют, так как даже для таких игр с полной информацией, какими являются шашки (не говоря уже о шахматах), создание «словаря» практически невозможно из-за слишком большого количества вариантов. Для большинства игр, имеющих практическое значение, не может быть указан безусловно выигрывающий алгоритм, и невозможно создать «словарь» оптимальных ходов для всех возможных ситуаций. Как же в таких случаях составляется руководство к действию для машинной игры?

Если точное решение игры неизвестно, то все же нередко оказывается возможным сформулировать некоторые общие принципы, которых следует придерживаться во время игры. Для таких игр программа работы ЭВМ составляется так, чтобы при выборе машиной очередного хода эти общие принципы удовлетворялись наилучшим образом. Разумеется, поскольку использования только общих принципов не всегда бывает достаточно для достижения победы, составленная на их основе программа не может обеспечить безупречную игру машины. Однако ЭВМ способна в этом случае делать достаточно хорошие ходы, если только общие принципы тщательно продуманы.

Примером реализации в программе для ЭВМ общих стратегических принципов этого типа является использование идеи К. Шеннона о числовой оценке позиции во время игры в шахматы с помощью так называемой «функции позиции». Такая функция дает возможность количественно оценить ситуацию с точки зрения одного из игроков (машины). При этом учитываются наличие тех или иных фигур, их взаимное расположение, подвижность, т. е. количество полей доски, находящихся под боем у той и другой стороны, и т. п. Экспериментально подбирая значения численных оценок фигур, можно построить алгоритм, по которому машина будет играть на уровне шахматиста-любителя.

Например, в одной из подобных программ, разработанной Г. Шлибсом, были предложены следующие численные оценки фигур: король — 200; ферзь — 9; ладья — 5; слон — 3; конь — 3; пешка — 1; отстающая пешка — 0,5; изолированная пешка — 0,4; сдвоенная пешка — 0,3.

Выбор очередного хода машина осуществляет путем перебора всех возможных вариантов ходов и всех возможных ответов противника на два или три хода вперед. Для каждой возможной ситуации машина вычисляет функцию позиции и затем выбирает тот ход, который обещает привести (через два или три хода соответственно) к наибольшему значению этой функции. Кроме того, программа предусматривает также проверку ряда дополнительных условий: нет ли на доске матовой ситуации, не находится ли король под шахом, не стоят ли свои фигуры под ударом фигур противника, нет ли связок и т. п.

Играет ЭВМ по такой программе вполне корректно, она соблюдает правила игры и может выиграть у слабого или даже среднего игрока. Машина никогда не «прозевает» свою фигуру и вовремя безошибочно возьмет фигуру противника. Если есть возможность, то машина уйдет от мата, но не упустит случая сделать мат противнику, если только матовая позиция попала в число ближайших, «просматриваемых» ею ходов. Но сильный игрок, способный продумать партию на большее число ходов вперед, чем машина, безусловно, выиграет у нее.

Особенно ощутимы недостатки программы такого типа в партиях «позиционных», в которых нет заметного изменения положения на протяжении несколь-

ких ходов. К. Шеннон иллюстрирует это забавным эпизодом, который произошел однажды с составителем подобной программы для игры ЭВМ в шашки А. Л. Сэмюэлем. Когда ученый ввел впервые свою программу в машину и нажал пусковую кнопку для первого хода, машина бешено проработала несколько минут, а затем бодро отпечатала: «Я сдаюсь!»

Шашечные и шахматные задачи двух- и трехходовки и простые шахматные эндшпили решаются машиной, работающей по такой программе, хорошо и быстро. Конечно, перебирая многочисленные варианты ходов, машина ведет себя не совсем разумно: она просматривает все, в том числе и явно абсурдные варианты, над которыми шахматист-человек никогда бы не задумался. Выполнение такой ненужной работы компенсируется лишь быстродействием машины, ее способностью рассчитывать многие тысячи вариантов в секунду.

Но никакое быстродействие не спасет машину от цейтнота, если, пытаясь улучшить ее игру, мы пожелаем запрограммировать перебор всевозможных вариантов не на три, а скажем, на пять или десять ходов вперед. В самом деле, при игре в шахматы в обычных позициях в дебюте число допустимых правилами ходов колеблется от 20 до 30—35. Сколько же вариантов пришлось бы рассчитывать машине на пять ходов перед выбором каждого очередного хода?

Если считать даже только по 20 вариантов на каждом ходу, то получится 20^{10} вариантов — несколько больше 10 триллионов! При скорости счета 10 тысяч вариантов в секунду для выбора очередного хода машине понадобилось бы около 30 лет!

Стремительное развитие вычислительной техники в последние годы позволяет значительно увеличить быстродействие ЭВМ, но, тем не менее, вряд ли удастся добиться заметного улучшения игры машины-шахматиста, увеличивая дальность расчета всех вариантов. Не простой перебор всех вариантов на много ходов вперед, а правильный отбор лишь некоторых, особо перспективных из них и более далекий их расчет — таков путь совершенствования программы для машинной игры в шахматы.

Значительные успехи на этом пути достигнуты в последние годы советскими исследователями, которые

работают под руководством доктора технических наук, экс-чемпиона мира по шахматам М. М. Ботвинника, разработавшего теорию моделирования мышления человека-шахматиста. Созданная этими учеными шахматная программа «Пионер», по словам М. М. Ботвинника, пока «по-видимому, единственная программа, использующая те же методы, что и шахматный мастер». Подобно шахматному мастеру, «Пионер» не рассматривает ходы, заведомо лишенные смысла, он достаточно быстро и эффектно решает сложные шахматные этюды, которые явно не под силу программам, основанным на простом переборе всех вариантов. Теперь наши ученые занимаются «доводкой» этой программы, готовая ее к выступлению в очередном чемпионате мира среди ЭВМ-шахматистов.

Проведение таких чемпионатов мира среди шахматных компьютеров становится уже традиционным. Вот что рассказывает об этом гроссмейстер М. М. Ботвинник.

«Раз в три года ученые ряда стран, где ведутся работы в области шахматного программирования, проводят чемпионаты мира среди компьютеров. Турниры приурочиваются к конгрессам ИФИП (Международная федерация по обработке информации) и служат средством обмена результатами исследований в весьма важной области науки. Чемпионат машин — зрелище прелюбопытное. За шахматными досками сидят авторы программ. По специальным каналам связи они сообщают своим компьютерам, находящимся на далеком расстоянии, очередной ход «противника». Ответный ход ЭВМ воспроизводится на телевизоре (дисплее) и повторяется на шахматной доске. В ожидании ученые дружелюбно беседуют, анализируют позицию, спорят, шутят и нередко критикуют игру своих программ. Да это и понятно: турнир компьютеров — спортивное соревнование лишь по форме, оно преследует научные цели [3].

На первом таком чемпионате, состоявшемся в августе 1974 г. в Стокгольме (Швеция), в борьбе за титул сильнейшего электронного шахматиста планеты участвовали двенадцать ЭВМ из восьми стран мира. Наша «Каисса», созданная под руководством В. Арлазарова и М. Донского, победила австрийскую ЭВМ «Франц», американские «Тич II», «Хаос» и «Острич»

и, набрав четыре очка из четырех возможных, завоевала звание первого чемпиона мира среди шахматных ЭВМ. Во втором чемпионате мира, который состоялся в августе 1977 г. в Торонто (Канада), основное соперничество вновь разыгралось между сильнейшими ЭВМ (и программами!) советских и американских ученых. На этот раз победу одержала американская «Чесс 4.6», разработанная Д. Слейтом и Л. Аткиным. В этой программе был предусмотрен простой перебор всех возможных вариантов игры на три хода (шесть полуходов) вперед, и для ее реализации американские ученые использовали универсальную ЭВМ. По оценкам специалистов «Чесс 4.6» играла в силу шахматиста-перворазрядника.

На третьем чемпионате мира среди ЭВМ-шахматистов, состоявшемся в 1980 г., первое место опять завоевала американская ЭВМ на этот раз не универсальная, а специально сконструированная и построенная энтузиастами — математиками К. Томсоном и Дж. Кондоном для своей шахматной программы «Белл». И здесь был использован метод простого перебора всех вариантов, но применение специализированной ЭВМ позволило увеличить предельную «длину» рассматриваемых вариантов до восьми полуходов, что и обеспечило, по мнению М. М. Ботвинника, победу в чемпионате. Программа «Белл» достигла уровня игры кандидата в мастера.

Однако применение специализированных ЭВМ не устраняет недостатки метода простого перебора всех вариантов игры, ибо, как мы видели, с увеличением длины вариантов число рассматриваемых позиций катастрофически быстро растет. Дальнейший рост мастерства электронных шахматистов возможен лишь при более эффективных методах использования возможностей ЭВМ.

Есть все основания ожидать, что будущий ЭВМ-чемпион будет опытным шахматным мастером.

Применение современных ЭВМ позволяет уже сегодня решать весьма сложные игровые задачи, а недалекое будущее рисует еще более радужные перспективы. Однако не следует упускать из виду игровые возможности и «способности» более простых электротехнических и электронных устройств. Для автоматизации многих игр (не таких сложных, как шашки или

шахматы) вовсе не обязательно использовать ЭВМ— эти пока еще слишком дорогие и сложные детища кибернетики. Разнообразные играющие автоматы могут быть построены на основе сравнительно небольшого числа таких широко распространенных в любительской практике элементов и деталей, как транзисторы, полупроводниковые диоды, электромагнитные реле, лампочки для карманного фонаря, выключатели, кнопки. Играют эти автоматы не хуже настоящих ЭВМ, а устроены значительно проще и в отличие от ЭВМ вполне доступны для изготовления в любительских условиях.

В следующих главах будет рассказано о простых самодельных играющих автоматах и подробно описаны конструкции некоторых из них.

ГЛАВА ВТОРАЯ

В ДЕБРЯХ КОМБИНАТОРИКИ

Комбинаторные игры

В 1612 г. в городе Лионе увидело свет сочинение французского математика Баше де Мезирьяка «Занимательные и приятные числовые задачи». В этой книге среди разнообразных забавных задач и упражнений была описана незатейливая, но интересная игра, долго кочевавшая впоследствии в различных вариантах по многочисленным сборникам математических игр и развлечений и известная теперь под названием игры Баше. Вот один из вариантов этой игры.

Из кучки, содержащей вначале определенное количество каких-либо предметов, двое играющих берут поочередно каждый раз по одному или по два предмета. Выигрывает тот, кто своим очередным ходом сможет забрать все оставшиеся предметы.

Предложите кому-либо из своих приятелей сыграть в эту игру несколько партий, воспользовавшись в качестве предметов спичками, камешками, орехами или чем-нибудь другим. С чего вы начнете игру?

Можно, например, взять одну спичку, а можно — две. На каждый из этих ходов ваш партнер ответит также взятием одной или двух спичек. Значит, всего возможно $2\times2=4$ варианта первого хода. Для вторых ходов, очевидно, также возможны четыре различных варианта, а всего первые два хода можно осуществить 16 различными способами ($4\times4=16$). Для первых трех ходов (при достаточно большом количестве спичек) находим уже $4\times4\times4=64$ варианта развития игры; далее по мере увеличения исходного количества спичек число различных вариантов быстро возрастает.

Если спичек в кучке немного, то все возможные варианты ходов нетрудно перебрать в уме и сравнить, чтобы выбрать из них наилучший. Ну, а если спичек так много, что партия игры растягивается на десяток и более ходов? Тогда количество возможных вариантов будет уже исчисляться многими сотнями и даже тысячами! Вряд ли кто-либо из читателей придет в восторг от такого способа поиска наилучшего хода, при котором приходится перебирать и сравнивать тысячи вариантов!

Поэтому обычно игроки, ранее не знакомые с игрой Баше, берут спички просто наугад. Игра при этом идет с переменным успехом, случайно выигрывает то один, то другой из партнеров. А между тем исход этой игры зависит не от случайного стечения обстоятельств, а вполне закономерен. И когда играющие в этом убеждаются, интерес к игре сразу же пропадает: что же это за игра, если все заранее предопределено!

Теория игры Баше очень проста. Неблагоприятным для игрока, делающего очередной ход, будет число предметов (обозначим его m), равное или кратное 3. Действительно, когда $m=3$, то при любом ходе игрока противник может сразу забрать оставшиеся один или два предмета и выиграть. Если же $m=3n$ (где n—любое целое число), то после любого хода игрока противник, сделав соответствующий ответный ход, может оставить $3(n-1)$ предметов, а при следующем своем ходе — $3(n-2)$ предметов и т. д., доведя, наконец, число предметов в кучке до 3, что обеспечивает ему выигрыш. В случаях, когда исходное количество предметов не кратно 3 (т. е. $m=3n+1$ или $m=3n+2$), первый игрок, взяв своим ходом один или два предмета

и оставив в кучке $3n$ предметов, обречет своего противника на проигрыш.

Итак, выигрышная стратегия в описанном варианте игры Баше сводится к следующему: уступать право первого хода противнику, если исходное число предметов в кучке кратно 3; начинать игру самому в случае, если это число не кратно 3; своим очередным ходом дополнять число предметов, взятых противником, до 3 (оставляя число предметов, кратное 3).

Пусть, например, исходное число спичек равно 12. Можно подсчитать, что при этом возможны 229 различных вариантов развития игры. Однако нет необходимости перебирать и анализировать все эти варианты в поисках оптимального хода. Предложите вашему противнику сделать первый ход и поступайте далее в соответствии с указанным выше алгоритмом: если противник возьмет две спички, то вам следует брать одну, а если он берет одну спичку, то вы берете две. Противник может вести себя как угодно (в пределах правил игры), но он не в состоянии будет изменить предрешенный результат игры — свой проигрыш.

Развитие игры при выборе игроками различных вариантов стратегий удобно изображать графически в виде так называемого дерева игры. На рис.1 представлено такое дерево для игры Баше при 12 спичках в кучке (в предположении, что один из игроков — игрок B — придерживается выигрышной стратегии). Узлы дерева (кружки) соответствуют возможным позициям в игре. Внутри каждого узла под чертой записано, сколько в кучке осталось спичек, а над чертой буквами A или B указано, кто из игроков должен делать ход в этой позиции. Стрелки, исходящие из узлов, и поставленные рядом с ними числа обозначают ходы игроков и количества взятых ими спичек (в соответствии с правилами игры). Заштрихованные узлы соответствуют заключительным позициям при выигрыше игрока B. Каждая партия игры представляется на дереве последовательной цепочкой узлов и стрелок, соединяющей узел исходной позиции с одним из узлов конечной позиции (еще раз подчеркнем, что на этом дереве игры указаны не все возможные варианты развития игры, а лишь те, которые ведут к

выигрышу B при использовании им выигрышной стратегии).

Рассматривая дерево игры Баше, нетрудно убедиться в том, что игроку B всегда обеспечен выигрыш, если игру начинает игрок A. Разумеется, успех B будет

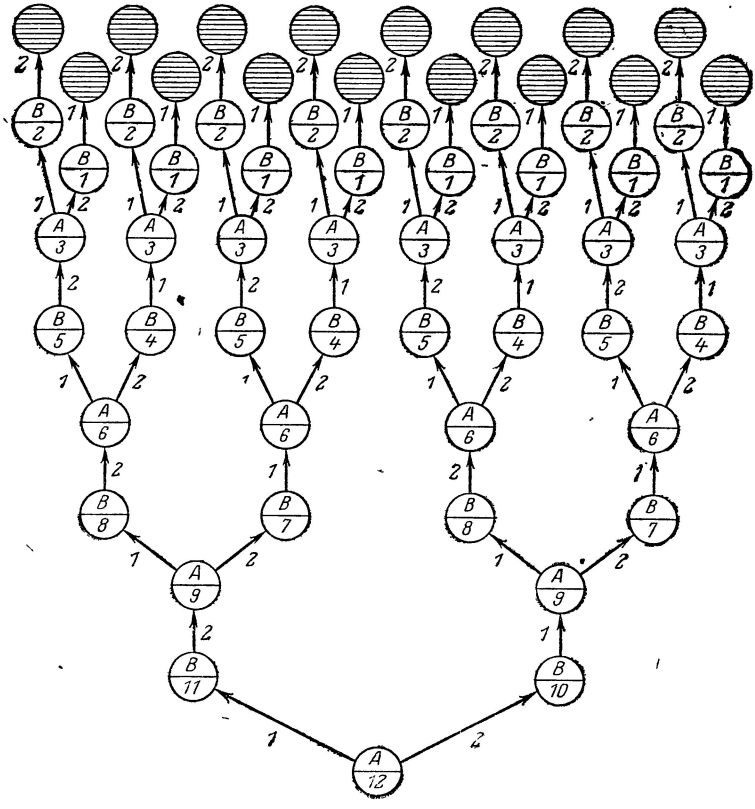

Рис. 1. Дерево игры Баше.

полным, если его партнер A незнаком с теорией игры. В противном случае он откажется начинать игру, предвидя свой проигрыш!

Игре Баше можно придать и иной вид. Вычертите на полоске бумаги игровое поле, состоящее из 13 клеток, расположенных в ряд (рис. 2); в левую крайнюю клетку поместите фишку (монету, пуговицу или какой-

нибудь иной мелкий предмет). Теперь пусть двое играющих по очереди передвигают фишку вправо на одну или две клетки. Выигрывает тот, кому удастся поставить фишку в правую крайнюю клетку (так что его противнику будет некуда ходить).

Представляем читателю самостоятельно убедиться в том, что отличие этой разновидности игры Баше от

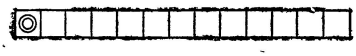

Рис. 2. Игра Баше на поле из 13 клеток.

игры с кучкой спичек — чисто внешнее. Обе разновидности, как говорят математики, являются изоморфными (слово «изоморфизм» происходит от греческих слов «изос — постоянный, неизменный и «морфэ» — форма).

Здесь было подробно рассказано лишь об одном варианте игры Баше. Известно много других вариантов этой простой комбинаторной игры. От описанного варианта они могут отличаться прежде всего исходным числом предметов: оно может быть и больше, и меньше двенадцати. Иными могут быть и правила взятия предметов из кучки во время игры. Например, правила эти могут допускать одновременное взятие не только одного или двух, но и трех, и четырех, и даже более предметов[1]. Наконец, в некоторых вариантах игры Баше выигравшим считается не тот, кто возьмет последний предмет, а тот, кто заставит сделать это своего противника.

При переходе от одного варианта игры Баше к другому выигрышная стратегия, разумеется, несколько видоизменяется в соответствии с изменением правил игры. Так, например, если правилами игры будет разрешено игроку брать за один ход один, два или три предмета, то для того, чтобы взять последний предмет и выиграть, следует: уступать первый ход противнику, если исходное число предметов кратно 4; начинать игру самому, если это число не кратно 4; своим очередным ходом дополнять число предметов, взятых противником, до 4 (оставляя в кучке число предметов, кратное 4).

[1] В книге самого Баше де Мезирьяка эта игра была описана в такой форме: двое называют поочередно числа от единицы до десяти, и выигрывает тот, кто первый доведет до ста сумму чисел, названных обоими игроками.

Если согласно правилам игры тот, кому приходится взять последний предмет, проигрывает (и каждому разрешается одновременное взятие одного или двух предметов), то выигрышная стратегия такова: уступать первый ход противнику, если исходное число предметов в кучке равно $3n+1$; начинать игру самому, если это число равно $3n$ или $3n+2$; своим очередным ходом брать из кучки столько предметов (один или два), чтобы оставалось $3n+1$ предметов.

Аналогично видоизменяется выигрышная стратегия при других вариантах игры Баше. Но всегда такая стратегия существует, обеспечивая победу одному из игроков.

Значительно сложнее игры Баше другая подобная игра, которая была известна еще в древнем Китае под названием «Цзяньшицзы». В переводе «цзяньшицзы» означает «выбирание камней». Камни (или какие-либо иные предметы) в начале игры находятся в двух кучках. Двое игроков по очереди берут либо произвольное число камней из одной кучки (можно взять даже все камни сразу), либо по одинаковому (тоже произвольному) числу камней из каждой. Выигрывает тот, кто при своем очередном ходе заберет все оставшиеся камни.

Нетрудно убедиться в комбинаторной сложности этой игры. Ведь даже при небольших количествах камней в каждой из куч в начале игры общее число вариантов поведения игроков очень велико. Тем не менее теоретический анализ позволяет и здесь сформулировать для одного из игроков алгоритм, всегда ведущий к выигрышу. Не будем подробно останавливаться на всех деталях математической теории игры «Цзяньшицзы» [8]. Обратимся сразу к выводам этой теории.

Пары чисел, обозначающих количества камней в кучках перед ходом каждого игрока, называют позициями в игре. Среди возможных позиций в теории выделяются так называемые особые или проигрышные позиции. Вот первый десяток особых позиций: (0, 0), (1, 2), (3, 5), (4, 7), (6, 10), (8, 13), (9, 15), (11, 18), (12, 20), (14, 23). В теории доказываются следующие свойства особых позиций: при любом ходе из особой позиции (в соответствии с правилами игры) происходит переход в неособую позицию; от любой неособой позиции соответствующим ходом (согласно правилам игры) можно перейти к особой позиции.

Из этих свойств особых позиций следует, что если один из игроков делает свой ход из особой позиции, то его партнер ответным ходом может привести игру к другой особой позиции, с меньшим числом камней в каждой кучке. Повторяя далее такой же маневр при последующих ходах, партнер в конце концов приведет игру к позиции (0, 0), т. е. выиграет.

Итак, выигрышная стратегия здесь сводится к следующему: уступать право первого хода партнеру, если числа камней в кучках образуют особую позицию; начинать игру самому в случаях, если эти числа образуют неособую позицию; при каждом своем очередном ходе переходить от неособой позиции, созданной предыдущим ходом партнера, к новой особой позиции.

На рис. 3 изображено дерево игры «Цзяньшицзы» для выигрышной стратегии игрока *B*, играющего с игроком *A*, который начинает игру. Здесь исходные числа камней в кучках равны 4 и 7, т. е. составляют особую (проигрышную для начинающего) позицию. Кружками на схеме, как и ранее, показаны возможные позиции в игре: в каждом кружке под чертой записана позиция, а над чертой буквами *A* и *B* указано, кто из игроков должен делать ход в этой позиции. Стрелки, соединяющие кружки, и поставленные рядом цифры обозначают ходы игроков и числа взятых ими из каждой кучки камней. Заштрихованные кружки соответствуют заключительной позиции (0, 0) — при выигрыше игрока *B*.

Пусть, например, игрок *A*, начиная игру, берет только один камешек из первой кучки, перейдя тем самым к позиции (3, 7). Игрок *B* в ответ возьмет из второй кучки два камня, и в результате получится особая позиция (3, 5). Если теперь игрок *A* возьмет, например, по одному камешку из каждой кучки, перейдя к позиции (2, 4), то игрок *B* своим очередным ходом возьмет три камешка из второй кучки, так что снова получится особая позиция (2, 1). Как бы далее ни поступил игрок *A*, игрок *B* ответным ходом заберет все оставшиеся камешки и выиграет. Аналогично игра развивается и в других случаях. Игрок *A* всегда обречен на проигрыш.

Познакомимся теперь с еще одной игрой в камешки, немного похожей на игру Баше, — игрой «Набери чет». Здесь также имеется кучка, из которой двое играющих по очереди берут камешки, но по другим правилам: кто возьмет последний камень — это не имеет значения. Вы-

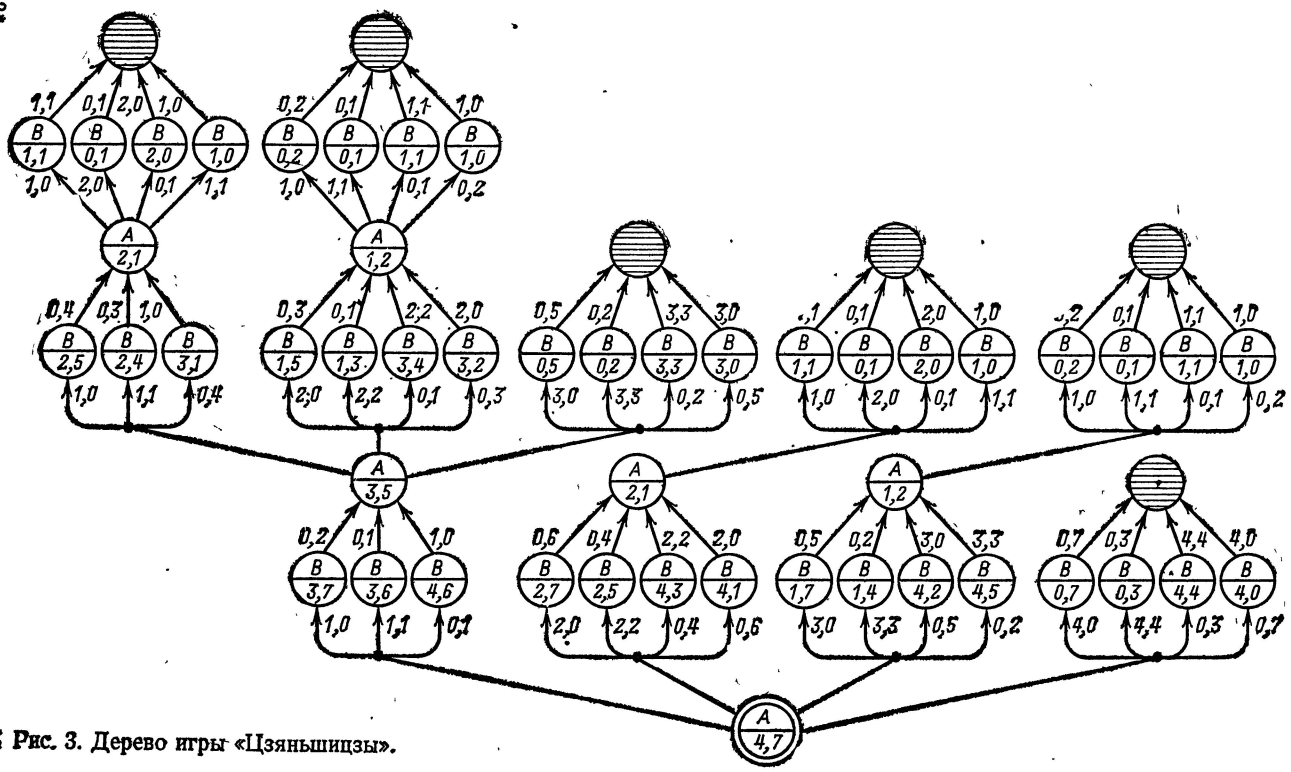

Рис. 3. Дерево игры «Цзяньшицзы».

игравшим считается тот из игроков, у кого к концу игры будет набрано четное число камешков. Всего в начале игры имеется 13 камешков; за один ход игроку разрешается взять от одного до четырех (не более) камешков.

«Набери чет» — типичная комбинаторная игра. Хотя она и значительно сложнее, чем игра Баше, здесь также

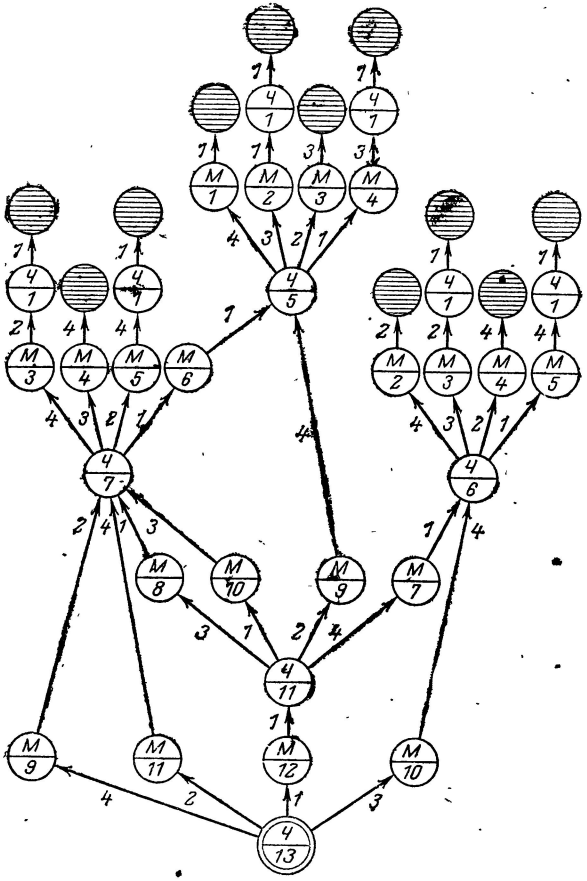

Рис. 4. Дерево игры «Набери чет».

исход всегда предопределен: тот из игроков, который начинает игру, при умелом поведении противника обречен на проигрыш. Чтобы убедиться в этом, рассмотрим дерево игры «Набери чет». На рис. 4 дерево игры изо-

бражено для того случая, когда один из игроков *М* пользуется выигрышной стратегией, а другой игрок *Ч* лишен этой возможности (мы убедимся далее, что роль игрока *М* может быть передана автомату).

Проследим по дереву игры, как проходит какая-либо из партий. Пусть, например, игрок *Ч* делает первый ход, взяв четыре камешка. В кучке остается девять, и игрок *М* ответным ходом берет два из них. Теперь в кучке осталось семь камней. Предположим, что игрок *Ч* вторым ходом берет один камешек. Тогда игрок *М* возьмет также только один камень, в кучке останется пять камней, а на руках у каждого из игроков будет нечетное число камешков: у игрока *Ч* их будет 4+1=5, а у игрока *М* 2+1=3. Теперь ясно, что игрок *Ч* обречен: сколько бы камешков он ни взял при третьем ходе — один, два, три или четыре — игрок *М* в любом случае может взять ответным ходом нечетное количество камней (три или один). Набрав, таким образом, в общем четное количество, он обеспечивает себе выигрыш. Даже если после третьего хода у игрока *Ч* окажется четное количество взятых камней, игрок *М* «заставит» его взять четвертым ходом последний оставшийся камень и довести общую сумму взятых камней до нечетного числа.

Разумеется, и здесь алгоритм победы гарантирует выигрыш *М* лишь при условии, что игру (в особой позиции) начинает *Ч*. Ну, а если игрок *Ч* откажется начинать и предложит сделать это игроку *М*? Тогда последнему останется лишь надеяться на ошибку партнера во время игры или на то, что тот не знает выигрышной стратегии. С внимательным и теоретически подготовленным противником начинать игру в этом случае безнадежно.

Многие игры, для которых полем «боя» является шахматная доска, очень похожи на описанные нами игры в камешки и также относятся к классу комбинаторных игр. Вот простой пример такой игры.

В верхнем правом углу доски на поле *h8* стоит шашка. Двое играющих ходят ею по очереди, передвигая шашку на одно из соседних полей. Допускаются лишь направления движения, указанные на рис. 5. Выигрывает тот, кто своим очередным ходом поставит шашку на нижнее левое поле *a1*.

В этой несложной игре тоже существует простой алгоритм победы для того, кто начинает игру. Этот игрок должен ставить шашку только на поля, отмеченные на

рис. 6 знаком «—», что он всегда может сделать, так как эти поля находятся в четных строках и четных столбцах, считая сверху справа. При такой стратегии первого игрока его противник каждый раз будет вынужден делать ход с поля, отмеченного «—», а эти поля, как нетрудно видеть, соответствуют особым (проигрыш-

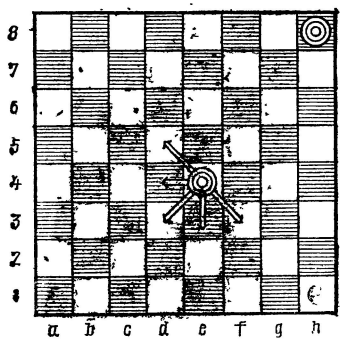

Рис. 5. Пример комбинаторной игры.

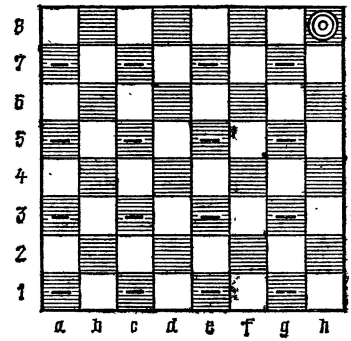

Рис. 6. Проигрышные («—») поля комбинаторной игры.

ным) позициям. Поэтому второго игрока неминуемо ждет поражение.

Интересную игру, немного похожую на эту, можно разыгрывать на шахматной доске перестановкой одного ферзя; игра так и называется — «Одинокий ферзь». В начале игры ферзь устанавливается на одном из полей шахматной доски, например на поле *e8* (рис. 7). Двое игроков по очереди передвигают ферзя, причем за один ход каждый может передвинуть его на произвольное число клеток либо вниз по вертикали, либо влево по горизонтали, либо влево и вниз по диагонали. Выигрывает тот, кто своим очередным ходом загонит ферзя в левый нижний угол (на поле *a1*), так что его противнику некуда будет ходить.

Как найти выигрышную стратегию для этой игры? Очевидно, поле *a1* (рис. 8) является проигрышным; обозначим его знаком «—». Далее, все поля, из которых ходом ферзя можно попасть на поле *a1*, являются выигрышными; отметим эти поля знаком «+». С полей *b3* и *c2* все ходы, дозволенные правилами игры, ведут на «плюсы». Значит, эти поля проигрышные, обозначим их

«—». А поля, из которых можно попасть ходом ферзя на *b3* или *c2*, — выигрышные; обозначим их «+». Продолжая рассуждать таким образом, завершим расстановку «+» и «—» на всех полях шахматной доски.

Теперь легко убедиться в том, что выигрышные поля («+») — это те, из которых хотя бы один ход ведет на

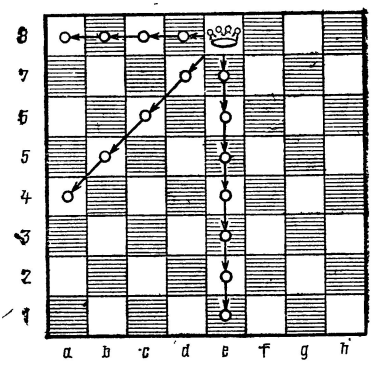

Рис. 7. Игра «Одинокий ферзь». Исходная позиция (стрелками показаны допустимые ходы ферзя).

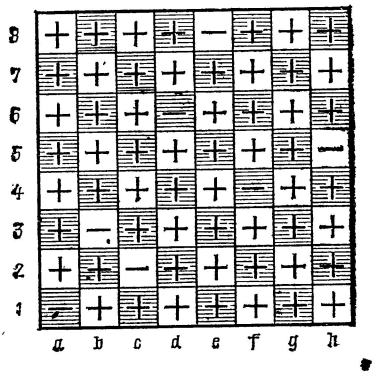

Рис. 8. Выигрышные («+») и проигрышные («—») поля шахматной доски в игре «Одинокий ферзь».

проигрышные, а проигрышные поля («—») — те, из которых любой ход ведет на выигрышные. Поэтому, если ферзь стоит в исходном положении на проигрышном поле, вы непременно добьетесь победы, предоставив первый ход противнику и делая ответные ходы на поля, обозначенные «минусами».

Интересно заметить, что игра «Одинокий ферзь» изоморфна описанной выше китайской игре «Цзяньшицзы». В этом нетрудно убедиться. Разложим камешки первой кучки по одному у каждой вертикали шахматной доски, начиная с *b*, а камешки второй кучки — по одному у каждой горизонтали, начиная со второй (рис. 9). Договоримся из первой кучки брать самые правые камни, а из второй — самые верхние. Пусть ферзь стоит на одной горизонтали с самым верхним камнем и на одной вертикали с самым правым. Из рисунка видно, что если убирается камень из первой кучки, то ферзь сдвигается

на одно поле влево, если из второй — на одно поле вниз и т. д.

Теперь читателю должно быть понятно, что обе игры изоморфны: положения ферзя на полях *a1*, *b3*, *c2*, *d6*, *e8*, *f4*, *h5* соответствуют особым (проигрышным) позициям в игре «Цзяньшицзы».

Предлагаем читателю начертить дерево игры для «Одинокого ферзя». Если в качестве исходного положения избрать положение ферзя на поле *e8*, что соответствует особой позиции (*4*, *7*), то это дерево получится точно таким же, как изображенное на рис. 3 дерево игры «Цзяньшицзы» (см. рис. 25).

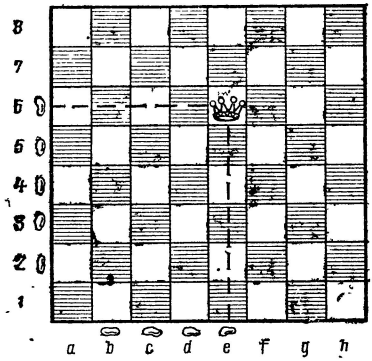

Рис. 9. Изоморфизм игр «Одинокий ферзь» и «Цзяньшицзы».

Внимательный читатель успел уже, вероятно, заметить, что все описанные здесь игры в камешки, как и игры на шахматной доске, при всем их различии в характере, условиях и математических приемах анализа сходны между собой. Это проявляется не только в самом факте существования алгоритма победы для одного из игроков, но и в том, как формулируется этот алгоритм. В самом деле, какой бы логический прием ни применяли при анализе каждой из игр, всегда выделялся некоторый класс особых позиций, обладающих своеобразным свойством «устойчивости»: всякий ход, сделанный из особой позиции, порождает неособую позицию; если же позиция неособая, то существует такой ход, который позволяет снова сделать позицию особой. И всегда игрок, оказавшийся вынужденным делать ход в особой позиции, обречен на проигрыш, а игроку, делающему ход в неособой позиции, гарантируется победа, если он действует в соответствии с выигрышным алгоритмом.

Разумеется, эта закономерность имеет место не только в играх с камешками и играх на шахматной доске. Рассмотренный нами класс игр гораздо шире. Приведем еще один образец простой комбинаторной игры. Два игрока поочередно кладут одинаковые монеты на круглый стол,

выбирая каждый раз произвольное положение центра монеты. Взаимное накрывание монет не допускается. Выигрывает тот из игроков, кто положит последнюю монету (когда места для других монет на столе уже не будет).

Выигрышная стратегия здесь заключается в том, чтобы, начиная игру, положить монету в центр стола, а далее на каждый ход противника отвечать симметричным ходом. Читателю нетрудно убедиться, что в этой игре все позиции делятся на особые и неособые и что алгоритм победы фактически предписывает начинающему игру своим очередным ходом всегда переходить от неособой позиции к особой.

Следует еще раз подчеркнуть, что все описанные здесь игры представляют интерес лишь до тех пор, пока участники игры незнакомы с теорией, не знают выигрышную стратегию. Если один из игроков узнает алгоритм победы, то, следуя ему, он будет неизменно выигрывать, пока его противник не поймет, что играть бессмысленно. Если же выигрышную стратегию узнают оба игрока, то сам процесс игры вообще потеряет для них всякий интерес: исчезнет неопределенность ее исхода. Аналогично обстоит дело и с другими комбинаторными играми, для которых разработана законченная теория и сформулирован алгоритм беспроигрышной игры.

Автоматы играют в камешки

Если найден и четко сформулирован алгоритм для решения какой-либо задачи, то, как известно, реализацию этого алгоритма всегда можно возложить на более или менее сложное автоматическое устройство. Поэтому в комбинаторных играх, для которых разработана законченная теория, роль одного из игроков, придерживающегося беспроигрышной стратегии, с успехом может выполнять автомат.

Игра в камешки, придуманная Баше де Мезирьяком, — одна из простейших комбинаторных игр. Она легче других подобных игр поддается автоматизации. Благодаря предельной простоте выигрывающего алгоритма электрическая схема автомата для игры Баше оказывается настолько несложной, что за ее сборку смело берутся даже начинающие любители в школьных технических кружках. Тем не менее на новичков, для которых

исход игры не очевиден, такие играющие автоматы, побеждающие своего противника много раз подряд с неизменным успехом, производят большое впечатление.

Мы опишем здесь три конструкции автоматов для игры Баше, несколько различающиеся по степени сложности и правилам игры. Разобравшись в описанных схемах, читатель при желании сможет не только построить любое из этих автоматических устройств, но и сконст-

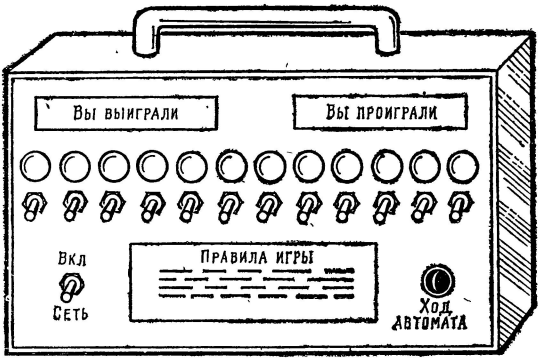

Рис. 10. Внешний вид автомата «Побеждает последний».

руировать свой вариант играющего автомата, внеся в конструкцию и схему изменения и усовершенствования, которые сочтет нужными.

Играющий автомат «Побеждает последний». Автомат представляет собой небольшой ящичек, на лицевой панели которого (рис. 10) расположены в ряд 12 лампочек с укрепленными под ними выключателями, кнопка *Ход автомата*, световые табло *Вы проиграли* и *Вы выиграли* (последнее является чисто декоративным и никогда не включается, поскольку всегда побеждает автомат), сетевой выключатель.

Двое играющих (один из них — автомат) поочередно отключают произвольное число ламп, но не менее одной и не более трех за один ход. Лампочки должны выключаться последовательно, одна за другой, начиная слева. Не разрешается оставлять очередные лампочки включенными, «перескакивая» через них, а также пропускать свой очередной ход. Человек, играющий с автоматом, после каждого своего хода должен нажимать кнопку *Ход*

автомата. Выигравшим считается тот из игроков, кто своим очередным ходом выключит последнюю лампочку.

Принципиальная схема автомата приведена на рис. 11. Стратегия игры автомата построена на правиле: предоставлять противнику первый ход и каждый раз, делая ответный ход, дополнять до четырех число выключенных им ламп. Это, как мы видели ранее, позволяет автомату выигрывать при любых ходах противника.

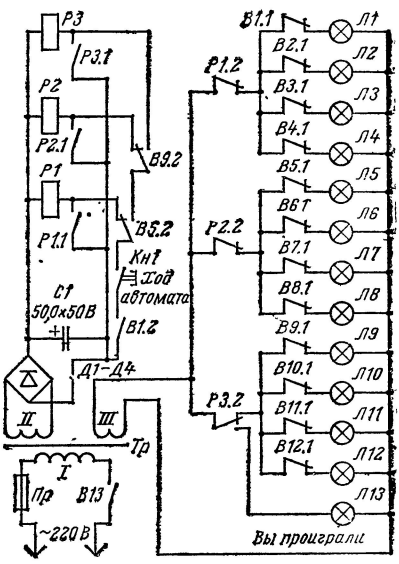

Рис. 11. Принципиальная схема автомата «Побеждает последний».

Автомат первым не начнет игры: при нажатии кнопки *Кн1 (Ход автомата)* цепь питания реле остается разомкнутой и они не срабатывают — все лампочки остаются включенными. Игру должен начинать противник автомата. Если он сделает первый ход, выключив выключателем *В1.1* лампочку *Л1*, то при этом на контакты кнопки *Кн1* через контакты *В1.2* будет подано напряжение; вне зависимости от того, выключил ли партнер автомата одну лишь лампочку *Л1* или еще и лампы *Л2* и *Л3* (выключателями *В2.1* и *В3.1*), при последующем нажатии кнопки *Кн1* сработает реле *Р1* и самоблокируется контактами *Р1.1*, а его контакты *Р1.2* отключат всю группу ламп *Л1—Л4*. Таким образом, число ламп, погашенных противником, автомат всегда дополняет до четырех.

При втором ходе противника автомата (выключении выключателем *В5.1* лампы *Л5*) контактами *В5.2* подготавливается к включению реле *Р2*. После нажатия кнопки *Кн1* реле *Р2* срабатывает, самоблокируется контактами *Р2.1*, а контактами *Р2.2* отключает вторую группу ламп *Л5—Л8*. Аналогично выполняется и третий ход,

причем последнюю лампочку *Л12* выключает всегда автомат, одновременно включая (контактами *Р3.2*) лампочку *Л13*, подсвечивающую световое табло *Вы проиграли.*

После того как все выключатели возвращены в исходное состояние и произведено кратковременное отключение сетевого питания, автомат готов к новой партии игры.

В автомате использованы: лампы ЛН 3,5 В×0,28 А; выключатели ТП1-2; *Р1—Р3* — реле РЭС-9 (паспорт РС4.524.200); *Кн1* — кнопка типа К1; диоды *Д1—Д4* — Д226Б; сердечник трансформатора *Тр1* набран из пластин Ш18, толщина пакета 20 мм (обмотка *I* содержит 2640 витков провода ПЭЛ-0,31; обмотка *II* — 228 витков ПЭЛ-0,31; обмотка *III* — 75 витков ПЭЛ-0,5).

Играющий автомат «Последний проигрывает». Лицевая панель этого автомата подобна описанной выше, но на ней расположены в ряд не 12, а всего 7 горящих ламп с относящимися к ним выключателями. Иные и правила игры. Оба игрока (один из которых — автомат) поочередно выключают по одной или по две (не более!) лампы. Побеждает здесь не тот, кто выключит последнюю лампу, а игрок, который заставит сделать это своего противника. Начинает игру всегда человек — партнер автомата, и после каждого своего хода он нажимает кнопку *Ход автомата.*

Принципиальная схема этого играющего автомата приведена на рис. 12. Выигрышная стратегия здесь, как мы уже знаем, состоит в том, чтобы предоставить своему противнику первый ход и каждый раз, отвечая, дополнять до трех число выключенных им ламп.

Если противник автомата сделает первый ход, выключив выключателем *В1.2* лампу *Л1*, то после нажатия кнопки *Кн1.1 (Ход автомата)* сработает реле *Р1* (контакты *В1.1* замкнуты). Это реле самоблокируется контактами *Р1.1*, а контакты *Р1.2* отключают лампы *Л2* и *Л3*. Независимо от того, выключил ли человек одну лишь лампу *Л1* или еще и лампу *Л2*, реле *Р1* отключает лампы *Л2* и *Л3*, дополняя тем самым до трех число погашенных ламп. После второго хода человека (выключения выключателем *В4.2* лампы *Л4*) нажатие кнопки *Кн1.1* вызывает срабатывание реле *Р2*. Это реле самоблокируется контактами *Р2.1*; контакты *Р2.2* отключают лампы *Л5* и *Л6*. Поскольку после второго ответного

хода автомата невыключенной остается только последняя лампа *Л7*, противник автомата вынужден своим очередным ходом «взять» ее (т. е. выключить) выключателем *В7.1* и проигрывает. При этом включается лампа *Л8*, подсвечивающая табло *Вы проиграли.*

После возвращения всех выключателей в исходное положение и кратковременного отключения сетевого пи-

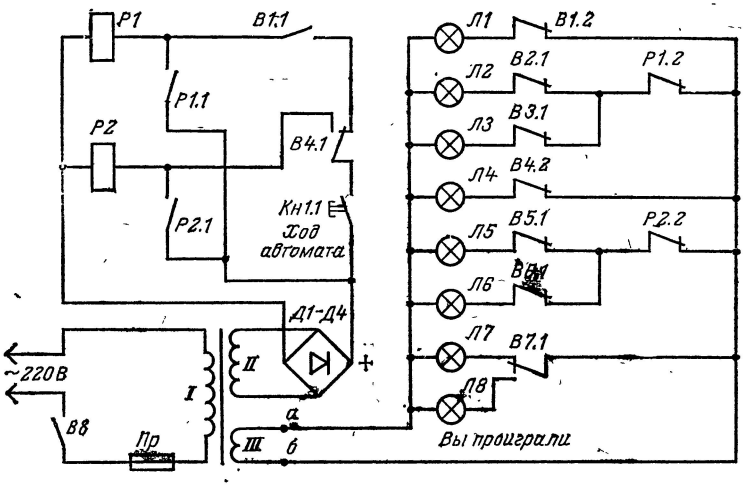

Рис. 12. Принципиальная схема автомата «Последний проигрывает».

тания автомат готов к новой партии игры. Все детали этого автомата: лампочки, выключатели, реле, кнопка, блок питания — такие же, как и для автомата «Побеждает последний».

Автомат, контролирующий корректность противника. Играющие автоматы, с которыми познакомился читатель, обладают существенным недостатком: они фактически не следят за действиями противника и слепо следуют своей программе, поэтому их легко «сбить с толку», нарушив правила игры (например, «взяв» одним ходом сразу четыре лампы или две-три лампы, не расположенные рядом на панели). Автомат при этом будет по-прежнему выполнять заложенную в него программу, рассчитанную на корректную игру и лишенную смысла в изменившихся условиях. Игра, конечно, будет сорвана.

Но ведь настоящий игрок всегда следит за игрой и, если бы его противник попытался играть нечестно, нарушая правила, он бы не допустил этого. А нельзя ли предусмотреть в устройстве автомата определенную реакцию на «нечестную» игру партнера? Можно ли сделать, например, так, чтобы при нарушении правил игры автомат (который сам всегда играет корректно) прекращал игру и указывал своему партнеру на допущенные им нарушения, а после исправления этих нарушений возобновлял игру?

Рассмотрим одну из возможных конструкций такого автомата для игры «Последний проигрывает». Лицевая

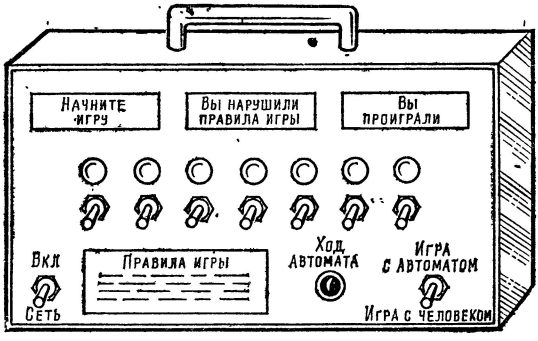

Рис. 13. Внешний вид играющего автомата.

панель этого автомата подобна описанным ранее, добавлены лишь световые табло *Начните игру* и *Вы нарушили правила игры*, а также выключатель *Игра с автоматом* (рис. 13). В электрическую схему автомата, изображенную на рис. 12, также внесено добавление: в точках *а* и *б* к ней подключен блок контроля корректности игры (рис. 14). Поясним работу этого блока.

Возможны три вида нарушений правил игры со стороны партнера автомата: попытка «заставить» автомат начать игру первым, выключение одним очередным ходом более двух ламп и выключение ламп не по порядку (т. е. «перескакивание» через горящую лампочку). Если тот, кто играет с автоматом, не сделав своего хода, нажмет кнопку *Кн1.2 (Ход автомата)*, то загорится лампа *Л9*, подсвечивающая табло *Начните игру*. После того как противник автомата, сделав свой первый ход, отключит лампу *Л1* (выключателем *В1*), лампа *Л9* при на-

жатии кнопки *Кн1.2* загораться не будет (разомкнуты контакты *В1.3*) и автомат сделает ответный ход.

Если человек, играющий с автоматом, включит более двух ламп подряд, например лампы *Л1*, *Л2* и *Л3* (или лампы *Л4*, *Л5* и *Л6*), то замкнутся контакты *В3.2* (или контакты *В6.2*) и загорится лампочка *Л10*, подсве-

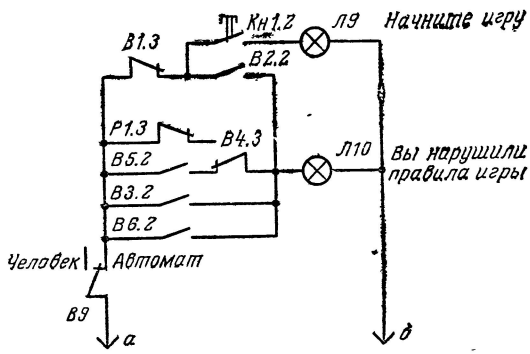

Рис. 14. Схема блока контроля корректности игры.

чивающая табло *Вы нарушили правила игры*, которая будет гореть до тех пор, пока нарушение правил не будет устранено. Точно так же, если человеком будет нарушена последовательность выключения ламп, например, при первом ходе он оставит лампу *Л1* невыключенной, а сразу выключит лампу *Л2*, то загорится лампа *Л10* (ибо контакты *В1.3* останутся неразомкнутыми, а *В2.2* будут замкнуты при выключении лампы *Л2*).

Выключатель *В9* (*Игра с автоматом*), установленный на лицевой панели, позволяет использовать автомат для игры двух человек друг с другом. Для работы в этом режиме выключатель *В9* должен быть разомкнут, т. е. блок контроля корректности игры отключен. При этом становится возможным выключать одну за другой произвольное число ламп; кнопка *Ход автомата* не используется. Каждый из играющих делает ходы в соответствии с правилами игры.

Играющий автомат «Набери чет». Автомат, придерживающийся выигрышной стратегии в комбинаторной игре «Набери чет», о которой мы рассказали ранее, немного сложнее описанных автоматов для игры Баше. Он

также представляет собой релейно-контактное устройство с лампочками и выключателями, играющими роль предметов в кучке. Все основные детали и узлы, а также органы управления размещены на его лицевой панели (рис. 15); лампочки и выключатели установлены в один ряд.

На лицевой панели расположена также табличка с правилами игры, которая содержит следующий текст:

Правила игры. На панели расположены 13 горящих лампочек. Двое играющих по очереди отключают от од-

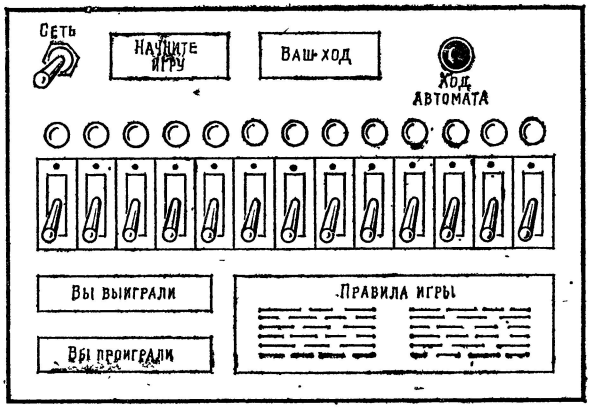

Рис. 15. Лицевая панель играющего автомата «Набери чет».

ной до четырех (не более!) ламп. Лампочки нужно выключать последовательно, одну за другой, начиная слева. Не разрешается оставлять очередные лампочки включенными, «перескакивая» через них, а также пропускать свой очередной ход. Выигрывает тот, у кого к концу игры будет на счету четное число выключенных лампочек. Автомат может заменить одного из играющих. Для игры с автоматом после каждого своего хода нажимайте кнопку *Ход автомата.*

На рис. 16 приведена принципиальная схема играющего автомата. Воспользуемся этой схемой для анализа его работы.

Для подготовки автомата к работе нужно установить все выключатели лампочек *B1—B13* в положение *Включено* и затем включить выключатель сети *B14.* При этом

лампочки *Л1—Л13* должны загореться, что будет означать, что автомат готов к игре.

Первый ход должен сделать противник автомата. Если же нажать кнопку *Кн1 (Ход автомата)*, пытаясь заставить автомат начать игру, то напряжение поступит с выпрямителя через контакты *В1.2* на обмотку реле *Р1*,

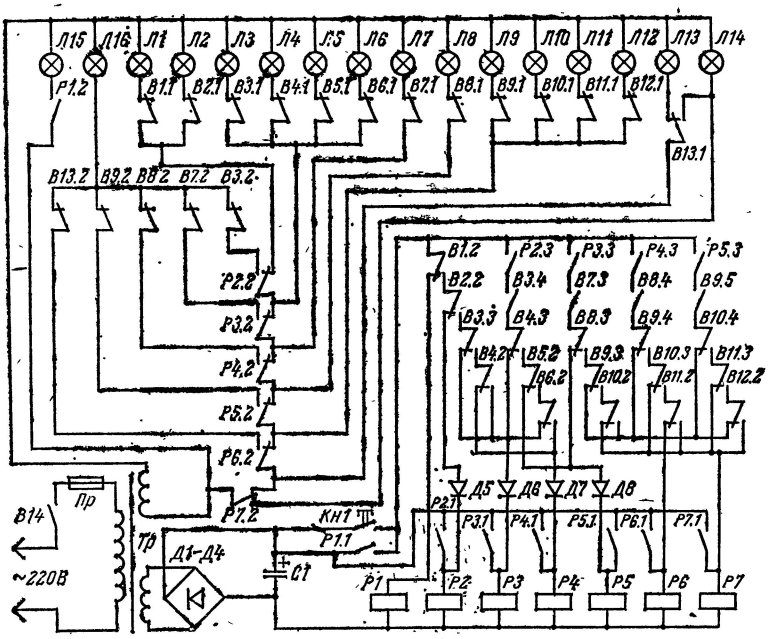

Рис. 16. Принципиальная схема играющего автомата «Набери чет».

это реле сработает и его контакты *Р1.2* включат лампочку *Л15*, подсвечивающую табло *Начните игру*. В то же время контакты *Р1.1* блокируют это реле, и оно останется включенным даже после отпускания кнопки *Кн1*. Противник автомата вынужден сделать первый ход, чтобы начать игру.

Первым своим ходом он выключает лампочку *Л1* (выключателем *В1*), а затем, при желании, и лампы *Л2*, *Л3* и *Л4*. Какой бы ход ни сделал партнер автомата, контакты *В1.2* отключают обмотку реле *Р1* и табло *Начните игру* гаснет. Далее, в зависимости от того, сколько ламп

выключает он при первом своем ходе, логическая контактная цепь выключателей *В1.2*, *В2.2*, *В3.3*, *В4.2* подготавливает к включению одно из реле *Р2*, *Р3* или *Р4*. Реле *Р2* подготавливается к включению в тех случаях, когда после ответного хода автомата в «кучке» должно остаться 11 камешков — горящих лампочек; реле *Р3* или *Р4* — в тех случаях, когда должно остаться соответственно 7 или 6 горящих лампочек.

Чтобы автомат сделал ответный ход, нужно нажать кнопку *Кн1*. При этом напряжение питания поступает на логическую цепь выключателей *В1—В4* и далее через последовательность замкнутых контактов — на обмотку того из реле *Р2*, *Р3* или *Р4*, которое было подготовлено к включению. Это реле срабатывает, и его контакты выполняют следующие операции: контакты *Р2.1*, *Р3.1* или *Р4.1* обеспечивают блокировку сработавшего реле; контакты *Р2.3*, *Р3.3* или *Р4.3* подготавливают к включению следующую группу выключателей в логической цепи (*В3—В6*, *В7—В10* или *В8—В11* соответственно) — автомат выбирает варианты продолжения игры; контакты *Р2.2*, *Р3.2* или *Р4.2* отключают необходимое количество лампочек, выполняя ответный ход автомата и оставляя горящими соответственно 11, 7 или 6 лампочек (см. дерево игры на рис. 4); эти же контакты включают лампочку *Л16*, подсвечивающую табло *Ваш ход*.

Теперь противник автомата должен сделать второй ход. Этот ход он начинает отключением 3-й, 7-й или 8-й лампочек (выключателями *В3*, *В7* или *В8*), в зависимости от того, какой вариант продолжения игры был избран при первом ходе. Световое табло *Ваш ход* гаснет, так как контакты *В3.2*, *В7.2* или *В8.2* отключают лампочку *Л16*. Далее противник автомата может (при желании) этим своим ходом выключить еще одну, две или три последующие лампочки. При этом логическая контактная цепь выключателей подготавливает к включению одно из реле *Р3—Р6* или *Р7* соответственно для случаев, когда после второго хода автомата в кучке должно остаться 7, 6, 5, 1 или 0 камешков-лампочек.

Для второго ответного хода автомата снова нажимается кнопка *Кн1*. Как и при первом ходе автомата, это вызывает срабатывание одного из реле — того, которое было подготовлено к включению. Если сработало реле *Р7*, то отключенными оказываются все лампочки *Л1—Л13*, игра заканчивается выигрышем автомата. Контак-

ты *Р7.2* включают лампочку *Л14*, подсвечивающую табло *Вы проиграли*. Если же сработало какое-либо другое реле (*Р3—Р5* или *Р6*), то игра должна быть продолжена. При этом, как и при первом ходе автомата, контакты сработавшего реле обеспечивают его самоблокировку, отключают необходимое число лампочек, выполняя ответный ход автомата, и включают лампочку *Р16*, подсвечивающую табло *Ваш ход*. Кроме того, контакты *Р3.3*, *Р4.3* и *Р5.3* подготавливают к включению очередную группу выключателей в логической цепи.

Если сработало реле *Р6*, то после второго ответного хода автомата остается лишь одна горящая лампочка *Л13*. Противник автомата вынужден выключить ее (выключателем *В13*), делая свой третий ход, и игра заканчивается его проигрышем. Выключатель *В13.1* гасит лампочку *Л13* и включает лампочку *Л14*, которая подсвечивает табло *Вы проиграли*. В то же время другой контакт выключателя *В13.2* размыкает цепь питания лампочки *Л16*, и гаснет табло *Ваш ход*.

Если же сработало одно из реле *Р3*, *Р4* или *Р5*, то после второго хода автомата остаются 7, 6 или 5 горящих лампочек. Противник автомата имеет возможность в этих случаях при третьем своем ходе выключить от одной до четырех лампочек, как и ранее. После того как он сделает свой ход, для ответного хода автомата нужно снова нажать кнопку *Кн1*. Узлы и элементы автомата взаимодействуют при этом аналогично.

Игра может закончиться после третьего или четвертого ответного хода автомата, а также после четвертого или пятого хода человека. Исход игры всегда один и тот же: у автомата оказывается четное число «взятых» лампочек, а у его партнера — нечетное.

Для того чтобы подготовить автомат к следующей партии игры, нужно отключить выключатель сети *В14*, вернуть все выключатели лампочек в исходное положение, затем снова включить сетевой выключатель.

В описанном играющем автомате применяют: лампочки ЛН 3,5 В×0,28 А; в качестве выключателей *В1—В13* используются телефонные ключи типа КТРО или какие-либо другие многополюсные выключатели; выключатель сети — типа ТП1-2; *Р1*, *Р6*, *Р7* — реле РЭС-9 (паспорт РС4.524.200); *Р2—Р5* — реле РЭС-22 (паспорт РФ4.500.131); *Д1—Д6* — диоды Д226Б (диоды *Д5—Д8* включены в цепь для того, чтобы исключить ненужные

связи между ее элементами); *С1* — конденсатор электролитический емкостью 20 мкФ, 50 В; *Кн1* — кнопка типа К1; сетевой трансформатор собирается из пластин Ш20, толщина пакета 45 мм (обмотка *I* содержит 1320 витков провода ПЭЛ-0;31; обмотка *II* — 20 витков провода ПЭ-1,2; обмотка *III* — 180 витков провода ПЭ-0,62).

Вместо используемых в играющем автомате лампочек накаливания, для питания которых требуется отдельная обмотка сетевого трансформатора, можно применить неоновые лампочки тлеющего разряда типа ТН-0,2, ток которых составляет всего 1—2 мА. Последовательно с каждой лампочкой включается балластный резистор на 80—100 кОм, как показано на рис. 17. Разумеется, при этом придется внести изменения в описанную схему блока питания: обмотка *II* исключается, на неоновые лампочки следует подать напряжение 220 В от сети переменного тока.

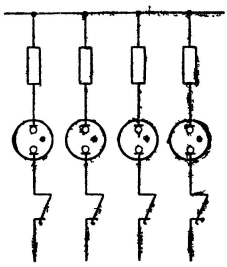

Рис. 17. Схема включения неоновых лампочек.

Автомат для игры «Набери чет» можно использовать для игры двух человек между собой. При этом кнопка *Ход автомата* не используется, каждый из игроков делает ходы по очереди, отключая лампочки с помощью выключателей *В1—В13*. После окончания игры вспыхивает табло *Вы проиграли*. Этот сигнал нужно отнести на счет того из игроков, у которого оказалось нечетное число «взятых» лампочек.

Переброс мостик

Эта комбинаторная игра родилась в Америке, американцы называют ее «Бридж-ит». «Переброс мостик» — приблизительный перевод этого названия. На рис. 18 показана специальная доска для игры «Бридж-ит». На квадратном поле отмечены узлы двух прямоугольных решеток, вдвинутых одна в другую: узлы одной решетки обозначены кружками, узлы другой — квадратиками. Участники игры (их двое) по очереди проводят вертикальные или горизонтальные линии — мостики, соединяя два одинаковых узла. Один из игроков соединя-

ет кружки, другой — квадратики. Диагональными линиями узлы соединять не разрешается, а вертикальные и горизонтальные линии противников нигде не должны пересекаться. Выигрывает тот, кто первым построит ломаную линию, соединяющую две противоположные сто-

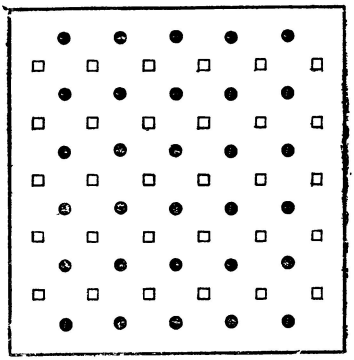

Рис. 18. Доска для игры «Бридж-ит».

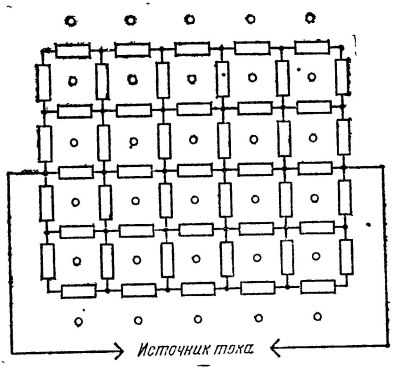

Рис. 19. Цепь резисторов в «Птичьей клетке» К. Шеннона.

роны игрового поля: игрок, соединяющий кружки, — верх и низ, а игрок, соединяющий квадратики, — правую и левую стороны поля.

Попробуйте нарисовать на листе бумаги игровое поле и сыграть с приятелем несколько партий. Вы убедитесь, что хотя правила игры и несложны, совсем не просто найти путь к победе. Сколько различных вариантов возникает во время игры!

Одно время «Бридж-ит» была весьма популярна среди американских школьников. Доска для этой игры появилась в продаже. Кружки и квадратики на доске были выпуклыми и могли соединяться с помощью маленьких пластмассовых цветных мостиков, длина которых позволяла соединять лишь два соседних узла, причем каждый из игроков имел мостики своего цвета. Благодаря этому можно было вносить в игры интересные изменения, подробное объяснение которых давалось в прилагаемой к комплекту инструкции. Например, каждый из игроков получал ограниченное число мостиков, и если, «построив» все эти мостики, игроки не могли добиться победы, то разрешалось продолжать игру, сдвигая при каждом ходе по одному мостику в новое положение.

Комбинаторная сложность «Бридж-ит» привлекла внимание и ученых — специалистов по теории игр. Было доказано, что здесь существует выигрышная стратегия, обеспечивающая победу тому игроку, который начинает игру. Однако найти алгоритм победы удалось лишь после долгих и упорных поисков.

В 1951 г. Клод Шеннон, много занимавщийся проблемой играющих автоматов (о чем мы уже рассказывали в предыдущей главе), сконструировал и построил автомат, который с успехом играл в «Бридж-ит» (сам ученый называл эту игру «Птичья клетка»). Основным узлом этого играющего автомата было сравнительно несложное аналоговое вычислительное устройство на резисторах. Принцип действия автомата Шеннона заключается в следующем. Сеть резисторов соответствует линиям-мостикам, которые может провести во время игры один из игроков, например игрок *A* (рис. 19). Все резисторы одинаковы. Когда *A* во время очередного хода проводит отрезок прямой (мостик), соответствующий этому отрезку резистор замыкается накоротко (шунтируется); когда игрок *B* в свою очередь проводит отрезок прямой, от пересекает одну из «линий» *A* и соответствующий этой линии участок электрической цепи размыкается. Таким образом, если выигрывает *A*, то замкнутой накоротко оказывается вся цепь (ее сопротивление падает до нуля), а если выигрывает *B*, то ток в цепи полностью прекращается (сопротивление становится бесконечным). Автомат либо замыкает, либо размыкает резистор с наибольшим падением напряжения. Если же таких резисторов оказывается два или больше, то выбор одного из них производится случайным образом.

В первоначальной конструкции автомата Шеннона роль резисторов выполняли лампочки накаливания, и та лампочка, которая светилась ярче других, показывала, какой нужно делать очередной ход. Поскольку, однако, решить, какая из ламп светится ярче, во многих случаях было довольно затруднительно, ученый заменил лампы накаливания неоновыми лампочками тлеющего разряда, а цепь была рассчитана так, что светиться могла только одна лампа (остальные лампы в это время были заперты). Делая ход, игроки поворачивали выключатели, которые в начале игры находились в нейтральном положении. Один из игроков поворачивал выключатели в положение *Включено*, другой — в положение *Выключено*.

Если автомату Шеннона предоставлялась возможность начать игру, то он всегда выигрывал. Если же первый ход принадлежал человеку, то ему не составляло труда обыграть автомат, но стоило лишь игроку совершить сколько-нибудь значительную ошибку, как автомат тут же выигрывал.

Выигрышная стратегия для игры «Бридж-ит» была сформулирована американским специалистом по теории игр О. Гроссом и оказалась очень простой. Все объяснение этого ученого состоит из чертежа (рис. 20) и краткой инструкции: «Вы начинаете игру и делаете ход, обозначенный линией в левом нижнем углу чертежа. Дальше надо играть так: каждый раз, когда мостик, проведенный противником, пересекает конец какой-либо пунктирной линии, Вы должны проводить мостик, пересекающий второй конец той же линии».

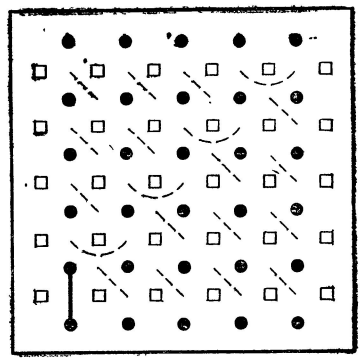

Рис. 20. К объяснению выигрышной стратегии в игре «Бридж-ит».

Реализацию этой выигрышной стратегии может осуществлять автомат, конструкция которого гораздо проще автомата Шеннона. Начиная игру и соединяя мостиками кружки, он всегда будет побеждать партнера-человека, соединяющего своими мостиками квадратики.

Для уяснения принципа действия такого играющего автомата изобразим раздельно прямоугольные решетки, из узлов которых составлено игровое поле (рис. 21), и пронумеруем линии — мостики, соединяющие квадратики, числами от *1* до *48*. Затем для каждого мостика первой решетки найдем во второй решетке соответствующий ему (согласно выигрышной стратегии) мостик и припишем ему тот же номер. Например, ходу человека, соединившего два квадратика мостиком *8*, соответствует ответный ход автомата — проведение мостика, который соединяет два кружка на участке *8*. Цифрой *0* обозначим мостик, с проведения которого начинает игру автомат.

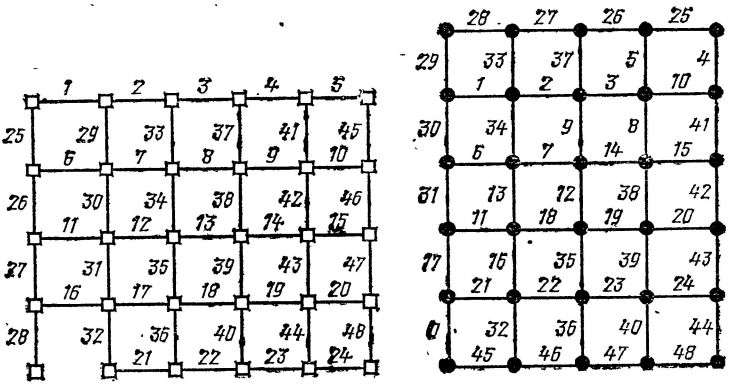

Рис. 21. Прямоугольные решетки игрового поля.
а — для человека — противника автомата; *б* — для автомата.

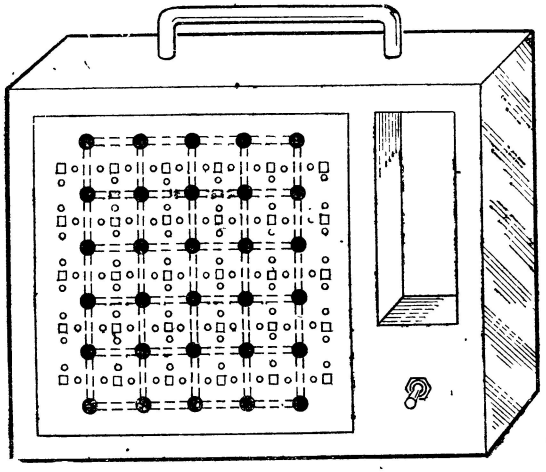

Рис. 22. Внешний вид автомата для игры «Бридж-ит».

На лицевой панели автомата для игры в «Бридж-ит» изображено игровое поле (рис. 22). Кружки соединены пластинками — мостиками из матового оргстекла (на рисунке они обозначены пунктирными линиями), которые прикрывают прямоугольные отверстия в лицевой панели. Против каждого отверстия снизу укреплена лампочка так, чтобы при ее включении высвечивалась вся

пластинка из органического стекла, соединяющая два кружка: подсвечиванием этой пластинки отмечается ход автомата. Человек — партнер автомата свои ходы фиксирует соединением квадратиков мостиками-перемычками. Для этого вокруг каждого квадратика установлены металлические контактные гнезда. Конструкция мостика-перемычки показана на рис. 23.

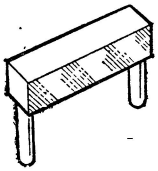

Рис. 23. Конструкция перемычки-мостика для игрока-человека.

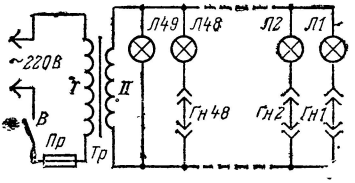

Рис. 24. Принципиальная схема автомата для игры «Бридж-ит».

Электрическая цепь автомата (рис. 24) содержит блок питания, 48 пар гнезд *(Гн1—Гн48)* и 49 лампочек *(Л1—Л49)*. Лампочки на схеме обозначены теми же порядковыми номерами, что и пары гнезд, при замыкании которых эти лампочки загораются, и мостики на рис. 21. Например, если противник автомата своим очередным ходом устанавливает мостик-перемычку *2*, то замыкаются гнезда *Гн2* и загорается лампочка *Л2*, указывая ответный ход автомата. Гнезда для мостика под номером *0* не соединяются ни с какими лампами, потому что игру начинает автомат и после включения выключателем *В* сетевого питания он своим первым ходом занимает участок *0* (загорается лампочка *Л49*). Поскольку линии игроков не должны пересекаться, человек не сможет поставить мостик на участке *0*.

В корпусе автомата на лицевой панели предусмотрен ящичек для хранения перемычек-мостиков.

В конструкции автомата применены: лампы накаливания ЛН 3,5 В×0,28 А; *В1* — выключатель ТП1-2; сетевой трансформатор *Тр* набран из пластин Ш32, толщина пакета 20 мм (первичная обмотка *I* состоит из 2000 витков провода ПЭЛ-0,18; обмотка *II* — 35 витков провода ПЭ-1,2).

Заметим, что нетрудно усовершенствовать описанный автомат таким образом, чтобы на его игровом поле мог-

ли играть два человека — друг с другом. Для этого потребуется еще один комплект перемычек (другого цвета) — для второго игрока-человека, который будет соединять кружки (квадратики по-прежнему будет соединять первый игрок). Кроме того, для установки мостиков второго игрока потребуется сделать гнезда и вокруг кружков. Электропитание при таком режиме игры не включается, начинать игру может любой из игроков.

На шахматной доске

Играющий автомат «Одинокий ферзь». Мы уже отмечали ранее, что к классу комбинаторных игр относятся многие игры-развлечения, разыгрываемые на шахматной доске. В качестве примера была проанализирована подробно игра «Одинокий ферзь». Расскажем теперь, как построить простой электронный автомат, реализующий алгоритм победы в этой игре с партнером-человеком.

Дерево игры для автомата, играющего в соответствии с таким алгоритмом, представлено на рис. 25 (как мы уже убедились, оно подобно дереву игры «Цзяньшицзы», ибо обе эти игры изоморфны). Здесь, как и на других подобных схемах, каждая отдельная партия графически представляется последовательной цепью стрелок и кружков, соединяющих кружков исходной позиции с кружком конечной позиции.

На рис. 26 проигрышные поля шахматной доски отмечены кружками; поле *e8*, на котором находится ферзь в начале игры, обозначено буквой *Ф*, а остальные проигрышные поля (*d6*, *b3*, *c2*, *a1*) пронумерованы цифрами *1*, *2*, *3* и *4*. Выигрышные поля, с которых после хода человека автомат делает ход на одно из проигрышных полей, отмечены той же цифрой, что и это проигрышное поле (например, поля *d8*, *d7* и *e7* обозначены цифрой *1*, так как с этих полей автомат делает ход на проигрышное поле *d6*, обозначенное также цифрой *1*). Сопоставляя дерево игры, изображенное на рис. 25, с изображением на рис. 26, видим, что поля *h1—h8*, *g1—g8*, *f1—f8*, а также поля *a5*, *a7*, *b7*, *c4*, *c3*, *c7* являются неигровыми, так как противник автомата не может ставить на них ферзя согласно правилам игры; автомату же «ходить» на эти поля невыгодно. Отметим, кроме того, что на по-

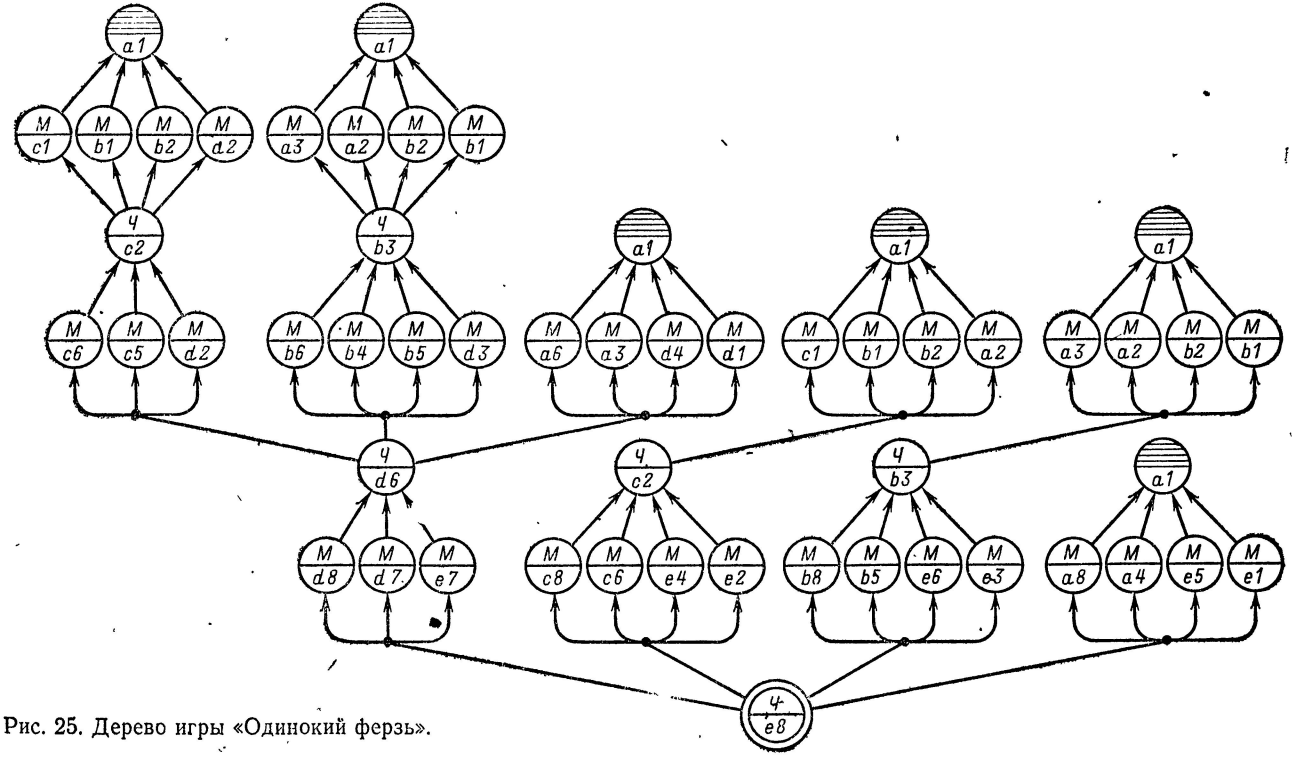

Рис. 25. Дерево игры «Одинокий ферзь».

ля *a1*, *c2*, *b3* и *d6* может «ходить» только автомат. Нетрудно убедиться, что в этих условиях автомат неизбежно должен выигрывать после первого, второго или третьего хода.

Внешний вид играющего автомата показан на рис. 27. На лицевой панели изображена шахматная доска,

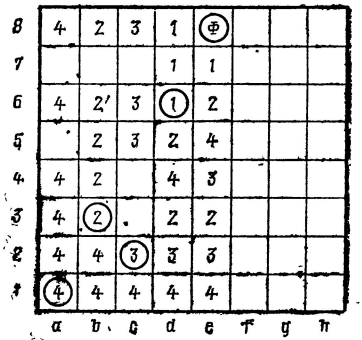

Рис. 26. Проигрышные и выигрышные поля игры «Одинокий ферзь».

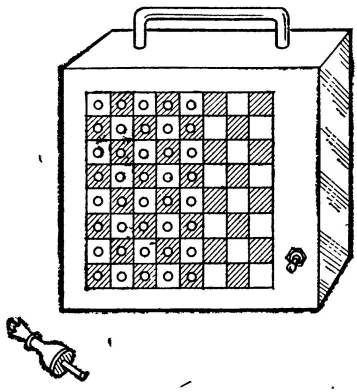

Рис. 27. Внешний вид играющего автомата «Одинокий ферзь».

в каждом поле которой имеется отверстие, куда при ходе игрока-человека вставляют штекер-ферзь. Под отверстием установлена пара контактов, которые замыкаются, если вставляется штекер (разумеется, под неигровыми полями контактов нет — они не нужны). В начале игры ферзь устанавливают в отверстие на поле *e8*, затем включается выключатель блока питания и противник автомата получает право первого хода. Делая ход ферзем, он должен извлечь штекер-ферзь из гнезда на поле *e8* и вставить его в отверстие соответствующего поля. При этом замыкаются контакты этого поля и автомат делает ответный ход, подсвечивая лампочкой поле шахматной доски, на которое он переставляет ферзя. Далее следует переставить штекер-ферзь на указанное автоматом поле, после чего его противник получает право сделать аналогично следующий ход. Игра продолжается до тех пор, пока автомат не сделает ход на поле *a1* (игра заканчивается выигрышем автомата).

Принципиальная электрическая схема автомата показана на рис. 28 (схема разработана Е. И. Федингиным). Ее основой являются четыре триггера, собранных на транзисторах *Т1—Т8*. В коллекторную цепь левого (по схеме) транзистора каждого триггера включена лампочка накаливания *(Л1—Л4)*, а в коллекторную цепь

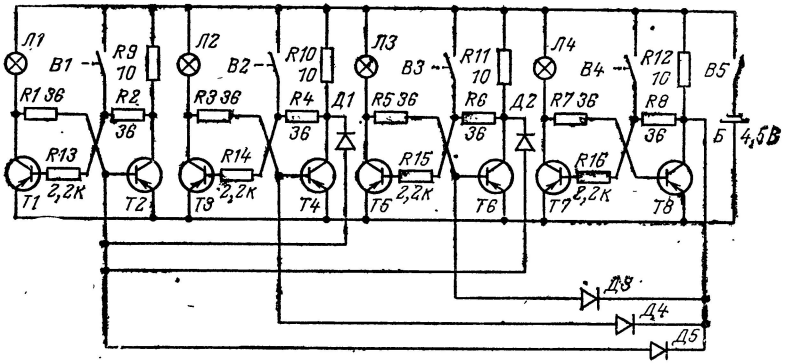

Рис. 28. Принципиальная схема играющего автомата «Одинокий ферзь».

правого транзистора — резистор (*R9—R12*). Контакты *В1* изображают на схеме контактные пары, расположенные под отверстиями в тех полях, из которых можно сделать ход на проигрышное поле *d6* (эти контактные пары соединены параллельно). Аналогично контакты *В2*, *В3* и *В4* относятся к тем полям, с которых можно сделать ход соответственно на поля *b3*, *c2* и *a1*.

Сопротивление холодных нитей накала ламп *Л1—Л4* примерно в 5 раз меньше, чем в нагретом состоянии. При включении питания (выключателем *В5*) транзисторы *Т2*, *Т4*, *Т6* и *Т8* триггеров открываются, транзисторы же *Т1*, *Т3*, *Т5* и *Т7* закрываются, поэтому ни одна лампочка не горит.

Первым должен сделать ход противник автомата. Допустим, что он переставил ферзя на поле *d8*. При этом замыкаются контакты *В1* и отрицательное напряжение поступает на базу транзистора *Т1*. Этот транзистор открывается, и загорается лампа *Л1*, расположенная под полем *d6*; указывая, что ответным ходом автомат переставляет ферзя на это поле. Транзистор *Т2* запирается.

Далее предположим, что противник автомата переставил ферзя на поле *b4*. Теперь замыкаются контакты *B2* и отрицательное напряжение подается на базу транзистора *T3*, который открывается, и загорается лампочка *Л2*, подсвечивающая поле *b3*. Это указывает, что ответный ход автомат делает на поле *b3*. Одновременно закрывается транзистор *T4*, и с его коллектора через диод *Д1* на базу транзистора *T2* подается открывающее его отрицательное напряжение. Первый триггер (на транзисторах *T1* и *T2*) переключается в исходное устойчивое состояние, и лампа *Л1* гаснет. Если следующий ход человек сделает на поле *b1*, то замкнутся контакты *B4*. Аналогично предыдущему лампа *Л2* погаснет, и загорится лампа *Л4*, подсвечивающая поле *a1*, — автомат выиграл. Для возврата автомата в исходное состояние нужно выключить питание, установить штекер-ферзь в гнездо поля *e8* и снова включить питание.

Аналогично работает автомат и при других вариантах стратегии противника, причем в некоторых случаях может включаться и лампочка *Л3*, подсвечивающая поле *c2*.

В автомате применены: *T1—T8* — транзисторы МП42; *Д1—Д5* — диоды Д9Ж; *R1—R8* — резисторы с сопротивлениями по 36 Ом типа УЛМ; *R9—R12* — резисторы с сопротивлением по 10 Ом при рассеиваемой мощности не менее 1 Вт (такие резисторы можно изготовить, намотав несколько метров тонкого провода ПЭЛ на резисторы типа МЛТ-0,5 с сопротивлением не менее 100 Ом); *R13—R16* — резисторы с сопротивлениями по 2,2 кОм типа МЛТ; лампы типа ЛН 3,5 В×0,28 А; выключатель питания — тумблер типа ТП1-2. Контакты в гнездах полей шахматной доски самодельные. В качестве источника питания используется батарея 3336Л.

Лицевую панель автомата можно изготовить из листового органического стекла, раскрашенного под шахматную доску. Под лицевой панелью располагается еще одна панель из листового гетинакса, на которой в соответствующих местах укреплены лампочки и контактные пары. На этой же панели укрепляется решетка из текстолита, которая делит панель на клетки так, чтобы каждая лампочка подсвечивала только одно поле. Все остальные детали (транзисторы, резисторы, диоды) могут быть смонтированы на отдельной небольшой плате из гетинакса, которую крепят к первой гетинаксовой пане-

ли. Футляр можно изготовить из текстолита, органического стекла или другого листового материала.

Играющий автомат «Ход конем». Игра «Ход конем» отличается от игры «Одинокий ферзь» тем, что здесь игроки поочередно переставляют на шахматной доске не ферзя, а коня. Ходить конем можно на два поля вниз и потом на одно поле вправо или влево, или на два поля влево и потом на одно поле вверх или вниз (рис. 29). Выигрывает тот, кто поставит своим очередным ходом

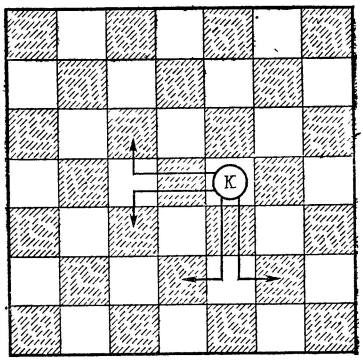

Рис. 29. Допустимые ходы игроков в игре «Ход конем».

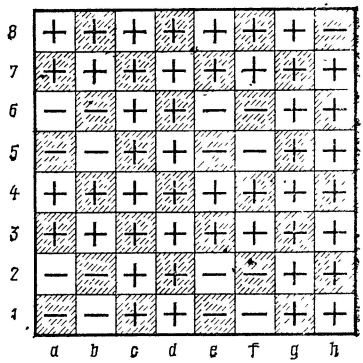

Рис. 30. Выигрышные («+») и проигрышные («—») поля шахматной доски в игре «Ход конем».

коня в положение, при котором противнику будет некуда ходить, или, другими словами, поставит коня на одно из полей: *a1*, *a2*, *b1*, *b2*.

Анализ этой комбинаторной игры аналогичен анализу игры «Одинокий ферзь». На рис. 30 показаны выигрышные («+») и проигрышные («—») поля для этой игры. Выигрышную стратегию здесь можно сформулировать так: если конь стоит на проигрышном поле, непременно добьемся победы, предоставив право первого хода противнику и затем своим очередным ходом ставя коня на одно из полей, обозначенных минусом; если же конь стоит вначале на выигрышном поле, то нужно делать первый ход, ставя коня на поле, обозначенное минусом. Дерево игры для автомата, придерживающегося такой выигрышной стратегии, изображено на рис. 31 (здесь в исходной позиции конь стоит на поле *h8*).

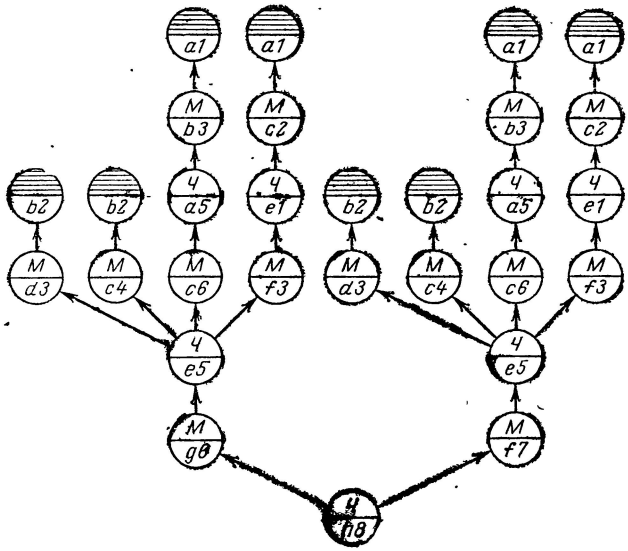

Рис. 31. Дерево игры «Ход конем».

На рис. 32 исходное положение коня на поле *h8* обозначено буквой *K*; проигрышные поля, на которые автомат делает ответные ходы, отмечены кружками и пронумерованы цифрами от *1* до *5*. Такими же цифрами отмечены выигрышные поля, с которых после хода человека автомат делает очередные ходы на проигрышные поля (например, поля *f7* и *g6*, а также проигрышное поле *e5* обозначены цифрой *1*). Как нетрудно видеть, в этой игре игровыми являются лишь немногие поля шахматной доски: *a1, a5, b2, b3, c2, c4, c6, d3, e1, e5, f3, f7, g6, h8*; при этом на поля *e5, e1, b2, a5, a1* ход делает только автомат.

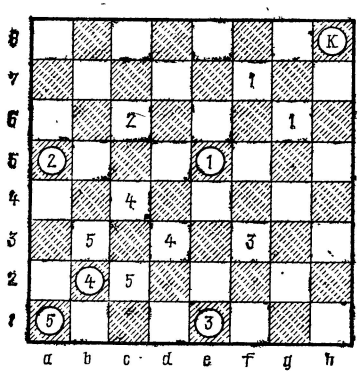

Рис. 32. Проигрышные и выигрышные поля игры «Ход конем»

Внешне этот автомат может выглядеть так же, как и автомат для игры «Одинокий ферзь» (см. рис. 27), но

штекер выполняют в виде шахматного коня. Принципиальные схемы автоматов тоже очень схожи. Основой схемы автомата для игры «Ход конем» являются пять триггерных ячеек (рис. 33), которые управляют включением лампочек подсвета полей шахматной доски так же, как четыре триггера в схеме автомата для игры «Одинокий ферзь». Например, допустим, что первым ходом противник автомата переставил коня с *h8* на поле *f7*. При этом контакты *B1* замкнутся, в результате чего на базу транзистора *T1* будет подано отрицательное напря-

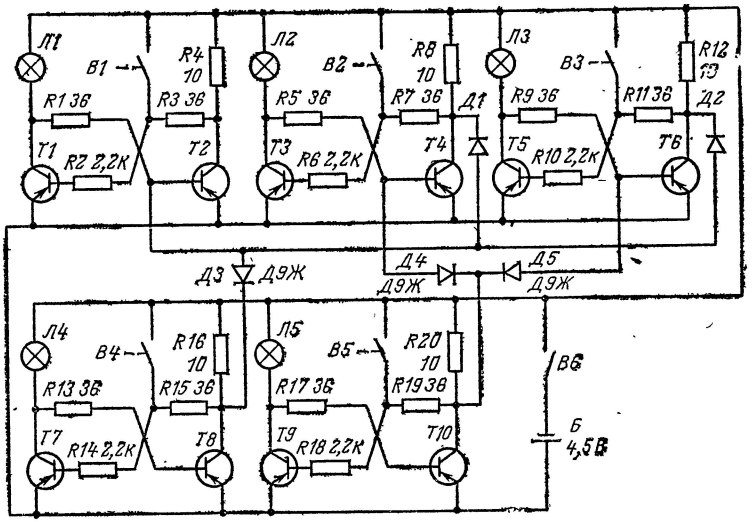

Рис. 33. Принципиальная схема играющего автомата «Ход конем».

жение. Транзистор откроется, и загорится лампа *Л1*, расположенная под полем *e5*, указывая, что ответным ходом автомат переставляет коня на поле *e5*.

Далее предположим, что человек переставил коня с поля *e5* на поле *c6*. Теперь замкнутся контакты *B2*, отрицательное напряжение будет подано на базу транзистора *T3*, который откроется, и загорится лампа *Л2*, подсвечивающая поле *a5*. Это укажет, что ответный ход автомат делает на поле *a5*. Одновременно транзистор *T4* закроется, и с его коллектора через диод *Д1* на базу транзистора *T2* будет подано открывающее его отрицательное напряжение. Первый триггер (на транзисторах

T1 и *T2*) при этом переключится в первое устойчивое состояние, и лампа *Л1* погаснет. Если следующий ход человек сделает на поле *b3*, то замкнутся контакты *B5* — лампа *Л2* погаснет, а загорится лампа *Л5*, подсвечивающая поле *a1*, — автомат выиграл. Для возврата автомата в исходное состояние нужно выключить питание, установить коня в гнездо поля *h8* и снова включить питание.

В иных вариантах этой игры автомат может включать другие лампочки, действуя согласно выигрышной стратегии. Детали и материалы для изготовления описанного автомата — такие же, как и для автомата «Одинокий ферзь».

* *
*

На основе логических цепей с электромагнитными реле и триггерами можно конструировать многие другие кибернетические устройства, играющие в комбинаторные игры подобно описанным выше автоматам. Необходимо лишь знать алгоритм беспроигрышной игры. Но по мере увеличения комбинаторной сложности игр разработка теории, нахождение классов особых и неособых позиций, а значит, и формулировка выигрывающего алгоритма становятся все более затруднительными. С другой стороны, чем сложнее игра (обилие игровых вариантов и позиций, разнообразие возможных ходов игроков), тем более сложным и даже громоздким должен получиться соответствующий играющий автомат. При этом усложнение играющих автоматов с переходом к все более сложным комбинаторным играм должно носить в основном лишь количественный характер. Возможно, вместо десятка реле, триггеров, лампочек конструктору более сложного автомата понадобится применить сотню или более таких элементов. Принципиально же автоматы для сложных комбинаторных игр не будут заметно отличаться от простых устройств, которые мы описали в этой главе: та же детерминированность действий и однозначная, заранее предусмотренная реакция автомата на любой возможный ход его противника, та же обреченность последнего и неизбежное *Вы проиграли* в конце каждой партии.

ГЛАВА ТРЕТЬЯ

КОГДА ИСХОД ИГРЫ СЛУЧАЕН

Азартные игры

«— Бросьте жребий, доктор! — сказал капитан.

Доктор вынул из кармана серебряную монету и поднял ее кверху.

— Решетка! — закричал Грушницкий поспешно, как человек, которого вдруг разбудил дружеский толчок.

— Орел! — сказал я.

Монета взвилась и упала, звеня; все бросились к ней.

— Вы счастливы, — сказал я Грушницкому, — вам стрелять первому!»

Читатель, конечно, помнит эту сцену из романа М. Ю. Лермонтова «Герой нашего времени».

Бросание жребия... Сколько раз каждому из нас приходилось в той или иной форме доверяться случаю, принимая участие в жеребьевке, пусть при менее драматических обстоятельствах, чем в приведенном выше отрывке: при разделе чего-либо, установлении очередности или по какому-нибудь иному поводу! Особенно часто к жеребьевке прибегают в спортивных состязаниях и в других играх, например, чтобы определить, кому начинать игру.

Нетрудно видеть, впрочем, что само бросание жребия — это тоже игра, но такая игра, исход которой случаен и никак не зависит от опыта, знаний, умения, а также от поведения игроков. При каждом отдельном бросании монеты, например, выпадает одно из двух: лицевая сторона (герб) или оборотная (решка). Однако совершенно невозможно заранее с достоверностью утверждать, какой стороной монета упадет, и игроки бессильны каким-либо образом повлиять на результат. Неудивительно поэтому, что суеверные люди при бросании жребия нередко воспринимают его исход как проявление некой сверхъестественной силы — «рока» или «судьбы», которая иногда бывает благосклонна к одному из играющих, а в иных случаях, «поворачивается к нему спиной».

Бросание жребия — типичная азартная игра, известная, вероятно, с самых древних времен. Другая подобная игра, почти столь же древняя — игра в кости. Известный итальянский математик Джероламо Кардано (1501—

1576) в своей «Книге об игре в кости» утверждал, что эта игра была придумана в XII в. до нашей эры, во время Троянской войны. Осада Трои длилась десять лет, и воины изнывали от безделья. Для спасения от скуки и были придуманы игральные кости. На одной из ваз (амфор), относящихся к VI в. до нашей эры, даже изображены герои Троянской войны Аякс и Ахилл, играющие в кости. Кардано приводил в своей книге много рассказов древних об игре в кости.

Разумеется, версия Кардано об изобретении игры в кости — это только легенда. В действительности же различные варианты игры существовали гораздо раньше: разнообразные типы игральных костей встречаются в археологических раскопках начиная с V в. до нашей эры.

Самое большое распространение получили в древности и в средние века игры, в которых использовалась игральная кость в виде кубика с нанесенными на грани точками от одной до шести. Правила игры были самыми разнообразными. В простейших случаях игроки по очереди бросали кости и выигрывал тот, у кого выпадало большее число очков (некоторые варианты игры были еще более простыми: игроки загадывали, что выпадет — «чет» или «нечет»). В более сложных играх каждый из игроков бросал по две или даже по три кости; в некоторых играх ставки делались на выпадение определенного числа очков при заданном числе бросаний и т. п.

Дальнейшим развитием игры в кости была рулетка, различные разновидности которой появились в XI—XII вв. во многих странах. А позднее (в XIV в.) сначала во Франции, а затем и в других странах получили распространение игральные карты. Во многих карточных играх, в отличие от игры в кости и рулетки, игроки имели возможность в какой-то мере оказывать влияние на ход и исход игры в меру своих знаний и опыта.

Азартные игры далеко не всегда были безобидным и приятным развлечением. В считанные минуты азартный и отчаянный игрок мог сказочно разбогатеть или превратиться в нищего, «спустить» все до последнего гроша. Жажда наживы, стремление к легкому и быстрому обогащению при помощи азартной игры пробуждали в игроках самые низменые инстинкты. Нередко азартные игры бывали причиной насилий, убийств и других тяжких преступлений.

Писатели разных времен и народов: Данте Алигьери и Франсуа Рабле, Шарль де Костер и Оноре де Бальзак, Александр Пушкин и Федор Достоевский, Джек Лондон и Стефан Цвейг — поведали нам немало историй, большей частью мрачных и драматических, так или иначе связанных с азартными играми.

Большой интерес к изучению азартных игр издавна проявляли математики. Вычисление шансов игроков занимало умы многих знаменитых ученых в XVII—XVIII вв. Анализом азартных игр занимались Галилео Галилей, Блез Паскаль, Христиан Гюйгенс, Яков Бернулли, Леонард Эйлер и другие выдающиеся математики.

Азартные игры интересовали их лишь как очень удобная схема для выражения разнообразных закономерностей и задач, встречавшихся в различных сферах человеческой деятельности. Ученые, занимавшиеся исследованиями в этой области, фактически разрабатывали основы теории вероятностей — важнейшей математической науки, которая впоследствии дала средства и методы для исчерпывающего анализа таких задач. Вместе с тем уделяя много внимания задачам, связанным с азартными играми, ученые, как правило, тех, кто увлекается такими играми, осуждали. Французский математик и философ П. Р. Монмор в предисловии к своей книге «Анализ азартных игр» писал: «В этом трактате я в первую очередь имел в виду удовольствие математиков, а не пользу игроков; по нашему мнению, те, кто теряет на игры время, заслуживают терять в них свои деньги».

При анализе азартных игр важное значение имеет определение шансов каждого из игроков. В некоторых играх дать такую оценку шансов совсем нетрудно, в особенности, если платежи игроков одинаковы (т. е. каждый из них платит в случае проигрыша своему противнику одну и ту же сумму).

Например, при игре в «орлянку», бросая монету, ожидают, что она упадет вверх орлом или решкой. При многократном бросании каждая из сторон будет выпадать одинаково часто: в половине общего числа бросаний. В этом случае говорят, что вероятность выпадения каждой стороны монеты равна 1/2. Если обозначить вероятность буквой P, то это можно записать так: $P_г = 1/2$; $P_р = 1/2$. Так как оба исхода бросания монеты равновероятны, то, очевидно, шансы обоих игроков при игре в «орлянку» одинаковы.

Другой пример — простейший вариант игры в кости, при котором бросается одна кость и в случае выпадения грани с четным числом очков выигрывает первый игрок, а в случае, если это число нечетное, — второй. Кость-кубик при бросании может лечь на стол любой из своих шести граней вверх, и все грани равноправны. Поэтому вероятность выпадения каждой грани равна 1/6. Так как четные числа очков (2, 4, 6) нанесены на трех гранях из шести, то вероятность выигрыша первого игрока

$$P_1 = \frac{1}{6} \cdot 3 = \frac{1}{2}.$$

Такова же вероятность выигрыша и второго игрока, ибо граней с нечетным числом очков (1, 3, 5) тоже три:

$$P_2 = \frac{1}{6} \cdot 3 = \frac{1}{2}.$$

Следовательно, и в этой простой азартной игре шансы игроков равны.

Далее увидим, что так бывает далеко не всегда: существуют такие азартные игры, в которых один из игроков имеет меньше шансов на выигрыш, чем другой. В связи с этим вводится понятие о справедливых и несправедливых азартных играх.

Азартную игру можно считать справедливой по отношению ко всем ее участникам, если шансы игроков перед началом игры равны. Это значит, что если сыграть очень большое число партий такой игры (при одной и той же ставке в каждой партии), то каждый игрок примерно столько же выиграет, сколько и проиграет.

Каждого, кто собирается принять участие в азартной игре, волнует вопрос, справедлива ли эта игра по отношению к нему. Как мы уже убедились, это нетрудно определить, если платежи игроков одинаковы. В этом случае достаточно установить, что выигрыши участников игры в каждой партии равновероятны, — это и будет означать, что игра справедлива; если же вероятности выигрыша неодинаковы, то такая азартная игра несправедлива по отношению к тому из игроков, для которого вероятность выигрыша меньше. Так, нетрудно видеть, что справедливой мы можем считать игру в «орлянку» и простейшую игру в кости в рассмотренных выше примерах. Допустим теперь, что во втором из этих примеров правила игры сформулированы иначе: при вы-

падении грани с шестью очками выигрывает игрок A, а во всех остальных случаях — игрок B (платежи по-прежнему одинаковы). При этих условиях игра будет явно несправедлива по отношению к игроку A, так как вероятность выигрыша для него равна 1/6, тогда как для игрока B она равна 5/6. В игре, состоящей из многих партий, игрок A заведомо окажется в проигрыше.

Известно много более сложных азартных игр, правила которых предусматривают неодинаковые платежи игроков при различных исходах. В таких играх даже равные вероятности исходов еще не означают справедливости игры по отношению ко всем ее участникам. Нередко же в игре при разных платежах еще и вероятности исходов различны. Как же определять в подобных случаях, справедлива ли азартная игра?

Для этого вводится понятие математического ожидания выигрыша — так в теории игр называют сумму произведений выигрышей, получаемых участником игры при различных ее исходах, на вероятности этих исходов. Если в азартной игре возможно n различных исходов и каждый i-й исход, происходящий с вероятностью P_i, приносит игроку выигрыш m_i, то математическое ожидание выигрыша

$$M = \sum_{i=1}^{n} P_i m_i.$$

Если в азартной игре математическое ожидание выигрыша каждого из игроков оказывается равным нулю, то это свидетельствует о том, что игра справедлива. Наоборот, если математическое ожидание выигрыша для игроков не равно нулю, то игра неправедлива; она выгодна для того игрока, у которого значение M положительно, и невыгодна для того, у которого оно отрицательно. Приведем примеры анализа некоторых азартных игр.

Игра «Встреча». Это азартная карточная игра. Играют двое. Каждый из игроков имеет по полной колоде карт. Тщательно перетасовав карты, игроки извлекают (каждый из своей колоды) по одной карте и сравнивают их; карты извлекаются одна за другой до тех пор, пока не будут извлечены две одинаковые карты одновременно, и тогда игрок A выигрывает. Если же такая «встреча» одинаковых карт не состоится вовсе, то выиг-

равшим считается игрок B. Проигравший платит выигравшему 1 франк.

Справедлива ли эта азартная игра?

Расчет вероятностей выигрыша для этой игры выполнил в свое время знаменитый математик Леонард Эйлер. Прежде всего для облегчения расчетов заменим игральные карты занумерованными билетами: 1, 2, 3 и т. д. Далее будем считать, что игрок A извлекает билеты по порядку, начиная с билета 1. Предположим,что «колода» игрока состоит всего из одной карты (билета). Тогда, очевидно, вероятность выигрыша игрока A будет $P_A=1$, а вероятность выигрыша игрока B равна $P_B=0$.

Пусть теперь каждый имеет по два билета. Ясно, что в этом случае $P_A=1/2$, $P_B=1/2$.

Если оба игрока имеют по три билета, то в этом случае, когда A извлекает билеты в порядке 1, 2, 3, игрок B может извлечь свои билеты шестью различными способами (табл. 1).

Таблица 1

A	B					
	1	2	3	4	5	6
1	1	1	2	2	3	3
2	2	3	1	3	2	1
3	3	2	3	1	1	2

Все эти шесть вариантов исхода равновероятны. Здесь видно, что выигрышу игрока A благоприятны четыре исхода, а выигрышу игрока B — два исхода. Следовательно, $P_A=4/6=0{,}667$; $P_B=2/6=0{,}333$.

Если у каждого будет по четыре карты (билета), то игрок B сможет извлечь свои билеты 24 различными способами (табл. 2).

Таблица 2

A	B																							
	1	2	3	4	5	6	7	8	9	10	11	12	13	14	15	16	17	18	19	20	21	22	23	24
1	1	1	1	1	1	1	2	2	2	2	2	2	3	3	3	3	3	3	4	4	4	4	4	4
2	2	2	3	3	4	4	3	3	4	4	1	1	4	4	1	1	2	2	1	1	2	2	3	3
3	3	4	4	2	2	3	4	1	1	3	4	3	1	2	2	4	1	4	2	3	3	1	1	2
4	4	3	2	4	3	2	1	4	3	1	3	4	2	1	4	2	4	1	3	2	1	3	2	1

Легко подсчитать, что в этом случае $P_A=15/24=0{,}625$; $P_B=9/24=0{,}375$.

При пяти картах табл. 2 будет иметь 120 столбцов. Выполняя дальнейшие расчеты, Эйлер показал, что по мере увеличения числа карт в колодах вероятность выигрыша A приближается к значению $P_A=1-1/e\approx 0{,}632$ ($e=2{,}71828$ — основание натуральных логарифмов); вероятность выигрыша игрока B при этом приближается к $P_B=1/e\approx 0{,}368$. Эйлер доказал, что при числе карт в колодах, большем 20, значения вероятностей $P_A=0{,}632$ и $P_B=0{,}368$ можно считать практически точными. Так как обычно в игре используют колоду, содержащую 36 или 52 карты, то указанные значения вероятностей также можно считать точными.

Таким образом, шансы игрока A в этой игре почти вдвое больше, чем шансы игрока B. Если платеж в игре равен 1 франку, то математическое ожидание выигрыша для A

$$M_A = 1\cdot 0{,}632 - 1\cdot 0{,}368 = 0{,}264 \text{ франка},$$

а математическое ожидание выигрыша для игрока B

$$M_B = 1\cdot 0{,}368 - 1\cdot 0{,}632 = -0{,}264 \text{ франка}.$$

Для справедливости игры B должен потребовать, чтобы A перед каждой партией игры платил ему 0,264 франка.

Новогодняя лотерея. Для покрытия мелких расходов, связанных с проведением новогоднего вечера в одном из учреждений, праздничная комиссия решила разыграть среди его участников новогоднюю лотерею. Было выпущено и распространено 500 лотерейных билетов по цене 20 коп. за билет.

Наименование, стоимость и количество выигрышей, разыгрываемых в этой лотерее, приводятся в табл. 3.

Каково математическое ожидание выигрыша участника лотереи? Справедлива ли эта азартная игра?

Чтобы подсчитать математическое ожидание выигрыша участника лотереи, купившего за 20 коп. один лотерейный билет, примем во внимание, что на этот билет можно получить названные в табл. 3 выигрыши со следующими вероятностями: духи 2/500 или 0,004; подарочное издание 2/500 или 0,004; конфеты 3/500 или 0,006; авторучка 10/500 или 0,02; записная книжка 41/500 или 0,082.

Таблица 3

Наименование выигрышей	Цена (в руб.)	Количество выигрышей	Сумма (в руб.)
Флакон духов «Красная Москва»	5,3	2	10,6
Подарочное издание	4,7	2	9,4
Коробка конфет «Ассорти»	4,25	3	12,75
Шариковая авторучка	0,7	10	7,0
Записная книжка	0,25	41	10,25
Всего:		58	50,00

Лотерейный билет может оказаться и «пустым» (т. е. выигрыш будет равен нулю) с вероятностью 442/500 или 0,884. Принимая во внимание все эти вероятности и выражая стоимости выигрышей и цену билета в рублях, вычисляем математическое ожидание выигрыша:

$$M = 5{,}3 \cdot 0{,}004 + 4{,}7 \cdot 0{,}004 + 4{,}25 \cdot 0{,}006 + 0{,}7 \cdot 0{,}02 + \\ + 0{,}25 \cdot 0{,}082 + 0 \cdot 0{,}884 - 0{,}2 = -0{,}1 \text{ руб.}$$

Математическое ожидание выигрыша получилось отрицательным: каждый участник лотереи проигрывает в среднем по 0,1 руб. на одном лотерейном билете. Следовательно, игра несправедлива по отношению к участникам лотереи. Конечно, этого и следовало ожидать: ведь из суммы 100 руб., вырученной от продажи 500 билетов, только 50 руб. были возвращены участникам лотереи в виде выигрышей, остальные 50 руб. — «чистый доход» лотерейного предприятия. Собственно, ради этого дохода и была устроена лотерея.

Для того чтобы эта игра была справедливой, следовало бы уменьшить вдвое стоимость одного лотерейного билета или сократить вдвое количество билетов. Но и в том, и в другом случае «чистый доход» лотереи обратится в нуль, поэтому для организаторов лотереи ее проведение теряет всякий смысл.

Заметим в заключение, что среднюю сумму проигрыша, пришедшегося на один лотерейный билет в этой новогодней лотерее (т. е. численное значение математического ожидания выигрыша), можно вычислить и другим путем. Для этого достаточно разность между стоимо-

стью всех лотерейных билетов и стоимостью всех выигрышей разделить на общее число лотерейных билетов:

$$(100 - 50)/500 = 0{,}1 \text{ руб.} = 10 \text{ коп.}$$

Итак, рассмотренные нами примеры убедительно показывают, что если иметь в виду только абсолютное значение ставки и ожидаемого выигрыша, то для принятия решения о целесообразности участия в азартной игре следует определить, справедлива ли эта игра. Для этого, как мы видели, в простейших случаях достаточно лишь сравнить вероятности выигрыша каждого из игроков, а в более сложных — нужно вычислить математическое ожидание выигрыша. Игрок должен убедиться, что для него эта величина не является отрицательной. Если игрок, анализируя условия игры, обнаружит, что игра по отношению к нему несправедлива, он может отказаться от участия в этой игре. И наоборот, если он установит, что игра несправедлива по отношению к его противнику, то стоит играть; более того, следует даже попытаться «навязать» эту игру своему противнику, заставить его принять участие в игре. Чем больше математическое ожидание выигрыша, тем увереннее может игрок вступать в азартную игру, смелее доверяться случаю, в особенности, если предстоит сыграть большую серию партий.

Разумеется, мы имеем в виду азартные игры, которые проводятся корректно (т. е. без жульничества), и предполагаем, что подсчет вероятности выигрыша и математического ожидания произведен правильно. Ошибка в оценке вероятности того или иного исхода игры может очень дорого обойтись допустившему ее игроку. Очень убедительный пример этого приводит Я. И. Перельман в рассказе «Пари», который мы воспроизводим здесь с некоторыми сокращениями [14].

«В столовой дома отдыха зашла речь за обеденным столом о том, как вычисляется вероятность событий. Объяснения давал молодой математик.

— Неужели можно вычислить вероятность во всех случаях? — спросила одна из отдыхающих. — Возьмите такой пример. Я загадала, что первый прохожий, которого мы увидим из окна столовой, будет мужчиной. Какова вероятность, что я отгадала?

— Вероятность, очевидно, равна половине, если только мы условимся и годовалого мальчика считать за

мужчину. Число мужчин на свете равно числу женщин.

Далее молодой математик объяснил, как вычислить вероятность того, что мужчинами окажутся первые два, три, четыре, десять прохожих. Вероятность все уменьшается, и для десяти прохожих она уже меньше одной тысячной доли единицы.

— Значит, — пояснил молодой математик, — если вы бьетесь об заклад, что первые десять прохожих все подряд окажутся мужчинами и ставите один рубль, то я могу ставить тысячу рублей за то, что этого не произойдет.

— Выгодное пари! — заявил чей-то голос... — Я бы рискнул рублем против тысячи даже за то, что сотня прохожих окажутся все подряд мужчинами.

— А вы представляете себе, как мала вероятность такого события? — спросил математик.

— Одна миллионная или что-нибудь в этом роде?

— Неизмеримо меньше! Одна миллионная получится уже для 20 прохожих. Для сотни прохожих будем иметь... Дайте-ка я прикину на бумажке... Биллионная... Триллионная... Квадрильонная... Ого! Единица с тридцатью нулями!..

— Внушительное число, что и говорить! Сколько же вы поставите против моего рубля?

— Ха-ха!.. Все! Все, что у меня есть.

— Все — это слишком много. Ставьте на кон ваш велосипед. Ведь не поставите?

— Почему же нет? Пожалуйста! Пусть велосипед, если желаете. Я нисколько не рискую.

— И я не рискую. Не велика сумма рубль. Зато могу выиграть велосипед, а вы почти ничего.

— Да поймите же, что вы наверняка проиграете! Велосипед вам никогда не достанется, а рубль ваш можно сказать уже в моем кармане...

— Увлекаетесь, молодой человек, — раздался спокойный голос старика, все время молча слушавшего спор. — Увлекаетесь...

— Как?! И вы, профессор, рассуждаете по-обывательски?

— Подумали ли вы о том, что не все случаи здесь равновозможны? Расчет вероятности правилен лишь для каких событий? Для равновозможных, не так ли? А в рассматриваемом случае... Впрочем, — сказал старик, прислушиваясь, — сама действительность, кажется, сей-

час разъяснит вам вашу ошибку. Слышна военная музыка, не правда ли?

— При чем тут музыка?.. — начал было молодой математик и осекся. На лице его выразился испуг. Он сорвался с места, бросился к окну и высунул голову.

— Так и есть! — донесся его унылый голос. — Проиграно пари! Прощай мой велосипед...

Через минуту всем стало ясно, в чем дело. Мимо окон проходил батальон красноармейской пехоты».

Поучительный рассказ Я. И. Перельмана не требует особых комментариев. Ошибка молодого математика с очевидностью показывает, как важно правильно оценить вероятности исходов в азартной игре. К сожалению, нередко это трудно сделать даже в самых простых играх. Так, если играют в «орлянку» и монета, используемая для этого, слегка погнута или имеет какие-либо другие особенности, изменяющие положение ее центра тяжести, то вероятности выпадения герба и решки не одинаковы.

Игральные кости тоже лишь теоретически можно считать идеальными. А ведь только для идеального куба вероятности выпадения всех граней одинаковы. У реальных костей центр тяжести может быть несколько смещен, что делает вероятности выпадения разных граней различными. Игрок может не знать этого и не учитывать, рассчитывая вероятности выпадения разных граней. То же можно сказать и о любом ином устройстве, с помощью которого определяют исход азартной игры, будь то карты, рулетка, урна с шарами или что-либо другое.

Бывает, конечно, и наоборот: игрок обнаруживает какие-то особенности, влияющие на случайный исход игры, и умело пользуется ими, чтобы выиграть. Такой случай описал, например, Джек Лондон в рассказе «Малыш видит сны» [24].

Герой рассказа Смок, играя в рулетку, знал, что у игроков всегда меньше шансов на выигрыш, чем у крупье. Но он много дней наблюдал за игрой и заметил одно обстоятельство, позволившее ему беспрерывно брать одну за другой большие ставки.

Владельцы игорных столов захотели узнать секрет Смока.

— Вы нас озадачили, — говорили они ему. — Мы ничего не понимаем. Нам известно, что в рулетке не может быть никаких систем. Это говорят все ученые-математики...

Но Смок продолжал выигрывать. Тогда владельцам рулетки пришлось выкупить у него «секрет».

Оказалось, что никакого секрета нет. Просто игорный стол стоял близко к раскалённой печке, и колесо рулетки рассохлось, покоробилось. Это привело к появлению определенной закономерности в игре, которую и заметил хитрый Смок, изучивший повадки колеса.

— Мы остались в дураках, — сказал Большой Бэрк, один из владельцев игорных столов. — Не удивительно, что он играл только за этим столом. За другим столом он не выиграл бы и кислого яблока...

В некоторых случаях вывод о целесообразности участия в азартной игре, сделанный только на основании суждения об абсолютном значении ставки и выигрыша, может оказаться неверным, ибо далеко не всегда для игрока ценность ставки определяется ее величиной, выраженной в деньгах. Мы уже убедились в этом на примере лотереи. В этой азартной игре многочисленные ее участники, несмотря на отрицательное значение математического ожидания выигрыша (и, следовательно, явную несправедливость игры по отношению к ним), все же охотно покупают лотерейные билеты. Здесь малая вероятность выигрыша большой суммы денег оценивается каждым игроком выше потери своей небольшой ставки — стоимости лотерейного билета.

Таким образом, вопрос о целесообразности участия в азартной игре можно решить, руководствуясь не только объективной оценкой математического ожидания выигрыша, но и субъективной оценкой игроком «полезности» того или иного исхода игры в данной конкретной ситуации.

Кость бросает автомат

В одном из простейших вариантов игры в кости игроки по очереди бросают шестигранный кубик-кость, и выигрывает тот, у кого выпадет большее число очков. При выпадении одинакового количества очков считается, что партия игры закончилась вничью. Выше мы уже увидели, что такая азартная игра вполне справедлива: шансы игроков одинаковы, математическое ожидание выигрыша для каждого из них равно нулю.

Кибернетическое устройство, которое здесь описано, имитирует бросание кости в этой игре. В роли одного из

азартных игроков выступает сам автомат, а его противником является человек.

Внешний вид автомата показан на рис. 34. На лицевой панели расположены пульты игроков — человека и автомата. Каждый из этих пультов содержит пусковые кнопки (*Ход человека* и *Ход автомата*), шесть круглых табло с цифрами от *1* до *6* для фиксации выпадающих чисел (очков) и табло *Выиграл*. Вне пультов на панели

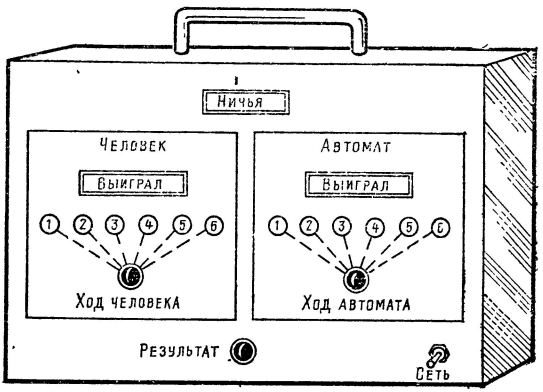

Рис. 34. Внешний вид автомата, играющего в «кости».

находится кнопка *Результат*, световое табло *Ничья* и выключатель сети.

Игра человека с автоматом происходит так. После включения сетевого выключателя противник автомата нажимает «свою» кнопку (*Ход человека*) и, продержав ее в нажатом состоянии несколько секунд, отпускает. Затем он так же нажимает и отпускает кнопку *Ход автомата*. Пусковые кнопки связаны с генераторами случайных чисел от *1* до *6*. Воздействуя на кнопку, мы осуществляем выбор одного из этих чисел случайным образом, что равносильно бросанию шестигранной кости.

В качестве генератора случайных чисел в автомате использованы контактные дисковые коммутаторы. Вращающийся пластмассовый диск такого коммутатора (рис. 35) имеет шесть кольцевых «дорожек», по которым скользят шесть неподвижных щеток. Щетки эти соответствуют граням игральной кости и пронумерованы цифрами от *1* до *6*; каждая щетка соединена с соответ-

ствующей лампочкой на пульте игрока. У кольцевых «дорожек» на диске часть поверхности — сектор в 60° — покрыта медной фольгой, причем эти токопроводящие участки расположены таким образом, что щетки при вращении диска контактируют с фольгой поочередно. Седьмая щетка прижата к диску в его центральной части, которая также покрыта медной фольгой. Таким образом, когда диск равномерно вращается, центральная седьмая щетка через медную фольгу поочередно замыкается с каждой из шести щеток, скользящих по

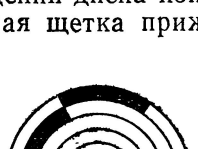

Рис. 35. Диск контактного коммутатора с токопроводящими участками «дорожек».

кольцевым «дорожкам». Если вращающийся диск останавливать в произвольно выбранные, случайные моменты времени, то при каждой такой остановке центральная щетка с равной вероятностью ($P=1/6$) может оказаться присоединенной к любой из шести щеток. Соответствующая лампочка на пульте игрока, загораясь, указывает выбранное случайным образом число.

Диск коммутатора приводится во вращение электродвигателем, включение и выключение которого осуществляют нажатием и отпусканием пусковой кнопки (*Ход человека* или *Ход автомата*). Случайность выбора момента остановки дисков обеспечивается тем, что игрок-человек вращающегося диска не видит.

Аналогичные механизмы для случайного выбора состояния системы с заданной вероятностью применяют и в некоторых других играющих автоматах, которые будут описаны ниже.

Принципиальная схема автомата приведена на рис. 36. Рассмотрим его работу на конкретных примерах. Включением выключателя сети *В1* автомат приводится в исходное положение готовности начать игру. Затем человек, играющий с автоматом, с помощью кнопок *Кн1* и *Кн2* приводит в действие электродвигатели *М1* и *М2* генераторов случайных чисел; в результате этого дисковый коммутатор *ДК1* подготавливает к включению одну из лампочек *Л1—Л6*, а дисковый коммутатор *ДК2* — одну из лампочек *Л7—Л12*. Лампы включены через дисковые коммутаторы последовательно с обмотками *I* и *II*

поляризованных реле *КР1* и *КР2*. Параллельно с каждой лампой (кроме ламп *Л1* и *Л7*) включен резистор. Сопротивления резисторов подобраны таким образом, что большее число случайного выбора соответствует большему суммарному току, проходящему через соответствующую лампу и параллельный ей резистор. По-

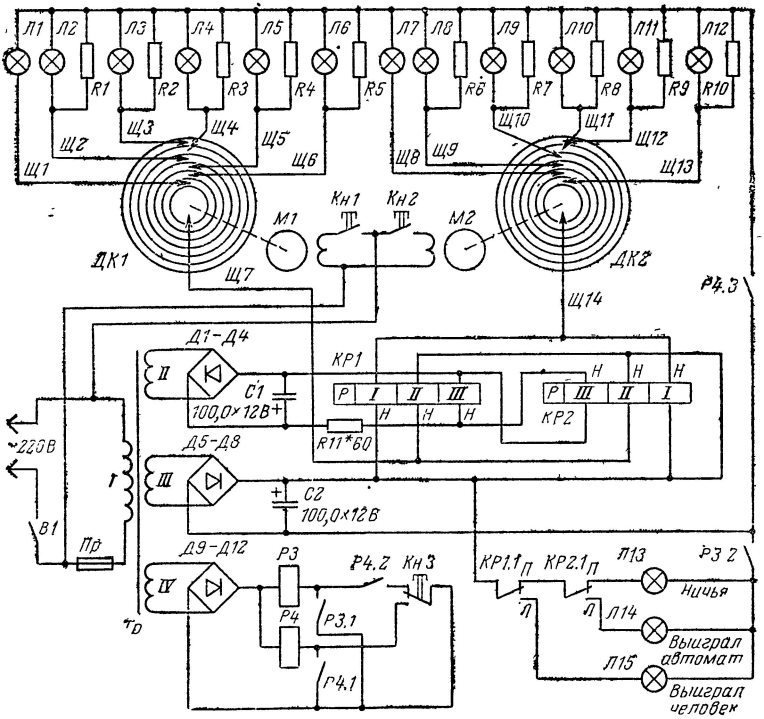

Рис. 36. Принципиальная схема автомата, играющего в «кости».

скольку в автомате применены лампы накаливания ЛН 3,5 В×0,28 А, то через лампы *Л1* и *Л7* проходит ток 0,28 А. Суммарный ток, протекающий через лампу *Л2* и резистор *R1*, следует установить 0,34 А; через *Л3* и *R2* — 0,40 А; через *Л4* и *R3* — 0,46 А; через *Л5* и *R4* — 0,52 А; через *Л6* и *R5* — 0,58 А. Такие же токи устанавливаются и для ламп и резисторов *Л8—Л12* и *R6—R10*.

Рассчитаем сопротивление резистора *R1*. Суммарный ток через лампу *Л2* и резистор *R1* установили равным

0,34 А. Через лампу проходит ток 0,28 А (согласно паспортным данным). Значит, через резистор должен проходить ток 0,34—0,28=0,06 А. Напряжение питания равно 3,5 В. Отсюда в соответствии с законом Ома находим *R1*=3,5/0,06=58 Ом.

Предоставляем читателю выполнить подобные расчеты номиналов других резисторов.

Допустим, что в генераторах случайных чисел для человека «выпала» цифра *1* (коммутатор *ДК1* подключил лампочку *Л1*), а для автомата — цифра *3* (коммутатор *ДК2* подключил лампочку *Л9*). Для подведения итогов партии нужно нажать кнопку *Кн3 (Результат)*. При этом срабатывает реле *Р4*. Оно самоблокируется контактами *Р4.1*, контактами *Р4.2* подготавливает к включению реле *Р3*, а контактами *Р4.3* замыкает цепь питания ламп. Зажигаются лампы *Л1* и *Л9*, подсвечивая табло *1* на пульте человека и табло *3* на пульте автомата. Одновременно срабатывает реле *КР2*, контакты которого *КР2.1* переключаются. После отпускания кнопки *Кн3* срабатывает реле *Р3* (контакты *Р4.2* замкнуты) и самоблокируется контактами *Р3.1*. Контакты *Р3.2* замыкают цепь питания лампы *Л14*, которая подсвечивает табло *Выиграл* на пульте автомата.

Рассмотрим теперь, каким образом в автомате сравниваются два числа и определяется, какое из них больше.

Сравнение чисел осуществляют поляризованные реле *КР1* и *КР2*, каждое из которых имеет по три обмотки. Обмотки *I* и *II* каждого реле присоединены к цепи с лампами и к источнику постоянного тока — выпрямителю на диодах *Д5—Д8*, а обмотки *III* питаются от независимого источника тока на диодах *Д1—Д4*. Направление перебрасывания якоря реле зависит от полярности напряжения на обмотках: «+» на начале обмотки и «—» на конце ее вызывают замыкание якоря с правым контактом. На схеме начала обмоток обозначены буквой *Н*. Токи через обмотки *I* и *II* поляризованных реле протекают следующим образом: «+» источника тока, начало обмотки *I* реле *КР1*, контакты «щетка-диск» коммутатора *ДК2*, лампа *Л9* и резистор *R7*, «—» источника питания; «+» источника питания, конец обмотки *II* реле *КР1*, контакты «щетка-диск» коммутатора *ДК1*, лампа *Л1*, «—» источника питания; «+» источника питания, конец обмотки *I* реле *КР2*, контакты «щетка-диск» ком-

мутатора *ДК2*, лампа *Л9* и резистор *R7*, «—» источника тока; «+» источника тока, начало обмотки *II* реле *КР2*, контакты «щетка-диск» коммутатора *ДК1*, лампа *Л1*, «—» источника тока.

Направления токов в обмотках *I* и *II* поляризованных реле противоположны, и создаваемые этими токами магнитные потоки будут направлены навстречу друг другу. Ток, который проходит через лампу *Л9* и резистор *R7* (0,40 А), больше тока, протекающего через лампу *Л1* (0,28 А). Соответственно больше будет и созданный им магнитный поток. Следовательно, якорь реле *КР1* останется замкнутым с правым контактом (больший ток проходит через обмотку *I*, «+» подключен к началу), а якорь реле *КР2* замкнется с левым контактом (больший ток проходит через обмотку *I*, но к началу обмотки подключен «—»). Таким образом, как было уже отмечено выше, включается лампа *Л14*, подсвечивая табло *Выиграл* на пульте автомата.

Теперь рассмотрим, как автомат фиксирует ничью — ведь в этом случае токи в обмотках *I* и *II* реле *КР1* и *КР2* будут одинаковы. Здесь в действие вступают обмотки *III* обоих реле. На обе обмотки, соединенные параллельно, подается напряжение от отдельного источника питания. К началу обмоток *III* подключен «+» источника питания. Ток, протекающий через обмотки, равен 0,03 А (меньше, чем разность двух токов, соответствующих двум последовательным числам выбора). Поэтому в случае равенства чисел, выпавших у человека и у автомата, противоположно направленные магнитные потоки, создаваемые обмотками *I* и *II*, взаимно компенсируются. Магнитные потоки, создаваемые токами в обмотках *III* обоих реле, удержат якори этих реле у правых контактов. Следовательно, при нажатии и отпускании кнопки *Кн3 (Результат)* срабатывает реле *Р3* и контакты *Р3:2* включают питание лампы *Л13*, которая подсвечивает табло *Ничья*. Чтобы начать новую партию игры, необходимо на короткое время выключить и затем снова включить выключатель сети *В1*.

Настройка автомата сводится к подбору резисторов для обеспечения указанных суммарных токов, а также к подбору тока (резистором *R11*), протекающего через обмотки *III* реле *КР1* и *КР2*.

В автомате применены: *М1* и *М2* — двигатели ДСД-60; *КР1* и *КР2* — реле РПС-7 (паспорт

РС4.521.354Сп); *Р3* — реле РЭС-9 (паспорт РС4.524.201); *Р4* — реле РЭС-22 (паспорт РФ4.500.131); *Кн1* и *Кн2* — кнопки типа К1; *Кн3* — кнопка (паспорт ПАЗ.604.019); сердечник трансформатора *Тр* набран из пластин Ш32, толщина пакета 20 мм (обмотка *I* состоит из 1220 витков провода ПЭЛ-0,51; обмотка *II* — 20 витков провода ПЭЛ-51; обмотка *III* — 49 витков ПЭЛ-0,51; обмотка *IV* — 150 витков ПЭЛ-31); диоды типа Д226Б; выключатель *В4* — однополюсный тумблер.

Попытай счастья

В последние годы во многих странах Запада в гостиничных холлах, барах и кафе, в проходах и нишах универсальных магазинов и других общественных местах стали появляться сверкающие никелем и сталью хитроумные играющие автоматы. Настойчиво обращая на себя внимание посетителей, они выставляют вперед рычаги управления.

Истинная опасность «одноруких грабителей» — так прозвали играющие автоматы — в их притягательной силе. Каждый из них сулит посетителю бара или магазина заманчивый и, казалось бы, верный и легкий денежный выигрыш, довольствуясь взамен лишь мелкой монетой в пять центов. Ну как здесь устоять против соблазна!

Брось монетку в щель и дерни за рычаг — тотчас с характерным гудением завертятся под стеклом маленькие диски, на которых изображены, например, яблоки, вишни, сливы, колокольчики и т. п. Если после остановки дисков в единый желанный ряд выстроятся пять колокольчиков и пять яблок или, на худой конец, три колокольчика и два яблока, то из широкого раструба в нижней части автомата, как из рога изобилия, в подставленную ладонь, посыплются монеты. За 10 центов можно получить десять, двадцать, а если очень повезет, то даже сто монет. Есть и такие автоматы, где за пятак можно выиграть пять тысяч долларов! Для такой удачи нужно, чтобы под стеклом диски составили особенно редкую комбинацию фигурок. И тут же вспыхнет чарующим светом красная лампочка, зазвенит звонок, и подбежавшая девушка-кассирша выпишет счастливчику чек на пять тысяч.

Но — увы! — обычно колокольчики, яблоки, вишни и сливы располагаются в живописном беспорядке, и игро-

кам, рискнувшим попытать счастья, остается лишь проститься грустным взглядом со своими центами. Удивляться здесь нечему. Конструкторы «одноруких грабителей» создают свои детища в строгом соответствии с рекомендациями теории игр, и их владельцы уверены в барыше: любая из азартных игр, сыграть в которую настойчиво приглашают обывателя такие автоматы, по отношению к нему несправедлива. Обещая иллюзорный выигрыш каждому, «однорукий грабитель» готов выудить из кармана доверчивого партнера последние медяки.

Наряду с «однорукими грабителями» той же цели — выудить у обывателя его карманные центы, пфеннинги, франки — служат всевозможные игровые аттракционы, представляющие собой при ближайшем рассмотрении такие же несправедливые азартные игры. Вот один из подобных весьма распространенных за рубежом игровых аттракционов под названием «Попытай счастья». Он состоит из трех больших игральных костей, которые нужно скатывать по наклонной плоскости на расположенную внизу горизонтальную поверхность, и крупных белых цифр от 1 до 6, нарисованных на специальном щите. Играющий автомат может поставить на любую из цифр любую сумму денег. Затем он бросает кости. Если выбранное им число выпадет на одной из костей, он получает обратно свою ставку плюс равную ей сумму денег. Если число, на которое он поставил, выпадет на двух костях, ему возвращают его ставку плюс удвоенную сумму денег. Если же это число выпадет на всех трех костях, то он получит свою ставку и сверх нее утроенную сумму денег. Разумеется, если цифра, на которую он поставил, не выпадет ни на одной из костей, ставка считается проигранной.

Аттракцион выглядит весьма заманчивым, не правда ли?

Попробуем, однако, вычислить, сколько можно выиграть на каждый поставленный доллар при достаточно длительной игре, состоящей из многих партий.

Нетрудно убедиться, что три кости могут выпасть всего 216 равновероятными способами и в 91 случае игрок выигрывает. Поэтому вероятность выигрыша для него на каждой ставке равна 91/216. Предположим, что он бросает кости 216 раз, ставя каждый раз по одному доллару, и что его кости каждый раз выпадают по-разному.

Тогда в 75 выигрышных для него случаях выбранное игроком число выпадет лишь на одной из костей и, следовательно, игрок получит 150 долларов. В 15 случаях это число выпадет на двух костях сразу, и он получил 45 долларов. Наконец, в одном случае заветное число выпадет сразу на трех костях, и игрок получит 4 доллара. Общая сумма, выплаченная ему, составит 199 долларов. Чтобы получить ее, он поставит 216 долларов. Следовательно, при достаточно большом числе сыгранных партий он может надеяться получить взамен на каждый поставленный доллар всего

$$\frac{199}{216} = 0{,}9212 \text{ доллара.}$$

Это значит, что владелец аттракциона на каждом поставленном игроком долларе получает барыш в 0,0788 доллара.

Таким образом, математическое ожидание выигрыша в одной партии для игрока составляет —0,0788 доллара. Такую сумму в среднем будет проигрывать в каждой партии игрок, бросающий кости. Игра для него, очевидно, несправедлива.

Используя уже знакомые нам элементы и узлы электротехнических и электронных устройств, можно построить автомат, способный реализовать выявленные выше преимущества хозяина в его несправедливой азартной игре с посетителями аттракциона «Попытай счастья». Разумеется ставки, выигрыши и проигрыши в таком автомате будут учитываться только в очках: ведь этот автомат подобно заправскому «однорукому грабителю», лишь изредка станет щедро и в большом количестве «дарить» победные очки тому или иному из своих партнеров; чаще же последние будут проигрывать свои ставки, так что при достаточно длинной серии партий счет всегда будет в пользу автомата.

Внешний вид играющего автомата «Попытай счастья» показан на рис. 37. На его лицевой панели находятся выключатель сети, табло *Ставка* и *Выбор числа* с относящимися к ним выключателями, три кнопки *Ход*, кнопка *Результат* и световые табло *Вы проиграли* и *Вы выиграли*.

Для подготовки автомата к игре включается сетевой выключатель. Игра человека с автоматом происходит следующим образом. Человек выбирает на табло *Выбор*

числа одно из шести чисел (1, 2,..., 6) и включает соответствующий выключатель — загорается лампочка, подсвечивающая это число. Затем на табло *Ставка* он включением одного из трех выключателей ставит на выбранное число одно, два или три очка (максимальная ставка в игре ограничена тремя очками). После этого человек поочередно нажимает каждую из трех кнопок *Ход* (как бы бросая три игральные кости). Последующее нажатие кнопки *Результат* вызывает подсвечивание

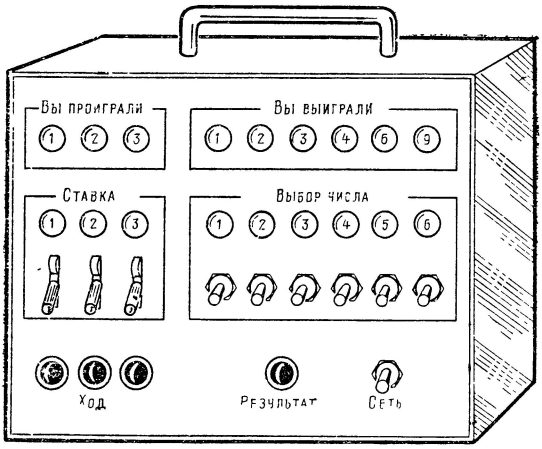

Рис. 37. Внешний вид автомата для азартной игры «Попытай счастья».

числа выигранных или проигранных очков на табло *Вы выиграли* или *Вы проиграли.*

Принципиальная схема автомата приведена на рис. 38. Рассмотрим работу машины на конкретном примере. Предположим, что человек выбрал число 5 (включил выключатель *В5*) и поставил на него 2 очка (включил выключатель *В8*). При этом контакты *В5.2* включают лампы *Л17*, которая на табло *Выбор числа* подсвечивает цифру *5*; контакты *В8.5* включают лампу *Л11*, подсвечивающую на табло *Ставка* цифру *2*. После этого человек нажимает первую кнопку *Ход (Кн2)*. Цепь питания электродвигателя *М1* замыкается, и закрепленный на его валу диск коммутатора *ДК1* начинает вращаться. Затем нажимается вторая *(Кн3)* и третья *(Кн4)* кнопки, приводя в действие двигатели *М2* и *М3*. В кон-

струкции автомата использованы генераторы случайных чисел с дисковыми коммутаторами *ДК1*, *ДК2* и *ДК3*, подобными описанным ранее (см. рис. 35).

Допустим, что после того, как человек нажал все три кнопки, щетка, соединенная с выключателем *В5.1* и

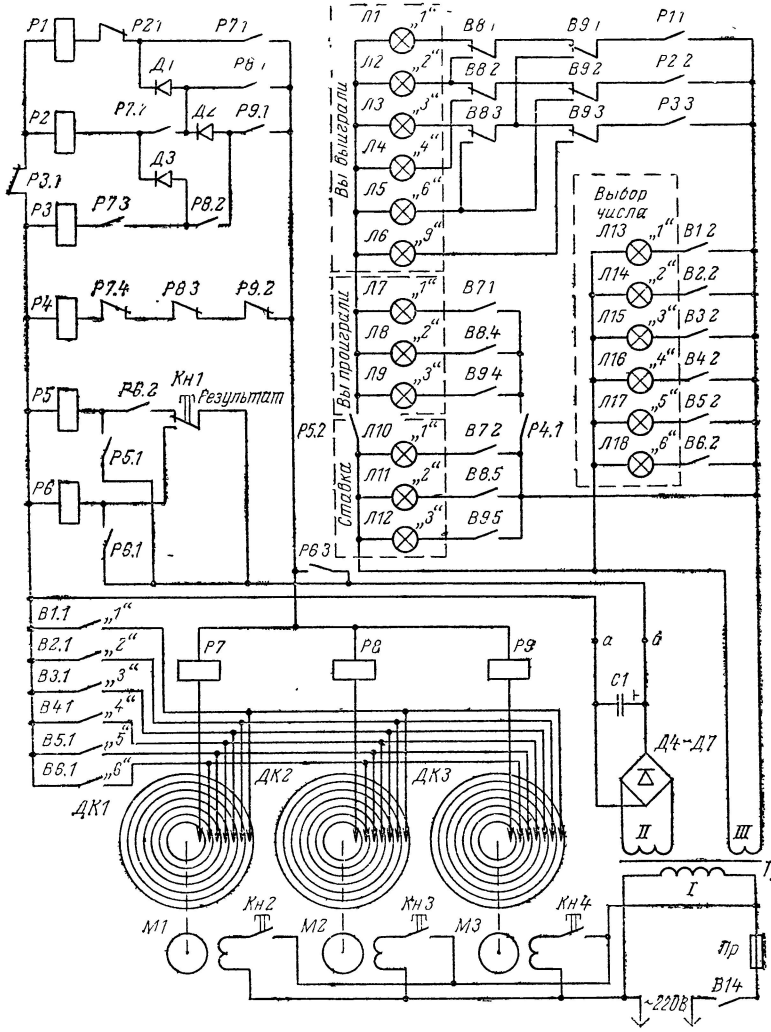

Рис. 38. Принципиальная схема автомата для азартной игры «Попытай счастья».

скользящая по диску коммутатора *ДК2*, после остановки этого диска оказалась на полоске медной фольги. Будем считать, что соответствующие щетки двух других дисков, соединенные с выключателем *В5.1*, оказались вне полосок медной фольги.

При нажатии кнопки *Кн1 (Результат)* замыкается цепь питания реле *Р6*; оно срабатывает и самоблокируется контактами *Р6.1*. Контакты *Р6.3* подключают электропитание к реле *Р1—Р4* и *Р7—Р9*. При этом реле *Р8* срабатывает (образована замкнутая цепь: «+» выпрямителя, замкнутые контакты *Р6.3*, обмотка реле *Р8*, центральная щетка, медная фольга диска, щетка, соединенная с выключателем *В5.1*, «—» выпрямителя). Контакты *Р8.1* замыкаются, и реле *Р1* срабатывает.

При отпускании кнопки *Кн1* реле *Р5* срабатывает (контакты *Р6.2* замкнуты) и самоблокируется контактами *Р5.1*. Контакты *Р5.2* включают лампочку *Л2*, подсвечивающую цифру *2* на табло *Вы выиграли* (ток идет через замкнутые контакты *Р1.1*, замкнутые контакты *В9.1* и переключенные контакты *В8.1*). Отметим, что выключатели *В7*, *В8* и *В9* включаются в тех случаях, когда человек делает ставку соответственно в одно, два и три очка.

Если бы человек сделал ставку в 3 очка (включил выключатель *В9*), то контакты *В9.1* в рассматриваемом нами примере включили бы лампочку *Л3*, подсвечивающую цифру *3* на табло *Вы выиграли*. Ставка в одно очко, сделанная человеком (включением выключателя *В7*), привела бы к включению лампы *Л1*, подсвечивающей цифру *1*. Такое подсвечивание лампами цифр *1*, *2* или *3* на табло *Вы выиграли* имеет место в том случае, если выбранное человеком число выпало лишь один раз (сработало одно реле — *Р8*, контакты *Р8.1* которого включили реле *Р1*). Срабатывание реле *Р1* происходит, когда выбранное человеком число выпало один раз (цепь питания реле *Р1* замыкается одним из контактов *Р7.1*, *Р8.1* или *Р9.1*). Срабатывание реле *Р2* происходит, когда выбранное число выпало два раза (цепь питания реле *Р2* замыкается последовательным соединением пар контактов *Р7.2* и *Р9.1*, *Р8.2* и *Р9.1*, *Р8.1* и *Р7.2*). Срабатывание реле *Р3* происходит, когда выбранное число выпало три раза (цепь питания реле *Р3* замыкается тремя последовательно соединенными контактами *Р9.1*, *Р8.2*, *Р7.3*).

Для того чтобы исключить возможность ложного срабатывания реле *Р1—Р3* (например, при выпадении выбранного числа два раза логическая цепочка контактов реле *Р7—Р9* замыкает цепь питания не только реле *Р2*, но и *Р1*), в схеме предусмотрена блокировка. Сработавшее реле *Р2* своими контактами *Р2.1* разрывает цепь питания реле *Р1*; сработавшее реле *Р3* своими контактами *Р3.1* отключает питание реле *Р1* и *Р2*.

В зависимости от того, сколько раз выпало выбранное число и какую ставку сделал человек, на табло *Вы выиграли* подсвечиваются цифры *1, 2, 3, 4, 6, 9* (при ставке 1 очко в логической цепочке, включающей питание ламп *Л1—Л6*, нет изменений; при ставке 2 очка — переключаются контакты *В8.1—В8.3*; при ставке 3 очка — переключаются контакты *В9.1—В9.3*). Например, если выбранное число выпало два раза (сработало реле *Р2* и контакты *Р2.2* замкнулись) и сделана ставка в 3 очка (переключены контакты *В9.2*), то замкнется цепь питания лампы *Л5*, подсвечивающей на табло *Вы выиграли* цифру *6* — количество выигранных очков.

Если же выбранное число не выпадет ни разу (ни одно из реле *Р7—Р9* не сработало), то сработает реле *Р4* (контакты *Р7.4, Р8.3, Р9.2* образуют замкнутую цепь), которое контактами *Р4.1* включает цепь питания ламп *Л7—Л9* на табло *Вы проиграли*. В зависимости от сделанной ставки загорится одна из ламп, указывая проигрыш (1, 2 или 3 очка). Например, если ставка 1 очко (замкнуты контакты *В7.1*), то загорится лампа *Л7*, подсвечивающая цифру *1*; при ставке 2 очка (замкнуты контакты *В8.4*) загорится лампа *Л8*, подсвечивающая цифру *2*; если ставка 3 очка (замкнуты контакты *В9.4*), то загорится лампа *Л9*, подсвечивающая цифру 3.

Для того чтобы подготовить автомат к новой партии игры, необходимо выключателем *В14* отключить питание сети, установить в исходное положение те из выключателей на табло *Ставка* и *Выбор числа,* которые были включены, и снова включить сетевое питание.

В автомате применены: лампы ЛН 3,5 В×0,28 А; двигатели типа ДСД-60; *Р1, Р9* — реле РЭС-9 (паспорт РС4.524.201); *Р2 — Р8* — реле РЭС-22 (паспорт РФ4.500.131); *Кн1* — кнопка (паспорт НАЗ.604.019); *Кн2 — Кн4* — кнопки типа *К1*; *В1 — В6* — выключатели ТП2-1; *В7 — В9* — телефонные ключи типа КТРО с необходимым числом контактных групп; сердечник трансфор-

матора набран из пластин Ш32, пакет 20 мм (обмотка *I* содержит 1220 витков провода ПЭЛ-0,51; обмотка *II* — 150 витков провода ПЭЛ-0,31; обмотка *III* — 20 витков провода ПЭЛ-0,51); *Д1* — *Д7* — диоды Д226Б (диоды *Д1* — *Д3* включены в логическую цепь для того, чтобы исключить ненужные связи между цепями, подающими напряжение на реле *Р1* — *Р3*). В специальной отладке правильно собранный автомат не нуждается.

Описанный играющий автомат можно дополнить блоком подсчета результатов игры, который учитывает

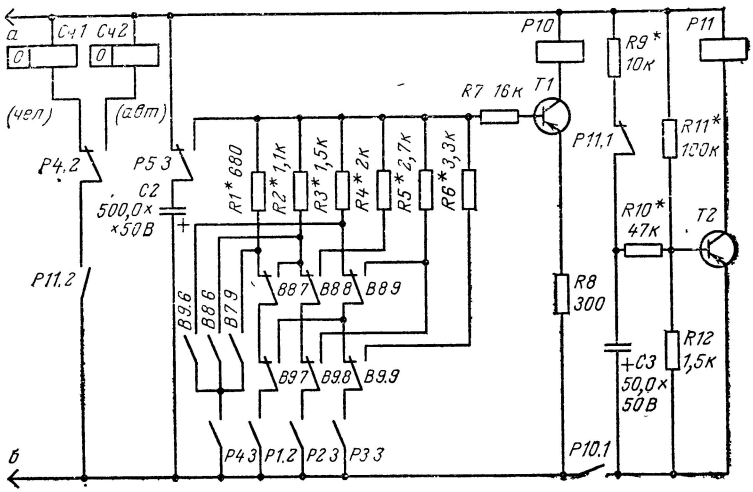

Рис. 39. Схема блока подсчета результатов игры.

число набранных игроками (человеком и автоматом) очков в серии партий. Принципиальная схема такого блока приведена на рис. 39. Блок подключается к точкам *а* и *б* выпрямителя (см. рис. 38). Он состоит из генератора импульсов на транзисторе *Т2*, реле времени на транзисторе *Т1* и счетчиков *Сч1* и *Сч2*, суммирующих выигрыш (в очках) человека и автомата.

Работает блок подсчета результатов игры следующим образом. Контакты реле *Р11.2* генератора импульсов, подключаемого на определенное время к источнику питания контактами *Р10.1* реле времени, замыкают и размыкают цепи питания счетчиков *Сч1* (*Выигрыш человека*) или *Сч2* (*Выигрыш автомата*) в зависимости от

положения контактов *P4.2*. Выдержка реле времени, а следовательно, и число импульсов, поданных на счетчики *Сч1* или *Сч2* контактами *P11.2*, зависит от того, какой из резисторов *R1—R6* подключен логической цепочкой контактов реле *P1—P4* и выключателей *B7—B9*.

Рассмотрим работу блока во взятом нами ранее конкретном примере игры: человек сделал ставку в 2 очка (включил выключатель *B8*) на число 5 (включил выключатель *B5*), и это число выпало один раз (сработало реле *P1*). Сработавшее после отпускания кнопки *Кн1* (*Результат*) реле *P5* своими контактами *P5.3* подключает к базе транзистора *T1* отрицательно заряженную обкладку конденсатора *C2*; транзистор *T1* открывается, и реле *P10* срабатывает. Конденсатор *C2* начинает разряжаться по двум параллельным цепям: резистор *R7*, эмиттерный переход транзистора *T1*, резистор *R8*; резистор *R2*, переключенные контакты *B8.7*, контакты *B9.7*, замкнутые контакты *P1.2*. По мере разряда конденсатора токи в базовой и коллекторной цепях уменьшаются, и через некоторое время, определяемое резистором *R2*, реле *P10* отключается.

Отметим, что, как только реле *P10* сработает, его контакты *P10.1* подключают к источнику питания генератор импульсов на транзисторе *T2*. После заряда конденсатора *C3* открывается транзистор *T2*, в результате чего срабатывает реле *P11* и его контакты *P11.2*, замыкаясь, подключают счетчики *Сч1* или *Сч2* к источнику питания. В нашем примере напряжение будет подано на счетчик *Сч1* (*Выигрыш человека*), и он отсчитает одно очко. После срабатывания реле *P11* его контакты *P11.1* размыкаются, и конденсатор *C3* начинает разряжаться. Через некоторое время напряжение на конденсаторе *C3* и коллекторный ток транзистора настолько уменьшатся, что реле *P11* отпустит якорь, контакты *P11.1* снова замкнутся, и весь цикл будет повторен. В данном примере реле *P11* сработает и отпустит якорь два раза — счетчик *Сч1* зафиксирует два очка.

Налаживание блока подсчета результатов игры следует начинать с установки времени цикла срабатывание — отключение реле *P11*. Подбирая резисторы *R9—R11*, добиваются, чтобы время цикла равнялось приблизительно 0,5—1 с. Затем подбором резисторов *R1—R6* устанавливают время выдержки реле *P10*. Сопротивление резистора *R1* должно быть таким, чтобы реле *P10*

оставалось включенным в течение одного цикла срабатывания реле *P11*, сопротивление резистора *R2* — в течение двух циклов, резистора *R3* — трех циклов, резистора *R4* — четырех циклов, резистора *R5* — шести циклов, резистора *R6* — девяти циклов.

В блоке применены следующие детали: *P10* — реле РЭС-10 (паспорт РС4.524.305); *P11* — реле РЭС-9 (паспорт РС4.524.201); *T1* и *T2* — транзисторы МП39 и МП42 с коэффициентом $h_{21э}$ не менее 50; *Сч1* и *Сч2* — электромагнитные счетчики СБ-1М/100 или СЭИ-1. Размещаются они на лицевой панели автомата. Следует иметь в виду, что при использовании счетчиков типа СБ-1М/100 необходимо удалить у них тумблеры и удлинить головки установки нуля (с помощью стержней, которые можно вывести на заднюю стенку автомата).

ГЛАВА ЧЕТВЕРТАЯ

КТО КОГО?

Стратегические игры

У американских школьников весьма популярна игра в «чет и нечет» (распространенная, впрочем, и во многих других странах). Игра эта очень проста. Один из играющих зажимает в руке несколько мелких предметов (горошин, спичек, монет и т. п.), а другой должен отгадать, четное у него число или нечетное. Отгадает — выиграл, не отгадает — проиграл. Есть и более сложный вариант этой игры, называемый иногда игрой в «три пальца». В этом варианте игроки одновременно и независимо друг от друга показывают один, два или три пальца; если общее число показанных пальцев оказывается четным, то второй игрок должен уплатить первому определенную сумму (скажем, в долларах или центах), в противном случае первый игрок платит второму.

При всей примитивности этих игр они в известном смысле гораздо более трудны для анализа, чем уже знакомые нам азартные и комбинаторные. В азартной игре, как мы уже отмечали, оба противника не могут сво-

ими действиями активно влиять на ее исход; в комбинаторной игре один из игроков также фактически лишен этой возможности (если другой пользуется выигрывающим алгоритмом). В отличие от этого в игре «чет и нечет» активно действуют, стремясь перехитрить друг друга, оба игрока. И каждый из них, делая свой выбор, не знает наверняка намерений противника. Именно это обстоятельство и делает забаву американских школьников настоящей стратегической игрой.

Как же следует вести себя игроку в подобных играх? С ответом на этот вопрос дело обстоит значительно сложнее, чем при анализе игр азартных или комбинаторных. Ведь сам по себе выбор четного или нечетного числа не может считаться ни хорошим, ни плохим ходом. Как справедливо заметил один из основателей кибернетики Норберт Винер: «... эффективность оружия зависит от того, какое имеется другое оружие, способное противостоять ему» [21]. В этом-то и заключается главная трудность анализа стратегических игр.

Не случайно, вероятно, в отличие от азартных и комбинаторных игр, корни математической разработки которых уходят вглубь столетий, стратегические игры стали изучаться математиками лишь сравнительно недавно. Начало этому направлению в науке было положено работами Э. Бореля и Дж. фон Неймана еще в 20-х годах этого столетия, но особенно интенсивно оно начало разрабатываться после 1944 г., когда Дж. фон Нейман и О. Моргенштерн опубликовали первое систематическое и фундаментальное исследование по теории стратегических игр — книгу «Теория игр и экономическое поведение», в которой были сформулированы основные принципы научного анализа действий в конфликтных ситуациях. В наши дни, как уже отмечалось, теория стратегических игр быстро и успешно развивается.

Самым простым и вместе с тем наиболее хорошо изученным классом стратегических игр являются парные конечные игры с нулевой суммой. В таких играх интересы игроков прямо противоположны, выигрыш одного из них равен проигрышу другого. Поэтому здесь можно рассматривать выигрыш только одного игрока, считая, что этот игрок стремится к достижению его максимума, тогда как второй игрок старается свести этот выигрыш к минимуму. Упомянутые выше развлечения американ-

ских школьников и являются примерами таких парных конечных игр с нулевой суммой.

Проанализируем подробнее одну из них, например игру в «три пальца».

Очевидно, что эта игра детерминированная (каждый из игроков, показывая пальцы, делает личный ход, случайностей в игре нет). Ясно также, что она принадлежит к играм с неполной информацией (выбирая свой ход, игрок не знает, какой ход сделает противник).

Игрок A может выбрать один из трех вариантов хода, или, как говорят, у него три стратегии: A_1 — показать один палец; A_2 — два пальца; A_3 — три пальца.

У игрока B тоже имеются три аналогичные стратегии: B_1, B_2 и B_3.

Так как у каждого игрока — по три стратегии, то такую игру называют игрой 3×3. Все возможные результаты игры для различных стратегий, выбранных игроками A и B, а также соответствующие выигрыши игрока A удобно представить в виде табл. 4 («матрица игры» или «платежная матрица»).

Таблица 4

A	B		
	B_1	B_2	B_3
A_1	2	—3	4
A_2	—3	4	—5
A_3	4	—5	6

Здесь на пересечении каждой пары стратегий игроков A и B записан выигрыш, который игрок B платит игроку A в результате игры (конечно, если выигрыш отрицателен, то на самом деле игрок A платит игроку B). Например, если игрок A воспользуется стратегией A_3 (покажет три пальца), а игрок B изберет стратегию B_2 (покажет два пальца), то в результате общее число показанных пальцев будет нечетным и равным 5. В табл. 4 число —5 на пересечении третьей строки и второго столбца указывает, что в этом случае выигрыш игрока A составит —5 центов, т. е. он проиграет игроку B 5 центов.

Игрокам известны все возможные исходы игры. Какую же стратегию наиболее целесообразно избрать каждому из них?

Нетрудно сообразить, что на любую из стратегий, выбранных игроком A, его противник может ответить худшим для A образом. Так, например, для игрока A весьма соблазнительно воспользоваться стратегией A_3, которая сулит ему выигрыш 6 или по крайней мере 4 цента (в случаях применения игроком B стратегий B_3 или B_1 соответственно). Но если при этом игрок B изберет стратегию B_2, то для игрока A дело обернется крупным проигрышем в 5 центов. Аналогично, выбирая стратегию A_1 или A_2, игрок A также не может быть уверен в выигрыше. Разумеется, в таком же затруднительном положении находится игрок B, который не знает, как сыграет A.

В «умной» и осторожной игре без горячности, авантюризма и риска каждый из игроков не столько стремится к выигрышу, сколько к тому чтобы уберечься от проигрыша. Практический же опыт учит нас, что наиболее ощутимый проигрыш доставляет недооценка сил и умений противника. Поэтому каждому из игроков следует исходить из предположения, что его противник изберет наилучшую для себя стратегию. В соответствии с этим он должен выбрать свою стратегию так, чтобы наилучшая стратегия противника дала противнику наименьший выигрыш. Следовательно, для игрока A наиболее «безопасной» стратегией будет такая, у которой минимальный выигрыш является наибольшим по сравнению с минимальными выигрышами всех других его стратегий.

Для стратегии A_1 наименьшее значение выигрыша равно —3, для стратегии A_2 оно равно —5, для стратегии A_3 также —5. Максимальным из всех этих минимальных значений является число —3, которому соответствует стратегия A_1. Эта стратегия называется максиминной (от слов «максимум из минимумов»), а соответствующий ей выигрыш (в данном случае число —3) носит название нижней цены игры. Очевидно, нижняя цена игры — это тот гарантированный наименьший выигрыш, который может обеспечить себе игрок A, если он будет придерживаться наиболее осторожной, «перестраховочной максиминной стратегии A_1 (в нашем примере максиминная стратегия гарантирует ему проигрыш не более 3 центов).

По совершенно аналогичным соображениям игрок B в расчете на умелое поведение игрока A должен от-

дать предпочтение той своей стратегии, у которой максимальный выигрыш противника будет наименьшим из максимальных выигрышей всех его стратегий. Для стратегии B_1 наибольшее значение выигрыша равно 4, для стратегии B_2 также равно 4, а для стратегии B_3 равно 6. Минимальный из этих максимумов равен 4 — это *верхняя цена игры*, ей соответствуют две минимаксные стратегии B_1 и B_2. Применяя любую из этих стратегий игрок B гарантирован, что проиграет не более 4 центов. Но стратегия B_2 все же предпочтительнее, так как здесь игрок B имеет возможность выиграть 5 центов, тогда как, применяя стратегию B_1, он может выиграть только 3 цента.

Принцип осторожности, предписывающий игрокам выбор максиминной и минимаксной стратегий, называют «*принципом минимакса*». Отступая от этого принципа в надежде на более крупный выигрыш, каждый из игроков идет на риск, связанный с возможностью более крупного проигрыша.

Из всего сказанного не следует, однако, что при многократном повторении этой игры наиболее безопасно для каждого из игроков все время придерживаться одной и той же максиминной (или минимаксной) стратегии. В самом деле, допустим, что игрок A до абсурда «сверхосторожный» человек, и неуклонно придерживается во всех партиях игры своей максиминной стратегии A_1 (т. е. всегда показывает один палец). Тогда уже по результатам первых нескольких партий его противник догадается об этом и в дальнейшем будет неизменно отвечать выбором стратегии B_2 (т. е. всегда показывать два пальца), обрекая игрока A на постоянный (хотя и не самый крупный) проигрыш.

Мы видим, таким образом, что в подобных играх большое значение имеет фактор «разведки» — получение каждым игроком информации, на основании которой он мог бы «прогнозировать» стратегии, выбираемые противником. Чтобы затруднить противнику получение такой информации, нужно, очевидно, время от времени (от партии к партии) менять свою стратегию. Как это следует делать, увидим позднее, а пока обратим внимание на то, что в этой игре оба игрока, отклоняясь от своих максиминной и минимаксной стратегий, должны скрывать свои намерения друг от друга, лишь при этом условии каждый из них может уберечь себя от проигрыша.

Но есть и такие игры, в которых осторожному игроку незачем отклоняться от максиминной (минимаксной) стратегии даже при многократном повторении игры и нет надобности скрывать это от своего противника (он может играть «в открытую»). Речь идет об играх, у которых значения верхней и нижней цен игры совпадают. В таких случаях это общее значение минимакса и максимина (его называют чистой ценой игры или просто ценой игры) является наименьшим в своей строке матрицы и наибольшим в своем столбце, а об игре говорят, что ее матрица имеет седловую точку (это название объясняется тем, что подобная точка есть на поверхности седла: она занимает наивысшее положение при поперечном его сечении и наинизшее — при продольном разрезе).

Седловая точка лежит на пересечении минимаксной и максиминной стратегий. Эти стратегии являются оптимальными для обоих игроков. Если один из них решил придерживаться своей оптимальной стратегии, то для другого отклонение от своей оптимальной стратегии нецелесообразно, ибо в лучшем случае при этом его выигрыш останется неизменным, а в худшем — уменьшится. При этом наличие у любого из игроков информации о том, что его противник избрал свою оптимальную стратегию, не может изменить поведение этого игрока: если только последний не хочет действовать против своих же интересов, он и сам вынужден будет придерживаться своей оптимальной стратегии.

Игры, имеющие в матрице седловую точку, встречаются на практике, хотя и не очень часто. Между прочим, в теории доказывается, что седловую точку имеет всякая игра с полной информацией.

Значение чистой цены игры позволяет судить о том, справедлива ли эта игра по отношению к ее участникам. Очевидно, для справедливости игры нужно, чтобы чистая цена игры была равна нулю (это значит, что пара оптимальных стратегий ведет к ничьей). Если же чистая цена игры не равна нулю, то по отношению к одному из партнеров эта игра несправедлива: даже если он будет выбирать свою оптимальную стратегию, его потеря в каждой партии будет не меньше цены игры.

Приведем примеры конфликтных ситуаций, которые могут быть представлены как стратегические парные ко-

нечные игры с нулевой суммой, имеющие в матрице седловую точку.

Битва в Ново-Гвинейском море. Это один из эпизодов второй мировой войны [1,23], разыгравшийся в критические дни боев американцев с японцами за Новую Гвинею. Американская разведка получила тогда сведения о том, что японцы собираются послать караван су-

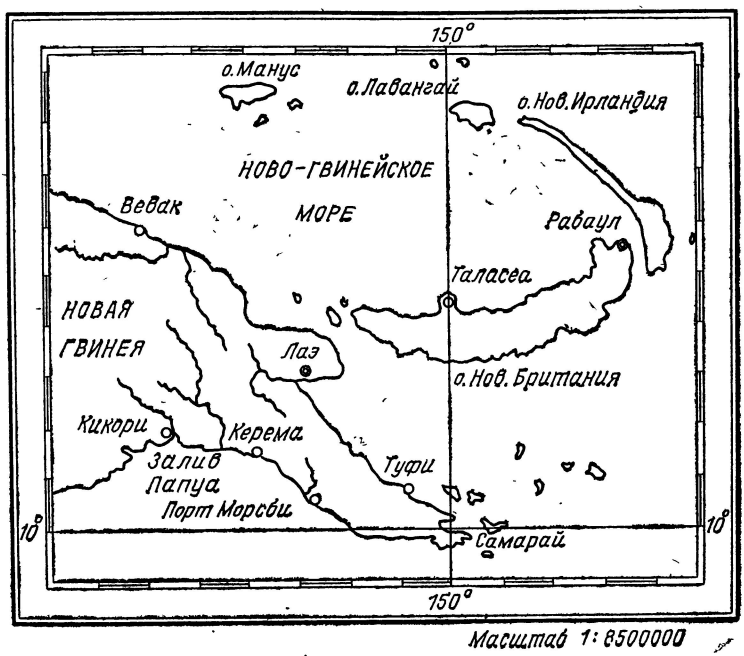

Рис. 40. Карта района военных действий.

дов с войсками и провиантом из порта Рабаул на восточной оконечности Новой Британии в порт Лаэ, расположенный в Новой Гвинее к западу от Новой Британии (рис. 40). Перед американской авиацией была поставлена задача — обнаружить в море и разбомбить японский караван.

Корабли японцев могли пройти к Новой Гвинее либо с севера от Новой Британии, где метеорологи предсказывали пасмурную погоду и плохую видимость, либо обогнув этот остров с юга, где ожидалась ясная погода.

Плавание в обоих случаях должно было занять около трех дней, поэтому для американцев было очень важно возможно быстрее обнаружить суда противника в море, чтобы потом бомбить их до самого прибытия в Лаэ. Для быстрейшего обнаружения японского каравана генерал Кенней, командовавший американской авиацией, должен был сосредоточить основную часть своих самолетов-разведчиков либо на южном, либо на северном пути. Таким образом, у американцев могло быть два решения: A_1 — сосредоточить самолеты-разведчики на южном пути; A_2 — сосредоточить самолеты-разведчики на северном пути.

У японцев также могло быть два решения: $Я_1$ — отправить караван судов южным путем; $Я_2$ — отправить караван судов северным путем.

Результаты использования противниками различных решений штаб Кеннея оценил следующим образом.

A_1—$Я_1$. Самолеты американцев благодаря ясной погоде в первый же день обнаруживают японский караван и могут бомбить его на протяжении **трех дней.**

A_1—$Я_2$. После напрасных поисков каравана на южном пути в течение первого дня самолеты-разведчики перебрасываются на север, где из-за тумана и плохой видимости затрачивают на поиски и обнаружение врага еще один день; на бомбардировку японских судов остается только **один день.**

A_2—$Я_1$. Затратив первый день на тщетные поиски японцев на северном пути и не найдя их там, самолеты-разведчики на следующий день направляются на юг и сразу же (ясная погода!) обнаруживают японские суда; на бомбардировку врага остается **два дня.**

A_2—$Я_2$. Самолеты-разведчики затрачивают целый день на поиски и обнаружение вражеских кораблей на северном пути (из-за пасмурной погоды и плохой видимости); бомбежка может продолжаться в течение **двух дней.**

На основании приведенных оценок можно составить матрицу (табл. 5) этой игры 2×2, в которой исходы для различных выборов игроков даны в днях бомбардировочного времени.

Выпишем теперь справа каждой строки матрицы значение наименьшего элемента этой строки и отметим звездочкой наибольшее из этих чисел — максимин. Затем выпишем снизу каждого столбца наибольший эле-

Таблица 5

Американцы	Японцы	
	$Я_1$	$Я_2$
A_1	3	1
A_2	2	2

мент этого столбца и отметим звездочкой наименьшее из этих чисел — минимакс (табл. 6).

Таблица 6

Американцы	Японцы		
	$Я_1$	$Я_2$	
A_1	3	1	1
A_2	2	2	2*
	3	2*	

Мы видим, что минимакс и максимин совпадают. Следовательно, игра имеет седловую точку, лежащую на пересечении стратегий A_2 и $Я_2$. Чистая цена игры равна двум дням бомбардировочного времени.

Стратегии A_2 и $Я_2$ действительно были выбраны соответственно американским и японским командованием. Японские корабли были обнаружены разведывательной авиацией американцев на следующий день после их выхода в море и в результате двухдневных бомбардировок понесли тяжелые потери. Однако нельзя считать, что японское командование приняло ошибочное решение, направив караван судов по северному пути: в сложившейся обстановке выбор японцами южного пути мог привести к еще большим потерям.

Предотвращение угона автомобилей. Угон автомобилей, к сожалению, иногда имеет место, являясь нередко причиной и более серьезных правонарушений. Для предотвращения угона на одном автозаводе принято решение устанавливать в автомобилях устройство, препятствующее запуску двигателя посторонними лицами. Устройство это должно имитировать неисправность в одном

из звеньев системы запуска. Цель установки можно считать достигнутой, если злоумышленник в течение определенного времени не сможет запустить двигатель.

В конструкторском бюро завода были созданы три различных устройства, которые блокируют соответственно подачу топлива, зажигание и стартер. Какое из этих устройств пустить в серийное производство?

Для решения этого вопроса проведены испытания: «посторонним» лицам предлагалось за кратчайшее время запустить любыми способами двигатель автомашины, оборудованный одним из устройств. «Злоумышленник», обнаружив наличие «неисправности», стремился устранить ее. При этом оказалось, что время, затрачиваемое на запуск двигателя, зависит только от того, какое из звеньев системы запуска (систему подачи топлива, систему зажигания или стартер) «злоумышленник» проверял в первую очередь.

Таким образом, налицо конфликтная ситуация: конструктор — игрок K — стремится устранить возможность запуска двигателя посторонними лицами; злоумышленник — игрок $З$ — преследует прямо противоположные цели.

Стратегии игрока K: K_1 — установить устройство, имитирующее неисправность системы подачи топлива; K_2 — установить устройство, имитирующее неисправность системы зажигания; K_3 — установить устройство, имитирующее неисправность стартера.

Стратегии игрока $З$: $З_1$ — прежде всего искать неисправность в системе подачи топлива; $З_2$ — начинать с поиска неисправности в системе зажигания; $З_3$ — первой искать неисправность в стартере.

В результате проведенных на заводе испытаний для каждой пары стратегий определен процент неудачных попыток запуска двигателя. Этот показатель удобен для оценки исходов игры: игрок K стремится сделать процент неудачных попыток запуска наибольшим (максимизировать его), а игрок $З$ старается сделать этот процент наименьшим (минимизировать его, или, что то же самое, максимизировать процент удачных попыток). Записывая для каждой пары стратегий процент неудачных попыток запуска двигателя (по данным заводских испытаний), составим матрицу игры (табл. 7).

Находим максимин и минимакс (они, как и в предыдущем примере, обозначены звездочками). Их равенст-

Таблица 7

K	$З$			
	$З_1$	$З_2$	$З_3$	
K_1	85	88	97	85
K_2	92	90	95	90*
K_3	99	85	84	84
	99	90*	97	

во определяет чистую цену игры — 90% неудач при попытках запуска двигателя посторонними лицами. Седловая точка лежит на пересечении оптимальных стратегий K_2 и $З_2$. Игрок K может быть уверен, что, применяя стратегию K_2, он обеспечит 90% неудач игрока $З$; последний, в свою очередь, выбирая стратегию $З_2$, не позволяет противнику сделать этот процент более высоким.

Итак, разрешение конфликта — в рекомендации устанавливать на автомашины устройство, блокирующее систему зажигания: это гарантирует неудачу при попытках угона в девяти случаях из десяти. Установка других блокирующих устройств такой гарантии не дает.

В приведенных примерах матрицы игр имеют седловую точку; это позволило определить пары оптимальных стратегий для участников игры. Однако, как мы уже отмечали, для многих игр матрица не имеет седловой точки. Например, седловой точки нет в матрице проанализированной нами выше игры в «три пальца»: в этой игре минимакс (4) и максимин (—3) неодинаковы. Нет седловой точки и в простейшем варианте игры в «чет и нечет». Убедимся в этом. У каждого игрока здесь по две стратегии: A_1 — зажать в руке четное число спичек; A_2 — зажать в руке нечетное число спичек; B_1 — назвать «чет»; B_2 — назвать «нечет».

Если выигрыш игрока A оценить как 1, а проигрыш его — как —1, то матрица игры будет иметь следующий вид, представленный табл. 8.

В этой игре 2×2 любая стратегия игрока A является его максиминной, а любая стратегия игрока B — его

Таблица 8

A	B_1	B_2	
A_1	1	—1	—1
A_2	—1	1	—1
	1	1	

минимаксной стратегией. Но минимакс (+1) и максимин (—1) не равны, так что седловой точки нет.

Какое же поведение игроков будет здесь наилучшим, оптимальным?

Мы уже отмечали, что в подобных случаях при многократном проведении игры игроку нужно чередовать выбор стратегий от партии к партии. Но как это сделать?

Может быть, игроку A следует менять свои стратегии по очереди: в первой партии взять «чет», во второй — «нечет», в третьей партии — снова «чет» и т. д.? Вряд ли это целесообразно. Ведь если игрок B достаточно наблюдателен и сообразителен, то он быстро разгадает маневр противника и начнет систематически выигрывать!

К аналогичному выводу мы придем, если предположим, что игроку A следует чередовать свои стратегии каким-либо более сложным, но закономерным способом. Рано или поздно эту закономерность противник обнаружит. Следовательно, игроку A нужно так чередовать свои стратегии, чтобы результаты предыдущих партий игры не давали противнику никакой информации о поведении игрока A в последующих партиях. Для этого, очевидно, ему нужно чередовать свои стратегии случайным образом или, как говорят в теории игр, использовать смешанную стратегию (отдельные стратегии A_1 и A_2 называются в этом случае чистыми стратегиями). Очевидно, аналогичным образом должен вести себя и игрок B.

Возникает вопрос: в какой пропорции лучше всего здесь «смешивать» игрокам свои чистые стратегии при многократном повторении игры? Какую из чистых стратегий применять чаще, какую — реже?

Для стратегических игр 2×2 теория дает сравнительно простой ответ на этот вопрос.

В общем виде матрицу игры 2×2 можно представить в виде табл. 9.

Здесь буквами a_{11}, a_{21}, a_{12}, a_{22} обозначены выигрыши игрока A при различных исходах игры. Оказывается, что оптимальным будет такое поведение игроков A и B,

Таблица 9

A	B	
	B_1	B_2
A_1	a_{11}	a_{12}
A_2	a_{21}	a_{22}

при котором они используют свои чистые стратегии с вероятностями [5], равными

$$P(A_1) = p_1 = \frac{a_{22} - a_{21}}{a_{11} + a_{22} - a_{12} - a_{21}};$$

$$P(A_2) = p_2 = \frac{a_{11} - a_{12}}{a_{11} + a_{22} - a_{12} - a_{21}};$$

$$P(B_1) = q_1 = \frac{a_{22} - a_{12}}{a_{11} + a_{22} - a_{12} - a_{21}};$$

$$P(B_2) = q_2 = \frac{a_{11} - a_{21}}{a_{11} + a_{22} - a_{12} - a_{21}}.$$

В теории доказывается также, что при использовании игроками своих смешанных стратегий средняя цена игры будет равна математическому ожиданию выигрыша (проигрыша) игрока A, которое вычисляется по формуле

$$M = a_{11}p_1q_1 + a_{12}p_1q_2 + a_{21}p_2q_1 + a_{22}p_2q_2.$$

Попробуем, например, применить эти формулы для определения оптимальных смешанных стратегий игроков и средней цены игры в игре 2×2 «чет и нечет». В этой игре

$$a_{11} = 1;\ a_{12} = -1;$$

$$a_{21} = -1;\ a_{22} = 1;$$

Вычисляя вероятности использования игроком A своих чистых стратегий, получаем:

$$P(A_1) = 1/2;\ P(A_2) = 1/2.$$

Аналогично найдем для игрока B:

$$P(B_1) = 1/2;\ P(B_2) = 1/2.$$

Средняя цена игры $M=0$.

Следовательно, оптимальная смешанная стратегия для каждого из игроков здесь состоит в том, чтобы случайным образом чередовать свои чистые стратегии, пользуясь каждой из них одинаково часто (с вероятностью 1/2). Для этого, например, игрок B может перед каждой партией игры бросать монету, и если выпадет герб, говорить «чет», а если выпадет решка — называть «нечет». Аналогично может поступать и игрок A. При этом средний выигрыш, приходящийся на одну партию, будет равен нулю, что свидетельствует о справедливости игры.

Конечно, полученный нами вывод интуитивно был достаточно ясен заранее, так как оба игрока в игре «чет и нечет» находятся в равных условиях. Рассмотрим теперь примеры более сложных игровых задач этого типа, где решения не являются столь очевидными.

Военный эпизод. Во многих игровых задачах военного содержания, встречающихся в исследованиях по теории стратегических игр, фигурирует анекдотический персонаж — полковник Блотто. Этот доблестный военачальник организует оборону и наступление, штурмует крепости и горные перевалы, отражает атаки превосходящих сил противника и неизменно добивается успеха, следуя рекомендациям теории игр. Рассмотрим и мы в виде примера случай из богатой военной практики полковника Блотто [5, 18, 20].

Полковник Блотто отправляет для бомбардировки военного объекта противника два самолета: один из них несет бомбы, а другой имеет задачу прикрыть бомбардировщик-носитель от противника. Самолеты летят в таком строю, что летящий первым находится под более эффективной защитой пушек второго бомбардировщика, чем второй — под защитой первого. У полковника Блотто есть опасение, как бы носитель бомб не был сбит истребителями противника, которые могут напасть по пути на один из самолетов.

Проблема, стоящая перед полковником Блотто, заключается в следующем: кому лететь первым — бомбардировщику-носителю или самолету, выполняющему вспомогательную задачу?

Здесь у полковника Блотто возможны две стратегии: $Б_1$ — приказать носителю бомб лететь впереди; $Б_2$ — приказать носителю бомб лететь позади.

У противника также две стратегии: $П_1$ — истребителям атаковать первый самолет; $П_2$ — истребителям атаковать второй самолет.

Военной практикой установлено, что носитель бомб имеет 80 шансов из 100 выжить, если он атакуется истребителями в более выгодном положении (т. е. когда летит впереди); 60 из 100, если его атакуют в менее выгодном положении (т. е. когда он летит вторым), и 100 шансов из 100, если истребители вообще на него не нападают. Эта ситуация может быть представлена матрицей (табл. 10).

Таблица 10

Б	П	
	$П_1$	$П_2$
$Б_1$	80	100
$Б_2$	100	60

Здесь выигрыш полковника Блотто равен числу шансов выжить (и, следовательно, выполнить свою задачу) бомбардировщику, несущему бомбы. Платежная матрица не имеет седловой точки, поэтому полковнику Блотто нужно пользоваться смешанной стратегией.

Подставляя значения шансов на выживание $a_{11}=80$, $a_{12}=a_{21}=100$, $a_{22}=60$ в формулу для определения оптимальных вероятностей применения игроками своих чистых стратегий, находим:

$$P(Б_1)=\frac{60-100}{80+60-100-100}=\frac{2}{3};\quad P(Б_2)=\frac{1}{3};$$

$$P(П_1)=\frac{2}{3};\quad P(П_2)=\frac{1}{3}.$$

Как мы видим, оптимальная смешанная стратегия полковника Блотто состоит в том, что при каждом вылете бомбардировщик-носитель с вероятностью 2/3 должен лететь первым и с вероятностью 1/3 лететь вторым. В этом случае средняя цена игры:

$$M=80\cdot\frac{2}{3}\cdot\frac{2}{3}+100\cdot\frac{1}{3}\cdot\frac{2}{3}+100\cdot\frac{1}{3}\cdot\frac{2}{3}+$$
$$+60\cdot\frac{1}{3}\cdot\frac{1}{3}=86\frac{2}{3},$$

т. е. шансы бомбардировщика-носителя выжить при

встрече с истребителями противника (и значит, шансы полковника Блотто на успех операции) равны $86\frac{2}{3}$ из 100.

Свою смешанную стратегию полковник Блотто может осуществить, например, так. Перед вылетом он предлагает командиру бомбардировщика-носителя тянуть одну из трех спичек, среди которых имеется сломанная. Если тот вытащит целую спичку, то он летит первым, а если вытащит сломанную, то летит вторым.

Что же касается противника, то для него оптимальная смешанная стратегия состоит в том, чтобы в каждом воздушном бою против бомбардировщиков с вероятностью 2/3 атаковать первый самолет и с вероятностью 1/3 второй. При этом шансы полковника Блотто на успех операции будут не больше чем $86\frac{2}{3}$ из 100.

Заметим, что если бы полковник Блотто стал применять только свою чистую стратегию $Б_1$ (всегда посылая бомбардировщик-носитель впереди), что, на первый взгляд, кажется наиболее естественным, то противник, применяя свою чистую стратегию $П_1$ (т. е. атакуя всегда первый самолет), снизил бы шансы полковника Блотто на успех операции до 80%. Таким образом, применение смешанной стратегии повышает шансы полковника Блотто.

Игра «Веришь — не веришь» [5]. Мы рассмотрим упрощенный вариант этой карточной игры. Имеются две карты: туз и двойка. Игрок *А* берет наугад одну из них. Игрок *В* не видит, какую карту взял *А*. Если *А* взял туза, он заявляет «У меня туз» и требует у противника 1 руб. Если же *А* взял двойку, то он может либо сказать, что у него туз, и потребовать у противника 1 руб., либо признаться, что у него двойка, и уплатить противнику 1 руб.

Игрок *В*, если ему добровольно платят рубль, может только принять его. Если же у него потребуют рубль, то он может либо поверить игроку *А*, что у того туз, и отдать ему 1 руб., либо не поверить ему и потребовать от *А* открыть карту. Если при этом окажется, что у *А* действительно туз, то *В* должен уплатить противнику 2 руб.; если же обнаружится, что *А* обманывает, и у него двойка, то игрок *А* должен уплатить игроку *В* 2 руб.

Нужно проанализировать эту игру и определить оптимальные стратегии игроков.

Игра эта имеет сравнительно сложную структуру. Каждая из партий состоит из одного обязательного случайного хода игрока A — выбора одной из двух карт — и двух личных ходов игроков A и B, которые в игре не обязательно осуществляются.

Очевидно, у игрока A имеются две стратегии; A_1 — обманывать, A_2 — не обманывать. У игрока B также две стратегии: B_1 — верить, B_2 — не верить. Чтобы построить матрицу игры, вычислим средний выигрыш игрока A при каждой комбинации стратегий (в предположении, что игра многократно повторяется).

1. A_1—B_1 (A обманывает, B верит). Если A взял туза (вероятность этого 1/2), то у него нет личного хода, он требует 1 руб.; игрок B верит ему и платит. Выигрыш игрока A равен 1 руб.

Если A выбрал двойку (вероятность этого также 1/2), то он обманывает, требуя 1 руб.; B верит ему и платит 1 руб.

Средний выигрыш

$$a_{11} = \frac{1}{2} \cdot 1 + \frac{1}{2} \cdot 1 = 1 \text{ руб.}$$

2. A_1—B_2 (A обманывает, B не верит). Если A взял туза, то у него нет личного хода, он требует 1 руб. Игрок B не верит и после проверки вынужден уплатить 2 руб.

Игрок A взял двойку, но говорит, что у него туз, и требует 1 руб.; B не верит и после проверки получает от A 2 руб. (выигрыш A равен 2 руб.).

Средний выигрыш

$$a_{12} = \frac{1}{2} \cdot 2 + \frac{1}{2} \cdot (-2) = 0.$$

3. A_2—B_1 (A не обманывает, B верит). Если A взял туза, он требует 1 руб.; B верит ему и платит; выигрыш равен 1 руб.

Игрок A взял туза, признается в этом и платит 1 руб., игроку B остается только принять выигрыш (для A выигрыш равен —1 руб.).

Средний выигрыш

$$a_{21} = \frac{1}{2} \cdot 1 + \frac{1}{2} \cdot (-1) = 0.$$

4. A_2—B_2 (A не обманывает, B не верит). Игрок A взял туза и требует 1 руб.; B не верит и в результате проверки должен уплатить 2 руб. игроку A.

Если A выбрал двойку, признается в этом и платит 1 руб., то B остается принять выигрыш (выигрыш A равен —1 руб.).

Средний выигрыш

$$a_{22} = \frac{1}{2} \cdot 2 + \frac{1}{2} \cdot (-1) = \frac{1}{2} \text{ руб.}$$

Теперь построим платежную матрицу (табл. 11).

Таблица 11

A	B	
	B_1 (верит)	B_2 (не верит)
A_1 (обманывает)	1	0
A_2 (не обманывает)	0	1/2

Эта матрица не имеет седловой точки, так как максимин (0) и минимакс (1/2) не равны. Оптимальные смешанные стратегии игроков могут быть найдены с помощью приведенных выше формул для определения вероятностей использования игроками своих чистых стратегий:

$$P(A_1) = \frac{1/2}{1 + 1/2} = \frac{1}{3}; \quad P(A_2) = \frac{2}{3};$$

$$P(B_1) = \frac{1}{3}; \quad P(B_2) = \frac{2}{3}.$$

Следовательно, игрок A должен в одной трети всех случаев пользоваться своей первой чистой стратегией — обманывать, а в двух третях — пользоваться второй чистой стратегией — не обманывать. Такая смешанная стратегия обеспечит игроку A в каждой партии в среднем выигрыш, равный математическому ожиданию:

$$M = 1 \cdot \frac{1}{3} \cdot \frac{1}{3} + \frac{1}{2} \cdot \frac{2}{3} \cdot \frac{2}{3} = \frac{1}{3} \text{ руб.}$$

Тот факт, что средний выигрыш в каждой партии оказался больше нуля, указывает на несправедливость игры по отношению к игроку B. Для игрока A игра выгодна; пользуясь своей оптимальной смешанной стратегией, он может обеспечить себе положительный средний выигрыш.

Интересно отметить, что если бы игрок A действовал в игре «сверхосторожно» и никогда не обманывал (т. е. всегда применял свою чистую стратегию A_2), то его средний выигрыш в каждой партии был бы равен нулю. Поэтому применение смешанной стратегии позволяет A реализовать свое преимущество над B в условиях игры.

Для игрока B оптимальная смешанная стратегия заключается в том, чтобы в одном случае из трех обходиться без проверки утверждения игрока A, а в двух других случаях проверять его утверждение (т. е. не верить). При этом условии он будет в среднем на каждую партию проигрывать 1/3 руб. Если он станет пользоваться все время своей чистой стратегией B_2 (не верить), то средний его проигрыш возрастет до 1/2 руб.

Итак, мы убедились, что в стратегических играх 2×2 путем несложных вычислений можно найти оптимальные смешанные стратегии игроков и среднюю цену игры. Но как быть, если игроки имеют в игре по три или больше чистых стратегий, а седловой точки в матрице нет?

По мере возрастания числа чистых стратегий трудности анализа игр, конечно, возрастают. Для решения игровых задач приходится применять более сложные математические методы. В этой популярной книге мы не имеем возможности подробно рассказать о них. Отметим только, что математики достаточно хорошо разработали общие методы решения парных конечных игр с нулевой суммой. Для решения этих игр используются такие специальные приемы, как метод линейного программирования и метод итераций, с которыми читатель сможет познакомиться, воспользовавшись специальной литературой, указанной в конце книги.

Между прочим, с помощью этих методов решена и игра в «три пальца». Найдено [6], что в этой игре оптимальной смешанной стратегией каждого из игроков является такая, при которой два пальца показываются вдвое чаще, чем один или три. Если оба игрока пользуются такой смешанной стратегией, то средний выигрыш каждого равен нулю; отклонение же от нее грозит отклоняющемуся проигрышем.

Мы познакомились здесь с наиболее простыми парными конечными играми с нулевой суммой и с простейшими методами их решения. Гораздо более сложными являются парные бесконечные игры, игры с ненулевой

суммой, а также игры трех и более лиц, коалиционные игры. Разработка математической теории игр продолжается, так как достижения этой теории находят многообещающие приложения в самых различных областях практической деятельности человека.

Автомат блефует

Блеф — это такой прием игры в покер, когда игрок пытается ввести в заблуждение и запугать своих противников, создавая впечатление, что у него на руках имеются более сильные карты, чем это есть в действительности. Подобным приемом, не нарушая правил игры, могут пользоваться игроки и в некоторых других стратегических играх, в частности, в игре «Веришь — не веришь».

В комбинаторных играх автомату, как и опытному игроку-человеку, владеющему теорией, нет необходимости прибегать к блефу: он играет в соответствии с заложенной в память беспроигрышной стратегией, и у противника не остается ни малейшего шанса на выигрыш. Если же мы намерены приобщить автомат к стратегической игре, то, естественно, следует предусмотреть в программе его работы и умение «блефовать» — коль скоро этот прием обеспечивает реализацию оптимальной стратегии.

Возможно ли это?

Мы сейчас убедимся, что в азартно-стратегической игре «Веришь — не веришь» функцию одного из игроков, а именно, игрока A, может успешно выполнять сравнительно простое кибернетическое устройство. Мы заменим карты двумя разноцветными лампочками. Пусть, например, красная лампочка обозначает туза, а зеленая — двойку. В том, какая из лампочек включена, наш автомат прекрасно «разберется».

Когда игрок A берет со стола одну из карт, он с равной вероятностью может взять туза или двойку. Заменяя карты лампочками, мы должны предусмотреть такое устройство, которое включало бы наугад одну из лампочек также с равной вероятностью. В качестве этого устройства можно использовать электромагнитное поляризованное реле. Его особенностью является зависимость направления отклонения якоря от направления тока в обмотке. Если подключить обмотку такого реле к источнику переменного тока (рис. 41), то якорь реле будет

вибрировать с частотой сети, отклоняясь поочередно то в одну, то в другую сторону; в момент выключения тока (при отпускании кнопки *Кн1*) якорь с равной вероятностью может остановиться как в правом, так и в левом положении. Поэтому красная и зеленая лампочки, подключенные к источнику тока через исполнительные контакты реле, будут загораться с равной вероятностью.

Итак, случайный выбор одной из двух карт игроком *А* можно моделировать таким же случайным включением одной из двух лампочек.

Теперь нужно запрограммировать дальнейшее поведение игрока *А* (автомата): сделать так, чтобы он случайным образом, но в отношении 1 : 2 чередовал свои чистые стратегии.

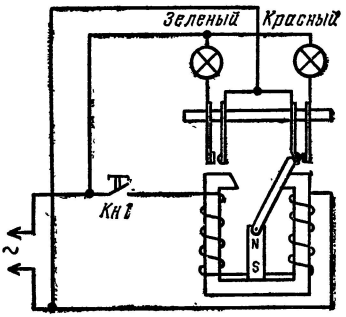

Рис. 41. Устройство для случайного выбора одной из двух лампочек.

Выполнение этой задачи нетрудно возложить на уже знакомый нам дисковый контактный коммутатор. У пластмассового диска коммутатора одна треть (сектор в 120°) покрывается медной фольгой (рис. 42, *а*). Одна щетка прижимается к диску в центральной его части, другая щетка — на периферии. Если вращающийся диск время от времени останавливать, то контакт щетка —

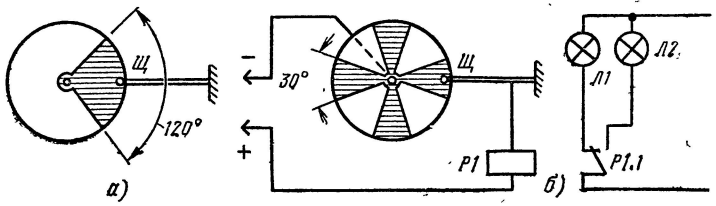

Рис. 42. Устройство для случайного выбора чистых стратегий.

диск будет проводить электрический ток лишь в одной трети всех случаев — когда щетка оказывается прижатой к фольге. Токопроводящий 120-градусный сектор целесообразно разделить на несколько более узких, расположенных симметрично на диске, например на че-

тыре 30-градусных сектора, как показано на рис. 42, *б*.

Если теперь в электрическую цепь последовательно со щетками и диском включить обмотку нейтрального электромагнитного реле, то контакты последнего будут переключать две исполнительные цепи (в моменты остановок диска) случайным образом, но в отношении 1 : 2 (т. е. одна из цепей будет включаться вдвое чаще, чем другая). Далее мы увидим, как описанное устройство может быть использовано для управления поведением играющего автомата, который выполняет роль игрока *А*.

Внешний вид этого автомата показан на рис. 43. Питается он от сети переменного тока. В средней части

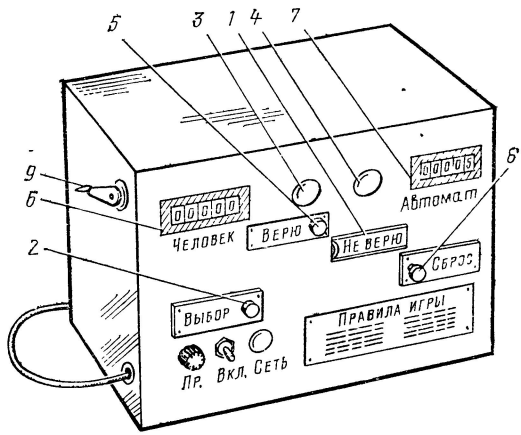

Рис. 43. Внешний вид играющего автомата «Веришь — не веришь».

лицевой панели в специальной нише, которая закрывается заслонкой *1*, расположены красная и зеленая лампочки. В начале каждой партии нажатием кнопки *Выбор 2* включается электромагнитное поляризованное реле. После отпускания кнопки одна из лампочек — красная или зеленая — оказывается включенной. Обе лампочки закрыты заслонкой, так что противник автомата (игрок *В*) не видит, какая из лампочек включена. В верхней части панели расположены две сигнальные лампочки — красная *3* и зеленая *4*. Одну из них включает сам автомат после отпускания кнопки *Выбор* в соответствии с оптимальной стратегией игрока *А*: автомат включает или сигнальную лампочку того же цвета, что и горящая лампочка под заслонкой (в этом случае он не

обманывает), или красную, когда под заслонкой горит зеленая лампочка (в этом случае автомат пытается обмануть своего противника, прибегая к блефу).

Если автомат включил зеленую сигнальную лампочку, т. е. он признается, что под заслонкой горит зеленая лампочка, то его противнику остается лишь принять выигрыш — одно очко, поверив ему. Для этого противник автомата нажимает кнопку *Верю 5* и счетчик *6* его очков (один из двух счетчиков, расположенных в верхней лицевой панели) отсчитывает одно очко.

Если же автомат включил красную сигнальную лампочку, т. е. он утверждает, что под заслонкой горит красная лампочка (возможно, что это правда, а может быть, что автомат блефует — под заслонкой в действительности горит зеленая лампочка), то у противника автомата два возможных варианта действий: он может поверить автомату и нажать кнопку *Верю* — при этом счетчик очков автомата *7* отсчитает ему одно очко; может не поверить автомату и отодвинуть вправо заслонку *1* (на которой написано *Не верю*), чтобы проверить, какая из лампочек в действительности включена; если автомат не обманывал и под заслонкой горит красная лампочка, то счетчик очков автомата отсчитывает ему два очка; если же автомат блефовал (под заслонкой горит зеленая лампочка), то два очка отсчитает счетчик противника автомата.

На этом партия игры автомата с человеком заканчивается. Чтобы приступить к следующей партии игры, нужно кратковременно нажать кнопку *Сброс 8*. При этом все механизмы автомата возвращаются в исходное положение, но счетчики сохраняют набранные ранее количества очков (установка счетчиков на нуль производится в самом начале игры с помощью специального рычага *9*). Количество партий в игре практически неограниченно. Побеждает тот из игроков, кто наберет за время игры большее число очков.

Для анализа работы играющего автомата обратимся к его принципиальной схеме, изображенной на рис. 44. При включении выключателя сети *В1* напряжение поступает на обмотку *I* трансформатора *Тр* блока питания автомата. Лампочка *Л1* (индикатор включения) загорается, сигнализируя о готовности автомата к игре. Чтобы начать игру, человек, играющий с автоматом (игрок *В*), нажимает и через 2—3 с отпускает кнопку *Кн1 Выбор*.

При нажатии кнопки *Кн1* напряжение поступает на обмотку реле *Р1*, это реле срабатывает; его контакты *Р1.1* включают двигатель *М1*, который начинает вращать контактный диск устройства выбора чистых стратегий. Одновременно контакты *Р1.2* подают напряжение на обмотку реле *Р2*, а контакты *Р1.3* подают напряжение на обмотку поляризованного реле *КР9*. Реле *Р2* срабатывает, его контакты *Р2.1* обеспечивают блокировку (самопитание) этого реле, а контакты *Р2.2* подготавливают к

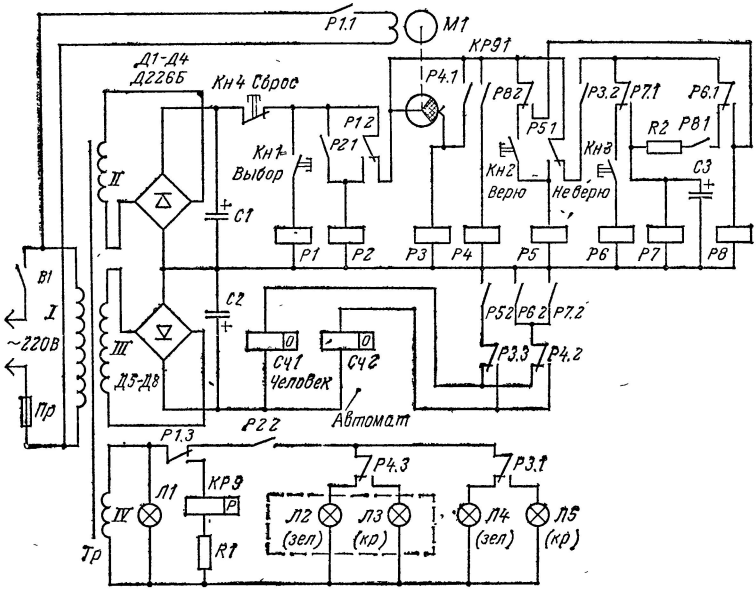

Рис. 44. Принципиальная схема играющего автомата «Веришь — не веришь».

включению лампочки *Л2—Л3* и сигнальные лампочки *Л4—Л5*.

Якорь реле *КР9* начинает вибрировать с частотой сети, его контакты *КР9.1* попеременно замыкают и размыкают цепь обмотки реле *Р4* (однако реле *Р4* не срабатывает, ибо контакты *Р1.2* находятся в левом положении и напряжение на обмотку реле *Р4* не поступает). При отпускании кнопки *Кн1* реле *Р1* отключается; его контакты *Р1.1* отключают двигатель *М1* и контактный

диск останавливается. При этом в зависимости от положения, которое занял остановившийся контактный диск, реле *Р3* с вероятностью 1/3 оказывается подготовленным к включению через контакты «щетка — диск». Контакты *Р1.3* отключают поляризованное реле *КР9* и подают напряжение на лампочки *Л2—Л5*.

Контакты *КР9.1* оказываются или замкнутыми (с вероятностью 1/2), или разомкнутыми (с вероятностью также 1/2) — это зависит от того, в каком из крайних положений остановился якорь поляризованного реле. Контакты *Р1.2* подают напряжение на логическое устройство автомата.

Если контакты *КР9.1* оказались замкнутыми, то сработает реле *Р4*; его контакты *Р4.3* включают красную лампочку *Л3* под заслонкой; контакты *Р4.2* подготавливают к включению счетчик очков автомата *Сч2*; контакты *Р4.1* включают обмотку реле *Р3* и это реле срабатывает (независимо от положения контактного диска). Контакты *Р3.1* включают красную сигнальную лампочку *Л5* — автомат «заявляет», что под заслонкой горит красная лампа *Л3*. Одновременно контакты *Р3.2* подготавливают к включению узел логического устройства, содержащий реле *Р6—Р8*. Контакты *Р3.3* подготавливают к включению счетчик очков автомата *Сч2*.

Если же контакты *КР9.1* оказались разомкнутыми, то реле *Р4* не срабатывает; под заслонкой включается зеленая лампочка *Л2*. В зависимости от положения контактного диска реле *Р3* или срабатывает (вероятность этого равна 1/3), или не срабатывает (вероятность этого 2/3), соответственно этому контакты реле *Р3.1* подают напряжение или на красную сигнальную лампочку *Л5*, или на зеленую *Л4* (в первом случае автомат пытается обмануть противника, «утверждая», что под заслонкой горит красная лампочка; во втором случае автомат «признается», что под заслонкой горит зеленая лампочка). Контакты *Р3.3* подготавливают к включению соответственно или счетчик *Сч2*, или счетчик *Сч1*.

Далее ответный ход должен сделать противник автомата (игрок *В*). При горящей лампочке *Л4* он должен поверить автомату. Если же горит лампочка *Л5*, то он может верить, а может и не верить автомату.

Если человек решил поверить автомату, то он нажимает на кнопку *Кн2 Верю*. При этом срабатывает реле *Р5*. Контакты *Р5.1* обеспечивают блокировку этого

реле; вместе с тем они отключают питание узла логического устройства с реле *Р6—Р8*; контакты *Р5.2* подают напряжение на тот из счетчиков очков, который был подготовлен к включению.

Если кнопка *Кн2 Верю* была нажата, когда горела красная сигнальная лампочка *Л5* (контакты *Р3.1* и *Р3.3* находились в правых положениях), то срабатывает счетчик очков автомата *Сч2*, отсчитывая одно очко в его пользу. Если же кнопка была нажата при горящей зеленой лампочке *Л4* (контакты *Р3.1* и *Р3.3* в левых положениях), то срабатывает счетчик очков человека *Сч1*, отсчитывая одно очко в его пользу.

Предположим теперь, что человек решил не верить автомату, тогда он должен отодвинуть заслонку, чтобы увидеть, какая из лампочек (*Л2* или *Л3*) в действительности горит. При отодвигании заслонки замыкаются контакты кнопки *Кн3 Не верю*. Это вызывает срабатывание реле *Р6*. Контакты *Р6.1* подают напряжение на обмотку реле *Р8*; контакты *Р6.2* подают напряжение на один из счетчиков.

Если кнопка *Кн3* была нажата при горящей красной лампочке *Л3* (контакты *Р4.3* и *Р4.2* находились в правых положениях), то срабатывает счетчик *Сч2*; если же при нажатии кнопки *Кн3* горела зеленая лампочка *Л2* (контакты *Р4.3* и *Р4.2* были в левых положениях), то срабатывает счетчик *Сч1*. Сработавший счетчик отсчитывает первое очко. Далее, реле *Р8*, срабатывая, своими контактами *Р8.2* блокируется, а контактами *Р8.1* подготавливает к включению цепочку *R2—C3* и реле *Р7*.

После отпускания заслонки она под действием пружины возвращается в исходное положение, закрывая лампочки *Л2* и *Л3*. При этом отпускается и контакт кнопки *Кн3*; реле *Р6* отключается, его контакты *Р6.2* размыкаются, а контакты *Р6.1* подают напряжение на цепочку *R2—C3* и реле *Р7*. Через 2—3 с (время выдержки определяется постоянной времени *RC*-цепочки) напряжение на конденсаторе *C3* достигнет напряжения срабатывания реле *Р7* и последнее срабатывает. Контакты *Р7.1* обеспечивают блокировку реле *Р7*, а контакты *Р7.2* подают напряжение на подготовленный к включению счетчик (*Сч1* или *Сч2*), который отсчитывает второе очко.

На этом партия игры заканчивается. Нажатием кнопки *Кн4 Сброс* отключается питание всех реле *Р1—Р8*,

логическое устройство автомата возвращается в исходное состояние, и можно нажатием кнопки *Кн1 Выбор* начинать следующую партию.

При многократном повторении игры автомат всегда включает красную сигнальную лампочку *Л5*, если под заслонкой включилась красная лампочка *Л3*. Если же под заслонкой загорелась зеленая лампочка *Л2*, то в 2/3 случаев автомат «признается» в этом, включая зеленую лампочку *Л4*, а в 1/3 всех случаев он «пытается» обмануть противника, включая лампочку *Л5*. Обе эти чистые стратегии автомат чередует случайным образом. Это обеспечивает ему, как мы уже знаем, средний выигрыш в 1/3 очка в каждой партии.

В конструкции автомата использованы: *КР9* — поляризованное реле РП-5; *Р2*, *Р5*, *Р7*, *Р8* — реле РЭС-9 (паспорт РС4.524.201); *Р1*, *Р3*, *Р4*, *Р6* — реле РЭС-22 (паспорт РФ4.500.131); *Сч1* и *Сч2* — СЭИ-1; *Л1—Л5* — лампочки ЛН 3,5 В×0,28 А; *С1* и *С2* — конденсаторы электролитические, 100 мкФ, 150 В; *С3* — конденсатор 200 мкФ, 50 В; сопротивления резисторов *R1* и *R2* подбирают при налаживании автомата; *М1* — двигатель ДСД-60; *Кн1—Кн4* — кнопки самодельные (кнопка *Кн3* конструктивно совмещена с заслонкой таким образом, что при отодвигании заслонки контакты кнопки замыкаются, а при отпускании заслонки она возвращается в исходное положение и контакты кнопки размыкаются), выключатель сети *В1* — однополюсный тумблер; *Д1—Д8* — диоды Д226Б; трансформатор *Тр* набирают из пластин Ш20, пакет 20 мм (сетевая обмотка содержит 2750 витков провода ПЭЛ-0,15, обмотка *II* — 300 витков провода ПЭЛ-0,35, обмотка *III* — 600 витков провода ПЭЛ-0,35, обмотка *IV* — 44 витка провода ПЭЛ-0,5).

Все детали и узлы автомата монтируют на горизонтальном шасси и лицевой панели из текстолита. Шасси устанавливают в футляре. На специальной табличке, прикрепленной к лицевой панели, пишут правила игры.

Описанный автомат для игры «Веришь — не веришь» был построен студентами физического факультета Свердловского педагогического института. Для проверки «игровых способностей» автомата студенты установили его в одной из комнат общежития и предложили всем желающим играть с ним (предварительно были зафиксированы рычаги сброса в счетчиках очков, чтобы их нельзя было возвращать на нуль). В течение нескольких

дней студенты сыграли с автоматом в общей сложности около 2000 партий, и к моменту окончания этого своеобразного состязания игроков и автомата счет был 1782 : 1098 в пользу автомата.

Кот и мышь в лабиринте

Во времена императрицы Марии Терезии австрийское военное интенданство, дабы выстоять от нашествия мышей и сохранить в целости содержимое своих складов, завело на этих складах казенных кошек. Кошки были призваны на службу без «права на пенсию» и значились в документах под рубрикой «императорские королевские кошки военных складов». Однако «их высочества императорские королевские кошки» во многих случаях не выполняли своего долга, дело дошло до того, что в царствование императора Леопольда (1790—1792 гг.) на военном складе в Погоржельце шесть кошек, причисленных к этому складу, по приговору военного суда были повешены. Впрочем, говорят, что истинными виновниками порчи и исчезновения обмундирования со склада были не королевские кошки, и даже не мыши, а некоторые господа из интенданства, предъявившие бедным и безответным животным обвинение в том, что они не ловили мышей...

Коты должны ловить мышей — так уж заведено на белом свете, а мыши — прятаться от котов. И, разумеется, каждая из сторон, не желая быть в проигрыше, идет на всяческие ухищрения: кот, не шевелясь, часами сидит в засаде или многократно обходит свои владения; мышь хитроумно маскирует свою норку, устраивает запасные ходы. Но случись неосторожной мыши попасть на глаза коту, и... Не предаваясь печали по случаю трагического для несчастной мыши исхода встречи, представим происшедший инцидент как некоторую игровую ситуацию.

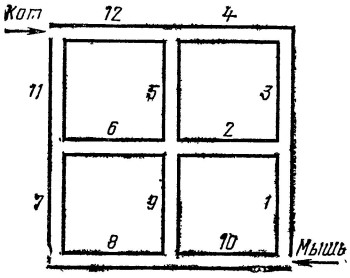

Рис. 45. Лабиринт для кота и мыши.

Предположим, что в какой-то момент кот и мышь попадают одновременно в глухой лабиринт (рис. 45). Кот входит в левый верхний угол лабиринта, мышь — в пра-

вый нижний. Лабиринт условно разбит на ряд участков, расположеных между соседними пересечениями ходов. Для удобства каждому такому участку присвоен номер: 1, 2, 3,..., 12. Кот и мышь передвигаются с одинаковой скоростью. Они могут перемещаться прямо и заворачивать за угол, но возвращаться по только что пройденному

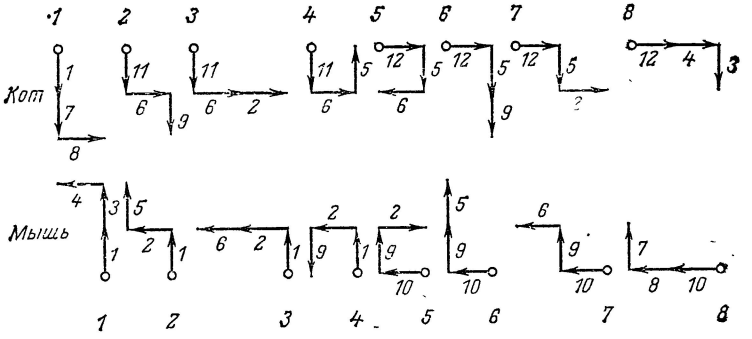

Рис. 46. Стратегии кота и мыши.

пути им запрещено. Если, пройдя три участка, мышь не встретилась с котом и спаслась, то она выиграла. В противном случае она погибла (проиграла). И кот, и мышь знают о присутствии противника в лабиринте, но во время движения не располагают информацией о его местонахождении и перемещении.

Допустим, что они действуют по заранее составленному плану — стратегии, и в пути своих стратегий не меняют. У кота и мыши имеется по восьми различных стратегий движения в лабиринте (рис. 46). Каждая стратегия движения составлена из трех участков лабиринта.

Попробуем разобраться, как должны вести себя кот и мышь, чтобы оказаться в выигрыше. Для этого построим матрицу игры (табл. 12), обозначив стратегии кота K_1—K_8, а стратегии мыши M_1—M_8.

В этой матрице исход партии «кот поймал мышь» оценивается как 1, а исход «кот упустил мышь» — как 0. Рассматривая заполненную матрицу, можно заметить, что для мыши наиболее выгодны первая M_1 и восьмая M_8 стратегии, так как здесь она проигрывает в двух случаях из восьми. Коту же наиболее выгодны четвертая K_4 и пятая K_5 стратегии, поскольку здесь он выигрывает

Таблица 12

K	M							
	M_1	M_2	M_3	M_4	M_5	M_6	M_7	M_8
K_1	0	0	0	1	0	0	0	1
K_2	0	1	1	1	1	1	1	0
K_3	0	1	1	1	1	1	1	0
K_4	1	1	1	1	1	1	1	0
K_5	0	1	1	1	1	1	1	1
K_6	0	1	1	1	1	1	1	0
K_7	0	1	1	1	1	1	1	0
K_8	1	0	0	0	1	0	0	0

семь раз из восьми. Таким образом, матрицу игры можно значительно упростить (табл. 13), сохранив лишь по две стратегии кота и мыши:

Таблица 13

K	M	
	M_1	M_8
K_4	1	0
K_5	0	1

Теперь ясно, что в этой стратегической игре 2×2 кот и мышь имеют равные шансы на успех: если, например, кот применяет стратегию K_4, то он с равной вероятностью может как выиграть, так и проиграть. Аналогичное положение и у мыши. Стратегии K_4 и K_5 равноценны,

так же как равноценны и стратегии M_1 и M_8. Очевидно, во время игры коту следует одинаково часто применять чистые стратегии K_4 и K_5 — это будет его оптимальная смешанная стратегия. Мышь же, играя оптимально, должна так же смешивать свои стратегии M_1 и M_8. Кот должен делать малые петли в лабиринте, а мышь — придерживаться его внешних коридоров. При таком оптимальном поведении игроков ни один из них не будет иметь преимуществ перед другим и при большом количестве сыгранных партий счет в игре будет примерно равным.

Однако если игрокам эти оптимальные смешанные стратегии неизвестны и они действуют каждый раз наугад, беспорядочно, то мышь будет проигрывать чаще,

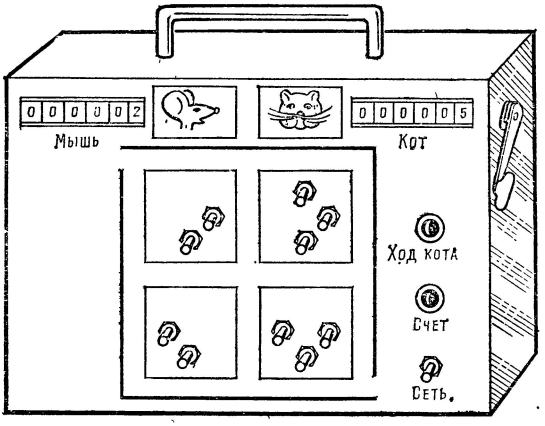

Рис. 47. Внешний вид автомата для игры «Кот и мышь в лабиринте».

чем кот: обратите внимание на то, что в матрице игры 8×8 единиц больше, чем нулей.

Проведенный нами анализ игры показывает, что оптимальная смешанная стратегия для кота довольно проста и ее вполне можно «заложить» в конструкцию несложного кибернетического устройства. Это позволяет построить играющий автомат, который будет придерживаться оптимальной смешанной стратегии кота в игре с противником — человеком, выступающим в роли мыши.

Внешний вид играющего автомата «Кот и мышь в лабиринте» представлен на рис. 47. На лицевой панели изображен лабиринт.

Рядом с каждым участком лабиринта, за исключением 11-го и 12-го, расположены тумблеры, включением которых противник автомата *(мышь)* фиксирует выбранный им путь. При этом соответствующие участки (коридоры) лабиринта высвечиваются находящимися под панелью лампочками. На лицевой панели расположены также кнопки *Ход кота* и *Счет*, световые табло *Вы выиграли* и *Вы проиграли,* электромагнитные счетчики, регистрирующие исход сыгранных партий, выключатель сети.

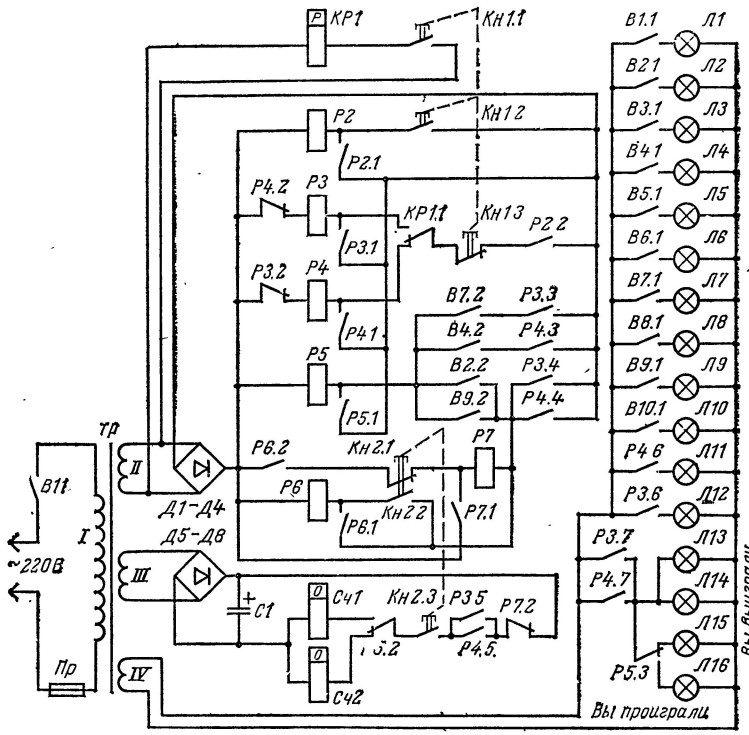

Рис. 48. Принципиальная схема играющего автомата «Кот и мышь в лабиринте».

Принципиальная схема играющего автомата представлена на рис. 48. На этой схеме тумблеры и включаемые ими лампочки обозначены теми же порядковыми номерами, что и соответствующие им участки лабиринта. Например, тумблер *В1* расположен рядом с участком

1 лабиринта и включает лампу *Л1*, подсвечивающую этот участок. В реальной конструкции автомата каждый участок лабиринта подсвечивается тремя параллельно соединенными лампочками, но на схеме (для упрощения) изображена только одна из них.

Игру начинает противник автомата (*мышь*). Предположим, что он избрал путь, состоящий из участков *1*, *2* и *5* — включил тумблеры *В1.1*; *В2.1*, *В5.1*. При этом загораются лампы *Л1*, *Л2* и *Л5*, подсвечивающие выбранный путь. После этого следует нажать кнопку *Ход кота (Кн1.1)*. При этом поляризованное реле *КР1* подключается к источнику переменного напряжения, якорь этого реле начинает вибрировать с частотой сети, осуществляя случайный выбор одной из двух оптимальных стратегий кота (о таком устройстве для случайного выбора одной из двух возможностей было подробно рассказано в описании играющего автомата «Веришь — не веришь»). Одновременно контактами *Кн1.2* замыкается цепь питания реле *Р2*, оно срабатывает и блокируется своими контактами *Р2.1*. После отпускания кнопки *Кн1.1* цепь питания реле *КР1* размыкается, и в зависимости от положения контактов *КР1.1* срабатывает реле *Р3* или *Р4*. При срабатывании одного из этих реле происходит отключение другого. Например, если сработает реле *Р4*, то его контакты *Р4.2* разрывают цепь питания реле *Р3*. Это сделано для того, чтобы последующие нажатия на кнопку *Кн1* не изменяли первоначального выбора стратегии автомата. Необходимо отрегулировать контакты кнопки *Кн1* так, чтобы при нажатии на нее контакты *Кн1.3* размыкались раньше, чем замыкаются контакты *Кн1.2*. Иначе становится возможным ложное срабатывание одного из реле *Р3—Р4*, если до того, как сработает реле *Р2*, контакты *Кн1.3* не успеют разорвать цепь питания реле *Р3—Р4*.

При срабатывании реле *Р3* загораются лампы *Л12*, *Л13* и *Л14*, при срабатывании реле *Р4* — лампы *Л11*, *Л13* и *Л14*. Таким образом, включение реле *Р3* означает применение автоматом стратегии K_5, а включение реле *Р4* — применение стратегии K_4. Конструктивно лампа *Л13* расположена в пятом участке лабиринта, т. е. там же, где и лампа *Л5*, а лампа *Л14* — в шестом участке, вместе с лампой *Л6* (в коридоре лабиринта лампы располагаются в два ряда).

Если пути, выбранные автоматом *(котом)* и его противником *(мышью)*, пересекутся, то логическая цепочка, состоящая из контактов реле *Р3* и *Р4*, переключателей *В2.2, В4.2, В7.2, В9.2,* замкнет цепь питания реле *Р5*, которое самоблокируется контактами *Р5.1* и контактом *Р5.3* включает лампу *Л16*, подсвечивающую табло *«Вы проиграли»*. Если же пути игроков не пересекутся, то реле *Р5* не сработает, и тогда загорится лампа *Л15*, подсвечивающая табло *Вы выиграли.*

В автомате имеются устройства для подсчета результатов сыгранных партий — счетчики выигрышей человека *Сч2* и автомата *Сч1*. За каждую выигранную партию победителю начисляется одно очко. Чтобы зафиксировать результат игры, следует нажать кнопку *Кн2 Счет.* При этом контакты *Кн2.3* замыкают цепь питания счетчиков *Сч1* или *Сч2,* выбор которых определяется в зависимости от положения переключающих контактов *Р5.2.* Чтобы исключить возможность многократного нажатия на кнопку *Кн2* и тем самым начисления очков человеку, в схеме предусмотрена блокировка, действующая следующим образом. Цепь питания счетчиков разомкнута контактами *Р3.5* и *Р4.5*, поэтому нажатие кнопки *Кн2.3* не приведет к отсчету результата до тех пор, пока не сработало реле *Р3* или *Р4*. Кроме того, при нажатии кнопки *Кн2.2* срабатывает реле *Р6* и блокируется своими контактами *Р6.1.* Одновременно его контакты *Р6.2*, замыкаясь, подготавливают к включению цепь питания реле *Р7*, срабатывание которого происходит в момент отпускания кнопки *Кн2.1.* Реле *Р7* самоблокируется контактами *Р7.1*, а контактами *Р7.2* разрывает цепь питания счетчиков *Сч1* и *Сч2*, что исключает их срабатывание при повторном нажатии кнопки *Кн2*. Реле *Р6* и *Р7* будут работать только в случае, если замкнуты контакты *Р3.4* или *Р4.4*, т. е. после того, как будет нажата кнопка *Кн1,* и автомат сделает выбор своей стратегии.

Чтобы начать новую партию игры, необходимо отключить автомат от сети выключателем *В11*, вернуть все тумблеры в исходное положение и снова включить сетевое питание. Сброс результатов сыгранных партий осуществляется поворотом рычагов, расположенных на боковой стенке у счетчиков.

В автомате применены следующие детали и узлы: сетевой выключатель — однополюсный тумблер; *КР1* — поляризованное реле РП-4, РП-5; *Р2, Р6, Р7* — реле

РЭС-9 (паспорт РС4.524.204); *Р5* — реле РЭС-22 (паспорт РФ4.500.131), в качестве реле *Р3* и *Р4* применяют по два реле типа РЭС-22 с параллельно соединенными обмотками; *Сч1* и *Сч2* — импульсные счетчики СЭИ-1; сетевой трансформатор блока питания и диоды выпрямителей *Д1—Д8* такие же, как и в играющем автомате «Веришь — не веришь»; лампочки подсвета коридоров лабиринта ЛН 3,5 В×0,38 А.

Лампочки под лицевой панелью помещены в специальные отражатели света, изготовленные из жести таким образом, что они повторяют по своей конфигурации коридоры лабиринта. Этим достигается эффект высвечивания четких линий, указывающих пути кота и мыши.

ГЛАВА ПЯТАЯ

АВТОМАТЫ УЧАТСЯ ИГРАТЬ

Как автоматы обучаются

Гроссмейстерами не рождаются. Как ни талантлив будущий чемпион, начинать ему всегда приходится «с нуля», а путь к пьедесталу почета долог и тернист. Знакомство с правилами игры, первые робкие шаги новичка, многочисленные встречи с такими же, как и он, любителями... Радость побед и — увы! — горечь поражений. Потом — изучение партий, сыгранных лучшими мастерами прошлого и современности, знакомство с теорией. Упорная и напряженная учеба, тренировка... И игры, игры, игры — в матчах, турнирах, состязаниях всех рангов и уровней... Опыт и мастерство приходят постепенно. Нередко лишь через многие годы начинающий любитель превращается в прославленного чемпиона.

Но если таков путь к мастерству человека, то почему бы не направить по этому же пути и играющую машину, запрограммировав у нее способность совершенствоваться по мере накопления опыта?

Эту мысль высказал еще Норберт Винер. «Предположим, — писал он, — что после нескольких партий машина делает перерыв и использует свои возможности совсем для другой цели. В то время, когда она не игра-

ет со своим противником, она изучает все предыдущие партии, записанные в ее памяти, производит оценку фигур в зависимости от их положения, мобильности и т. д., анализирует наиболее выигрышные ситуации. Таким путем она изучает не только свои собственные ошибки, но и удачи своего противника. Теперь она заменяет свои предыдущие ходы новыми и продолжает игру как новая, улучшенная машина. Такая машина больше не будет проявлять прежнего упорства, и комбинации, которые раньше против нее удавались, потеряют свою ценность. Более того, со временем машина может изучить манеру игры своего противника» [22].

Развивая эту мысль о создании самообучающихся машин, Норберт Винер в последних своих произведениях высказывал серьезные опасения: не выйдут ли когда-нибудь эти машины из повиновения и не станут ли они делать все, что им заблагорассудится? Ведь такая машина, накопив достаточный опыт, делает уже не то, что ей приказывают, а то, чему она «научилась». Она может довольно быстро достичь такого уровня, когда ее конструктор уже не будет знать, какие изменения произошли в схеме машины, ее поведение станет непредсказумым. «Отец кибернетики предостерегал, что если такие машины попадут в руки недальновидных политиков, то они могут вовлечь человечество в самоубийственную войну.

В последнее время исследования ученых, связанные с созданием и совершенствованием самообучающихся машин, играющих в различные игры, приобретают все большее значение. Для этой цели чаще всего используются ЭВМ, обладающие достаточно большим объемом памяти, для них составляются специальные программы.

Одной из первых самообучающихся машин была IBM-704. Американский кибернетик Артур Л. Сэмюэль составил для этой машины программу игры в шашки таким образом, что она могла запоминать сыгранные партии, и играя, просматривать предыдущие партии и изменять свою стратегию, учитывая накопленный опыт. Вначале при игре с этой машиной Сэмюэлю удавалось легко у нее выигрывать. Однако она стала быстро совершенствоваться и вскоре уже играла настолько хорошо, что могла побеждать своего конструктора в каждой партии. В 1962 г. эта машина победила одного из лучших шашистов США, чемпиона штата Коннектикут Ро-

берта Нили. Вот что писал об этом матче побежденный чемпион: «Любопытно, что машина могла победить, только сделав несколько великолепных ходов; у меня же было несколько благоприятных возможностей для того, чтобы окончить игру вничью. Именно поэтому я продолжил игру. Но машина провела отличное окончание, не сделав ни одной ошибки. В эндшпиле у меня не было подобного соперника с 1954 г., когда я проиграл последний раз».

Для игры в шахматы подобной программы самообучения пока еще не создано. Несравненно более сложные тактические соображения и продвижения шахматных фигур предъявляют столь высокие требования к способностям ЭВМ и их программистов, что пока в этом направлении достигнуто еще немногое. Тем не менее есть все основания ожидать, что со временем и эта задача будет решена. Играющая машина имеет огромные преимущества перед своим противником — человеком: она обладает отличной памятью и завидной выносливостью; во время матча она равнодушна к шуму в зале, не делает ошибок по невнимательности и способна анализировать ходы лучше, чем человек. Самообучающаяся машина, сыграв несколько тысяч партий с квалифицированными шахматистами, достигнет высокого мастерства.

Американский математик Мартин Гарднер предложил даже запрограммировать машину таким образом, чтобы она длительно и ожесточенно сражалась против самой себя. Быстродействие машины позволит ей в короткое время приобрести опыт, далеко превосходящий опыт любого шахматиста.

Для экспериментов с самообучающимися играющими машинами необязательно иметь в своем распоряжении современную ЭВМ. Можно воспользоваться и более простыми устройствами. В частности, оригинальную и интересную идею создания простых самообучающихся машин из ...спичечных коробок предложил в 1961 г. шотландский ученый Дональд Мичи. Его самообучающаяся машина для игры в «крестики — нолики» на поле из девяти клеток состоит из 300 спичечных коробок. Автор назвал эту машину MENACE, что в переводе с английского означает «угроза», а расшифровывается так: Match-box Educable Naughts and Crosses Engine — машина из спичечных коробок, обучаемая игре в «крестики — нолики».

На крышке каждой из спичечных коробок нарисована одна из позиций, встречающихся при игре в «крестики—нолики» перед ходом машины (игру всегда начинает машина). Внутри каждой коробки помещают разноцветные стеклянные бусинки, причем каждый цвет соответствует одному из возможных вариантов хода машины. В коробках, относящихся к первому ходу машины, лежат по четыре бусинки каждого цвета, в коробках второго хода машины — по три, в коробках третьего хода — по две бусинки каждого цвета и, наконец, в коробках четвертого хода каждый цвет представлен лишь одной бусинкой. Чтобы узнать очередной ход машины, надо выбрать коробку, на которой изображена сложившаяся позиция, встряхнуть коробку и, отодвинуть крышку, извлечь наугад (не глядя) одну бусинку; цвет извлеченной бусинки укажет, какой из возможных ходов «избрала» машина. Бусинку затем снова возвращают в коробку. После ответного хода человека (противника машины) таким же образом определяется следующий ход машины. Коробки, «принявшие участие» в игре, остаются открытыми до конца партии.

Если машина выиграла, то ее «поощряют», добавляя в каждую открытую коробку по три бусинки того цвета, который соответствует сделанному ходу. Если игра закончилась вничью, то в каждую коробку добавляют только по одной такой бусинке. Если же машина проиграла, то ее «наказывают», вынимая из каждой коробки по одной бусинке, соответствующей сделанному ходу. Чем больше партий сыграет машина Мичи, тем лучше она «запоминает» ходы, ведущие к победе, и тем упорнее стремится избежать проигрышных ходов.

Соревнуясь в игре со своей машиной, Д. Мичи устроил своеобразный двухдневный турнир. Было сыграно 220 партий в «крестики — нолики». Сначала изобретатель все время наказывал свое детище за плохую игру, но уже после двадцатой партии машина научилась заканчивать все партии вничью. В расчете заманить противника в ловушку, Мичи стал делать самые бессмысленные ходы. Однако машина быстро научилась распознавать эти хитрости. Турнир закончился поражением изобретателя.

Поскольку, вероятно, вряд ли кто-нибудь из читателей возьмется за изготовление самообучающейся машины, для которой требуется 300 спичечных коробок, мы

предлагаем построить более простого «спичечного» робота — машину, обучающуюся играть в знакомую нам игру Баше в том ее варианте, который мы назвали «Последний проигрывает». Напомним, что в этой игре двое играющих по очереди берут предметы из кучки, содержащей вначале семь предметов, причем за один ход можно взять один или два предмета; проигравшим считается тот, кто возьмет последний.

Чтобы построить машину, способную быстро научиться выигрывать в этой игре, нужно всего шесть пустых спичечных коробок и одиннадцать одинаковых бусинок двух цветовых оттенков: На каждой коробке изображают одну из схем, показанных на рис. 49. Эти схемы со-

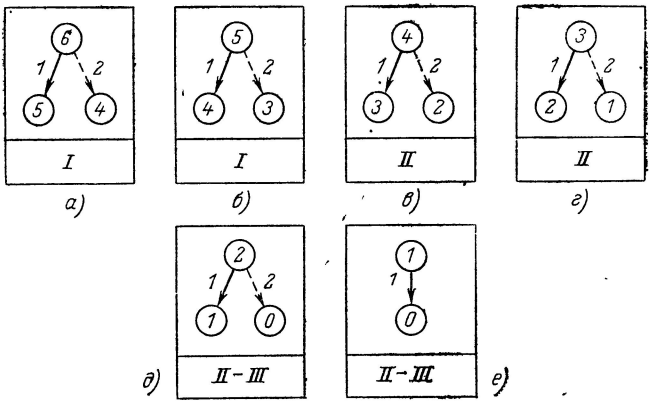

Рис. 49. Варианты позиций перед ответным ходом «спичечного» робота в игре «Последний проигрывает».

ответствуют различным позициям, которые могут возникать во время игры перед ходом машины (начинать игру всегда должен ее противник). В верхней части каждой схемы кружком обведено число, показывающее, сколько предметов остается в кучке после хода человека, а стрелками обозначены варианты возможных ходов машины из данной позиции. Рядом с каждой стрелкой записано число предметов, которые «берет» своим ходом машина, а острие стрелки указывает, сколько предметов в кучке останется после этого. Римские цифры *I*—*III* в нижней части каждой схемы показывают, перед каким ответным

ходом машины возможно возникновение позиции, изображенной на данной схеме. Первые две схемы (на рис. 49, *а* и *б*) изображают позиции, возможные только после первого хода человека; схемы на рис. 49, *в* и *г* соответствуют позициям, которые могут возникнуть после второго хода человека; позиции на рис. 49, *д* и *е* возможны как после второго, так и после третьего хода противника машины.

В каждую коробку нужно положить по одной бусинке определенного цвета на каждый вид стрелки на схеме — и «спичечный» робот готов к игре. Его допустимые правилами ходы изображены на схемах стрелками; он может делать любой ход и при том только законный, но у него нет никакой предпочтительной стратегии — он еще не обучен выигрывающему алгоритму.

Процесс обучения робота происходит следующим образом. Сделав первый ход, выберите ту из коробок с цифрой *I*, на которой изображена возникшая позиция. Встряхните коробку и, закрыв глаза, вытащите из нее наугад одну бусинку. Затем посмотрите, какого цвета эта бусинка, и сделайте за машину ответный ход, взяв указанное соответствующей стрелкой число предметов из кучки. Теперь снова ваш ход. Сделав его, повторите указанную процедуру с одной из коробок, обозначенных цифрами *II* или *II—III*. Так следует поступать, пока партия не окончится.

Если выиграет машина, положите все вынутые бусинки на место и играйте снова. Если же машина проиграет, то «накажите» ее, забрав из коробки ту бусинку, которая представляла последний ход машины. Все остальные бусинки положите на место и продолжайте обучение — играйте снова. Если во время игры очередная коробка окажется пустой, то это значит, что все дальнейшие ходы робота ведут к его проигрышу и он сдается. В этом случае надо его «наказать», забрав бусинку из предыдущей коробки. В процессе игры наш робот быстро накапливает опыт и обучается, и чем лучше играет партнер, тем быстрее машина овладевает выигрышной стратегией.

Чтобы прочно усвоить алгоритм победы, нашему роботу нужно потерпеть поражение не более чем в семи партиях (при этом из всех коробок изымаются бусинки, соответствующие таким ходам, которые могут привести к поражению машины). Поэтому во всяком турнире, состоящем более чем из 14 партий, общий счет будет в

пользу машины. Слабого игрока она может победить и при меньшем числе сыгранных в турнире партий, но гарантировать ее идеальное обучение при этом мы не можем.

На рис. 50 показаны в виде графика результаты типичного турнира из 17 партий между машиной и человеком. Участок ломаной, направленный вниз, означает поражение машины, а участок ломаной, направленный вверх — ее выигрыш. Из графика видно, что сыграв

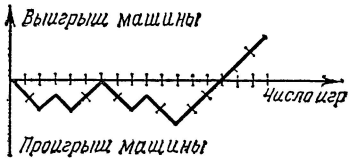

Рис. 50. Результаты турнира человека и робота, обучающегося игре «Последний проигрывает».

11 партий (и проиграв из них 7), машина в совершенстве овладела выигрышной стратегией.

Можно придумать иную систему обучения «спичечной» играющей машины. Например, для того чтобы робот одерживал максимальное число побед в небольшом турнире из 20 партий, целесообразно не только «наказывать» его, отнимая бусинки при каждом поражении, но и «поощрять» при каждом выигрыше, добавляя в коробки бусинки соответствующего цвета. При таком методе «кнута и пряника» плохие ходы машины исключаются не так быстро, но зато робот становится менее склонным к ним.

Интересно построить две машины с разными системами поощрений и наказаний, одинаково неопытные до начала обучения. Обе машины должны быть устроены таким образом, чтобы они могли не только делать ответные ходы, но и начинать игру первыми (для этого придется увеличить число элементов — спичечных коробок — в каждой из машин). Тогда можно устроить между машинами турнир, предоставляя им право первого хода по очереди, и посмотреть, какая из машин победит.

«Спичечные» обучающиеся машины, подобные описанным, могут быть построены и для других комбинаторных игр, например таких, как «Одинокий ферзь», «Ход конем», «Набери чет» и пр. По мере возрастания комбинаторной сложности игр количество используемых в машинах спичечных коробок быстро увеличивается.

М. Гарднер — известный американский специалист в области занимательной математики — обратил внимание на то, что некоторые популярные игры, разыгрываемые на шахматной доске, при уменьшении размеров доски упрощаются настолько, что оказываются в пределах возможностей «спичечных» роботов. Так, например, этот ученый предложил «минишашки» на доске 4×4 (рис. 51), при которой еще сохраняются обычные правила игры.

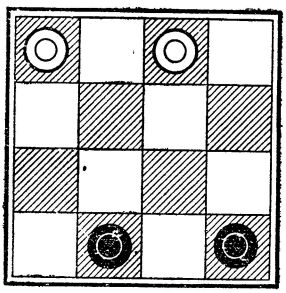

Рис. 51. Минишашки.

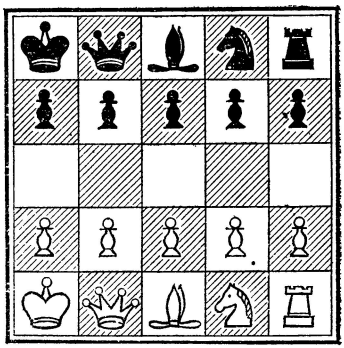

Рис. 52. Минишахматы.

Построить «спичечную» обучаемую машину для такой игры нетрудно, и читатель при желании сможет это делать. Что же касается шахмат, то даже если свести их к доске малых размеров, при которых еще допустимы законные ходы (рис. 52), то сложность игры все же остается за пределами возможностей робота из спичечных коробок. М. Гарднер предлагает такие «минишахматы» специалистам по ЭВМ, желающим разработать программу упрощенной машины, обучающейся игре в шахматы. «Минишахматы» полезны также для всех шахматистов, желающих сыграть короткую партию.

После всего сказанного мы можем теперь сформулировать общий принцип обучения машины комбинаторным играм. Чтобы машина усвоила выигрывающий алгоритм, она должна, играя с противником, научиться отличать плохие ходы, ведущие к ее поражению, от хороших ходов, ведущих к выигрышу; потом, в следующих партиях игры в каждой позиции ей следует выбирать только хорошие ходы, избегая плохих. Перед началом

обучения машине достаточно лишь знать правила игры. Впрочем, это последнее условие не является необходимым. Если засчитывать поражение машине всякий раз, когда она нарушает правила игры, то она будет относить все незаконные ходы к плохим и в дальнейшем станет их избегать.

Не так ли и человек обучается комбинаторным играм?

В стратегических играх дело с обучением машины обстоит не так просто. Здесь, как мы уже отмечали, каждый ход игрока сам по себе не может считаться ни хорошим, ни плохим: это зависит от того, какой ход избирает противник. Разгадывание психологии неприятеля, его намерений является важнейшей задачей каждого из участников стратегической игры. В конечном итоге выигрывает тот, кто лучше сможет предвидеть действия противника. Поэтому для обучения машины стратегической игре нужно предоставить возможность этой машине, играя с противником, изучать его манеру игры, его склонность к тому или иному образу действий в различных ситуациях с тем, чтобы накопленную о противнике информацию использовать в дальнейшем против него.

Этот принцип был использован при создании нескольких различных играющих автоматов, обучаемых стратегическим играм. Один из наиболее интересных автоматов этого типа был построен Д. Хагельбаргером для игры с человеком в «две монетки». Обычно в этой игре двое участников одновременно кладут на стол по монете либо гербом, либо решкой вверх. При совпадении выигрывает один игрок, в противном случае — другой (эта игра изоморфна игре в «чет и нечет» и имеет такую же платежную матрицу). В автомате Д. Хагельбаргера монеты были заменены специальным переключателем и двумя лампочками на пульте управления. Человек, игравший с автоматом, при выборе хода поворачивал переключатель, устанавливая его в одно из двух положений, отмеченных знаками «+» и «—». Автомат, делая свой ход, включал одну из лампочек, также обозначенных «+» и «—». Если знаки, выбранные человеком и автоматом, совпадали, выигрывал автомат, а в противном случае выигрыш засчитывался его противнику.

Мы уже знаем, что в подобных играх существует оптимальная смешанная стратегия для каждого из игро-

ков. Она состоит в том, чтобы случайным образом чередовать чистые стратегии — выбор герба («+») или решки («—»), пользуясь каждой из этих стратегий одинаково часто — с вероятностью 1/2. Если игроки придерживаются оптимальных смешанных стратегий, то математическое ожидание выигрыша каждого из них равно нулю. Но обычно человек, играя в «две монетки», не придерживается такой благоразумной стратегии. Он действует не случайным образом, а закономерно, хотя в большинстве случаев закономерность игры им не осознается, и он уверен, что его выбор носит случайный характер. Закономерность игры человека может быть обнаружена автоматом по небольшому ряду последовательных наблюдений.

Автомат Д. Хагельбаргера, играя с человеком, запоминал свои ходы и ходы противника в предыдущих партиях, а также результаты этих партий. Анализируя эту информацию по мере ее накопления, он находил «психологическую стратегию», которой подсознательно придерживался ее противник, и в соответствии с этим изменял свою стратегию, добиваясь выигрыша. Автомат легко выигрывал серию партий у противника, придерживавшегося следующих трех периодических последовательностей выбора хода: +, +, +, +, ...; —, —, —, —, ...; +, —, +, —, +, —, ... Если же человек чередовал свой выбор плюсов и минусов более сложным образом, то выигрыш автомата не был стопроцентным. Автомат сыграл со служащими компании «Белл» в Нью-Джерси (США) почти 10 тыс. партий, из них он выиграл 5218 партий и проиграл 4577. Математики подсчитали, что такой счет мог бы возникнуть не из-за «умения» автомата, а благодаря слепому случаю с вероятностью одной десятимиллиардной. Значит, автомат победил своих соперников не случайно, а именно благодаря «умению» играть!

Однако самым увлекательным было состязание автомата Д. Хагельбаргера с автоматом, который для этой же цели построил К. Шеннон. «Была сконструирована третья машина — посредник,— вспоминал К. Шеннон,— которая могла передавать информацию от одной машины к другой, считать очки и следить, чтобы игра велась по правилам. Все три машины были соединены вместе и играли несколько часов, причем зрители заключали небольшие пари и сопровождали игру громкими криками. Оказалось, что меньшая и, как предполагалось, менее «умная» машина победила большую со счетом около 55

на 45. Возможно, это произошло потому, что она быстрее меняла свои оценки действий партнера. Обе машины стараются найти схему друг друга, и как только одна находит эту схему, другая начинает проигрывать и меняет свою стратегию. Поэтому более гибкий тип имеет определенные преимущества» [26].

Создание технических устройств, способных участвовать в подобных, по существу психологических, играх заставляет нас пересмотреть представление об играющих автоматах. Мы видим, что игра автоматов не обязательно должна отличаться какой-то удручающей строгостью, непогрешимостью приемов и оценок, хотя, конечно, автоматы склонны к такой «правильной» игре больше, чем люди. Образ холодного и бесстрастного автомата-педанта, ставшего обычным для научно-фантастических произведений последних десятилетий, опровергается теорией игр и практикой создания играющих устройств. Его возможности значительно ниже возможностей современных играющих автоматов, не говоря уже об автоматах будущего.

Автомат учится играть в камешки

Используя принцип обучения «спичечного» робота, предложенный Дональдом Мичи, можно построить несложный электронный автомат, обучающийся комбинаторной игре «Последний проигрывает». Как и в других описанных автоматах для игры Баше, здесь роль камешков играют выключаемые автоматом и ее партнером лампочки.

На лицевой панели такого играющего автомата (рис. 53) расположены в ряд семь горящих лампочек, снабженных выключателями, кнопки *Ход автомата, Наказание, Сброс*, световые табло *Вы проиграли* и *Вы выиграли* и выключатель питания. Оба игрока (один из них автомат) по очереди отключают одну или две лампы. Проигравшим считается тот, кто своим очередным ходом должен будет выключить последнюю лампочку. Начинает игру всегда человек, после каждого своего хода он нажимает кнопку *Ход автомата.* В случае проигрыша автомата он должен нажать кнопку *Наказание.* Для подготовки автомата к следующей партии игры нажимается кнопка *Сброс* и все рычаги выключателей ламп возвращаются в исходное положение.

Принципиальная электрическая схема автомата приведена на рис. 54. Блок программы игры образуют реле *Р1—Р6* с развязывающими диодами *Д1—Д10*. При срабатывании реле *Р1* его контакты *Р1.2* отключают лампу *Л2* (автомат «берет» эту лампу), контакты *Р2.2* отключают лампу *Л3*, контакты *Р3.2*— лампу *Л4*, контакты

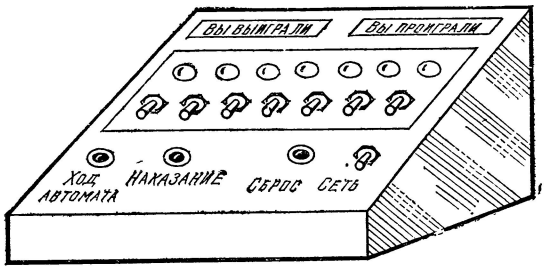

Рис. 53. Внешний вид обучающегося автомата для игры «Последний проигрывает».

Р4.2— лампу *Л5*, контакты *Р5.2*— лампу *Л6*, контакты *Р6.2*— лампу *Л7*.

«Отключение» проигрышных вариантов игры автомата (вследствие его обучения) производит блок памяти, состоящий из реле *Р7—Р11* с развязывающими диодами *Д11—Д15*. Реле этого блока «запоминают» проигрышные ходы и своими контактами отключают их, заменяя другими. Так, после срабатывания реле *Р7* автомат в позиции *2* (в кучке осталось два предмета, очередной ход должен сделать автомат) будет всегда брать один предмет (лампу *Л6*), оставляя противнику выключение лампы *Л7* и тем самым обеспечивая себе выигрыш; после срабатывания реле *Р9* в позиции *4* — лампы *Л4* и *Л5*; после срабатывания реле *Р10* в позиции *6* — лампы *Л2* и *Л3*; после срабатывания реле *Р11* в позиции *5* — лампу *Л3*.

Случайный выбор одного из двух возможных вариантов хода автомата осуществляется контактами *КР16.1* поляризованного реле *КР16*. При подключении обмотки этого реле к источнику переменного тока кнопкой *Кн1.3* якорь будет вибрировать с частотой сети, отклоняясь поочередно то в одну, то в другую сторону. В момент отключения тока контакты *КР16.1* могут оказаться замкнуты-

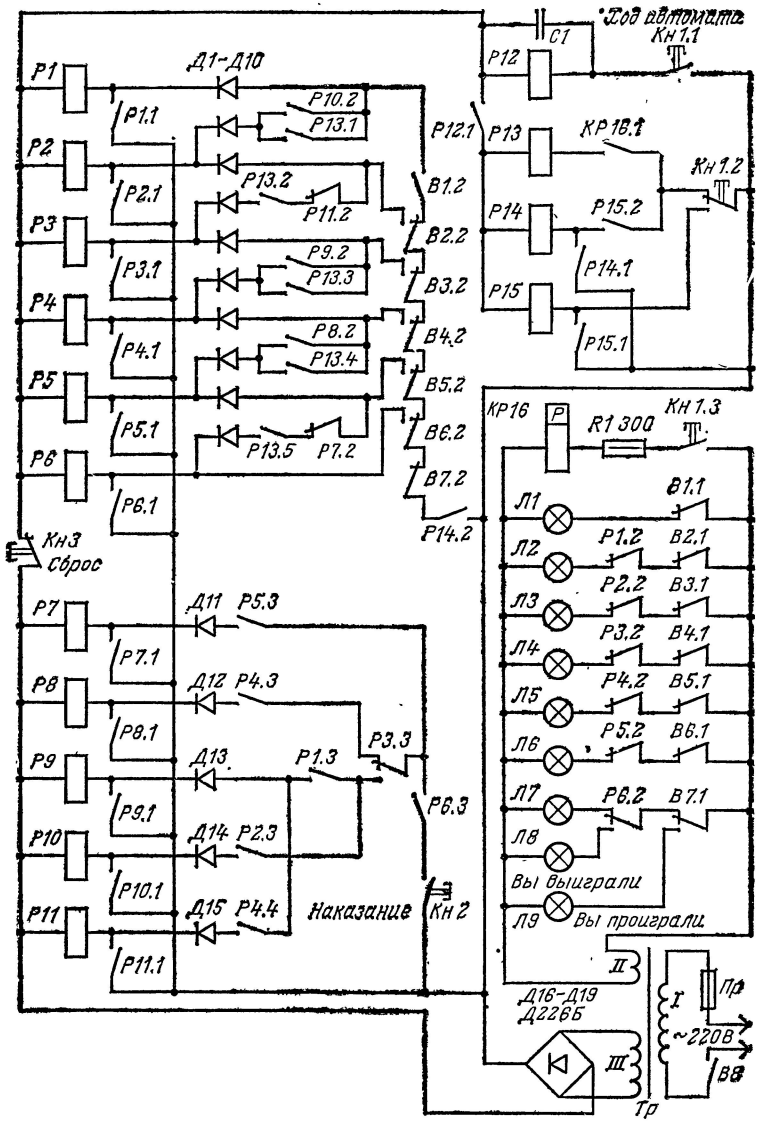

Рис. 54. Схема обучающегося автомата со случайным выбором стратегии.

ми или разомкнутыми. Если они замкнуты, то сработает реле *Р13* и автомат в данной позиции «возьмет» две лампы, если разомкнуты, то реле *Р13* не сработает и автомат отключит одну лампу.

Рассмотрим работу автомата на конкретных примерах. Допустим, человек первый ход сделал выключателем *В1* — погасла лампа *Л1*. После нажатия кнопки *Кн1* (*Ход автомата*) контакты *Кн1.3* замкнут цепь питания поляризованного реле *КР16* и его якорь начнет вибрировать. Одновременно контакты *Кн1.1* замкнут цепь питания реле *Р12*, которое сработает и контактами *Р12.1* подключит к источнику питания реле *Р13—Р15*, причем реле *Р15* сразу же сработает и контактами *Р15.1* самоблокируется. При отпускании кнопки *Кн1* сработает реле *Р14* (контакты *Р15.2* замкнуты) и его контакты *Р14.2* подключат к источнику питания блок программы игры.

Предположим, что после отпускания кнопки *Кн1* контакты *КР16.1* поляризованного реле оказались замкнутыми, в результате чего реле *Р13* сработало. Значит, после замыкания контактов *Р14.2* сработают также реле *Р1* и *Р2* (контакты *В1.2* и *Р13.1* замкнуты), контактами *Р1.1* и *Р2.1* они самоблокируются, а контактами *Р1.2* и *Р2.2* отключают лампы *Л2* и *Л3*— автомат сделает ответный ход. Необходимо отметить, что конденсатор *С1* после отпускания кнопки *Ход автомата* разряжается через обмотку реле *Р12* и таким образом задерживает его отпускание (а соответственно и отпускание реле *Р13—Р15*) для того, чтобы реле блока программы игры успели сработать и самоблокироваться. Время задержки определяется емкостью конденсатора *С1* и должно быть около 0,4—0,5 с.

Допустим далее, что человек при втором ходе выключателем *В4.1* погасил лампу *Л4*. После нажатия кнопки *Ход автомата* (*Кн1*) устройство работает так же, как и при первом его ходе. Предположим, что на этот раз после отпускания кнопки *Кн1* контакты *КР16.1* оказались разомкнутыми и реле *Р13* не сработало. В таком случае срабатывает реле *Р4* (контакты *В4.2* переключены), контактами *Р4.1* оно самоблокируется, а контактами *Р4.2* отключает лампу *Л5*— автомат делает свой второй ход.

Далее человек делает третий ход — выключателем *В6.1* гасит лампу *Л6*. Тогда после нажатия и отпускания кнопки *Кн1* (*Ход автомата*) срабатывает реле *Р6*, контактами *Р6.1* оно самоблокируется, контактами *Р6.2* от-

ключает лампу *Л7* и включает лампу *Л8*, подсвечивающую табло *Вы выиграли.*

Поскольку автомат проиграл, надо нажать кнопку *Кн2* (*Наказание*). При этом реле *Р8* блока памяти сработает (контакты *Р4.3* и *Р6.3* замкнуты) и контактами *Р8.1* самоблокируется. Контакты *Р8.2* замыкаются — теперь в позиции *3* (возникающей, когда противник автомата делает ход выключателем *В4* и ход должен сделать автомат) при нажатии кнопки *Ход автомата* будут срабатывать реле *Р4* и *Р5* и контактами *Р4.2* и *Р5.2* разрывать цепи питания ламп *Л5* и *Л6* независимо от того, какой выбор сделало реле *КР16* — замкнуты или разомкнуты контакты *Р13.4*. В последующих партиях игры автомат в этой позиции будет обеспечивать себе выигрыш.

Нажав кнопку *Кн3* (*Сброс*) — при этом отпускают все ранее сработавшие реле блока программы игры — и установив выключатели *В1—В7* в исходное положение, противник автомата может начинать новую партию игры.

Предположим, что в следующей партии первым ходом человек выключателями *В1* и *В2* «берет» лампы *Л1* и *Л2*. Пусть после нажатия и опускания кнопки *Ход автомата* контакты *КР16.1* поляризованного реле *КР16* будут разомкнуты. Сработает реле *Р2*, контактами *Р2.1* оно самоблокируется, контактами *Р2.2* отключит лампу *Л3*. Допустим, второй ход человек делает выключателем *В4* — «берет» лампу *Л4*. Теперь при ходе автомата сработают реле *Р4* и *Р5* (контакты *Р8.2* замкнуты), самоблокируются контактами *Р4.1* и *Р5.1*, а контактами *Р4.2* и *Р5.2* отключат лампы *Л5* и *Л6*. Как видим, в этой партии игры автомат в позиции *3*, в отличие от предыдущей партии, берет 2 предмета (автомат «обучился» и играет оптимально) и тем самым обеспечивает себе выигрыш, ибо следующим ходом человек вынужден выключить последнюю лампу *Л7* (выключателем *В7.1*). При этом загорается лампа *Л9*, подсвечивающая табло *Вы проиграли.*

Аналогично работает автомат при всех других вариантах игры. Чтобы пройти полный курс обучения и в дальнейшем играть безупречно, автомат должен проиграть пять партий (при этом в блоке памяти сработают реле *Р7—Р11* и автомат «запомнит», как не следует играть).

В конструкции описанного автомата можно использовать: *Л1—Л9* — лампы накаливания ЛН 3,5 В×0,28 А;

Р1—Р6 — реле РЭС-22 (паспорт РФ4.500.131); *Р7—Р11, Р14* и *Р15* — реле РЭС-9 (паспорт РС4.524.200); *Р12* — реле РСМ-1 (паспорт Ю.171.81.37); *Р13* — реле РС-13 (паспорт РС4.523.017); *КР16* — реле РП-4; *В1—В7* — выключатели ТП1-2; *В8* — ТВ2-1. Кнопки могут быть самодельными, изготовленными из контактных пружин реле. Силовой трансформатор *Тр* намотан на сердечнике из пластин Ш32, толщина пакета 20 мм (обмотка *I* содержит 1220 витков, обмотка *II* — 150 витков, обмотка *III* — 20 витков провода ПЭВ-1 или ПЭЛ-0,47).

В описанном играющем автомате выбор его стратегии (взять один или два предмета) определяется датчиком двух равновероятных стратегий — контактами поляризованного реле. Можно, однако, применить и другой принцип — последовательный перебор стратегий. Примени-

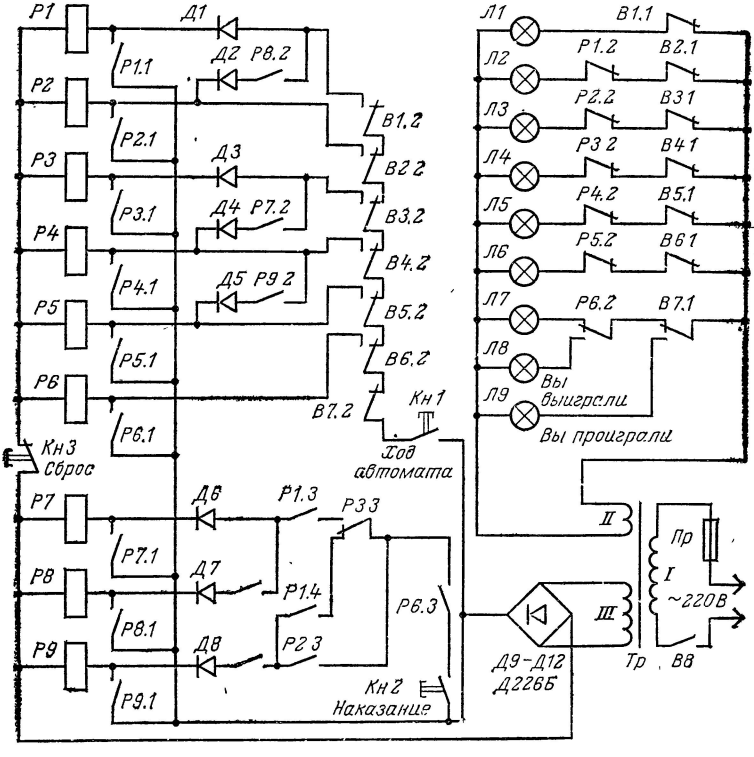

Рис. 55. Схема обучающегося автомата с последовательным перебором стратегий.

тельно к нашему автомату это будет выглядеть так: в любой позиции автомат своим ходом отключает одну лампочку; если он выиграет, то и в последующих партиях будет в этой позиции выключать одну лампочку; если же он проиграет, то меняет стратегию — в этой же позиции в следующий раз будет выключать две лампочки.

Принципиальная схема такого автомата с последовательным перебором стратегий изображена на рис. 55. После срабатывания реле *P7* блока памяти автомат будет выключать две лампочки в позиции *4*, после срабатывания реле *P8* — две лампочки в позиции *6*, после срабатывания реле *P9* — две лампочки в позиции *3*. В остальном он работает так же, как первый автомат.

Используя рассмотренные принципы обучения, можно сконструировать обучающиеся автоматы для таких игр, как «Побеждает последний», «Набери чет», «Ход конем» и другие комбинаторные игры. Представляет большой интерес создание таких самообучающихся играющих автоматов, у которых процесс обучения осуществлялся бы не только отбрасыванием проигрышных стратегий, но и увеличением вероятности выбора выигрышных стратегий.

Проницательный партнер

В начале этой главы мы рассказали о созданном Д. Хагельбаргером автомате для стратегической игры в «две монетки», который мог в процессе игры изучать поведение противника-человека и с учетом накопленного опыта перестраивать свою стратегию, добиваясь выигрыша. Автомат Д. Хагельбаргера — это довольно сложное кибернетическое устройство, содержащее более ста электромагнитных реле, шаговых искателей и много других электромеханических и электронных узлов. Однако вполне возможно, сохранив и использовав основные идеи автора этого автомата, существенно упростить его схему и конструкцию и построить простой играющий автомат, способный вести себя в этой игре подобно электронному игроку американского кибернетика.

Наш проницательный партнер, как и автомат Д. Хагельбаргера, в каждой партии игры делает выбор хода на основе исходов двух предыдущих партий. В случае выигрыша в двух последних партиях он сохраняет выбор, сделанный в последней партии; при проигрыше два раза

подряд он с равной вероятностью выбирает герб («+») или решка («—»); если же в двух последних партиях игры имел место один выигрыш и один проигрыш автомата, то он с вероятностью 0,75 сохраняет выбор, сделанный в последней партии. Именно такая гибкость стратегии позволяет автомату добиться перевеса в общем счете очков.

На лицевой панели автомата (рис. 56) расположены: выключатель питания, ключ *Ход человека,* кнопки *Ход*

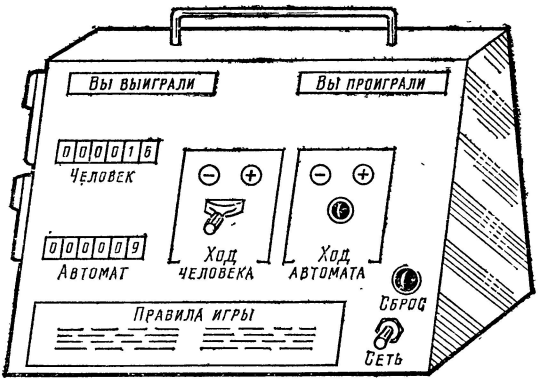

Рис. 56. Внешний вид играющего автомата.

автомата и *Сброс,* две пары лампочек, отмеченные знаками «+» и «—» и фиксирующие ходы человека и автомата, световые табло *Вы проиграли* и *Вы выиграли,* а также счетчики выигрышей человека и автомата. Кроме того, на панели укреплена табличка с правилами игры, которые сводятся к следующему. Включив питание автомата, человек посредством ключа должен сделать свой ход, выбирая «+» или «—», на лицевой панели загорается соответствующая лампочка. Затем нужно нажать кнопку *Ход автомата.* При этом свой выбор делает автомат (на панели также зажигается соответствующая лампа). Если знаки, выбранные автоматом и человеком, совпали, то выиграл автомат — вспыхивает табло *Вы проиграли,* и счетчик его очков фиксирует одно очко; если же игроками были выбраны разные знаки, то выиграл противник автомата — вспыхнет табло *Вы выиграли,* и одно очко отметит счетчик вы-

игрышей человека. После этого нужно, нажав кнопку *Сброс,* подготовить автомат к следующей партии.

Принципиальная электрическая схема автомата показана на рис. 57. Основные блоки автомата: блок управления, собранный на основе двух реле времени с транзисторами *Т1* и *Т2* и электромагнитных реле *Р5—Р11*; блок выбора хода автомата с электромагнитным реле *Р4* и дисковым коммутатором *ДК1*, который приводится в движение двигателем *М1* и обеспечивает случайный выбор хода с заданной вероятностью; блок памяти на электромагнитных реле *Р1—Р3* и диодах *Д1* и *Д2;* блок индикации, содержащий индикаторные лампы *Л1—Л4* для фиксации ходов человека и автомата и лампы *Л5—Л6* для подсвета табло *Вы проиграли* и *Вы выиграли*; блок счета очков автомата и его противника, собранный на основе электромагнитных импульсных счетчиков *Сч1* и *Сч2*; блок питания с трансформатором *Тр* и выпрямителями на диодах *Д3—Д6.*

Работу автомата удобно рассмотреть на конкретных примерах его игры с человеком. При включении выключателя питания *В4* выпрямленное напряжение поступает на реле времени с транзисторами *Т1* и *Т2.* Транзистор *Т2* открывается (на его базу подается отрицательный потенциал через резистор *R5*), и реле *Р11* срабатывает, его контакты *Р11.1* в блоке *5* и контакты *Р11.2* в блоке *3* размыкаются. Транзистор *Т1* оказывается закрытым, поэтому реле *Р10* в его коллекторной цепи не срабатывает. В этом состоянии автомат готов начать игру.

Допустим теперь, что, начиная первую партию, противник автомата выбрал «+» и перевел в соответствующее положение ключ *В1.* При этом контактами *В1.3* включается лампочка *Л1*, подсвечивающая этот знак на лицевой панели. Чтобы свой ход сделал автомат, следует нажать кнопку *Кн1* (*Ход автомата*). При этом контакты *Кн1.2* замыкают цепь питания двигателя *М1* и он приводит в движение дисковый коммутатор *ДК1.* Этот коммутатор состоит из подвижного пластмассового диска, частично покрытого медной фольгой, и четырех неподвижных контактных щеток. К щетке *Щ4*, которая прижата в центральной части диска, подводится напряжение от выпрямителя; остальные три щетки через логическую цепочку контактов реле *Р1—Р3* блока памяти могут соединяться с обмоткой реле *Р4.* Кольцевые поверхности частей диска, по которым скользят при его вращении

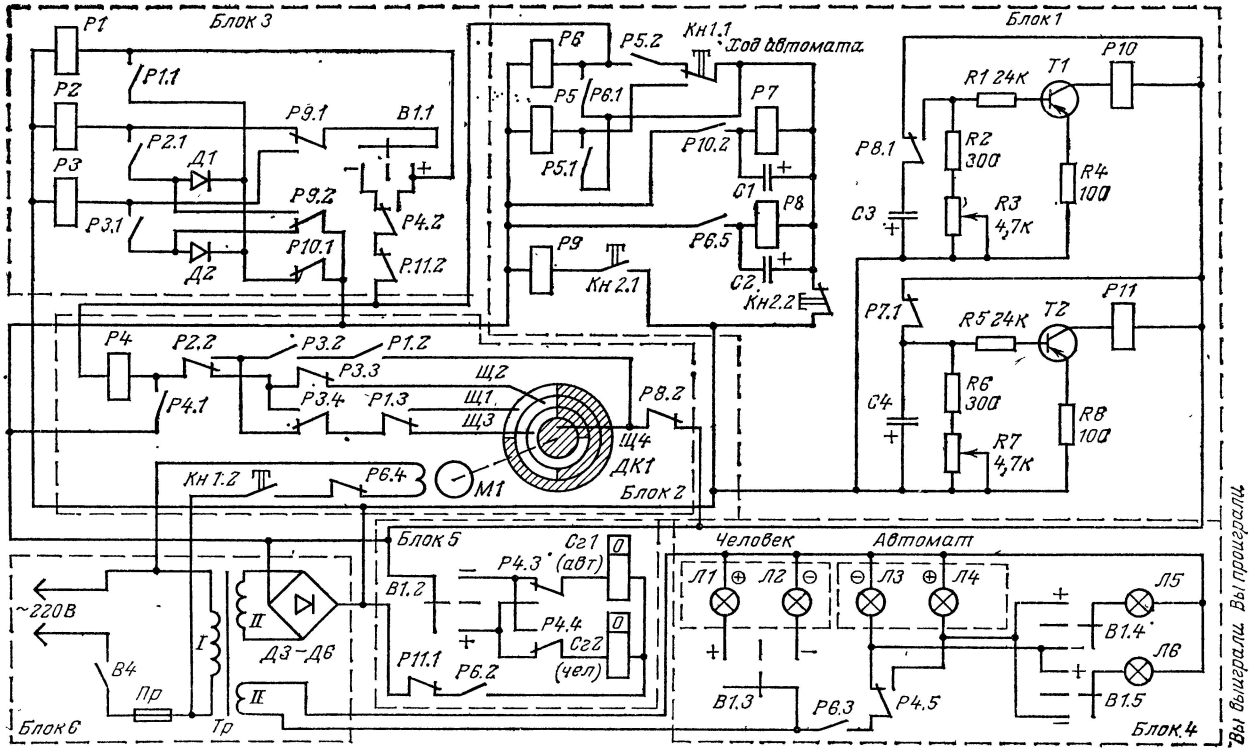

Рис. 57. Принципиальная схема играющего автомата.

щетки *Щ1, Щ2* и *Щ3,* соответственно на 3/4, 1/2 и 1/4 части покрыты металлической фольгой. При случайной и произвольной продолжительности работы двигателя после его остановки контакты щетка — диск будут пропускать ток лишь в случаях: щетка *Щ1* — в среднем в трех случаях из четырех, *Щ2* — в одном случае из двух, *Щ3* — в одном случае из четырех. Поэтому реле *Р4* будет срабатывать случайным образом, но с вероятностями 3/4, 1/2 или 1/4 в зависимости от того, к какой из щеток присоединена обмотка этого реле (для обеспечения более точной выдержки указанных вероятностей целесообразно токопроводящие участки диска разбить на узкие секторы, как показано на рис. 58). Если реле *Р4* сработает, то это означает, что автомат выбрал «+», — контакты *Р4.5* включают лампу *Л4,* подсвечивающую этот знак на лицевой панели; если же реле *Р4* не сработает, то контакты *Р4.5* включают лампу *Л3* — автомат выбирает «—».

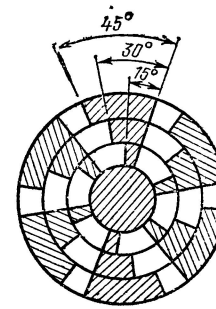

Рис. 58. Диск коммутатора с токопроводящими секторами.

Итак, при нажатии кнопки *Ход автомата* контакты *Кн1.2* включают двигатель дискового коммутатора, а контакты *Кн1.1* замыкают цепь питания обмотки реле *Р5.* Диск начинает вращаться; реле *Р5* срабатывает и самоблокируется контактами *Р5.1,* а контакты *Р5.2* подготавливают к включению реле *Р4* и *Р6.* После отпускания кнопки *Кн1* (*Ход автомата*) двигатель *М1* останавливается, а контакты *Кн1.1* подключают положительный полюс источника питания к обмотке реле *Р4.* Одновременно срабатывает реле *Р6* и самоблокируется контактами *Р6.1*; контакты *Р6.2,* замыкаясь, подготавливают к включению счетчики *Сч1* и *Сч2*; контакты *Р6.3* подключают питание к лампочкам *Л3* (—) или *Л4* (+), а также к лампочкам *Л5* (табло *Вы проиграли)* или *Л6* (табло *Вы выиграли).* Контакты *Р6.4* размыкают цепь питания двигателя *М1*; исключая возможность повторного его включения нажатием кнопки *Кн1*, если противник автомата, видя неблагоприятный исход данной партии, пытается изменить его выбор. Контакты *Р6.5* подключают к источнику тока обмотку реле *Р8,* которое, однако, срабатывает не сразу,

так как параллельно его обмотке включен конденсатор *С2* большой емкости. Этот конденсатор задерживает срабатывание реле *Р8,* давая возможность реле *Р4* (в случае его срабатывания) самоблокироваться контактами *Р4.1* (одновременно переключаются контакты реле *Р4* в других блоках).

В первой партии игры автомат, делая свой ход, может выбрать с равной вероятностью «+» и «—». Для реализации этой стратегии контакты *Р2.2* и *Р3.3* присоединяют к обмотке реле *Р4* щетку *Щ2.* Допустим, что автомат выбрал «+». Реле *Р4* сработало и самоблокировалось (контактами *Р4.1*); на лицевой панели загорелась лампочка *Л4* (+) и вспыхнуло табло *Вы проиграли* (лампочка *Л5*) — эта партия игры закончилась выигрышем автомата.

По прошествии нескольких десятых долей секунды должно включиться в работу реле *Р8,* срабатывание которого было задержано процессом зарядки конденсатора *С2.* Сработав, это реле контактами *Р8.2* отключает питание логической цепочки блока выбора хода (это необходимо для того, чтобы последующие переключения в блоке памяти не могли изменить сделанный автоматом выбор, а контактами *Р8.1* переключают заряженный конденсатор *С3* на режим разряда (через цепочку резисторов), приводя в действие реле времени на транзисторе *Т1.* Этот транзистор открывается, и реле *Р10* срабатывает. Контакты *Р10.2* подключают питание к обмотке реле *Р7,* зашунтированной конденсатором *С1;* реле *Р7* через некоторое время срабатывает, и его контакты *Р7.1* размыкаются. Конденсатор *С4* начинает разряжаться, и по мере его разряда ток в цепи базы транзистора *Т2* будет уменьшаться — это вызовет уменьшение коллекторного тока и последующее отключение реле *Р11.* Контакты *Р11.1* и *Р11.2* замкнутся и к источнику питания будут подключены счетчики и блок памяти.

В рассматриваемом примере сработает счетчик *Сч1* (*В1.2* в положении «+» и контакты *Р4.3* переключены), отсчитывая одно очко в пользу автомата. В блоке памяти срабатывает реле *Р2,* регистрируя выигрыш автомата (*В1.1* в положении «+» и контакты *Р4.2* переключены), и реле *Р1,* фиксируя выбор автоматом знака «+».

Отметим, что в блоке памяти реле *Р1* «запоминает» выбор, сделанный автоматом в последней партии, а реле *Р2* и *Р3* хранят сведения о исходе двух последних партий

(срабатывание реле *Р1* означает выбор автоматом знака «+»; срабатывание реле *Р2* и *Р3* — выигрыш автомата, несрабатывание — его проигрыш).

Параметры обоих реле времени (на транзисторах *Т1* и *Т2)* необходимо подобрать таким образом, чтобы реле *Р10* работало до тех пор, пока не отключится реле *Р11* (регулировка выдержки времени производится резисторами *R3* и *R7* с переменными сопротивлениями). После того как реле *Р10* отключится, контакты *Р10.2* разомкнут цепь питания реле *Р7*. Реле *Р7* через долю секунды отключается (задержка определяется емкостью конденсатора *С1*) и контактами *Р7.1* подключает «—» выпрямителя к реле времени на транзисторе *Т2*. Реле *Р11* сработает и отключит контактами *Р11.1* и *Р11.2* соответственно питание счетчиков и блок памяти.

Последующее нажатие кнопки *Кн2 Сброс* приводит к размыканию цепи питания реле *Р5—Р8* и их отключению контактами *Кн2.2*. Одновременно контакты *Кн2.1* включают реле *Р9* (в качстве контактов *Кн2.1* применен кнопочный выключатель от настольной лампы, поэтому после отпускания кнопки *Кн2* контакты *Кн2.1* остаются замкнутыми; для их размыкания нужно еще раз нажать кнопку *Кн2*, что будет сделано после следующей партии игры); контакты *Р9.1* переключаются, обеспечивая подачу напряжения в следующей партии на реле *Р3*.

Продолжим рассмотрение работы автомата на примере второй партии игры. Автомат работает совершенно аналогично описанному ранее, но только выбор «+» будет осуществляться уже с вероятностью 0,75 (реле *Р1* и *Р2* сработали, и логическая цепочка подключила к реле *Р4* щетку *Щ1*). Это вполне соответствует алгоритму игры, поскольку при наличии в двух предыдущих партиях одного проигрыша и одного выигрыша выбор автомата в последней партии сохраняется с вероятностью 0,75. В предыдущей партии автомат выбрал «+» и выиграл, а поскольку в его памяти нет результата более ранней партии, он «считает» ее проигранной.

Допустим, что и в этой партии автомат выбрал «+» (реле *Р4* сработало), и человек тоже выбрал «+». Рассмотрим, каким образом блок памяти, состоящий из реле *Р1—Р3*, запоминает исход двух последних партий игры и выбор автомата в последней партии, освобождаясь от сведений об исходе более ранних партий. Срабатывание реле *Р10* (оно срабатывает после того,

как автомат сделает свой ход) приводит к отключению контактами *Р10.1* цепи самоблокировки реле *Р1—Р3*. Реле *Р1* отключается («забывает» выбор автомата в предыдущей партии) и готово «запомнить» выбор, сделанный автоматом в данной партии. Однако реле *Р2* не отключается («помнит» исход последней партии), потому что контакты *Р9.2* (реле *Р9* включено, и контакты *Р9.2* переключены) включены параллельно контактам *Р10.1* и, хотя контакты *Р10.1* разомкнуты, на реле *Р2* подается напряжение. Цепь самоблокировки реле *Р3* также размыкается контактами *Р10.1*.

При отключении реле *Р11* в блок памяти на реле *Р1* и *Р3* подается напряжение (через контакты *Р11.2* и цепочку «выигрыш-проигрыш», состоящую из *В1.1* и *Р4.2*), они срабатывают и самоблокируются. Теперь после окончания этой партии игры нужно снова нажать кнопку *Кн2 Сброс*. При нажатии этой кнопки контакты *Кн2.1* разрывают цепь питания реле *Р9* (кнопочный выключатель отключает обмотку этого реле).

После двух сыгранных партий (в рассматриваемом здесь примере) на счету автомата два выигрыша (реле *Р2* и *Р3* включены). В третьей партии при нажатии кнопки *Кн1 Ход автомата* сработавшее реле *Р10* контактами *Р10.1* отключает цепь самоблокировки реле *Р1—Р3*. Реле *Р1* и *Р2* отключаются (*Р1* «забывает» выбор автомата в предыдущей партии, а реле *Р2* — исход игры в первой сыгранной автоматом партии игры). Реле *Р3* не отключается («помнит» исход второй партии), потому что контакты *Р9.2* подают напряжение в цепь самоблокировки этого реле. После того как реле *Р11* отключится, напряжение подается на реле *Р1* и *Р2* и, в зависимости от того, какой выбор был сделан человеком и автоматом, реле сработают или не сработают.

Поскольку реле *Р10* отключается после разряда конденсатора *С3* раньше, чем снова включается реле *Р11* (контакты *Р10.2* разорвут цепь питания *Р7*, которое отключится не сразу, а через некоторое время, необходимое для разряда конденсатора *С1* через обмотку реле *Р7*, и лишь затем контакты *Р7.1* замкнутся и реле *Р11* сработает), контакты *Р10.1* замкнутся раньше, чем разомкнутся контакты *Р11.2*, и сработавшие реле блока памяти успеют самоблокироваться до того, как подача напряжения в блок памяти прекратится. Таким образом, контакты *Р9.1* обеспечивают попеременное соединение

реле *Р2* и *Р3* с источником электропитания через логическую цепочку выигрыш — проигрыш (*В1.1* и *Р4.2*) а контакты *Р9.2* обеспечивают попеременное подключение напряжения к цепям самоблокировки реле *Р2* и *Р3* с тем, чтобы при размыкании контактов *Р10.1* отключалось то реле, которое должно «забыть» старый результат игры и «запомнить» новый.

Наличие в цепях самоблокировки реле *Р2* и *Р3* диодов *Д1* и *Д2* позволяет избежать ложной подачи напряжения на одно из этих реле.

В автомате применены: лампы накаливания ЛН 3,5 В$\times$ $\times$0,28 А; *М1* — электродвигатель ДСД-60; *Сч1* и *Сч2* — электромагнитные импульсные счетчики СЭИ-1; *Р1, Р3* — реле РЭС-9 (паспорт РФ4.500.131); *Р2, Р5, Р7 — Р11* —

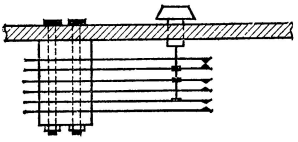

Рис. 59. Конструкция кнопки «Ход автомата».

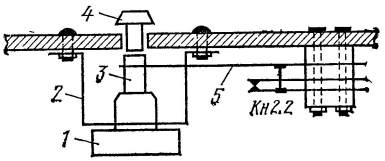

Рис. 60. Конструкция кнопки «Сброс».

реле РЭС-9 (паспорт РС4.524.201); *Р6* — реле РС-13 (паспорт РС4.525.017); переключатель *В1* — телефонный ключ типа КТРО; *Кн1* — самодельная кнопка, набрана из контактных групп реле или телефонного ключа (рис. 59); *Кн2* — кнопочный выключатель *Кн2.1*, с которым механически соединена группа размыкающих контактов *Кн2.2* (рис. 60) (кнопочный выключатель *1* смонтирован на железной скобе *2*, которую крепят на лицевой панели с обратной стороны; кнопка выключателя *3* удлиняется стержнем с головкой *4* — их склеивают клеем БФ-6; к кнопке *3* жестко крепят пластину *5*, посредством которой при нажатии на кнопку *Кн2* размыкаются контакты *К3.2*); *Т1—Т2* — транзисторы МП42 с коэффициентом $h_{21э}$=50÷70; *С1—С4* — конденсаторы электролитические 500 мкФ, 25 В; *Д1—Д6* — диоды Д226Б; трансформатор блока питания собран из пластин Ш20, толщина набора 20 мм (сетевая обмотка *I* содержит 2750 витков провода ПЭЛ-0,15; обмотка *II* — 300 витков провода ПЭЛ-0,35; обмотка *III* — 44 витка провода ПЭЛ-0,5).

При правильном выполнении всех электрических соединений автомат не нуждается в наладке. Необходимо лишь установить (при помощи резисторов *R3* и *R7*) время выдержки реле *P10* и *P11* таким образом, чтобы реле *P10* работало до тех пор, пока не отключится реле *P11*, а продолжительность времени с момента отпускания человеком кнопки *Кн1* до момента отсчета показаний на счетчиках не превышала 2—3 с (чтобы не затягивался процесс игры).

ГЛАВА ШЕСТАЯ

ИГРЫ «БЕЗ ПРАВИЛ»

Рефлексивные игры

«Долго длилась осада Трои. Но все же никак не могли греки овладеть городом. Тогда Одиссей уверил греков действовать хитростью. Знаменитый художник Эпей соорудил громадного деревянного коня. В него вошли Неоптолем, Менелай, Диомид, Одиссей и другие герои. Вся внутренность коня заполнилась вооруженными воинами. Затем греки сожгли все постройки в своем лагере, сели на корабли и отплыли в открытое море.

С высоких стен Трои осажденные видели необычайное движение в стане греков. Поняли они, что греки покинули Троаду. Ликуя, вышли троянцы из города. Они были уверены, что теперь кончилась осада, миновали все бедствия. Вдруг в изумлении остановились троянцы: они увидели деревянного коня. Смотрели они на него и терялись в догадках, что это за изумительное сооружение.

Начался спор. Одни советовали бросить коня в море, другие же — везти в город и поставить на акрополе. И помрачили боги разум троянцев — они все-таки решили везти в город коня. Разобрали они часть городской стены, так как громадного коня нельзя было провезти через ворота, и с ликованием, под музыку и пение, наконец, притащили коня в акрополь.

Наступила ночь. Троя погрузилась в глубокий сон. Осторожно, стараясь не производить шума оружием, выш-

ли из коня герои, рассыпались по погруженным в сон улицам. На помощь героям явились и остальные греки, укрывавшиеся на кораблях за островом Тенедосом. Через пролом в стене ворвались они в Трою. Началась ужасная битва. Запылали дома, кровавым заревом освещая гибнущую Трою. Никого не щадили греки... По столбам дыма и громадному зареву ночью узнали окрестные народы, что пала Троя, которая была самым могущественным городом в Азии...»

Конфликт, описанный в этом отрывке из пересказанной К. А. Куном «Энеиды» древнеримского поэта Вергилия [11], следует отнести к играм особого рода — таким стратегическим играм, в которых один из игроков стремится обмануть и перехитрить другого, имитируя с этой целью рассуждения своего противника. Подобные игры, где дозволенными считаются любые обманные действия участников, являются довольно точными моделями многих реальных жизненных конфликтов. Имея в виду эту особенность стратегических игр, их иногда называют рефлексивными играми (термин «рефлексивный» подчеркивает, что игроки отражают в мышлении рассуждения друг друга). К обычным приемам игроков в рефлексивных играх можно отнести распространение ложных слухов, маскировку и другие способы дезинформации противника, интриги, клевету, шантаж и различные формы провокации (от детской забавы с подброшенным кошельком, моментально уплывающим, как только прохожий нагибается за ним, до воздействий идеологического характера).

Главным инструментом достижения превосходства в рефлексивной игре является ложь, обман партнера в той или иной форме; побеждает здесь тот из игроков, кто обладает более высоким рангом рефлексии, т. е. лучше может проимитировать ход рассуждений противника при выборе образа действий. Этот более хитрый и коварный игрок фактически управляет во время игры поведением своего доверчивого партнера, хотя последний и не догадывается об этом.

Чрезвычайно интересным и перспективным представляется использование ЭВМ и других кибернетических устройств-автоматов для осуществления рефлексивного управления поведением противника в различных стратегических играх. Об этом многократно свидетельствуют любопытные опыты по изучению возможности рефлек-

сивного взаимодействия человека с играющей машиной, выполненные в Московском энергетическом институте советскими кибернетиками В. А. Лефевром и Г. Л. Смоляном.

Специально изготовленное устройство имело на лицевой панели лабиринт с несколькими выходами (рис. 61). В центральную часть лабиринта помещался «путник», который мог передвигаться в поисках выхода. Движениями «путника» управлял программный блок, в котором не было информации о том, где находятся выходы из лабиринта. Перед человеком ставилась задача: не выпустить «путника» из лабиринта.

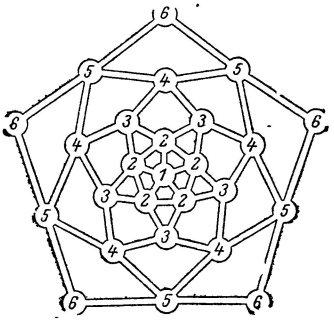

Рис. 61. Лабиринт.

Игра происходила так. Перед каждым ходом машины человек нажимал специальные кнопки, давая ей указания, в какую сторону передвинуть «путника». Машина же при каждом своем ходе могла «послушаться» человека и последовать его указаниям, но могла и «не послушаться», передвинув «путника» в противоположном направлении. При правильных выборах направления движения «путник» мог выбраться из лабиринта за пять ходов. Разумеется, человеку следовало стремиться своими указаниями дезинформировать машину, скрывая от нее сведения об истинном расположении выходов из лабиринта. Человек побеждал, если ему удавалось продержать «путника» в лабиринте более 25 ходов; в противном случае победа присуждалась машине.

В качестве противников машины выступали 32 студента МЭИ. Каждый из них инструктировался перед игрой, а затем играл с машиной две партии. Всего было сыграно 64 партии. Оказалось, что машина побеждает гораздо чаще, чем человек. По данным 64 партий была вычислена средняя продолжительность блуждания «путника» в лабиринте в условиях противодействия со стороны человека. Она оказалась равной 15 ходам в первых партиях и 18 ходам—во вторых. Этот результат был сопоставлен со средним числом ходов, которые соверша-

ет блуждающий «путник», если он, выбираясь из лабиринта, избирает направления своих перемещений наугад, не принимая во внимание противодействующие указания человека. Среднее число ходов «путника» при случайном блуждании оказалось равным 25. Это свидетельствует о том, что противодействие человека помогает машине ускорить вывод «путника» из лабиринта. Такое улучшение поведения достигается машиной благодаря тому, что она проводит рефлексивное управление своим противником.

Рассмотрим одну из партий, развернутое по ходам изображение которой приведено на рис. 62, *а*. По горизонтали пронумерованы ходы машины — шаги «путни-

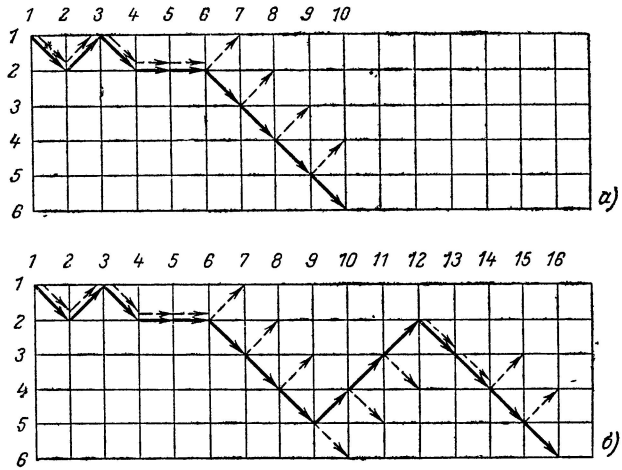

Рис. 62. Графики рефлексивных игр.

ка», по вертикали — узловые точки лабиринта от центра, обозначенного цифрой *1*, до одного из выходов, обозначенных цифрой *6*. Жирными стрелками на рисунке отмечены перемещения «путника», пунктирные стрелки обозначают указания человека. Первые пять ходов машина выполняет указания человека (пунктирные линии стрелок совпадают с жирными). У человека на протяжении этих ходов создается впечатление, что машина его всегда слушается. Поэтому он и в следующих ходах продолжает свою тактику — указывает «путнику» путь

к центру лабиринта. Но с 6-го хода машина меняет свою тактику и начинает действовать противоположно указаниям своего противника. Последний не успевает осознать это, продолжает выводить «путника» к центру и проигрывает.

В другой партии (рис. 62, *б*) вскоре после 6-го хода человек сумел проимитировать начавшееся непослушание и стал указывать правильный путь к выходу из лабиринта. Начиная с 12-го хода машина вновь слушается; человек для осознания этой перемены потратил два хода. На 14-м ходу машина вновь меняет свое поведение, но человек, убежденный еще в послушании «путника», не успевает изменить свою тактику и выпускает «путника» из лабиринта.

В. А. Лефевр и Г. Л. Смолян подчеркивают, что в этих опытах победа машины «объясняется тем, что она формирует вполне определенное поведение человека, использует его, тем самым формируя новое, затем меняет свое, формирует другое поведение и т. д., в среднем обгоняя человека. В этих партиях автомату удавалось провести рефлексивное управление и выудить у человека информацию, необходимую для более быстрого решения задачи ...» [12].

Без путеводной нити Ариадны

Приведем здесь описание сравнительно простого кибернетического устройства, которое подобно программному блоку в опытах В. А. Лефевра и Г. Л. Смоляна способно рефлексивно взаимодействовать со своим противником — человеком и благодаря сознательному противодействию последнего улучшает свое «поведение». Для этого еще раз обратимся к древнегреческой мифологии.

Читатель, конечно, помнит легенду о подвиге Тезея, который пробрался в огромный лабиринт критского царя Миноса, где обитало страшное чудовище Минотавр, пожиравшее людей, и убил его. Согласно этому мифу выбраться из лабиринта герою помогла дочь царя Ариадна, снабдившая Тезея для этого клубком ниток. Блуждая по запутанным переходам лабиринта в поисках врага, Тезей разматывал клубок, а потом, расправившись с чудовищем, по нитке смог найти выход из лабиринта. В нашей истории действуют персонажи из этого древ-

негреческого мифа, но несколько изменена фабула легенды. В центре составленного из ромбов симметричного лабиринта (рис. 63) находится «путник», которого подобно легендарному герою назовем Тезеем. Ему необходимо пробраться из центра лабиринта к одному из выходов, обозначенных на схеме узлами *1* и *15*. У нашего Тезея, в отличие от его легендарного тезки, нет спаси-

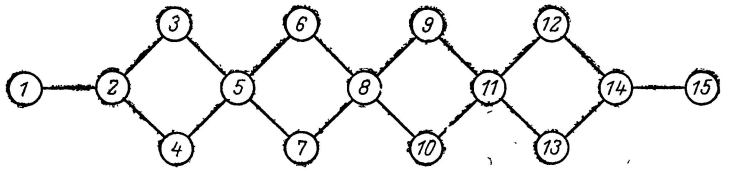

Рис. 63. Лабиринт для игры «Тезей и Минотавр».

тельной путеводной нити Ариадны. К тому же в каждом узле лабиринта Тезея ожидает вездесущий противник — назовем его по аналогии с чудовищем из греческого мифа Минотавром. Минотавр указывает Тезею, куда ему идти. Эти указания могут быть верными или неверными. Дело в том, что, как известно Тезею, у одного из выходов Минотавр хранит несметные сокровища. Однако, какой из выходов (*1* или *15*) ведет к кладу, Минотавр, разумеется, скрывает и уж всячески будет стараться запутать Тезея, чтобы он туда не попал. Сознавая это, Тезей может следовать указаниям Минотавра, но может и направляться в противоположную сторону.

Сумеет ли Тезей перехитрить Минотавра и, «выудив» у него необходимую информацию, попасть к нужному выходу из лабиринта?

Описанные выше опыты московских кибернетиков показывают нам, как должен действовать Тезей, чтобы добиться успеха. Очевидно, ему следует воспользоваться противодействием Минотавра и вступить с ним в рефлексивное взаимодействие. Например, Тезей может первые несколько ходов беспрекословно выполнять указания своего противника, формируя у него убеждение в «послушании», а затем это сформировавшееся убеждение использовать в своих интересах. Рассмотрим один из вариантов, по которому могут развиваться события.

Предположим, что Минотавр спрятал свои сокровища у выхода *1*, а Тезей вначале находится в узле *8*.

I. Минотавр указывает на узел *9,* Тезей переходит в узел *9.*

2. Минотавр указывает на узел *11,* Тезей переходит в узел *11.*

3. Минотавр указывает на узел *12,* но Тезей, не выполнив это указание, переходит в противоположный узел *10.*

4. Однако Минотавр еще верит, что Тезей «послушен» и, пытаясь направить его в другой конец лабиринта, указывает на узел *11.* Но Тезей не подчиняется и выбирает противоположный узел 8.

5. Двух «непослушаний» вполне достаточно, чтобы убедить Минотавра, что теперь Тезей ему не повинуется. Минотавр указывает на узел *7,* полагая, что Тезей выберет противоположный узел *9.* Однако и Тезей, исходит из того, что он «переучил» Минотавра, и выполняет его указание — переходит в узел *7.*

6. Минотавр помнит, что раньше Тезей «слушался» два хода подряд; поэтому указать путь, ведущий к выходу *1,* он опасается: а вдруг Тезей все-таки послушается». Поэтому Минотавр указывает на узел *8.* Однако Тезей учел опасения Минотавра и переходит в противоположный узел *5.*

7. Запутавшийся Минотавр предполагает, что уж теперь-то его противник снова должен быть «непослушным», — и указывает на узел *3.* Однако Тезей подчиняется и переходит в узел *3.*

8. Полагая, что Тезей не может быть два раза подряд «послушным». Минотавр указывает на узел *2.* Но Тезей учитывает это, и снова подчиняется — переходит в узел *2.*

9. В панике Минотавр указывает на узел *4,* пытаясь увести Тезея от выхода из лабиринта. Однако Тейзей не ошибается и выбирает противоположный узел *1.* Путь к сокровищам Минотавра открыт.

Таким образом, в данном варианте взаимодействия Тезея с Минотавром всего девять ходов потребовалось герою, чтобы найти нужный выход из лабиринта. Если бы он в каждом узле определял направление своего движения наугад, то для выхода из лабиринта ему потребовалось бы в среднем около 25 ходов; при этом, возможно, он нашел бы и не тот выход, который ему нужен. Следовательно, налицо оптимизация действий Тезея, который сумел (в рассматриваемом примере) путем рефлексивного управления Минотавром получить

от него столь тщательно скрываемые сведения и найти нужный ему выход из лабиринта.

В описываемом ниже автомате роль Тезея играет релейноконтактное логическое устройство; функцию Минотавра выполняет играющий с автоматом человек. Внешний вид автомата показан на рис. 64. На лицевой панели изображен лабиринт, в узлах которого установлены электрические лампочки. Две из них (в узлах *1* и *15*) — окрашены в красный цвет, остальные лампочки — в зеленый. Во время игры загорающиеся лампочки

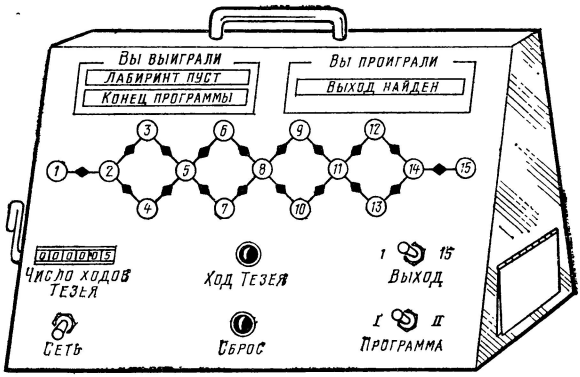

Рис. 64. Внешний вид играющего автомата «Тезей и Минотавр».

указывают местонахождение Тезея. Здесь же на лицевой панели расположены: выключатель сети, переключатель *Выход* для фиксации задуманного человеком выхода из лабиринта (*1* или *15* — того, где «укрыты сокровища»), переключатель программ поведения Тезея, кнопки *Ход Тезея* и *Сброс,* счетчик числа ходов Тезея, а также световые табло *Лабиринт пуст* и *Конец программы* — под табличкой *Вы выиграли,* и световое табло *Выход найден* — под табличкой *Вы проиграли.* На специальной боковой панели автомата слева находится плата ввода программ, прикрытая крышкой.

Каждый переход, соединяющий два соседних узла лабиринта на лицевой панели, имеет посередине ромбовидное гнездо. Оно предназначено для установки штекера, который представляет собой трехгранный стержень с укрепленной на нем стрелкой (рис. 65). С помощью этого штекера-стрелки во время игры

противник автомата (Минотавр) указывает ему (Тезею) направление движения. Если вставить штекер в гнездо, то трехгранный стержень войдет в ту половину ромба, куда указывает стрелка. Например, если стрелка указывает на переход из узла *12* в узел *11* (рис. 66), то стержень штекера войдет в левую половину ромбического отверстия; если же нужно указать на переход из узла *11* в узел *12*, то стержень войдет в правую половину гнезда.

Под лицевой панелью у каждого гнезда укреплены три группы контактов. Две группы, расположенные у остроугольных вершин ромба, состоят из двух пар нормально разомкнутых контактов (рис. 67, *а*). Третья группа, укрепленная у одной из тупоугольных вершин ромба, образует одну пару замыкающих контактов (рис. 67, *б*). При установке штекера в гнездо всегда будут замыкаться контакты у тупоугольной вершины ромба и контакты, расположенные у той остроугольной вершины, куда направлена стрелка штекера. Например, если ввести штекер в гнездо, изображенное на рис. 66, таким образом, чтобы стрелка указывала направление от узла *11* к узлу *12*, то замкнутся контакты, расположенные справа, и контакты у тупоугольной вершины ромба.

Контакты, установленные около тупоугольных вершин всех ромбических гнезд, соединяются параллельно и на принципиальной схеме автомата (рис. 68) обозначены как один выключатель *В80*. Контакты же, расположенные около остроугольных вершин ромба, объединены в группы. В табл. 14 в правой колонке указаны контакты, которые соединены между собой параллельно, а в левой — условные обозначения этих контактов на принципиальной схеме. Обозначения контактов в

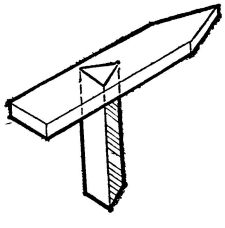

Рис. 65. Штекер.

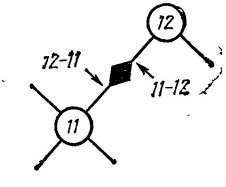

Рис. 66. Ромбовидное гнездо для штекера.

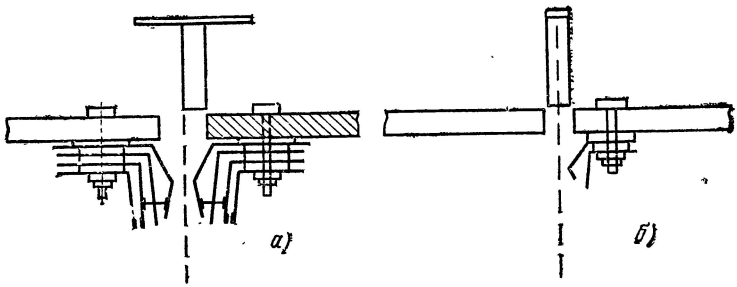

Рис. 67. Устройство контактных групп гнезда.

правой колонке таблицы даны в соответствии с номерами узлов лабиринта, между которыми они находятся. Например, контакты, укрепленные в той вершине ромба, которая направлена от узла *11* к узлу *12*, обозначаются *11-12* (т. е. эти контакты замыкаются, когда штекер-стрелка указывает направление от узла *11* к узлу *12*); контакты, укрепленные на противоположной вершине ромба, обозначаются *12-11*. Аналогично обозна-

Таблица 14

Обозначение контактов на схеме	Номера контактов, объединенных в группы	Обозначение контактов на схеме	Номера контактов, объединенных в группы
B1	*2—1*	*B14*	*12—14, 13—14*
B2	*3—2, 4—2*	*B15*	*14—15*
B3	*5—3, 2—3*	*B16*	*2—3, 2—4*
B4	*5—4, 2—4*	*B17*	*3—5, 4—5*
B5	*3—5, 4—5, 6—5, 7—5*	*B18*	*2—1, 5—6, 5—7*
B6	*5—6, 8—6*	*B19*	*3—2, 4—2, 6—8, 7—8*
B7	*5—7, 8—7*	*B20*	*5—3, 5—4, 8—9, 8— 10*
B8	*6—8, 7—8, 9—8, 10—8*	*B21*	*6—5, 7—5, 9—11, 10—11*
B9	*8—9, 11—9*	*B22*	*8—6, 8—7, 11—12, 11—13*
B10	*8—10, 11—10*		
B11	*9—11, 10—11, 12—11, 13—11*	*B23*	*9—8, 10—8, 12—14, 13—14*
B12	*11—12, 14—12*	*B24*	*11—9, 11—10, 14—15*
B13	*11—13, 14—13*	*B25*	*12—11, 13—11*
		B26	*14—12, 14—13*

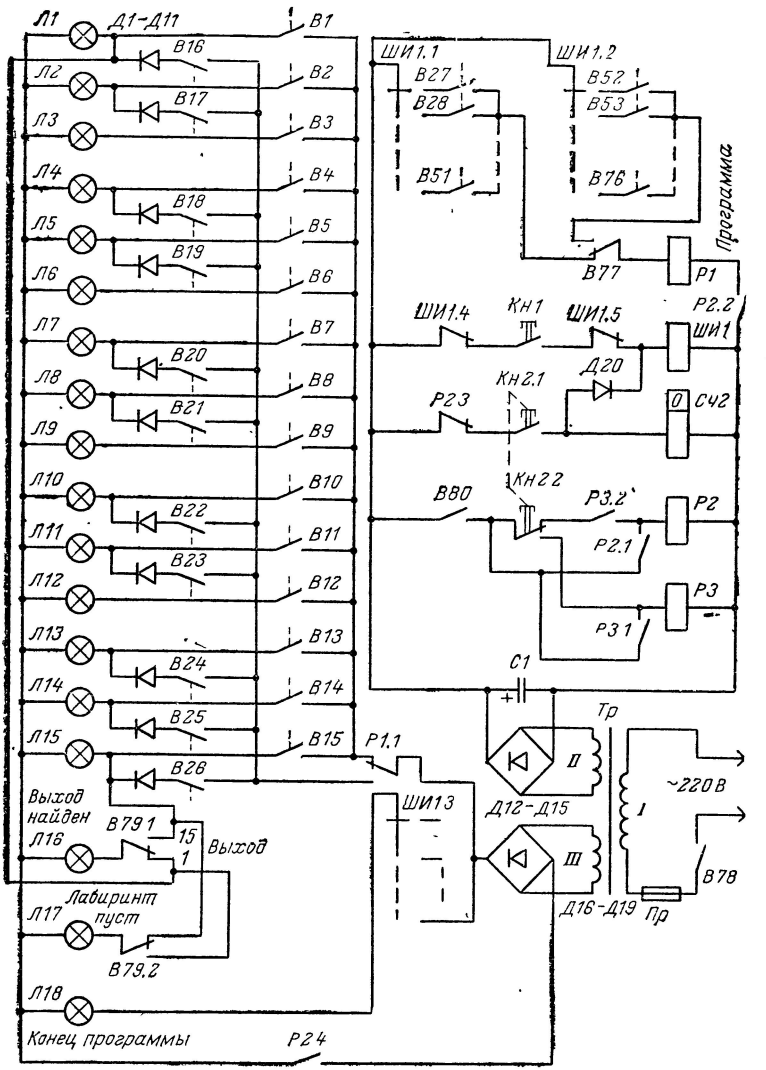

Рис. 68. Принципиальная схема «Тезей и Минотавр».

чаются контакты, расположенные у других гнезд. Контактные группы *1-2* и *15-14* отсутствуют — они не нужны. Заметим, что каждая контактная группа встречается в правой колонке таблицы дважды, поскольку она состоит из двух пар контактов. Например одна пара контактов *7-5* соответствует *B5*, другая — *B21*.

Чтобы задать программу действий автомата, т. е. определить, будет ли Тезей, делая свой тот или иной очередной ход, верить человеку (Минотавру) или нет, служат выключатели *B27—B51* (1-я программа) и *B52—B76* (2-я программа). Включение выключателя означает, что автомат не верит, выключение — верит. Конструктивно выключатели выполнены в виде замыкающих контактов, которые замыкаются при введении специальных круглых штекеров в гнезда на плате программ. На этой плате расположены два ряда гнезд, под ними укреплены контакты для установки штекеров — по 25 гнезд в ряду. Выключатели *B27—B51* — соединены с контактными ламелями ШИ1.1 шагового искателя, а выключатели *B52—B76* — с ламелями ШИ1.2. Таким образом, в автомат можно ввести две различные двадцатипятиходовые программы действий Тезея.

Перед началом игры установкой штекеров в гнезда на плате программ вводят программы действий автомата (разумеется, программы вводит один человек, а играет с автоматом — другой). Например, если представить первую программу последовательностью знаков «+» и «—», где «плюс» означает «послушание» автомата, а «минус» — «непослушание»:
+ + + — — + — — + + — + + + — — + + ——— + + + —, то штекеры нужно вставить в гнезда верхнего ряда 4, 5, 7, 8, 11, 15, 16, 19, 20, 21, 25. На принципиальной схеме это соответствует замыканию контактов *B30, B31, B33, B34, B37, B41, B42, B45, B46, B47, B51*. Затем крышка платы программ закрывается, чтобы исключить возможность «подсматривания» со стороны противника автомата во время игры. Далее, начиная игру с автоматом, человек должен установить переключателем *B79 (Выход)* номер выхода из лабиринта (*1* или *15*), который он будет «защищать». На принципиальной схеме переключатель *B79* установлен в положение, соответствующее выходу *1*.

Рассмотрим работу автомата на конкретных примерах. Допустим, что первым своим ходом человек (Минотавр) направляет автомат (Тезея) из узла *8* в узел *9* — вставляет штекер-стрелку в гнездо *8-9*. При этом замыкаются контакты *В9*, *В20*, *В80*. После нажатия кнопки *Кн2 (Ход Тезея)* срабатывает реле *Р3* и контактами *Р3.1* самоблокируется; одновременно через контакты *Кн2.1* напряжение подается на обмотку шагового искателя, и его щетки делают один шаг. После отпускания замыкается цепь питания реле *Р2* (контакты *Кн2.2* и *Р3.2* замкнуты). Реле *Р2* срабатывает и самоблокируется контактами *Р2.1*. Контакты *Р2.2* замыкаются и подают напряжение на обмотку реле *Р1*. Предположим, что автомат играет согласно приведенной выше 1-й программе, т. е. выключатель *В28* не замкнут. Тогда реле *Р1* не сработает после срабатывания реле *Р2;* контакты *Р2.4* замкнутся, подавая напряжение на лампу *Л9* (контакты *В9* замкнуты); лампа *Л9* загорается — Тезей поверил человеку и перешел в узел *9*.

Если бы при введении программы выключатель *В28* был включен, то после замыкания контактов *Р2.2* сработало реле *Р1* и его контакты *Р1.1* переключились. Тогда загорелась бы лампочка *Л7* (контакты *В20* замкнуты) — Тезей не поверил бы Минотавру и перешел в узел *7*. При нажатии кнопки *Кн2* контакты *Кн2.1* замыкают цепь питания катушки счетчика *Сч2,* который фиксирует число ходов, сделанных Тезеем. После этого человек должен сделать следующий ход. Для этого ему нужно вынуть штекер-стрелку из гнезда *8-9* (при этом размыкаются контакты *В80* и отключаются реле *Р1, Р2* и *Р3*, а горевшая лампочка *Л9* или *Л7* гаснет) и вставить его в другое гнездо, соответственно тому, куда он направляет Тезея. Потом нажатием кнопки *Кн2* ход предоставляется автомату.

Если Тезей выйдет в тот конец лабиринта, который «защищался» человеком, то загорается лампа *Л16*, подсвечивающая табло *Выход найден* под табличкой *Вы проиграли:* ведь такой исход игры означает, что Тезею удалось провести рефлексивное управление противником и выудить у него необходимую информацию. Например, если переключатель *В79* (*Выход*) был установлен в положение *1* и Тезей вышел в выход *1* (загорелась лампа *Л1*), то включается цепь питания лампы *Л16*.

Если же Тезей выйдет в другой конец лабиринта (в нашем примере в выход *15*), то загорается лампа *Л15,* а также лампа *Л17,* подсвечивающая табло *Лабиринт пуст* под табличкой *Вы выиграли:* в этом случае Минотавр не дал Тезею проникнуть к «сокровищам» — автомат проиграл. Проигрыш засчитывается автомату и в том случае, если Тезей не сумел найти выход к «сокровищам» за 25 ходов. При таком исходе загорается лампа *Л18,* подсвечивающая табло *Конец программы* под табличкой. *Вы выиграли* (подвижная щетка третьего ряда контактных ламелей *ШИ1.3,* дойдя до конца ряда, замыкает цепь питания лампы *Л18*). Если противник автомата желает продолжить игру, узнать, сколько еще ходов он сможет продержать Тезея в лабиринте, ему нужно переключением *В77 (Программа*) включить 2-ю программу действий Тезея.

Для того чтобы привести автомат в исходное состояние готовности к следующей партии игры, необходимо нажать кнопку *Сброс (Кн1*). При этом через замкнутые контакты *Кн1,* самопрерывающиеся контакты искателя *ШИ1.4,* головные контакты *ШИ1.5* (эти контакты размыкаются в момент установления подвижных щеток искателя в исходное положение) напряжение питания будет подано на обмотку искателя, и его подвижные щетки вернутся в исходное положение. Кроме того, нужно вернуть в исходное положение (установить на нуль) счетный механизм счетчика ходов Тезея *Сч2.*

Следует отметить, что по сути дела в этой игре идет состязание не между человеком и автоматом, а между двумя людьми: составителем программ и играющим с автоматом человеком. Составление эффективно рефлексирующих программ — дело довольно сложное и требующее некоторого опыта. Приводим в качестве примера еще одну программу:

\+ + — — — + — — — + — — + + + — + + +
— — + + — —.

В автомате применены: лампы ЛН 3,5 В×0,28 А; шаговый искатель — типа И25/8 (паспорт РС3.250.041 Сп); *Р1* — реле РЭС-10 (паспорт РС4.524.302); *Р2* — реле РЭС-22 (паспорт РФ4.500.131); *Р3* — реле РЭС-9 (паспорт РС4. 524. 200); *Сч2* — счетчик СЭИ-1 или СБ-1М/100; *Д1—Д19* — диоды Д226Б; сердечник трансформатора набран из пластин Ш32, пакет толщиной

20 мм (обмотка *I* состоит из 1220 витков провода ПЭЛ-0,51; обмотка *II* — 150 витков провода ПЭЛ-0,51; обмотка *III—20* витков провода ПЭЛ-0,51).

Построив автомат, читатели могут сами попробовать подобрать эффективно рефлексирующие программы. Для этого нужно будет провести небольшой эксперимент — опробовать разработанные программы на двух-трех десятках людей. Отметив, какая из программ быстрее всего выводит Тезея из лабиринта к «сокровищам», можно сделать вывод о степени ее эффективности.

Заключение

Наша небольшая экскурсия в мир игр и играющих электронных автоматов подошла к концу. Читатель познакомился с некоторыми понятиями теории игр, узнал простейшие методы решения игровых задач, получил представление о том, каким образом, используя элементы и узлы электронной техники, можно создавать (даже собирать своими руками!) кибернетические играющие устройства, способные не только успешно противостоять игроку-человеку, но и превзойти его в различных играх.

Авторы надеются, что читателя заинтересовали рассказы об играх и играющих автоматах. Возможно, прочтя эту книгу, он даже рискнет испытать свои силы, взявшись за конструирование и постройку электронного играющего устройства — одного из тех, которые описаны на страницах книги, или совсем иного, прообраз которого ему подсказала окружающая действительность. Ведь игры, как мы убедились, встречаются в жизни на каждом шагу! Для автоматизации решения игровых задач читатель может выбрать любую из них — в соответствии со своими интересами, знаниями, вкусом и материальными возможностями.

Разумеется, авторы полагают, что в этой работе читатель не ограничится простым копированием описанных устройств, а будет экспериментировать, искать пути к их дальнейшему улучшению и совершенствованию, возможно, найдет свои идеи и принципы действия «умных» кибернетических партнеров. Для этого, вероятно, ему понадобится прочесть и изучить еще немало других

книг, не раз обращаться за советом и консультацией: ведь рассказанное в нашей книге — это только первые шаги как в теории игр, так и в практике конструирования играющих «киберов».

И пусть, может быть, не сразу заработает электронное детище — не следует отчаиваться. Так ведут себя почти все «новорожденные» машины. Доводка конструкции, устранение мелких погрешностей проектирования и монтажа — неизбежный, хотя и не очень приятный этап работы. Зато как радостно видеть созданный своими руками автомат, еще недавно существовавший только в мечте или на бумаге — и вот теперь настоящий, работающий, хочется сказать «живой» — так быстро, четко и логично действует он, выбирая свой очередной ход в игре с партнером-человеком!

Тот, кто однажды испытал это удовольствие, уже не может согласиться на меньшее.

Расставаясь с читателем, авторы от всей души желают ему больших успехов в приобщении к созданию автоматов для решения игровых задач.

Список литературы

1. **Введение** в теорию выработки решений/В. А. Абчук, Л. А. Емельянов и др. — М.: Воениздат, 1972. — 342 с.

2. **Ботвинник М. М.** О кибернетической цели игры. — М.: Советское радио, 1975. — 88 с.

3. **Ботвинник М. М.** «Пионер» готовится к чемпионату. — Правда, 1977, 24 ноября.

4. **Ботвинник М. М.** О решении неточных переборных задач. — М.: Советское радио, 1979. — 152 с.

5. **Вентцель Е. С.** Элементы теории игр. — М.: Физматгиз, 1959. — 68 с.

6. **Вентцель Е. С.** Исследование операций. — М.: Советское радио, 1972. — 542 с.

7. **Воробьев Н. Н.** Развитие теории игр. — В кн.: Дж. Фон Нейман и О. Моргенштерн «Теория игр и экономическое поведение». — М.: Наука, 1970, с. 633—694.

8. **Доморяд А. П.** Математические игры и развлечения. — М.: Физматгиз, 1961. — 268 с.

9. **Игошев Б. М., Комский Д. М.** Кибернетика в самоделках. — М.: Энергия, 1978. — 128 с.

10. **Комский Д. М., Гордин А. Б.** Увлекательная кибернетика. — Свердловск: Средне-Уральское книжное издательство, 1969. — 216 с.

11. **Кун Н. А.** Легенды и мифы древней Греции. — М.: Учпедгиз, 1955. — 500 с.

12. **Лефевр В. А., Смолян Г. Л.** Алгебра конфликта. — М.: Знание, 1968. — 64 с.

13. **Методическое** пособие для школьного конструкторского кружка/Под ред. Д. М. Комского — Свердловск.: Тр. Свердл. пед. ин-та, вып. 3, 1967.—80 с.; вып. 4, 1970.—100 с., вып. 5, 1974.—84 с.: вып. 6, 1975. — 110 с.

14. **Перельман Я. И.** Живая математика. — М.: Наука, 1974. — 160 с.

15. **Полетаев И. А.** Сигнал. — М.: Советское радио, 1958. — 404 с.

16. **Поспелов Д. А.** Игры и автоматы. — М.: Энергия, 1966. — 136 с.

17. **Простая кибернетика.** Сборник статей. — М.: Молодая гвардия, 1965. — 160 с.

18. **Розанов Ю. А.** Теория вероятностей и ее приложения. — В кн.: О некоторых вопросах современной математики и кибернетики. — М.: Просвещение, 1965, с. 132—133.

19. **Борель Э.** Вероятность и достоверность. — М.: Наука, 1969. — 110 с.

20. **Вильямс Дж. Д.** Совершенный стратег. — М.: Советское радио, 1960. — 272 с.

21. **Винер Н.** Кибернетика и общество. — М.: Изд-во иностр. лит., 1958. — 200 с.

22. **Винер Н.** Об обучающихся и самовоспроизводящихся машинах. — В кн.: Возможное и невозможное в кибернетике/ Под ред. А. Берга и Э. Кольмана — М.: Изд-во АН СССР, 1963. — 224 с.

23. **Гасс С.** Путешествие в страну линейного программирования. — М : Мир, 1973. — 175 с.

24. **Лондон Дж.** Сочинения. Т. 3. — М.: Гослитиздат, 1955, с. 478—492.

25. **Льюс Р., Райфа Х.** Игры и решения. — М.: Изд-во иностр. лит., 1961. — 608 с.

26. **Шеннон К.** Работы по теории информации и кибернетике. — М.: Изд-во иностр. лит. 1963. — 686 с.

Оглавление

Предисловие 3

Глава первая. **Игры и автоматы** 6

Игры на каждом шагу 6
Бесстрастные партнеры 13

Глава вторая. **В дебрях комбинаторики** 28

Комбинаторные игры 28
Автоматы играют в камешки 41
Перебрось мостик 52
На шахматной доске 58

Глава третья. **Когда исход игры случаен** 67

Азартные игры 67
Кость бросает автомат 78
Попытай счастья 84

Глава четвертая. **Кто кого?** 93

Стратегические игры 93
Автомат блефует 112
Кот и мышь в лабиринте 120

Глава пятая. **Автоматы учатся играть** 127

Как автоматы обучаются 127
Автомат учится играть в камешки 137
Проницательный партнер 143

Глава шестая. **Игры «без правил»** 152

Рефлексивные игры 152
Без путеводной нити Ариадны 156

Заключение 166

Список литературы 167

65 к.