Гарднер М. Крестики-нолики

Пер. с англ. – М.: Мир, 1988.

ГЛАВА 20

ИГРА «ЖИЗНЬ». ЧАСТЬ I

Большая часть работ известного математика Дж. X. Конуэя относится к области чистой математики. Например, в 1967 г. он открыл новую группу — ее иногда называют «созвездием Конуэя» — включавшую в себя в качестве подгрупп все известные к тому времени «спорадические» группы, кроме двух. («Спорадическими» эти группы были названы потому, что они не укладывались ни в какую известную классификацию.) Открытие Конуэя имело первостепенное значение не только для теории групп, но и для теории чисел. Оно тесно связано с другим, более ранним открытием Дж. Лича, обнаружившего необычайно плотную упаковку единичных сфер в пространстве 24 измерений. Хотя каждая сфера в этой упаковке касается 196560 других, все же, как заметил Конуэй, между сферами «остается еще много места».

Помимо серьезных исследований, Конуэй увлекается также занимательной математикой. В этой области ему принадлежит немало работ, однако публикует он свои «занимательные» результаты чрезвычайно редко. Одним из исключений такого рода была статья Конуэя о «стеганом одеяле миссис Перкинс», посвященная одной задаче на разрезание, которая рассматривалась ранее в моей книге «Математический карнавал» («Mathematical Carnival»), Другой его находкой явилась топологическая игра «Спрут», которую Конуэй придумал вместе с М. С. Патерсоном. Она также рассматривалась в одной из глав упомянутой мной книги.

Настоящая же глава посвящена самому знаменитому детищу Конуэя — игре, которую сам Конуэй назвал «Жизнь», Для игры «Жизнь» вам не понадобится партнер — в нее можно играть и одному. Возникающие в процессе игры ситуации очень похожи на реальные процессы, происходящие при зарождении, развитии и гибели колоний живых организмов, По этой причине «Жизнь» можно отнести к быстро развивающейся категории так называемых «моделирующих игр» — игр, которые в той или иной степени имитируют процессы, происходящие в реальной жизни. Для игры «Жизнь», если не пользоваться ЭВМ, вам понадобится довольно большая доска, разграфленная на клетки, и много плоских фишек двух цветов (например, просто несколько наборов обычных шашек небольшого диаметра или одинаковых пуговиц двух цветов). Можно также воспользоваться доской для игры в го, но тогда вам придется раздобыть маленькие плоские шашки, которые свободно умещаются в ячейках этой доски. (Обычные камни для игры в го не годятся потому, что они не плоские.) Можно также рисовать ходы на бумаге, но значительно проще, особенно для начинающих, играть, переставляя фишки или шашки на доске.

Основная идея игры состоит в том, чтобы, начав с какого-нибудь простого расположения фишек (организмов), расставленных по различным клеткам доски, проследить за эволюцией исходной позиций под действием «генетических законов» Конуэя, которые управляют рождением, гибелью и выживанием фишек. Конуэй тщательно подбирал свои правила и долго проверял их «на практике», добиваясь, чтобы они по возможности удовлетворяли трем условиям:

1) не должно быть ни одной исходной конфигурации, для которой существовало бы простое доказательство возможности неограниченного роста популяции;

2) в то же время должны существовать такие начальные конфигурации, которые заведомо обладают способностью беспредельно развиваться;

3) должны существовать простые начальные конфигурации, которые в течение значительного промежутка времени растут, претерпевают разнообразные изменения и заканчивают свою эволюцию одним из следующих трех способов: полностью исчезают (либо из-за перенаселенности, т. е. слишком большой плотности фишек, либо наоборот, из-за разреженности фишек, образующих конфигурацию); переходят в устойчивую конфигурацию и перестают изменяться вообще или же, наконец, выходят на колебательный режим, при котором они совершают некий бесконечный цикл превращений с определенным периодом.

Короче говоря, правила игры должны быть такими, чтобы поведение популяции было достаточно интересным, а главное, непредсказуемым.

Генетические законы Конуэя удивительно просты. Прежде чем мы их сформулируем, обратим внимание на то, что каждую клетку доски (которая, вообще говоря, считается бесконечной) окружают восемь соседних клеток: четыре имеют с ней общие стороны, а четыре другие — общие вершины. Правила игры (генетические законы) сводятся к следующему:

1) *выживание.* Каждая фишка, у которой имеются две или три соседние фишки, выживает и переходит в следующее поколение;

2) *гибель.* Каждая фишка, у которой оказывается больше трех соседей, погибает, т. е. снимается с доски, из-за перенаселенности. Каждая фишка, вокруг которой свободны все соседние клетки или же занята только одна клетка, погибает от одиночества;

3) *рождение.* Если число фишек, с которыми граничит какая-нибудь пустая клетка, в точности равно трем (не больше и не меньше), то на этой клетке происходит рождение нового «организма», т. е. следующим ходом на нее ставится одна фишка.

Важно понять, что гибель и рождение всех «организмов» происходят одновременно. Вместе взятые, они образуют одно поколение или, как мы будем говорить, один «ход» в эволюции начальной конфигурации. Ходы Конуэй рекомендует делать следующим образом:

1) начать с конфигурации, целиком состоящей из черных фишек;

2) определить, какие фишки должны погибнуть, и положить на каждую из обреченных фишек по одной черной фишке;

3) найти все свободные клетки, на которых должны произойти акты рождения, и на каждую из них поставить по одной фишке белого цвета;

4) выполнив все эти указания, еще раз внимательно проверить, не сделано ли каких-либо ошибок, затем снять с доски все погибшие фишки (т. е. столбики из двух фишек), а всех новорожденных (белые фишки) заменить черными фишками.

Проделав все операции, вы получите первое поколение в эволюции первоначальной конфигурации. Аналогичным образом получаются и все последующие поколения. Теперь уже ясно, для чего нам нужны фишки двух цветов: поскольку рождение и гибель «организмов» происходят одновременно, новорожденные фишки никак не влияют на гибель и рождение остальных фишек, и поэтому, проверяя новую конфигурацию, необходимо уметь отличать их от «живых» фишек, перешедших из предыдущего поколения. Допустить ошибку, в особенности если вы играете впервые, очень легко. Со временем вы будете делать все меньше и меньше ошибок, однако даже опытные игроки должны очень внимательно проверять каждое новое поколение перед тем, как снимать с доски погибшие фишки и заменять черными фишками новорожденные белые.

Начав игру, вы сразу заметите, что популяция непрестанно претерпевает необычные, нередко очень красивые и всегда неожиданные изменения. Иногда первоначальная колония организмов постепенно вымирает, т. е. все фишки исчезают, однако произойти это может не сразу, а лишь после того, как сменится очень много поколений. В большинстве своем исходные конфигурации либо переходят в устойчивые (последние Конуэй называет «любителями спокойной жизни») и перестают изменяться, либо навсегда переходят в колебательный режим. При этом конфигурации, не обладавшие в начале игры симметрией, обнаруживают тенденцию к переходу в симметричные формы. Обретенные свойства симметрии в процессе дальнейшей эволюции не утрачиваются, а симметрия конфигурации может лишь обогащаться.

Конуэй высказал гипотезу, согласно которой не существует ни одной начальной конфигурации, способной беспредельно расти. Иначе говоря, любая конфигурация, состоящая из конечного числа фишек, не может перейти в конфигурацию, у которой число фишек превосходило бы некий конечный верхний предел. Это, наверное, наиболее глубокая и самая сложная задача, возникающая в игре «Жизнь».

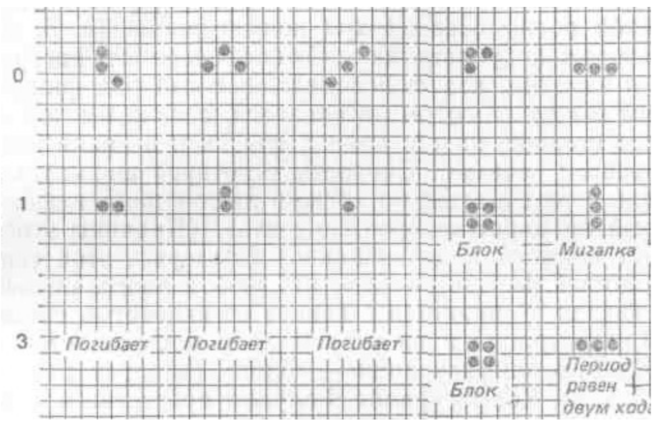


Рис. 129. Эволюция пяти триплетов.

В свое время Конуэй предлагал премию в 50 долларов тому, кто до конца 1970 г. первым докажет или опровергнет его гипотезу. Опровергнуть предположение Конуэя можно было бы, например, построив конфигурацию, к которой, следуя правилам игры, все время приходилось бы добавлять новые фишки. К ним можно отнести, в частности, «ружье» (конфигурацию, которая через определенное число ходов «выстреливает» движущиеся фигуры вроде «глайдера», о котором мы еще будем говорить) или «паровоз, пускающий дым из трубы» (движущаяся конфигурация, оставляющая за собой «клубы дыма»). Результаты соперничества за объявленный Конуэем приз обсуждаются в следующей главе.

Рассмотрим теперь, что же происходит с некоторыми простыми конфигурациями.

Одиночная фишка, а также любая пара фишек, где бы они ни стояли, очевидно, погибают после первого же хода.

Исходная конфигурация из трех фишек (мы будем называть ее триплетом), как правило, погибает. Выживает триплет лишь в том случае, если по крайней мере одна фишка граничит с двумя занятыми клетками. Пять триплетов, не исчезающих на первом же ходу, изображены на рис, 129. (При этом ориентация триплетов, т. е. как они расположены на плоскости — прямо, «вверх ногами» или косо, не играет никакой роли.) Первые три конфигурации (а, *б, в)* на втором ходу погибают. Относительно конфигурации *в* заметим, что любой диагональный ряд фишек, каким бы длинным он ни оказался, с каждым ходом теряет стоящие на его концах фишки и в конце концов совсем исчезает. Скорость, с которой шахматный король перемещается по доске в любом направлении, Конуэй называет «скоростью света». (Причины этого станут понятны в дальнейшем.) Пользуясь этой терминологией, можно сказать, что любой диагональный ряд фишек распадается с концов со скоростью света.

Конфигурация *г* на втором ходу превращается в устойчивую конфигурацию — «блок» (квадрат размером 2Х2). Конфигурация *д* служит простейшим примером так называемых «флип-флопов» (кувыркающихся конфигураций, возвращающихся в исходное состояние через каждые два хода). При этом она попеременно превращается то в вертикальный, то в горизонтальный ряд из трех фишек. Конуэй называет этот триплет «мигалкой».

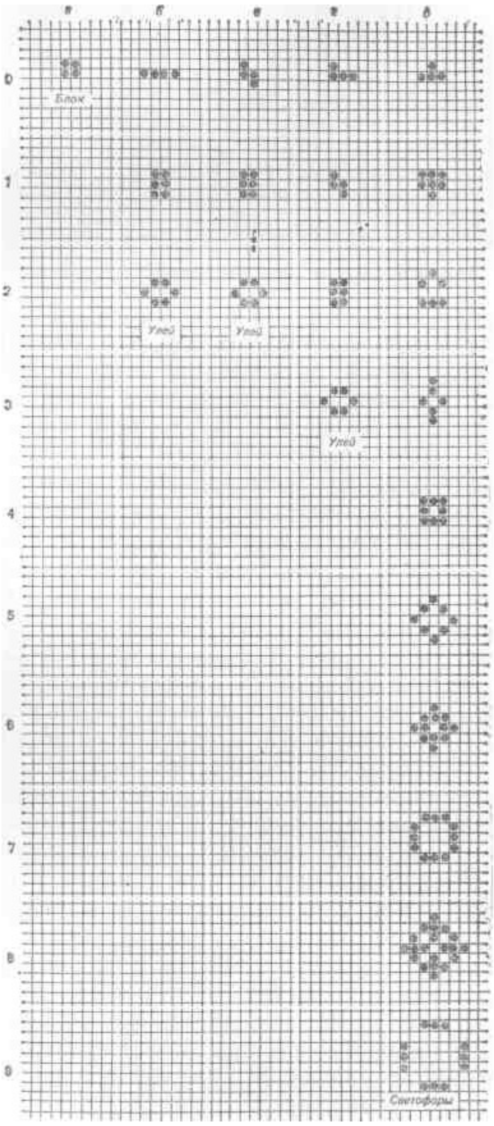


Рис. 130. Эволюция пяти тетрамино.

На рис. 130 изображена эволюция пяти тетрамино (четыре клетки, из которых состоит элемент тетрамино, связаны между собой ходом ладьи). Как мы уже видели, квадрат *а* относится к категории «любителей спокойной жизни». Конфигурации *б и в* после второго хода превращаются в устойчивую конфигурацию, называемую «ульем». Отметим попутно, что «ульи» возникают в процессе игры довольно часто. Тетрамино, обозначенное буквой *г,* также превращается в улей, но на третьем ходу. Особый интерес представляет тетрамино *д,* которое после девятого хода распадается на четыре отдельные «мигалки», Вся конфигурация носит название «навигационные огни», или «светофоры». «Светофоры» относятся к разряду флип-флопов и возникают в игре довольно часто. На рис. 131 представлены 12 наиболее часто встречающихся конфигураций из числа «любителей спокойной жизни» (т. е. устойчивых конфигураций).

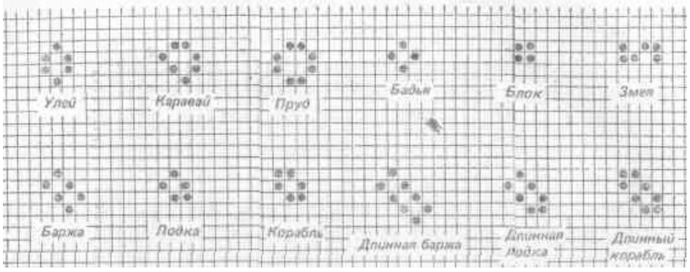


Рис. 131. Наиболее часто встречающиеся устойчивые конфигурации.

Предоставляем читателю самостоятельно поэкспериментировать на досуге с двенадцатью фигурами пентамино (фигуры, состоящие из пяти фишек, связанных между собой так, что их клетки можно обойти ходом ладьи) и посмотреть, во что они превращаются. Оказывается, что пять из них на пятом ходу погибают, две быстро переходят в устойчивые конфигурации из семи фишек, а четыре после небольшого числа ходов превращаются в «навигационные огни». Единственным исключением в этом смысле является элемент пентамино, имеющий форму буквы г (рис. 132), превращения которого заканчиваются не столь быстро (превращения конфигурации считаются исчерпанными, если та исчезает, переходит в устойчивую конфигурацию или начинает периодически пульсировать). Конуэй проследил развитие г-образного пентамино вплоть до четыреста шестидесятого хода, после которого данная конфигурация распалась на множество «глайдеров». Конуэй пишет, что «от фигуры осталось множество мертвых (не изменяющихся) обломков и лишь несколько малых областей, в которых все еще теплилась жизнь, так что отнюдь не очевидно, что процесс эволюции должен происходить бесконечно долго». Судьба этой конфигурации подробно проанализирована в «Дополнении» к этой главе.

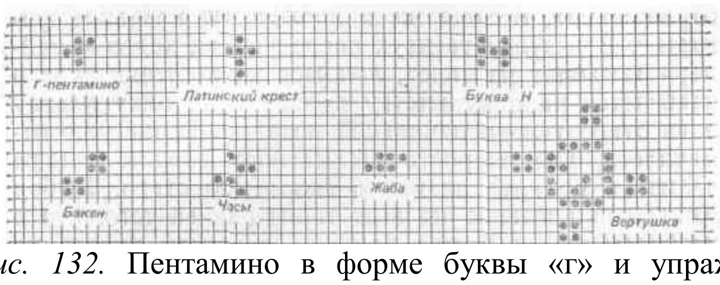


Рис. 132. Пентамино в форме буквы «г» и упражнения для читателей.

Изучая эволюцию подобного рода долгожителей, Конуэй иногда использует ЭВМ с дисплеем, на экране которого он может наблюдать все изменения, происходящие на игровом поле. Без машинной программы, которую составили М. Дж. Т. Гай и С. Р. Бурн, многие особенности игры могли бы быть обнаружены лишь с большим трудом.

В качестве простых упражнений я предлагаю читателям проследить до конца эволюцию следующих фигур, изображенных на рис. 132: «латинского креста», буквы «Н», «бакена», «часов», «жабы» и «вертушки». Последние три фигуры были обнаружены С.

Нортоном. Если перекладину в букве «Н» поднять на одну клетку вверх, чтобы получились «ворота» (или, как называет эту конфигурацию Конуэй, прописная буква «пи»), то произойдут совершенно неожиданные изменения. В противоположность букве «Н», эволюция которой заканчивается достаточно быстро, «ворота» оказываются весьма долгоживущей конфигурацией. Лишь после 173 ходов она распадается на пять «мигалок», шесть «блоков» и два «пруда». Конуэй проследил также эволюцию всех элементов гексамино и всех элементов гептамино, за исключением семи. При этом некоторые из элементов гексамино оказываются вовлеченными в эволюцию r-пентамино; например, этот элемент пентамино превращается в гексамино на первом же ходу.

Одним из самых замечательных открытий Конуэя следует считать конфигурацию из пяти фишек под названием «глайдер», изображенную на рис. 133. После второго хода «глайдер» немного сдвигается и отражается относительно диагонали. В геометрии такой тип симметрии называется «скользящим отражением», отсюда же и происходит название фигуры (От англ, to glide — скользить, — *Прим. Перев).* В результате двух последующих ходов «глайдер» «выходит из пике», ложится на прежний курс и сдвигается на одну клетку вправо и на одну клетку вниз относительно начальной позиции. Выше уже отмечалось, что скорость шахматного короля в игре «Жизнь» принято называть скоростью света. Выбор Конуэя пал именно на этот термин из-за того, что в изображенной им игре большие скорости просто не достигаются. Ни одна конфигурация не воспроизводит себя достаточно быстро, чтобы двигаться с подобной скоростью. Конуэй также доказал, что максимальная скорость по диагонали составляет одну четверть скорости света. Поскольку «глайдер» воспроизводит сам себя после четырех ходов и при этом опускается на одну клетку по диагонали, то говорят, что он скользит по полю со скоростью, равной одной четвертой скорости света.

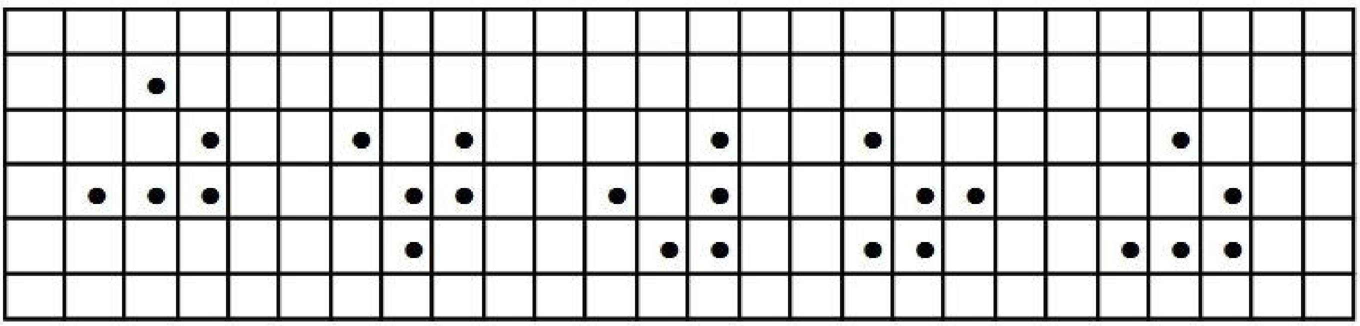


Рис. 133. «Глайдер».

Конуэй также показал, что скорость любой конечной фигуры, перемещающейся по вертикали или по горизонтали на свободные клетки, не может превышать половину скорости света. Сумеет ли читатель самостоятельно найти достаточно простую фигуру, которая движется с такой скоростью? Напомним, что скорость движения определяется дробью, в числителе которой стоит число ходов, необходимых для воспроизведения фигуры, а в знаменателе — число клеток, на которое она при этом смещается. Например, если какая-нибудь фигура за каждые четыре хода передвигается на две клетки по вертикали или по горизонтали, повторяя свою форму и ориентацию, то скорость такой фигуры будет равна половине скорости света. Надо сказать, что поиски перемещающихся по доске фигур — дело -чрезвычайно сложное. Конуэю известны всего четыре такие конфигурации, которые он называет «космическими кораблями». В их число входит уже известный нам «глайдер». («Глайдер» считается «космическим кораблем» легчайшего веса, потому что все остальные корабли состоят из большего числа фишек.) Подробно об этих конфигурациях я расскажу в разделе «Ответы».

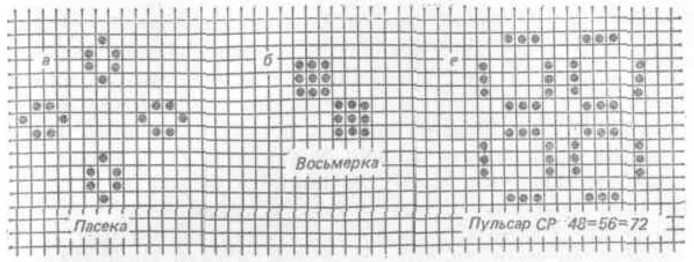


Рис. 134. Три замечательные конфигурации — устойчивая (а) и периодически пульсирующие (бив).

Три изящных фигуры, изображенные на рис. 134, были открыты самим Конуэем и его сотрудниками. «Пасека» (а) представляет собой устойчивую конфигурацию, в которую после 14 ходов превращается горизонтальный ряд из семи фишек. «Блок» (квадрат) размером 5Х5 после первого же хода превращается в конфигурацию, которая возникает лишь на четвертом этапе эволюции ряда из семи фишек. Поэтому «блок» становится «пасекой» после 11 ходов. «Восьмерка» (б) — это периодически восстанавливающая себя конфигурация, открытие которой принадлежит Нортону. Она не только по форме напоминает восьмерку, но и имеет период, равный восьми. Конфигурация, изображенная на рис. 134, в, называется «пульсар СР 48-56-72». Она также периодически восстанавливает себя через каждые три хода. Состояние пульсара, изображенное на рисунке, образовано 48 фишками; на втором этапе число фишек возрастает до 56, а на третьем — до 72, после чего пульсар снова возвращается в исходное состояние, а число фишек понижается до 48. Этот пульсар образуется после 32 ходов из элемента гептамино, имеющего вид растянутой буквы «П», т. е. горизонтального ряда из пяти фишек, у которого под первой и последней фишкой располагается еще по одной фишке.

Конуэй исследовал эволюцию всех горизонтальных рядов из *n* фишек вплоть до *n* = 20. Мы уже знаем, что происходит при *n* <=: 4. Ряд из пяти фишек переходит в «навигационные огни», ряд из шести фишек исчезает, из семи фишек получается «пасека», из восьми — четыре «улья» и четыре «блока», девять фишек превращаются в два комплекта «навигационных огней», а ряд, состоящий из десяти фишек, переходит в «пентадекатлон» — периодически воспроизводящую себя конфигурацию с периодом, равным 15. Ряд из одиннадцати фишек эволюционирует, превращаясь в две «мигалки»; двенадцать фишек в конце концов переходят в два «улья», а тринадцать — снова в две «мигалки». Если ряд состоит из 14 или 15 фишек, то он полностью исчезает, а если фишек 16, то получается большой набор «навигационных огней», состоящий из восьми «мигалок». Эволюция ряда из 17 фишек завершается возникновением четырех «блоков»; ряды, состоящие из 18 или 19 фишек, также полностью исчезают с доски, и, наконец, эволюция ряда из 20 фишек завершается появлением двух «блоков».

Конуэй исследовал также эволюцию рядов, образованных группами из *n* фишек, отделенными друг от друга одной пустой клеткой. При *n* = 5 фишки начинают взаимодействовать друг с другом, образуя различные интересные конфигурации. Бесконечные ряды с *n* = 1 или *n = 2* исчезают после первого же хода, а ряд вида ... —3—3—3—... превращается в ряд из одних лишь «мигалок». Если же *n* = 4, то соответствующий ряд переходит в устойчивый ряд «ульев».

Ряд 5—5 (т. е. два набора из пяти фишек, разделенные одной свободной клеткой) после двадцать первого хода превращается в «пульсар СР 48-56-72». Ряд 5—5—5 после 42 ходов переходит в четыре «блока» и четыре «мигалки»; в результате эволюции ряда 5—5—5—5 за 95 ходов получаются четыре «пасеки» и четыре «мигалки»; ряд 5—5—5—5—5 заканчивает свои превращения после 66 ходов эффектно разбросанными по доске восемью «глайдерами» и восемью «мигалками». Затем «глайдеры» попарно сталкиваются и, разрушаясь, через 86 ходов превращаются в восемь «блоков». Ряд, состоящий из шести групп по пяти фишек в каждой (т. е. ряд вида 5—5—5—5—5—5), после 99 ходов превращается в четыре «мигалки», а эволюция следующего ряда, по замечанию Конуэя, «если наблюдать ее на экране дисплея, представляет собой совершенно изумительное зрелище». Окончательная судьба этой конфигурации прослеживается в «Дополнении».

ОТВЕТЫ

«Латинский крест» погибает на пятом ходу. Буква «Н» также погибает после шести ходов. Следующие три конфигурации представляют собой «флип-флопы», т. е. конфигурации, периодически воспроизводящие самих себя. По словам самого Конуэя, «жаба» тяжело дышит, «часы» тикают, «бакен» зажигается, причем в каждом случае период равен двум. Внутренняя часть «вертушки» с каждым последующим ходом поворачивается на 90° в направлении движения часовой стрелки, а все внешние фишки остаются на своих местах. Подобные периодические конфигурации, в которых для движения их внутренней части необходимо наличие жестких внешних обводов, Конуэй называет «бильярдными столами», чтобы отличать их от «истинно периодических» конфигураций, таких, как, например, «жаба», «часы» и «бакен».

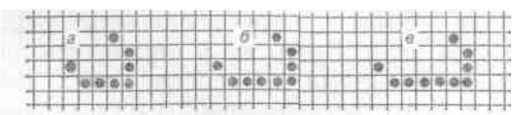


Рис. 135. «Космические корабли» легкого (а), среднего (б) и тяжелого (в) типов,

На рис. 135 показаны три «космических корабля» (помимо уже известного нам «глайдера», или «космического корабля легчайшего веса»). Все они передвигаются горизонтально слева направо со скоростью, равной половине скорости света. В полете из них вылетают «искры», которые тут же гаснут при дальнейшем движении «кораблей». Одиночные «космические корабли» без эскорта не могут занимать в длину более шести клеток, в противном случае на доске начинают появляться различные мелкие фигуры, препятствующие движению корабля. Конуэй обнаружил, однако, что более длинным «космическим кораблям» (которые он назвал «сверхтяжелыми») необходим эскорт из двух или большего числа «кораблей» меньших размеров. «Корабли» эскорта не дают возникать различным препятствиям на пути «сверхтяжелого космического корабля». На рис. 136 изображен самый большой «космический корабль», для которого достаточно двух эскортирующих «кораблей» меньшего размера. Для более длинных «кораблей» необходима целая флотилия эскортирующих «кораблей». Конуэй рассчитал, что «космический корабль» с корпусом длиной в сто фишек требует эскорта, состоящего из тридцати трех «кораблей» меньших размеров.

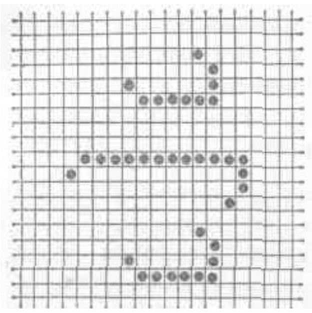
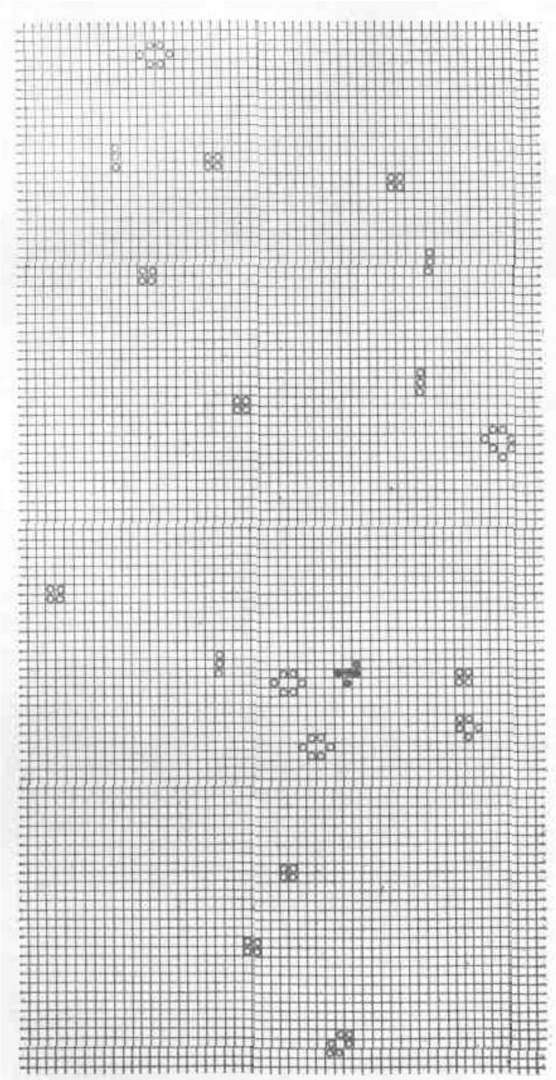


Рис. 136. Сверхтяжелый «космический корабль», эскортируемый двумя тяжелыми «космическими кораблями».

ДОПОЛНЕНИЕ

Материалы моей колонки в журнале *Scientific 'American* за 1970 г., посвященные игре «Жизнь», вызвали такой мощный взрыв энтузиазма среди самых различных пользователей ЭВМ, что к настоящему времени всеобщее повальное увлечение анализом на ЭВМ различных форм «Жизни», по крайней мере в США, оценивается миллионами долларов, растраченными впустую на используемое потихоньку машинное .время. Один из таких энтузиастов, чье имя я по вполне понятным причинам оставляю в секрете, признался мне, что даже установил у себя под столом специальный секретный переключатель. Как только кто-нибудь из начальства подходил к его рабочему, месту, он моментально нажимал кнопку и сразу же стирал с экрана дисплея очередную картинку игры «Жизнь», переводя ЭВМ с игровой программы «Жизни» на задачи, которыми занималась его фирма. Следующие две главы также посвящены различным аспектам этой игры. Здесь же я ограничусь лишь некоторыми замечаниями по поводу двух вопросов, оставленных без ответа в первой части главы.

Из всех фигур, изображенных на рис. 132, наиболее сложной следует считать пентамино в форме буквы r.



Рио. 137. Начальное (черные кружки) и конечные (светлые кружки) состояния эволюции г-образного пентамино, (Шесть «глайдеров» уже скрылись из виду.)

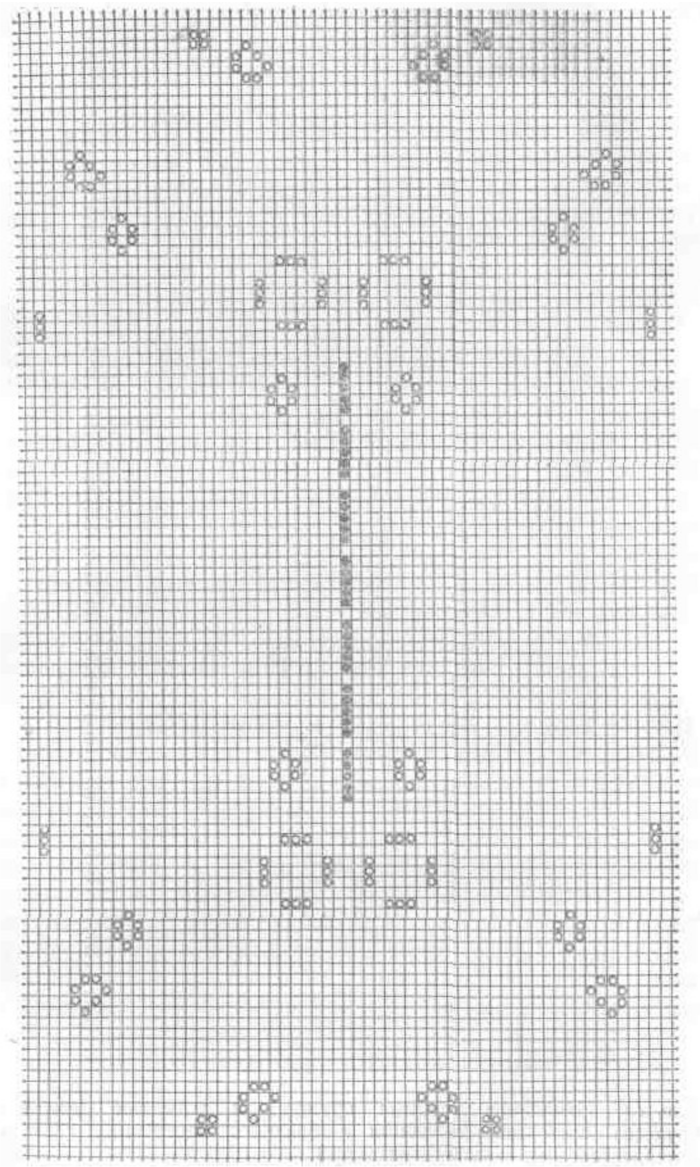


Рис. 138. Начальное (черные кружки) и конечное (светлые кружки) состояния ряда 5—5—5—5—5—5—5.

Оно превращается в периодически пульсирующую конфигурацию с периодом, равным двум, лишь после 1103 ходов. При этом шесть возникших на доске «глайдеров» удаляются от центра на все большее и большее расстояние, и в конце концов вокруг бывшего пентамино остаются (рис. 137) четыре «мигалки», один «корабль», одна «лодка», один «каравай», четыре «улья» и восемь «блоков». Этот результат впервые был получен Г. Филипски и Б. Морганом из университета Кэйса, позднее его подтвердили несколько групп исследователей в США и в других странах.

Эволюция ряда 5—5—5—5—5—5—5 впервые независимо друг от друга была исследована Р. Т. Уэйнрайтом и группой специалистов из фирмы Honeywell Computers; позднее их результаты были повторены и многими другими исследователями. После 323 ходов данная конфигурация превращается в периодически пульсирующую конфигурацию (с периодом, равным двум), состоящую из четырех «навигационных огней», восьми «мигалок», восьми «караваев», восьми «ульев» и четырех «блоков». На рис. 138 воспроизведена распечатка ЭВМ, на которой представлен заключительный этап эволюции системы — конфигурация, насчитывающая 192 фишки. Поскольку симметрия начальной конфигурации не утрачивается в процессе ее последующей эволюции, расположение фишек на рис. 138 сохраняет вертикальную и горизонтальную оси симметрии, которыми обладала исходная конфигурация. При этом число фишек достигает максимума (492 фишки) в двести восемьдесят третьем поколении.

ГЛАВА 21

ИГРА «ЖИЗНЬ». ЧАСТЬ II

Теория клеточных автоматов берет свое начало с середины пятидесятых годов, когда Джон фон Нейман поставил перед собой задачу доказать возможность существования самовоспроизводящихся автоматов. Если такую машину снабдить надлежащими инструкциями, она построит точную копию самой себя. В свою очередь обе эти машины смогут построить еще две; четыре машины построят восемь и т. д. (Это распространение самовоспроизводящихся автоматов является темой захватывающего романа Лорда Дансени «Последняя революция», написанного в 1951 г.) Нейман впервые доказал возможность существования таких машин с помощью «кинематических» моделей машины, способной передвигаться по складу запасных частей, отбирать необходимые детали и собирать новые машины, как две капли воды похожие на нее. Позднее, воспользовавшись идеей, высказанной его другом С. Уламом, фон Нейман дал более изящное и абстрактное доказательство возможности существования самовоспроизводящихся машин.

В новом доказательстве Неймана существенно использовалось понятие «однородного клеточного пространства», эквивалентного шахматной доске бесконечных размеров. Каждая клетка такого пространства может находиться в любом, но конечном числе «состояний», в том числе и в состоянии покоя (называемом пустым, или нулевым, состоянием). На состояние любой клетки оказывает воздействие конечное число соседних клеток. Во времени эти состояния пространства изменяются дискретно, в соответствии с некоторыми «правилами перехода», которые необходимо применять ко всем клеткам. Клетки соответствуют основным частям автомата с конечным числом состояний, а конфигурация из «живых» клеток — идеализированной модели такого автомата. Именно в таком клеточном пространстве и развертывается действие придуманной Конуэем игры «Жизнь». Соседними для каждой клетки в «Жизни» считаются 8 непосредственно окружающих ее клеток. Каждая клетка может находиться в двух состояниях (либо на ней стоит фишка, либо она пуста). При этом правила перехода определяются генетическими законами Ко-нуэя — рождением, гибелью и выживанием фишек, о которых я рассказал в предыдущей главе. Применяя правила перехода к пространству, каждая клетка (или ячейка) которого могла находиться в 29 состояниях и имела 4 соседние клетки (примыкающие к данной по вертикали и горизонтали), Нейман доказал существование самовоспроизводящейся конфигурации, состоящей примерно из 200000 клеток.

Причина столь чудовищных размеров конфигурации объяснялась тем, что Нейман намеревался применить свое доказательство к реальным автоматам и специально подобрал клеточное пространство, способное имитировать машину Тьюринга — идеальный автомат, названный так в честь его изобретателя, английского математика А. М. Тьюринга, и способный производить любые вычисления. «Погрузив» универсальную машину Тьюринга в созданную им конфигурацию, Нейман получил возможность создать «универсальный конструктор», способный построить любую конфигурацию в пустых клетках пространства, в том числе и точную копию самого себя. За время, прошедшее после смерти Неймана (последовавшей в 1957 г.), предложенное им доказательство существования самовоспроизводящейся системы (речь идет именно о «чистом» доказательстве существования, а не о построении используемой в доказательстве Неймана конфигурации) удалось значительно упростить. Рекордным по простоте явилось доказательство, найденное выпускником инженерного факультета Массачусетского технологического института Э. Р. Бэнксом. В нем используются ячейки, которые могут находиться лишь в четырех состояниях.

Самовоспроизведения в тривиальном смысле — без использования конфигураций, включающих в себя машину Тьюринга,— добиться легко. Удивительно простой пример «тривиальной» самовоспроизводящейся системы предложил примерно в 1960 г. Э. Фрид-кин, также из Массачусетского технологического института. В этой системе ячейки могут находиться лишь в двух состояниях, причем любая из них, как и в примере Неймана, имеет четырех соседей, а правила перехода сводятся к следующему. Каждая клетка, имеющая в момент времени t четное число (О, 2, 4, ...) живых соседей, в момент времени $t + 1$ становится пустой (т. е. переходит в нулевое состояние или, если она уже находилась в нулевом состоянии, остается в нем). Каждая клетка, имеющая в момент времени t нечетное число (1, 3, 5, ...) соседей, в момент времени $t + 1$ становится живой (т. е. переходит в ненулевое состояние или сохраняет его, если она уже в нем находилась). Нетрудно показать, что через 2" ходов (число п зависит от выбора конфигурации) любая исходная конфигурация живых клеток воспроизведет себя четыре раза: одна копия расположится справа, другая — слева, третья — сверху, четвертая — снизу от того (уже пустого) места, где находилась начальная конфигурация. Все четыре копии заимствуют 2" клеток у исчезнувшего организма-оригинала. Новая конфигурация через 2" шагов снова размножится (с коэффициентом воспроизводства, равным 4) и т. д. При этом число копий увеличивается в геометрической прогрессии 1, 4, 16, 64, ... На рис. 139 показаны два цикла размножения тримино в форме прямого угла. В 1967 г, Т. Виноград, тогдашний студент Массачусетского технологического института, в своей курсовой работе обобщил правила Фридкина на любое число соседей, а также на произвольную схему примыкания соседних клеток и на любое число измерений (результаты Винограда относятся к клеткам, число состояний которых характеризуется простыми числами).

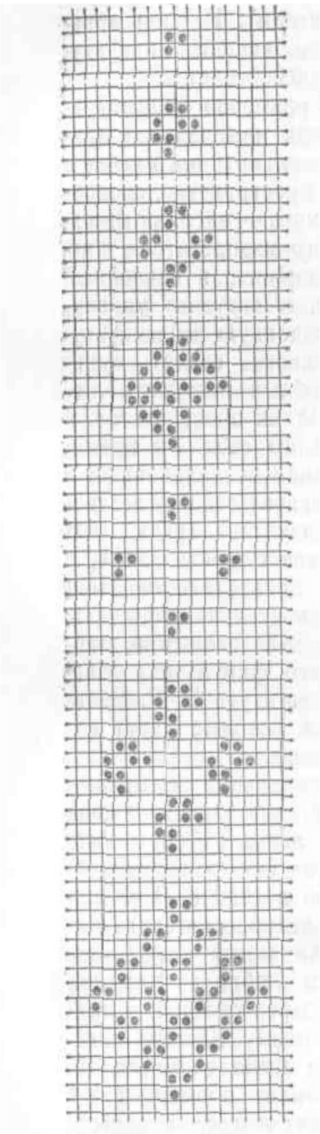


Рис.139. Размножение тримино.

Множество автоматов такого рода, отличающихся друг от друга схемой примыкания соседних клеток, числом состояний и правилами перехода, исследовал С. Улам. В опубликованной им (совместно с Р. Г. Шрандтом) в 1967 г. статье «О рекурсивно определенных геометрических объектах и схемах роста» Улам описал несколько различных игр. На рис. 140 показано 45-е поколение организма, родившегося из одной-единственной фишки, стоявшей на центральной клетке. Как и в игре Конуэя, клетки в игре Улама могут находиться в двух состояниях, однако соседними считаются клетки, примыкающие к данной лишь по вертикали и по горизонтали, но не по диагонали («соседи» в представлении Неймана). Рождение фишки происходит на клетке, имеющей одного и только одного соседа, а все клетки n-го поколения погибают после рождения *(n* + 2) -го поколения. Иначе говоря, на любом этапе эволюции выживают лишь два последних поколения. На рис, 140 черными изображены новорожденные клетки — общее число их составляет 444. Белые клетки предыдущего поколения — их 404 — исчезнут на следующем ходу, Обратите внимание на характерную деталь конфигурации, которую Улам назвал «обглоданной костью», Улам проводил эксперименты и с такими играми, в которых две конфигурации могли расти до тех пор, пока они не сталкивались. В следовавшей за столкновением «битве» одной стороне иногда удавалось одержать верх над другой, в других же случаях обе армии исчезали. Улам рассмотрел также игры на трехмерных досках — кубических «мозаиках», заполняющих все пространство. Основные результаты собраны в его статьях, опубликованных в сборнике «Очерки теории клеточных автоматов» (Essays on Cellular Automata. Ed. by Arthur W. Burks,— University oi Illinois Press, 1970).

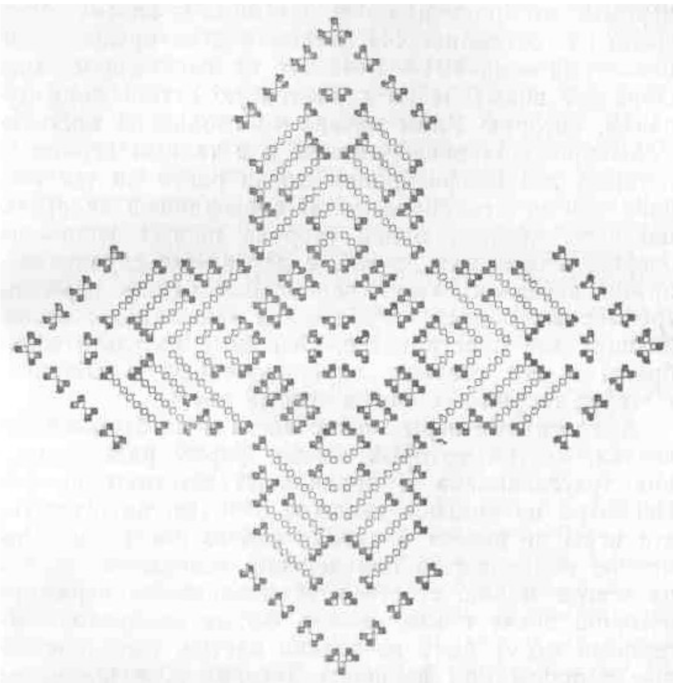


Рис. 140. Конфигурация в клеточной игре, предложенной С. Уламом, которая возникает в 45-м поколении.

Аналогичные игры можно вести и на бесконечных досках, клетки которых имеют форму равносторонних треугольников и правильных шестиугольников. Несмотря на сильное внешнее отличие, по существу эти игры не вносят в анализ ничего нового, и с помощью подходящего определения «соседних» клеток их всегда можно свести к эквивалентным играм на обычной доске с клетками в форме квадратов. Соседними могут быть не только клетки, имеющие общие стороны или вершины. Например, в шахматах для клетки, на которой стоит конь, соседними (т. е, влияющими на ее состояние) считаются все клетки, на которые можно пойти конем или на которых стоят угрожающие ему фигуры. Как заметил А. Беркс, такие игры, как шахматы, шашки и го, допустимо рассматривать как клеточные автоматы со сложными окрестностями каждой клетки (окрестностью называется совокупность соседей) и правилами перехода. Противники, делая очередной ход, выбирают среди множества допустимых состояний то, которое должно привести их к определенному конечному состоянию — выигрышу.

Среди наиболее значительных вкладов в теорию клеточных автоматов самую громкую известность получил предложенный Э. Ф. Муром способ доказательства существования конфигураций, которые Дж.
У. Тьюки назвал «садами Эдема». Эти конфигурации не могут возникать в процессе игры, поскольку никакая предшествующая конфигурация отличного от них типа не может их породить, «Сады Эдема» должны быть заданы с самого начала — в нулевом поколении. Поскольку конфигурации такого типа не имеют «предшественников», они не могут быть самовоспроизводящимися. Подробно метод Мура изложен в его популярной статье «Математика в биологических науках», опубликованной в *Scientific American* (September 1964). Более строгое изложение этого метода приведено в уже упоминавшемся сборнике под редакцией А. Беркса (см. примечание на стр. 308).

Алви Р. Смит, специалист по теории клеточных автоматов из Нью-Йоркского университета, обнаружил простой способ, позволяющий применять метод Мура к игре Конуэя. Рассмотрим два квадрата размером 5Х5 клеток. У одного из них все клетки свободны, а на центральном поле другого стоит одна фишка. Поскольку уже на следующем ходе 9 центральных клеток обоих квадратов обязательно должны оказаться идентичными (в данном случае все эти клетки будут просто пустыми), про такие квадраты обычно говорят, что они «взаимно уничтожаемы». Из теоремы Мура следует, что конфигурация типа «сад Эдема» должна возникать в игре Конуэя. К сожалению, доказательство этой теоремы ничего не говорит р том, как найти «сады Эдема», и они до сих пор не обнаружены. Конфигурация типа «сад Эдема» может оказаться и простой, и чрезвычайно сложной. С помощью одной из выведенных Муром формул Смит сумел доказать, что такую конфигурацию всегда можно заключить в квадрат со стороной в 10 миллиардов клеток, но и этот результат ненамного облегчает поиски указанной конфигурации.

Сам Смит работает над созданием клеточных автоматов, имитирующих машины для распознавания образов. Хотя сегодня такая проблема может показаться имеющей лишь чисто теоретический интерес, вполне возможно, что наступит время, когда органам зрения роботов потребуется своего рода «сетчатая оболочка» для распознавания образов. Скорости современных сканирующих устройств весьма малы по сравнению со скоростью «параллельных вычислений», которую обеспечивает сетчатка глаз животных, передающая в их мозг одновременно тысячи различных сигналов. Параллельный режим работы представляет собой фактически единственную возможность значительно повысить быстродействие современных вычислительных машин, поскольку без параллельного функционирования их быстродействие ограничено сверху предельной скоростью распространения электромагнитных сигналов в схемах миниатюризации, а именно, скоростью света. Обложка февральского номера журнала *Scientific American* за 1971 г., воспроизведенная на рис. 141, хорошо иллюстрирует возможности предложенной Смитом простой процедуры, с помощью которой параллельный режим работы используется в конечном одномерном клеточном пространстве для распознавания симметрии палиндромов. Каждая клетка при этом обладает некоторым множеством состояний (число их зависит от количества различных символов, которые могут появиться в структуре палиндрома), а соседними по отношению к данной клетке оказываются лишь две клетки, лежащие по разные стороны от нее.

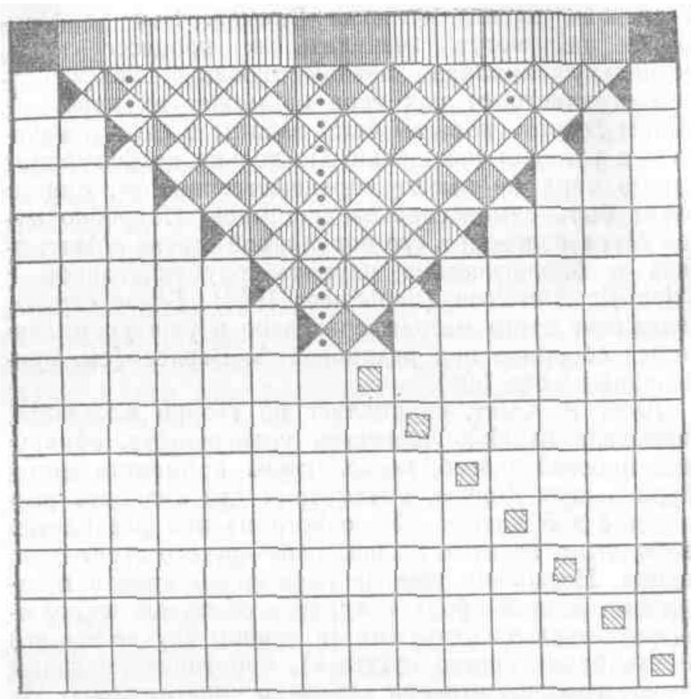


Рис. 141. Клеточный автомат.

Смит символически представляет палиндром «ТОО НОТ ТО НООТ» («Слишком жарко, чтобы улюлюкать» — *англ.)* с помощью клеток, расположенных в верхнем ряду чертежа. При этом каждая клетка всей диаграммы может оказаться в четырех различных состояниях: буквы Т, О и Н представляются, соответственно, голубым, красным и желтым цветом, а черный цвет обозначает начало и конец палиндрома. На нашем рисунке цвета каждой клетки различаются между собой частотой штриховки. Белые клетки в нижних рядах — это состояния покоя, или пустые клетки. Горизонтальные ряды клеток, располагающиеся под исходным рядом характеризуют собой структуру последующих поколений, возникающих в процессе эволюции верхней конфигурации (для дискретных временных шагов) при условии выполнения определенных правил перехода. Другими словами, данный рисунок представляет собой пространственно-временную диаграмму эволюции верхнего ряда клеток, где каждый последующий ряд клеток характеризует следующее поколение в процессе превращений начальной конфигурации.

При первом переходе каждый вид штриховки [(цвет) на нашей схеме сдвигается на одну клетку влево и на одну клетку вправо, за исключением концевых оттенков, которые блокируются черным цветом; при этом на очередном шаге эволюции черные клетки могут смещаться только по направлению внутрь конфигурации. Каждая клетка, с которой контактируют два вида штриховки, переходит в новое состояние, которое символически обозначается путем деления клетки на четыре одинаковых треугольника. При этом левый треугольник окрашивается в цвет, который на предыдущем этапе располагался слева, а на правый треугольник переходит цвет, располагавшийся ранее справа. Результат, получившийся после первого хода, показан на клетках второго ряда. Отметим также, что если соседняя пара клеток образует на своей границе (в центре) наклонный квадрат, целиком заштрихованный одинаково, это указывает на «столкновение» одинаковых цветов и символически обозначается двумя черными точками, которые ставятся в верхнем и нижнем белых треугольниках, оставшихся в левой клетке. Черные точки в указанной клетке сохраняются и во всех последующих поколениях, пока справа, в непосредственном соседстве от этой клетки вновь не произойдет столкновение различных видов штриховки (т. е. цветов на исходной картинке) — тогда черные точки в клетке стираются. В случае, когда имеет место столкновение различных цветов, точки в левой клетке пары не возникают во всех последующих поколениях, даже если справа от нее на более поздних этапах сталкиваются два одинаковых цвета.

При каждом ходе соответствующие оттенки перемещаются на одну клетку влево или вправо (в направлении, которое указывают закрашенные треугольники того же цвета) и, в соответствии с описанными выше правилами, вся процедура повторяется вновь. Если палиндром состоит из n букв, где n — четное, как в нашем примере (в случае нечетного n описанная схема слегка видоизменяется), то легко убедиться, что после п/2 ходов сохраняются лишь две соседние клетки, находящиеся в «возбужденном» состоянии. Если в левой клетке этой пары оказываются черные точки, то, следовательно, автомат распознал палиндромный характер первоначального ряда клеток (букв). В центре диаграммы можно видеть, как «сталкиваются» пары одинаковых оттенков в том же самом порядке, как они идут в исходном палиндроме в направлении от центра к левому и правому его концам. Как только распознавание произошло, левая клетка последней пары стирается, а правая клетка переходит в состояние «да», символически обозначенное здесь заштрихованным квадратом, вложенным в соответствующую клетку. Если же черные точки в левой клетке отсутствуют, то это будет служить признаком того, что исходная конфигурация не является палиндромом. В этом случае левая клетка становится пустой, а правая переходит в состояние «нет».

Машине Тьюринга, которая производит вычисления последовательно, для распознавания полиндрома длины *n* требуется, вообще говоря, n^2 шагов. При этом, хотя распознавание имеет место на шаге п/2, клетки в состоянии «да» на диаграмме в последующих поколениях постепенно сдвигаются вправо, что символизирует переход состояния «да» от клетки к клетке по направлению к внешней границе клеточного пространства. Конечно, не представляет большого труда разработать более эффективные устройства для распознавания палиндромов с использованием реальной электронной аппаратуры, однако в данном случае проблема состоит в том, чтобы проделать это в совершенно абстрактном одномерном клеточном пространстве, в котором информация может передаваться только от данной клетки к соседним клеткам, причем в самом начале нам не известен даже центр первоначальной последовательности символов. Как заключает Смит, переходя на чисто бытовые сравнения, после первого шага каждая из трех клеток с точками «пытается вообразить», будто как раз она находится в центре палиндрома. В то же время крайние клетки с точками на следующем шаге «испытывают горькое разочарование» вследствие столкновения различных видов штриховки (цветов) с их правой стороны. Поэтому клетка с точками, лежащая в центре, может узнать, что она действительно располагается в центре палиндрома только в *n/2* поколении.

А теперь несколько слов о поразительных результатах, полученных при анализе игры Конуэя. Сам Конуэй был прекрасно осведомлен об опыте своих предшественников при разработке такого рода игр. Поэтому он, учтя все их достоинства и недостатки, при выборе своих рекурсивных правил (генетических законов) постарался прежде всего избежать двух крайностей: слишком большого числа конфигураций с быстрым и неограниченным ростом, а также слишком большого числа конфигураций, которые быстро исчезают. Приняв во внимание все эти факторы, он сумел разработать игру, отличающуюся удивительной степенью непредсказуемости и порождающую такие замечательные объекты, как пульсирующие конфигурации и мчащиеся космические корабли. Как я уже отмечал, в свое время Конуэй высказал предположение о том, что не существует ни одной исходной конфигурации, состоящей из конечного числа фишек, которая могла бы беспредельно расти (по числу фишек), пообещав награду тому, кто либо докажет, либо опровергнет это предположение.

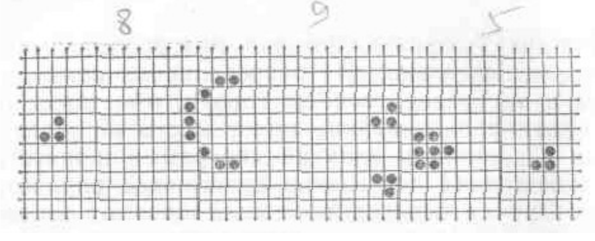


Рис. 142. Конфигурация, превращающаяся в «глайдерное ружье».

В ноябре 1970 г. Конуэю пришлось выдать обещанную премию группе математиков из Массачусетского технологического института, занимавшейся проблемами искусственного интеллекта. В эту группу входили Р. Эйприл, М. Билер, Р. У. Госпер, Р. Ха-уэлл, Р. Шроппель и М. Спесинер. С помощью разработанной Спесинером программы для вывода на экран дисплея ЭВМ последовательных этапов эволюции различных конфигураций Госпер сделал поистине поразительное открытие: он обнаружил «ружье», стреляющее «глайдерами»! На рис. 142 изображена конфигурация, которая превращается в такое «ружье». На сороковом ходу из «ружья» вылетает первый «глайдер», через каждые 30 ходов — следующий «глайдер» и так до бесконечности. С появлением ; каждого «глайдера» число фишек на доске увеличивается на 5, в результате чего происходит неограниченный рост популяции.

«Глайдерное ружье» позволило его создателям совершить много других замечательных открытий. На серии распечаток (присланных мне Р. Т. Уэйнрайтом из Йорктаун Хайте, шт. Нью-Йорк), которые представлены на рис. 143, показано столкновение 13 «глайдеров». Рассыпавшись на части, они превращаются... в «глайдерное ружье»! На последней схеме «глайдерное ружье» ведет огонь, выстреливая один «глайдер» за другим. Та же группа исследователей обнаружила «пентадекатлон;» (рис, 144) — пульсирующую конфигурацию с периодом, равным 15, способную «поглотить» любой сталкивающийся с ней «глайдер». «Пентадекатлон» может также отражать «глайдер», изменяя курс последнего на 180°. Расположив друг против друга два «пентадекатлона», можно провести между ними «теннисный матч»: они будут перекидывать «глайдер» как теннисный мячик. Совершенно неожиданные результаты возникают при рассмотрении пересекающихся потоков «глайдеров»: появляющиеся вновь конфигурации могут быть самыми причудливыми и в свою очередь испускать «глайде-ры». Иногда конфигурация, образующаяся при пересечении потоков «глайдеров», начинает расти и, расширяясь, поглощает все «ружья». В других случаях осколки, вылетающие из области, в которой происходит пересечение потоков, могут вывести из строя одно или несколько «ружей». Последнее достижение группы из Массачусетского технологического института, убедительно свидетельствующее об их виртуозности,— хитроумная комбинация из восьми «ружей». В пересечении создаваемых ими потоков «глайдеров» возникает целый «завод» «космических кораблей» среднего типа, а каждые 300 ходов происходит даже «запуск» такого «корабля»!

Создание «глайдерных ружей» открывает удивительную возможность, используя игру Конуэя, смоделировать машину Тьюринга — универсальную вычислительную машину, способную (по крайней мере, в принципе) производить все те действия, которые только доступны самым совершенным из современных ЭВМ. Идея заключается в том, чтобы использовать «глайдеры» в качестве единичных импульсов для хранения и передачи информации, а также для выполнения необходимых логических операций, допускаемых схемными элементами реальных вычислительных машин. Если с помощью игры Конуэя окажется возможным создать машину Тьюринга, то сразу же встает вопрос о создании универсального конструктора, позволяющего создавать такие машины, которые могли бы полностью копировать и воспроизводить самих себя. До сих пор никому не удалось «построить» машину Тьюринга в пространстве, клетки которого могут находиться лишь в двух состояниях, а .«соседство» клеток понимается по Конуэю (т. е. они должны иметь либо общую сторону, либо общую вершину). Вместе с тем, ранее было доказано, что в пространстве, все клетки которого могут находиться в двух состояниях, а «близость» клеток понимается по Нейману, построить машину Тьюринга невозможно.

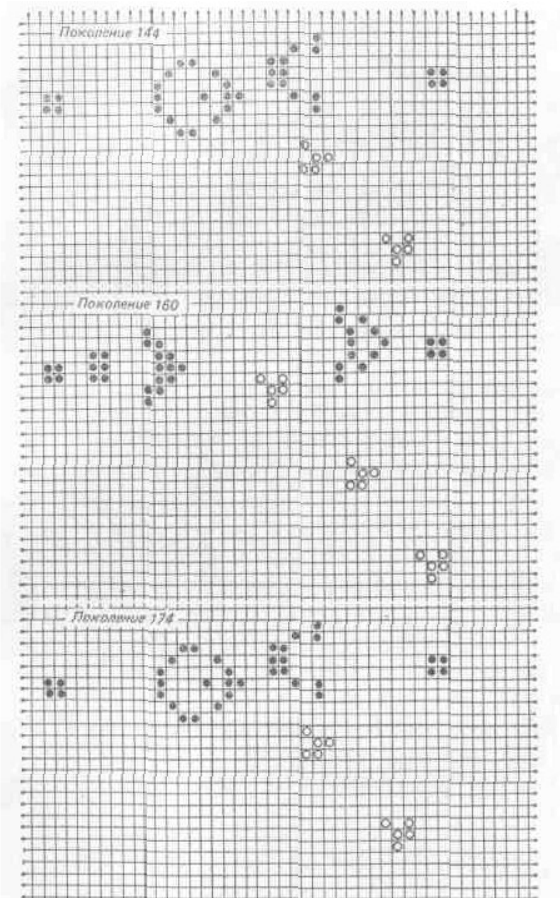


Рис. *143.* Тринадцать «глайдеров» терпят аварию, образуя «глайдерное ружье» (75-е поколение), которое осциллирует с периодом 30, выстреливая в конце каждого периода один «глайдер».

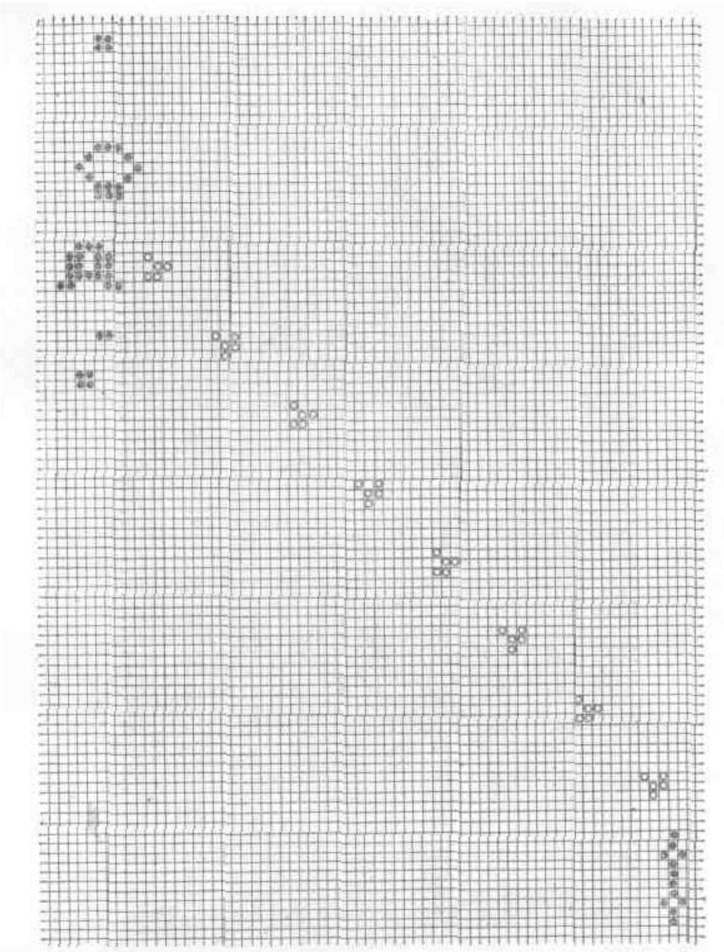


Рис. 144. «Пентадекатлон» (в правом нижнем углу) «пожирает» «глайдеры», выстреливаемые из «ружья».

Группа ученых из Массачусетса открыла много других периодически изменяющихся конфигураций (рис. 145). Одна из них, получившая название «палка», имеет период, равный 2, и представляет собой одну из разновидностей «флип-флопов». При этом ее можно как угодно растягивать, а каждое из двух ее состояний является зеркальным отражением другого.

Рис. 145. «Палка» *(а),* «осциллятор Герца» (б) и «опрокидыватель» (в).

Вторая конфигурация была еще раньше открыта Конуэем — это так называемый «осциллятор Герца». После каждых четырех ходов светлая точка перемещается к противоположной стороне внутренней рамки, в результате чего вся фигура «осциллирует» с периодом, равным 8. Третья конфигурация, которую обнаружил Дж. Д. Коллинс из Маклина, шт. Вайоминг, называется «опрокидыватель», потому что каждые 7 ходов у нее меняются местами верх и низ.

«Чеширского кота» (рис. 146) открыл К. Р. Томп-кинс из Короны, шт. Калифорния. На шестом ходе *(ж)* от кота остается лишь «улыбка», а «морда» совершенно исчезает. Следующим ходом «улыбка» тоже уничтожается, и лишь неизменный «блок» (з) — отпечаток кошачьей лапы — напоминает о том, что некогда на этом месте находился кот. «Жнейка», изображенная на рис. 147, была «построена» Д. У. Пойнером из Великобритании. Как видно из рисунка, она движется снизу вверх по бесконечной диагонали со скоростью света, осциллируя с периодом, равным 4, и оставляя за собой вдоль всего пути устойчивые фигуры, символически изображающие снопы. «К сожалению,— пишет изобретатель «жнейки»,— мне не удалось создать «сеятеля» — движущуюся фигуру, которая могла бы засевать поле с той же скоростью, с которой жнейка его убирает».

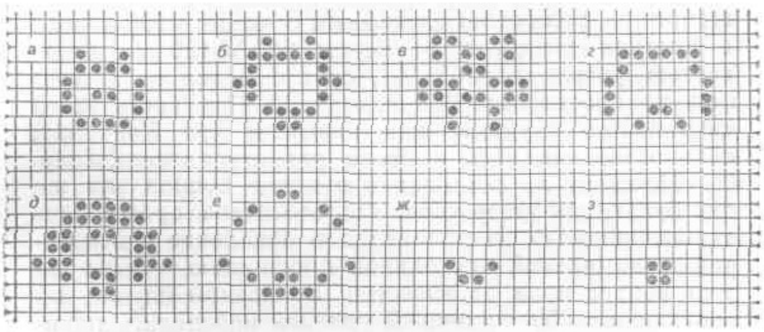


Рис. 146. Исчезновение «чеширского кота» (а), от которого остается лишь его «улыбка» *(ж),* которая в свою очередь также пропадает, превращаясь в отпечаток «кошачьей лапы» (з),

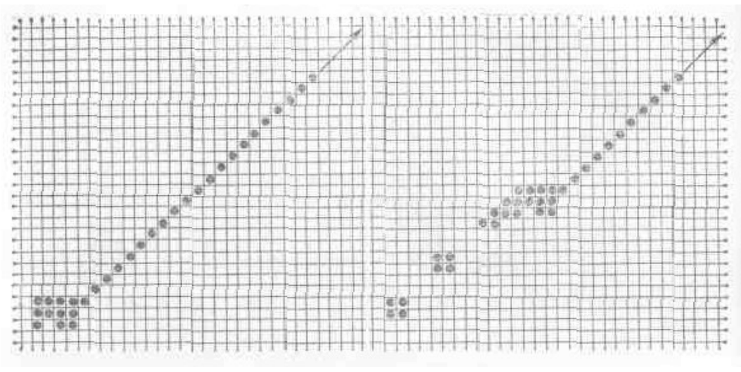


Рис. 147. «Жнейка» в нулевом (слева) и в десятом (справа) поколениях.

Р. Уэйнрайт, о котором я упоминал выше, также является автором многих любопытных исследований. Например, разместив случайным образом 4800 фишек в клетках квадрата размером 120X120 (с *плот-костью* фишек, равной 1/3), он проследил их эволюцию на протяжении 450 поколений. Плотность этого «первичного студня», как называет его Уэйнрайт, сильно уменьшилась и стала равняться всего лишь 1/6. Исчезнут ли все фишки в конце концов или же они будут, как утверждает исследователь, продолжать «просачиваться» из поколения в поколение с некоторой минимальной постоянной плотностью — ответ на этот вопрос пока не известен. Во всяком случае, на протяжении 450 поколений удалось проследить появление 42 «короткоживущих» «глайдеров». Уэйнрайту удалось обнаружить также 14 конфигураций, которые после первого хода превращаются в один или несколько «глайдеров». Больше всего «глайдеров» (а именно, 14) получается из фигуры, показанной на рис. 148, а. Конфигурация в форме буквы Z, найденная Коллинсом и Дж. Ландом из Пиуоки, шт. Висконсин (рис. 148,б), после 12 ходов превращается в два «глайдера», которые разлетаются в противоположных направлениях. Тот же Уэйнрайт установил, что если два «глайдера» следуют наперерез друг другу так, как это показано на рис. 148, *в,* то после четвертого хода все фишки с доски исчезают. Наконец, если два «легких космических корабля» движутся опасным курсом, ведущим к их столкновению [(рис. 148,г), то после седьмого хода доска оказывается абсолютно пустой, как и в случае столкновения двух «глайдеров». (Этот факт установил У. У. Вагнер из Анахейма, шт. Калифорния.)

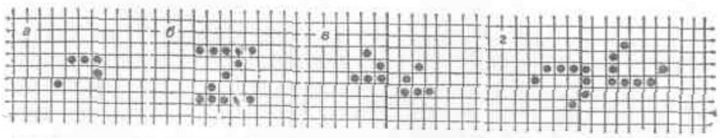


Рис. 148. Каждая из конфигураций (а и б) превращается в «глайдеры». Справа показаны два «глайдера» перед столкновением.

Уэйнрайт, кроме того, экспериментировал с разными бесконечными полями, заполняя их правильными устойчивыми фигурами. Такие конфигурации он назвал агарами (Агар — бесцветный или желтоватый твердый продукт, получаемый из некоторых морских водорослей, хорошо растворяется в горячей воде, образуя гели (студни). Применяется в качестве питательной среды для выращивания бактерий,— *Прим. Перед)*. Если, например, в агар, изображенный на рис. 149, поместить один-единственный «вирус» (т. е. одну фишку), причем так, чтобы он касался вершин четырех «блоков», то агар уничтожит «вирус», а через два хода восстановит свой прежний вид. Если же «вирус» поместить в клетку так, как это показано на рисунке (или же в любую из семи других клеток, симметрично расположенных вокруг «блоков»), то начнется неизбежное разрушение агара. «Вирус» постепенно поглотит внутри агара все активные участки, оставив на поле пустую двусторонне-симметричную область, несколько напоминающую овал. Ее граница будет непрерывно расширяться во все стороны со «скоростью света», причем не исключено, что это расширение будет происходить бесконечно долго. Наиболее практичным приложением теория клеточных автоматов,как считает Бэнкс, являются, по-видимому, вопросы разработки электронных цепей, способных к самовосстановлению, а также проектирования различных специальных типов электронного оборудования. Правда, сегодня нам трудно говорить о том, насколько существенной в итоге может оказаться эта теория для развития физики и биологии. Возможно, она играет важную роль в процессах роста зародышевых клеток, при создании идентичных копий молекул ДНК, в работе нервных сетей, в генетических изменениях развивающихся популяций и т. д. Наконец, нетрудно проследить глубокую аналогию между этой теорией и процессами развития жизни. Если «первичный бульон», состоящий из различных аминокислот, имеет достаточно большую протяженность и, кроме того, если мы располагаем определенным запасом времени, то в результате действия сложных правил перехода, присущих самой структуре материи и законам природы, в этой среде может развиться популяция самовоспроизводящихся подвижных автоматов. Можно даже допустить, что наше пространство — время имеет гранулярную структуру, состоящую из отдельных дискретных модулей, а вселенная, по предположениям Фридкина и других исследователей, является огромнейшим клеточным автоматом, управляемым громадным компьютером. Если это предположение справедливо, то привычное нам понятие движения окажется всего лишь некоторой моделью более сложного явления. Точно так же движение космического корабля, рассматриваемое на элементарном микроуровне, вполне может уподобиться движению конфигураций типа «космических кораблей», перемещающихся на макроуровне,— ведь здесь фактически существует лишь некоторое изменение состояний основных клеток пространственно-временного континуума, подчиняющееся правилам перехода, пока еще нам неизвестным.

ГЛАВА 22

ИГРА «ЖИЗНЬ». ЧАСТЬ III

С того момента, как я закончил последние две главы, в игре Конуэя «Жизнь» было открыто так много нового, что оказалось невозможным вместить все вновь открытые факты в обычное «Дополнение». По моему мнению, об этой игре нужно обязательно написать отдельную книгу, что-нибудь вроде «Энциклопедии игры „Жизнь"» или «Учебника по игре „Жизнь"», в которой следует перечислить все наиболее важные конфигурации, полученные в этой игре, с тем чтобы избавить энтузиастов от лишних трудов, связанных с повторением полученных кем-то результатов. Пока основной копилкой подобного рода сведений продолжают оставаться одиннадцать отдельных выпусков, появившихся в рамках журнала *Lifeline,* который издает Р. Уэйнрайт. Ходят слухи, что Уэйнрайт работает также и над книгой; кроме того, появляются сведения, что об игре «Жизнь» готовят книги и другие авторы. Между тем, в данной главе я попытаюсь собрать воедино некоторые важные результаты, полученные в процессе анализа игры «Жизнь» с тех самых пор, как в журнале *Scientific American* за 1971 г. появилась моя вторая статья об этой игре. Поскольку многие интересные конфигурации были открыты несколькими различными исследователями независимо друг от друга, в ряде случаев я не буду приписывать приоритет такого открытия тому или иному ученому.

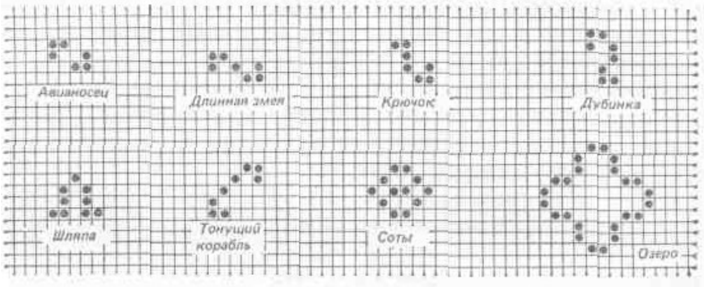


Рис. 150. Устойчивые конфигурации.

Одной из самых первых групп энтузиастов, занимавшихся исследованиями игры «Жизнь» и добившихся наиболее глубоких результатов была группа исследователей из Массачусетского технологического института, возглавлявшаяся У. Госпером, который в настоящее время работает в Стэнфордском исследовательском центре фирмы «Xerox». В середине 70-х годов наиболее активно работающей группой стали несколько специалистов из отдела компьютеризации управления фирмы «Honeywell, Inc.» (Фреймингтон, шт. Массачусетс). В нее входили Т. Холмс, К. Мак-Клелланд, М. Споурер, Ф. Стэнли, Д. Вудс и его отец У. Вудс. В конце 70-х годов в университете Ватерлоо, Канада, также сформировалась активная группа любителей игры «Жизнь», во главе которой стояли Дж. Эббот, Д. Бэкингем, М. Нимиц и П. Рэйнхем. Большая часть приведенной в этой главе информации получена мною от этих трех групп.

Все устойчивые конфигурации типа «любитель/ спокойной жизни», состоящие не более чем из 13 фишек, известны уже довольно давно. Так, уже рассматривавшиеся нами «блок» и «бадья» являются единственными устойчивыми конфигурациями из 4 фишек, а «лодка» — единственной конфигурацией такого рода, состоящей из 5 фишек. На рис. 131 изображены четыре из пяти «любителей спокойной жизни», состоящих из 6 фишек. Отсутствует здесь только «авианосец», показанный на рис. 150. Существует, также четыре устойчивых конфигурации из 7 фишек — это «каравай», «длинная лодка», «длинная змея» и «рыболовный крючок». При этом «рыболовный крючок», или «пожиратель», представляет наименьшую возможную комбинацию типа «любитель спокойной жизни», у которой отсутствует какая-либо степень симметрии. Следует отметить, что такие конфигурации, как «лодка», «баржа», «корабль» и «тонущий корабль» можно растянуть в длину до произвольных размеров, точно так же как «озера» могут быть сделаны сколь угодно большими, причем на них может находиться любое число «барж», «лодок» и «кораблей», стоящих на якоре в воде. Наконец, существуют также 9 конфигураций типа «любитель спокойной жизни», состоящих из 8 фишек, 10 конфигураций, состоящих из 9 фишек, 25 конфигураций из 10 фишек, 46 конфигураций из 11 фишек, 121 конфигурация из 12 фишек и 149 — из 13 фишек. Еще одна устойчивая комбинация — «биллиардный стол», изображенный на рис. 151, был сконструирован У. Вудсом из «длинных тонущих кораблей» и кусков «прудов».

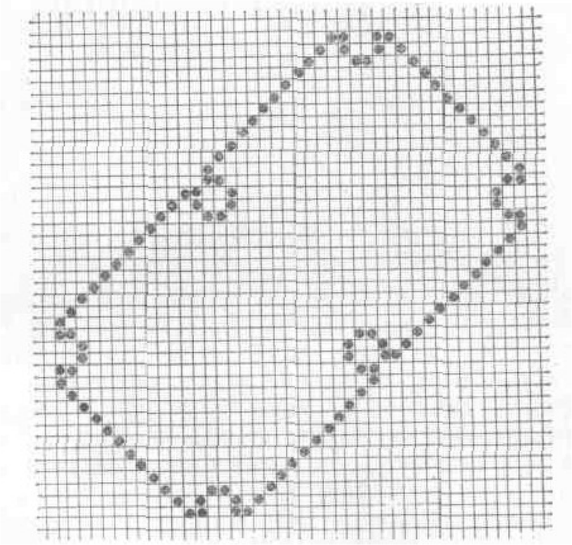


Рис. 151. Устойчивая конфигурация «биллиардный стол».

Многие исследователи обнаружили также сотни изящных периодически пульсирующих конфигураций. Некоторые из них, имеющие небольшие размеры и малый период пульсаций, показаны на рис. 152. Группа из Массачусетского технологического института еще на ранних стадиях своих исследований сумела обнаружить простые способы постройки громадных «флип-флопов» («кувыркающихся» конфигураций с периодом, равным 2) — один из таких «флип-флопов» изображен на рис. 153. В процессе эволюции эта конфигурация постоянно осциллирует между состояниями, обозначенными на диаграмме черными и белыми кружочками.

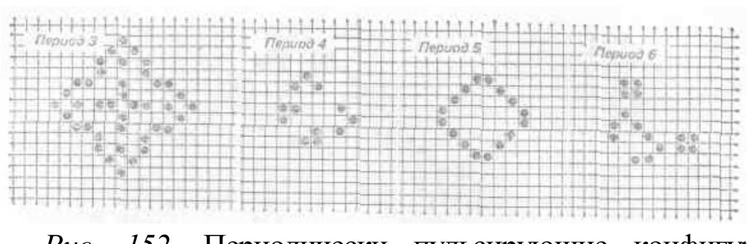


Рис. 152. Периодически пульсирующие конфигурации с малым периодом колебаний.

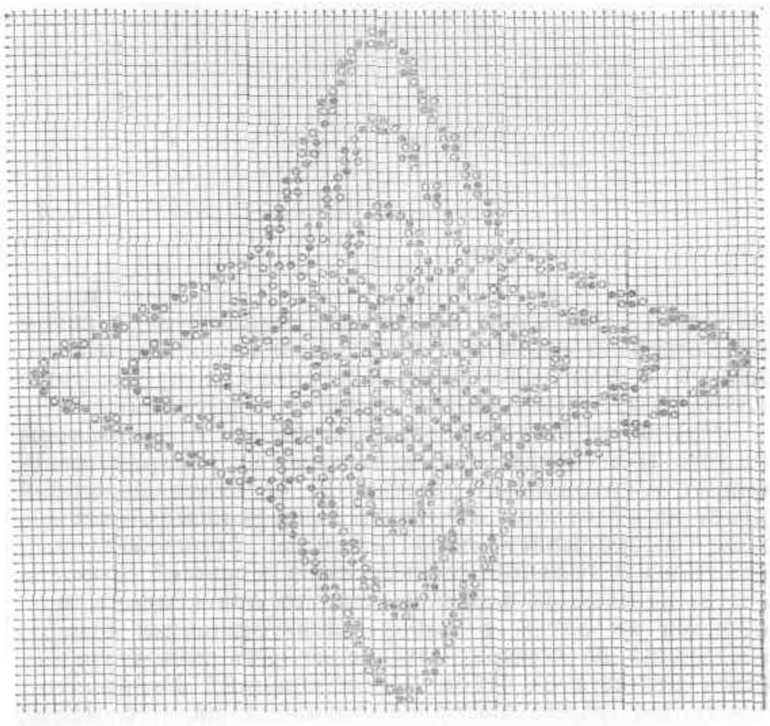
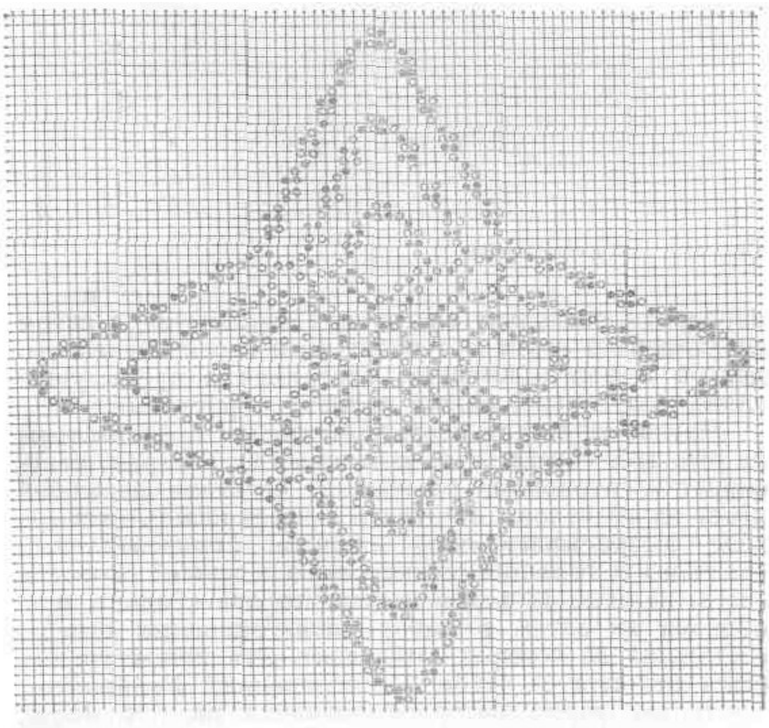


Рис. 153. Триггерная схема с переходом между состояниями, обозначенными черными и светлыми кружками.

Еще один большой класс специфических форм «Жизни», который интенсивно изучали многие исследователи, был назван специалистами из фирмы «Honeywell» «фитилями». Они представляют собою полоски шириной в одну клетку или более, которые могут располагаться по горизонтали, вертикали или в диагональном направлении. «Фитили» очень часто имеют бесконечную длину и равномерно «сгорают» от одного своего конца к другому. «Фитиль» простейшей формы изображен на рис. 154, а. Он представляет собой диагональный ряд клеток, который может либо уходить в бесконечность, либо, как в нашем случае, заканчиваться устойчивой верхушкой. В процессе эволюции он просто «горит», не выбрасывая при этом никаких «искр» или «клубов дыма». Если к нижнему его концу добавить еще одну клетку, то она образует крошечный «факел пламени», который будет перемещаться вдоль «фитиля» по мере его обгорания.

«Фитиль», изображенный на рис. 154, *б,* периодически пульсирует с периодом, равным 4, выбрасывая при этом быстро исчезающие «искры». «Загрязненный фитиль», подобный тому, что показан на рис. 154,6, по мере сгорания оставляет за собой об лака «пепла». При этом на одном из этапов своего развития он выстреливает «глайдер». «Фитиль», который представлен на рис. 154, *г,*— его первооткрыватель Мак-Клелланд назвал этот «фитиль» «пекарем» — представляет собой «фитиль», «выпекающий» по мере сгорания цепочку устойчивых «караваев». Три последних «фитиля» пульсируют с периодом, равным 4; при этом сгорание каждого из них происходит со скоростью света.



Последний из изображенных здесь «фитилей» (рис. 154, *д)* в процессе эволюции превращается в «чистый фитиль» с периодом, равным 4, однако оставляет за собой облако, состоящее из трех «блоков», трех «ульев», двух «мигалок», «корабля» и четырех «глайдеров». У. Вудс называет его «фитилем наоборот», поскольку он сначала взрывается, а потом спокойненько горит в течение всей своей бесконечно долгой жизни. «Жнейка», описанная в предыдущей главе, безусловно, также является «фитилем».

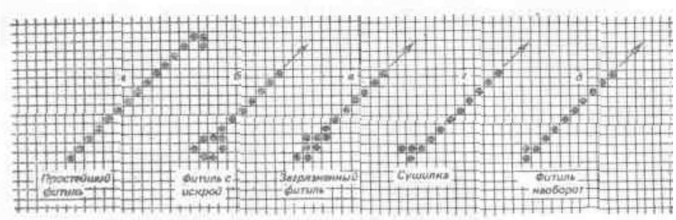


Рис. 154. Пять «фитилей».

Другие «фитили» необычной формы представлены на рис. 155. «Фитиль» а, найденный С. Тауэром, пульсирует с периодом, равным 8, оставляя за собой хвост из «бакенов». «Фитиль» б через каждые четыре хода выбрасывает пару «лодок». Горизонтальный «фитиль» *в,* горящий со скоростью, меньшей скорости света, каждые 18 ходов поглощает две «бадьи», преобразуя их затем в набор «навигационных огней», состоящий из четырех «мигалок». Эта конфигурация была открыта Э. Аббе. Исследованный Уэйнрайтом «фитиль», форма которого показана на рис. 155, г, через каждые 12 поколений поглощает три «колышка от забора» и превращает их в «улей».

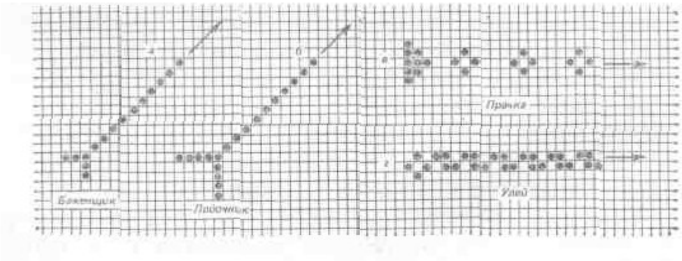


Рис. 155. «Фитили» других типов.

На рис. 156 изображены два «фитиля» более сложной структуры, открытые Д. Вудсом. Первый из них, названный «коровой», сгорает со скоростью света (период его равен 8) и «медленно пережевывает жвачку», поедая с обеих сторон по «блоку». После этого он выпускает их обратно и затем пожирает во второй раз. «Фитиль — генератор глайдеров» выбрасывает пару «глайдеров» через каждые 12 ходов. Я с трудом удерживаюсь от желания привести подробное описание двух близких родственников «фитилей» — «бесконечных фитилей» (они имеют бесконечную протяженность в обоих направлениях) и «фейерверков». При этом «фейерверки» бывают трех разновидностей: «патроны», «шутихи» и «бомбы» — именно так назвал их М. Хортон в одиннадцатом выпуске журнала *Lifeline*.

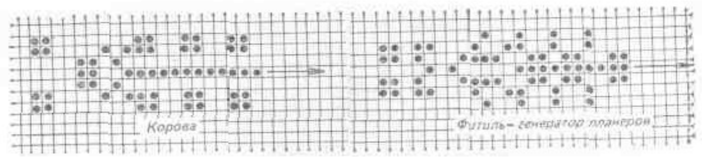


Рис. 156. Два замечательных «фитиля».

В квадрате размером 3X3 можно построить 102 различных конфигурации клеток (если исключить при этом повороты и отражения, однако учесть две предельные конфигурации, а именно, пустой и целиком заполненный квадраты). Некоторые из этих конфигураций представляют собой конфигурации типа «полиомино», другие таковыми не являются. Между прочим, в указанные 102 сочетания клеток входят все буквы алфавита Брайля (Алфавит (азбука) Брайля (1809—1852) — принятый во всем мире точечный шрифт для слепых, основанный на различных комбинациях шести выпуклых точек, — *Прим. Перев.)*
Эволюция всех 102 конфигураций подробно исследована. Известно также, как эволюционируют все виды полимино — до гептамино включительно.

Конфигурации под названием «долгожители» — это конфигурации, состоящие менее чем из 10 фишек, у которых устойчивое состояние не достигается в течение по крайней мере 50 поколений. Два примера подобного рода конфигураций уже приводились в предыдущей главе: это элемент пентамино в виде буквы г, состоящий из 5 клеток и «ворота» (или прописная буква «пи»), состоящие из 7 клеток, последнюю конфигурацию иногда называют также ✓-гептамино. Между прочим, первое поколение ✓-гептамино вновь появляется на доске через 31 ход, но со сдвигом на 9 клеток. Кроме того, из-за взаимодействия со своим «выхлопом» в 61-м поколении эта конфигурация едва не превращается в «космический корабль».

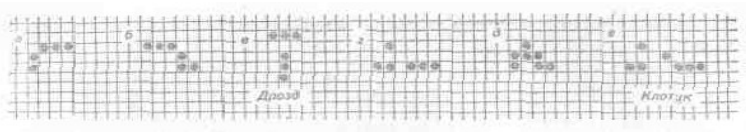


Рис. 157. «Долгожители».

Другие примеры «долгожителей» представлены на рис. 157. Первая из этих конфигураций а является наименьшей из известных в настоящее время; через 2 хода она превращается в r-пентамино, эволюция которого прекращается лишь на 1105-м поколении. «Долгожитель» *б* превращается в устойчивую конфигурацию (состоящую из шести «блоков», двенадцати «мигалок» и одного «каравая») в 609-м поколении; «долгожитель» *в* (называемый часто «дроздом») становится устойчивым после 243 ходов, а «долгожитель» г — лишь после 1108 ходов. Элемент гептамино *д* стабилизируется после 148 ходов, распадаясь на три «блока», «корабль» и два «глайдера». А вот еще одна конфигурация такого рода — «желудь» *(е),* обнаруженный Ч. Кордерменом, является самым поразительным «долгожителем» из известных в данное время. Его жизнь продолжается целых 5206 поколений! При этом к моменту перехода в устойчивое состояние в виде «дуба», состоящего из 633 клеток, он выпускает множество «глайдеров», тринадцать из которых исчезают.

Группа фирмы «Honeywell» проследила эволюцию первых девяти членов ряда крестов, составленных из пятиклеточных цепочек,— простейшие из них изображены на рис. 158. Первый из них является частью бесконечной решетки, составленной из непрерывных горизонтальных и вертикальных рядов, которые располагаются на расстоянии в две клетки друг от друга; тем самым эти ряды окружают на доске бесконечную совокупность пустых квадратов размером 2X2. Как и вся бесконечная решетка, этот крест исчезает уже на первом ходу. Следующий крест погибает через 8 ходов. Третий — через 6 ходов превращается в набор «навигационных огней», а четвертый переходит в устойчивое состояние после 34 ходов, превращаясь в восемь «мигалок», которые представляют собой действительно эффектное зрелище наподобие салюта в праздничный день. (Между прочим, в девятнадцатом поколении эта конфигурация дает нам возможность полюбоваться великолепным кольцом из «блоков» с «шахматной доской» в центре.) Кресты 5-го и 7-го порядков в этом ряду превращаются в устойчивые конфигурации в виде четырех «пульсаров» через 31 и 21 ход, соответственно. Кресты 6-го и 8-го порядков переходят в четыре «пульсара» и «ящик» за 36 и 21 ход, соответственно, а крест 9-го порядка прекращает свое развитие после 42 ходов, превратившись в 16 «блоков» и 8 «мигалок».

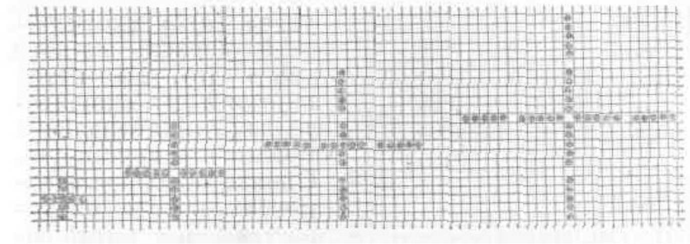


Рис. 158. Ряд пятиклеточных «крестов».

В 1971 г. У. Госпер обнаружил совершенно потрясающую устойчивую конфигурацию из 7 клеток — так называемого «пожирателя», изображенного на рис. 159 светлыми кружками. У этой конфигурации удивительная способность поглощать самые разнообразные формы «жизни» и при этом быстро восстанавливать свой первоначальный вид. Первые четыре картинки показывают нам «пожирателя», готового проглотить «глайдер» (а), «мигалку» (б), «заготовку улья» *(в)* и «космический корабль легкого типа» (г). На пятой картинке два «пожирателя» *(д)* нацеливаются проглотить друг друга. Однако подобное взаимоуничтожение оказывается невозможным из-за их поразительной способности к самовосстановлению; в результате вся система начинает периодически пульсировать с периодом, равным 3. Последний рисунок *(е)* изображает столкновение двух «глайдеров» — погибая, они через 13 ходов порождают «пожирателя». Сравнительно недавно были обнаружены «пожиратели» еще больших размеров, с самыми прихотливыми и необычными «вкусами».

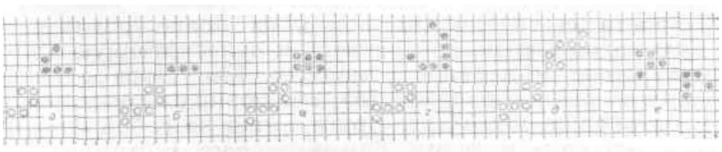


Рис. 159. «Пожиратель» (светлые кружки) и несколько его «жертв».

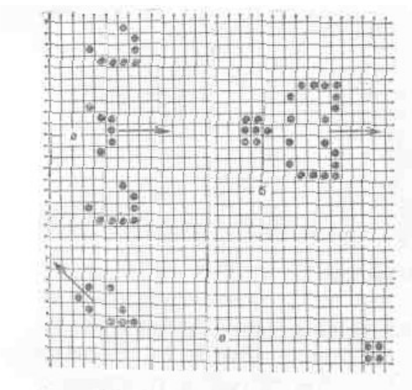


Рис. 160. «Паровозы».

Многие исследователи занимались также углубленным изучением свойств различного рода «агаров» (геометрически правильных конфигураций, бесконечных по обоим измерениям), «волокитчиков» (конфигураций, которым требуется не менее 50 ходов для того, чтобы превратиться в какую-нибудь устойчивую конфигурацию достаточно простого вида), а также «паровозов, пускающих дым из трубы» (движущихся конфигураций, которые оставляют вслед за собой постоянно сохраняющиеся «клубы дыма»). Три различных «паровоза» показаны на рис. 160. Первый из них (а), обнаруженный Госпером, представляет собой «паровую машину», сопровождаемую двумя «космическими кораблями» легкого типа. «Машина» выпускает «клубы дыма» со скоростью, равной половине скорости света, до тех пор пока более чем через 1000 ходов она не превратится в пульсирующую конфигурацию с периодом, равным 140. Пара легких «космических кораблей» *(б),* являющихся зеркальными отображениями друг друга, тянет за собой «паровую машину» в форме симметричного гептамино (с периодом, равным 12). «Маневровый паровоз» (в) движется, к сожалению, слишком медленно (со скоростью, равной $^1/_{12}$ скорости света) для того, чтобы оказаться нам чем-нибудь полезным. Он движется по диагонали, подобно «глайдеру», порождая в конце концов 8 «блоков» через каждые 288 поколений. «Космические корабли» эскорта ему при этом не нужны, однако из-за отсутствия стабилизирующего ситуацию «блока» дым «паровоза» начинает захватывать «паровую машину» и разрушает ее.

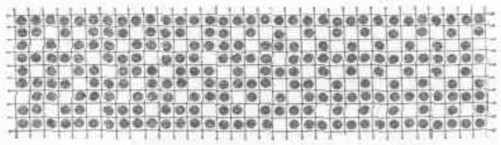


Рис. 161. «Сад Эдема»,

Первая из конфигураций типа «сад Эдема», изображенная на рис. 161, была обнаружена Р. Бэнксом в 1971 г. Это потребовало от него обширного компьютерного поиска самых разнообразных конфигураций-предшественников. Ограничивающий этот «сад» прямоугольник (9X33) содержит 226 клеток.

Хотя любая конфигурация в игре «Жизнь» порождает только одну конфигурацию-наследника, обратное, вообще говоря, неверно, поскольку у данной конфигурации может оказаться две или несколько конфигураций-предшественников. С этим, в частности, связана основная трудность машинного поиска комбинаций типа «сад Эдема» — ведь ЭВМ должна просмотреть всех возможных предшественников на каждом обратном ходе. Если в конце концов окажется, что наша Вселенная представляет собой гигантский клеточный автомат, то вполне резонно возникнет вопрос: а не существует ли некое начальное состояние типа «сад Эдема», требующее божественного вмешательства, поскольку такая конфигурация не имеет предшественников. Между прочим, тот факт, что у «сына» конфигурации типа «сад Эдема» может оказаться несколько «отцов», побудил Конуэя установить премию тому, кто первым отыщет конфигурацию, у которой есть «отец», но нет «дедушки». Правда, вопрос о существовании подобного рода конфигурации остается пока открытым.

Однако самым эффектным из новых достижений, полученных в последнее время при анализе игры «Жизнь», являются результаты по исследованию «глайдеров» и их столкновений. Кроме того, группа Госпера обнаружила новые тилы «глайдерных ружей» и более компактные «заводы космических кораблей», порождаемые в результате катастроф «глайдеров», а также бесчисленное множество новых форм «Жизни», поглощающих «глайдеры» или отражающих их обратно под разными углами. До того как группа исследователей из Массачусетса распалась и каждый из них занялся своими собственными делами, ее члены успели снять 17-минутный фильм о своих достижениях, ставший теперь классическим.

Чистый «генератор глайдеров» должен представлять собой конфигурацию, которая порождает один или несколько «глайдеров», не оставляя после себя никакого «мусора». Два изящных примера подобного рода, найденных специалистами из фирмы «Honey-well», представлены на рис. 162. «Сдвоенный каравай» (слева) за 4 хода порождает два «глайдера», летящих в противоположных направлениях. «Ромб 4-8-12» (справа) через 15 ходов формирует четыре «глайдера», разлетающихся по четырем различным направлениям. Наконец, укажем, что в одиночный «глайдер» превращаются 6 5-клеточных конфигураций; то же самое происходит более чем с сотней 6-клеточных конфигураций.

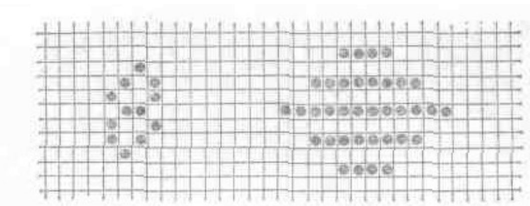


Рис. 162. Два «генератора глайдеров»,

Поиск конфигураций-предшественников для найденного Госпером «глайдерного ружья» позволил обнаружить требуемую конфигурацию, которая оказалась состоящей из 21 клетки (пока она является наименьшей из известных нам конфигураций подобного типа), хотя, по-видимому, существует некая возможность так расположить четыре «глайдера» (20 клеток), чтобы они при столкновении образовывали «глайдерное ружье».

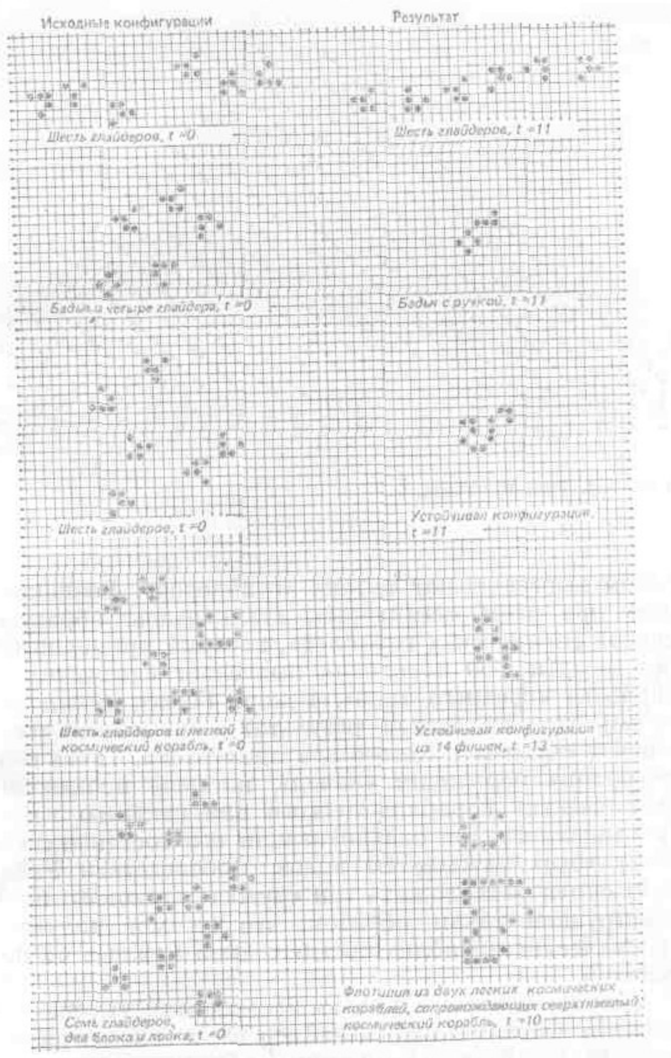


Рис. 163. Столкновения конфигураций.

Ранее я упоминал о найденной Госпером комбинации из восьми «ружей», которые определенным образом выстреливают потоки «глайдеров». Возникающие при этом «глайдеры», сталкиваясь, образуют «завод космических кораблей», который примерно через каждые 300 поколений выпускает «космический корабль» «среднего типа». Вскоре Госпер сумел получить тот же самый результат с помощью всего лишь 4 «ружей» и одного пентадекатлона. Такая конфигурация порождает «завод», который производит «космические корабли» легкого или среднего типов (в зависимости от синхронизации его составных частей) через каждые 60 ходов. Впоследствии Уэйнрайт сумел расположить три «ружья» несколько иной конструкции таким образом, что он мог получать «космические корабли» среднего типа каждые 46 поколений.

Любители игры «Жизнь» исследовали тысячи вариантов столкновений «глайдеров» и «космических кораблей», в результате которых образуется огромное количество самых разнообразных устойчивых комбинаций (включая сюда и нулевую конфигурацию, т. е. пустое игровое поле), а также изменяющихся тем или иным образом конфигураций и, наконец, конфигураций, порождающих новые «глайдеры» и (или) «космические корабли». На рис. 163 проиллюстрированы несколько удивительных столкновений, проанализированных канадскими специалистами. Слева показаны фигуры непосредственно перед столкновением, справа — результаты после заданного числа ходов.

Одной из самых замечательных форм «Жизни», обнаруженных группой из Массачусетского технологического института, является так называемый «размножитель». Основная и наиболее впечатляющая особенность этой конфигурации состоит в чрезвычайно быстром росте ее популяции. Рис. 164 представляет собой фотографию, сделанную с экрана выходного устройства ЭВМ, на которой показан «размножитель», порождающий целую популяцию «глайдеров». 'Маленькие точки на диаграмме — это «глайдеры», общее число которых в пределах рассматриваемой треугольной области составляет примерно 1000. «Размножитель» состоит из десяти «паровозов, пускающих дым из трубы» и движущихся на восток, причем их :«клубы дыма» синхронизированы между собой таким образом, что они порождают целый поток «глайдеров», которые, рассыпаясь на части, в свою очередь образуют «ружья» — последние мгновенно вводятся в действие, открывая огонь вдоль горизонтальной оси. На нашей картинке показан «размножитель» на 3333-м поколении. Заметим, что 30 «ружей» ведут стрельбу в северо-восточном направлении со скоростью одного «глайдера» за ход. При зтом скорость стрельбы неограниченно возрастает до тех пор, пока приблизительно на 6500-м ходе число возникающих «глайдеров» не начинает превосходить возраст «размножителя». Между прочим, не могу не упомянуть здесь, что предоставленная мне возможность понаблюдать, как работает «размножитель» на практике, оказалась одним из самых тягостных впечатлений во время моего посещения Массачусетского института.

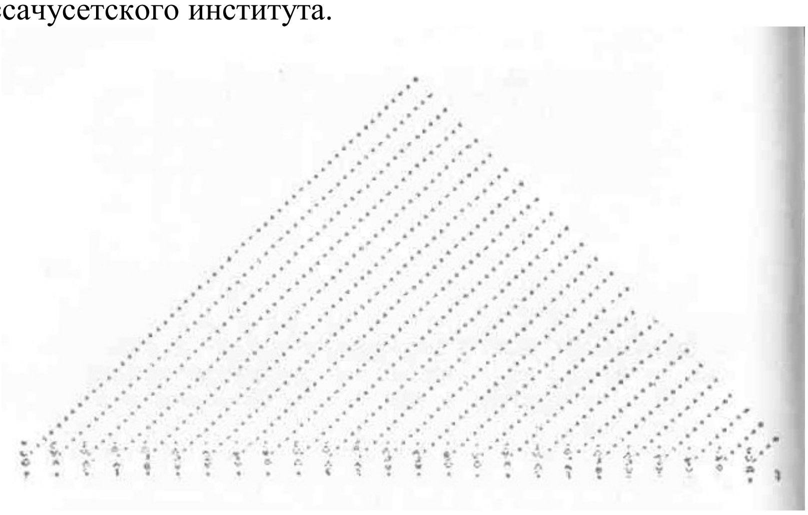
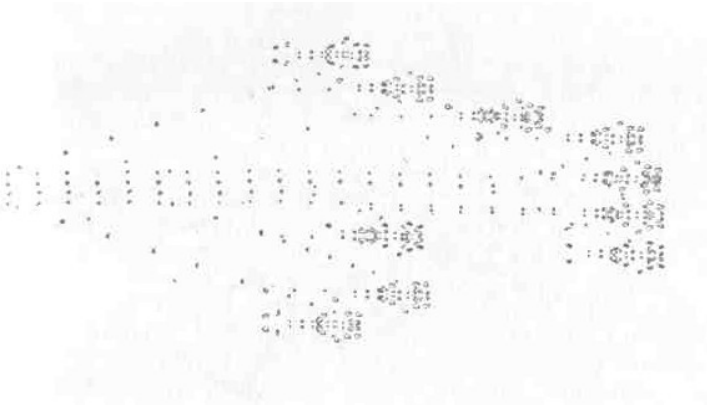


Рис. 164. Размножитель.



В февральском номере *Scientific American* за 1971 г. я поднял вопрос о том, позволяют ли правила игры «Жизнь» построить универсальную вычислительную машину, а уже в следующем номере сообщил читателям, что игра «Жизнь» в самом деле является универсальной. Дело в том, что независимо друг от друга Госпер в Массачусетском технологическом институте и Конуэй в Кембридже «универсализировали» пространство игры «Жизнь», подтвердив возможность использования «глайдеров» в качестве носителей информации с целью моделирования машины Тьюринга. Подробное объяснение того, как это делается, мне думается, слишком сложно, чтобы приводить его на этих страницах, однако глубокий и в то же время вполне доступный комментарий самого Конуэя читатель может найти во втором томе книги «Winning ways», написанной им в соавторстве с Э. Берлекампом и Р. Гаем.

Универсальность игры «Жизнь» означает, что, в принципе, мы можем использовать движущиеся «глайдеры» для выполнения любых вычислений, на которые способны самые мощные цифровые ЭВМ. Например, можно составить такую комбинацию из «глайдерных ружей», «пожирателей» и других форм «Жизни», что образующийся в результате поток «глайдеров» (в нужных местах его мы можем соорудить соответствующие пропуски) будет «вычислять» числа ✓ и *e,* квадратный корень из 2 или любое другое действительное число с произвольным количеством десятичных знаков после запятой. Конечно, производить эти вычисления подобным способом крайне неэффективно, тем не менее, в принципе, их вполне можно осуществить, если вы располагаете достаточно большим игровым полем и у вас хватает мастерства, выдумки и изобретательности для построения необходимой вам «машины».

В своей книге Конуэй использует великую теорему Ферма для иллюстрации вычислительных возможностей игры «Жизнь», а также описания характерных для нее ограничений. Так, например, мы можем построить машину под названием «Жизнь», которая будет последовательно проверять значения всех четырех переменных в знаменитом соотношении Ферма. При этом программу можно составить таким образом, что она будет давать останов (скажем, путем вывода на экран нулевой конфигурации, или пустого поля), как только будет найден контрпример, опровергающий гипотезу Ферма. С другой стороны, если предположение Ферма справедливо, то машина «Жизнь» будет продолжать поиск до бесконечности, пока не обнаружит, наконец, требуемую комбинацию чисел. Правда, в то же время из теоремы неразрешимости нам известно, что не существует никакого способа узнать заранее, будет ли данная конфигурация в игре «Жизнь» продолжать развиваться или же она перейдет в некоторое устойчивое состояние.

В 1981 г. Конуэй прислал мне письмо, в котором рассказал о том, как он доказал универсальность игры «Жизнь». На оборотной стороне конверта была сделана следующая приписка: «Если бы точно знать, что при столкновении «глайдеров» может образовываться пентадекатлон (кстати, попробуйте выяснить это у Госпера), тогда я вполне мог бы сконструировать самовоспроизводящуюся машину, а вопрос о том, является ли данная машина самовоспроизводящейся, окажется неразрешимым».

Я не могу вспомнить, задавал ли я Госперу подобный вопрос, однако, во всяком случае теперь, мы знаем, что «глайдеры» могут при столкновении образовывать пентадекатлон. Кроме того, сам Конуэй в своей книге со всей определенностью утверждает, что пространство игры «Жизнь» вполне допускает появление в нем самовоспроизводящихся машин. Конечно, в данном случае мы говорим не просто о движущихся конфигурациях, таких как «космические корабли», а о машинах, которые будут создавать точные копии самих себя. При этом исходная машина либо может остаться в данном пространстве, либо ее следует запрограммировать таким образом, чтобы она уничтожила саму себя после того, как произведет на свет собственную копию. Насколько мне известно, такую машину еще никто не построил, однако если Конуэй прав (его доказательство пока не опубликовано), то это оказывается вполне возможным делом.

Конуэй утверждает также, что он доказал существование таких комбинаций, которые могут двигаться в произвольно заданном направлении, характеризуемом некоторым рациональным числом, воспроизводя свою первоначальную структуру после определенного числа ходов. Что же касается «космических кораблей» (которые перемещаются, не испуская «клубов дыма»), то пока не найдено никаких новых типов подобных «кораблей», если сравнивать с теми, которые были известны Конуэю в 1970 г.

Сам Конуэй в настоящее время, по слухам, занимается следующей проблемой: если вообразить достаточно большое количество «первичного бульона» из хаотически распределенных клеток, то можно ли ожидать чисто случайного появления каких-либо самовоспроизводящихся существ, а также того, что наиболее приспособленные из них к выживанию будут благополучно здравствовать дольше других. «Правда, их взаимодействие с окружающей средой,— пишет, Конуэй,— будет, как обычно, приводить к определенным мутациям. Совершенно так же, как и в процессе эволюции органического мира, большинство мутаций окажется гибельными для этих существ, хотя некоторые из них, возможно, и выживут».

«Вполне вероятно,— замечает Конуэй,— что если взять достаточно большое пространство для игры «Жизнь», задав в нем некоторое случайное исходное состояние, то по истечении достаточно большого промежутка времени в этом пространстве появятся разумные самовоспроизводящиеся существа, которые заселят различные области данного пространства».

Вообще-то, в данном случае я предпочел бы использовать слово «допустимо», а не слова «вполне вероятно», однако, без сомнения, само сопоставление игры «Жизнь» с биологической эволюцией на нашей планете представляется мне весьма примечательным. Один из широко известных писателей, работающих в жанре научной фантастики, Пьер Энтони прекрасно обыграл эту идею в своем романе «Бык», вышедшем в свет в 1976 г. В этом романе в качестве названий для каждой главы используются схемы соответствующих конфигураций из игры «Жизнь», а его действие разыгрывается в некотором клеточном пространстве большего числа измерений, чем размерность нашего пространственно-временного континуума. Это пространство используют в качестве среды обитания некие наделенные разумом и тонко чувствующие существа — их называют «реальными формами», однако сами они предпочитают именовать себя «искрящимися облаками». Развитие этих существ происходило в полном соответствии с процессами, рожденными воображением Конуэя. В то же время их действия и поступки жестко регламентируются соответствующими правилами перехода, хотя «реальные формы», подобно людям, абсолютно уверены в существовании для себя свободы воли. В одной из глав книги герой романа по имени Кэл, объяснив правила игры «Жизнь» своей подруге Аквилон, с удовольствием наблюдает, как та, преисполнясь чисто женского любопытства, начинает экспериментировать с несколькими простыми конфигурациями.

«А теперь попробуй поиграть с этой,— предлагает ей Кэл, показывая r-пентамино. — Она очень похожа на ту, которую я тебе только что показывал. Ты ведь просто слегка наклонила ее в сторону, хотя с топологической точки зрения это совершенно все равно, а потом добавила одну точку. Давай, займись ею»,

«Она стала внимательно вглядываться в экран компьютера, внутренне посмеиваясь над ним. Но вскоре стало ясно, что до окончательного решения еще очень далеко. Последовательно менялись на экране номера ходов, число фишек все возрастало, они заполняли все большую и большую часть игрового поля. Теперь это было уже не просто развлечение — задача захватила ее всю целиком. Кэл хорошо понимал ее состояние: ведь он сам когда-то испытал нечто подобное. Закусив нижнюю губу, Аквилон совершенно не обращала на него внимания, волосы ее в соблазнительном беспорядке упали ей на лицо.

— Подумать только, и все это от одной лишней точки,— пробормотала она.»

В следующих главах Аквилон, которая все еще пытается проследить развитие своей конфигурации, восклицает: — «Это r-пентамино просто ужасно! У меня даже голова разболелась. А тут и конца не видно».

Госпер однажды обмолвился, что наиболее впечатляющий аспект игры Конуэя для него самого состоит в том, что она прекрасно демонстрирует невозможность предсказать *a priori* результат процессов, которые, казалось бы, жестко определены чрезвычайно простыми правилами развития. Узнав о «глайде-рах» и «глайдерных ружьях», Аквилон задумчиво роняет: «Если бы я была комбинацией, я бы поостереглась стрелять «глайдерами»! Это игра трудная и опасная!» «Конечно,— отвечает ей Кэл.— Как и вся наша жизнь».

Совсем недавно было разработано несколько интересных вариантов игры «Жизнь», в частности, игра по другим правилам и на других сетках, например, с треугольными ячейками или с гексагональными, а также в пространствах большей размерности. Проводились также исследования одномерного варианта игры «Жизнь» (см. статьи Д. Миллера и М. Миямото в списке литературы). Игра «Жизнь» изучалась также на обвертывающих игровых полях, на цилиндрах, торах и даже на листах Мёбиуса и бутылках Клейна. При этом были даже получены весьма интересные результаты, однако все они по богатству комбинаций и разнообразию форм не идут ни в какое сравнение с игрой «Жизнь», с ее простыми правилами перехода. Тем самым, надо отдать должное интуиции Конуэя и той основательности, с которой он и его коллеги стремились исследовать сотни возможных вариантов, включая даже игры с участием существ разного пола. Наконец, предпринимались попытки разработать конкурирующие игры, основанные на идеях игры «Жизнь», для двух и более игроков, однако это не принесло пока ощутимых результатов.

Игра «Жизнь» может иметь различные практические применения. Так, были попытки использовать ее для анализа социально-экономических систем. Кроме того, высказывалось предположение, что дальнейшие обобщения игры «Жизнь» могут помочь понять, почему некоторые небесные туманности имеют спиральные ветви (см. соответствующую статью К.. Бречера в списке литературы). А. Аппель и А. Стайн из фирмы ИБМ нашли способ применения правил, аналогичных правилам игры «Жизнь», в программах, предназначенных для выяснения, какие грани нарисованного на экране ЭВМ пространственного объекта являются для нас невидимыми.

Ранее я писал о том, что наша Вселенная, быть может, представляет собой огромный клеточный автомат, управляемый движениями элементарных частиц (возможно, еще не открытых) в соответствии с некоторыми неизвестными правилами перехода. В настоящее время ученые-физики тратят огромные усилия на создание так называемой ТВО (Теории Великого Объединения), которая свела бы воедино все силы, действующие в природе, в рамках общей теории калибровочных полей- Как объяснил физик К. Ребби в своей статье «Теория решеток и удержание кварков» (Rebbi C. The Lattice Theory of Quark Confinement.— *Scientific American,* February 1983), популярный подход здесь состоит в том, чтобы представить калибровочное поле как некую игру, которую разыгрывают частицы на абстрактной решетке четырехмерных кубов, наподобие пространственно-временного континуума, используемого в игре «Жизнь». Эта идея, выдвинутая К. Уилсоном в 1974 г., известна в настоящее время под названием «калибровочной теории решеток». Игровое истолкование ТВО несет в себе тот смысл, что основные частицы, определяющие структуру Вселенной («фигуры»), основные законы («правила перехода») и пространственно-временной континуум («игровое поле») не являются логической необходимостью. Они просто нам задаются. Нелепо спрашивать, утверждал Дейвид Юм, почему они являются тем, что они есть. Подобно игрокам в шахматы, физикам следует лишь принять эту игру как должное и просто получать удовольствие от попыток (быть может, бесконечных?) понять правила этой игры, не тратя энергии на размышления, почему эта игра построена именно так, а не иначе. А теперь мы возвращаемся к Лейбницу и к его изумительному предвидению трансцендентального Разума, созерцающего все возможные в нашей Вселенной игры и выбирающего среди них одну, наиболее подходящую для его непостижимых целей.

ЛИТЕРАТУРА

О теории клеточных автоматов

1. Newmann J. V. Thery of Sekf-Replicating Automama. – University of Illinois Press, 1966.
2. Minsky M.L. Computation: Finite and Infinite Mashines. – Printice-Hall, 1967.
3. Minsky M. and Papert S. Perceptrons. – NIT Press, 1969.
4. Codd E.F. Cellular Automata. – Acadimic Press, 1968.
5. Arbib M.A. Theories of Abstract Automata. – Prentice-Hall, 1969.
6. Essays on Cellular Automata. Ed. A.W. Burks. – University of Illinois Press, 1970.

Об игре «Жизнь»