М. А. Плаксин,
лауреат Всероссийского конкурса «Новые задачи — новые решения» в номинации «Новые задачи — новые решения», Пермский филиал Национального исследовательского университета «Высшая школа экономики»

КОМПЛЕКТ ДЕЛОВЫХ ИГР ДЛЯ НАЧАЛЬНОГО ЗНАКОМСТВА С ПАРАЛЛЕЛЬНЫМИ ВЫЧИСЛЕНИЯМИ*

Аннотация
Представлен комплект деловых игр для начального знакомства с некоторыми базовыми понятиями параллельных вычислений в курсе информатики начальной и средней школы.

Ключевые слова: информатика, средняя школа, начальная школа, методика обучения, деловые игры, параллельные вычисления, параллельное программирование, пропедевтика.

Контактная информация

Плаксин Михаил Александрович, канд. физ.-мат. наук, доцент кафедры информационных технологий в бизнесе Пермского филиала Национального исследовательского университета «Высшая школа экономики»; *адрес:* 614070, г. Пермь, ул. Студенческая, д. 38; *телефон:* (342) 205-52-50; *e-mail:* mapl@list.ru

M. A. Plaksin,
National Research University Higher School of Economics, Perm Branch

THE SET OF ROLE-PLAY GAMES FOR PRIMARY ACQUAINTANCE WITH PARALLEL COMPUTING

Abstract
There is a set of role-play games for the primary acquaintance with some of the basic concepts of parallel computing in the course "Informatics" for elementary and secondary school.

Keywords: informatics, secondary school, elementary school, teaching methods, role-play games, parallel computing, parallel programming, propaedeutics.

Современный этап развития computer science связан с массовым распространением параллелизма вычислений на всех уровнях (многоядерные процессоры, многомашинные кластеры, многопроцессорные ЭВМ). Это делает актуальным включение пропедевтики параллельного программирования в школьный курс информатики.

Настоящая статья представляет некоторые результаты работы автора в области пропедевтики параллельных вычислений в начальной и средней школе, полученные в течение трех последних лет.

В настоящее время подготовлены следующие учебно-методические материалы:

- тексты про совместную деятельность для учебника информатики. Эти тексты с 2017 года должны войти в переработанный вариант «пермского» учебника по информатике для четвертого класса (авторский коллектив: М. А. Плаксин, Н. Г. Иванова, О. Л. Русакова) [3];
- набор организационно-деятельностных (деловых) игр;
- пьеса «Многозадачность и многопоточность»;
- перечень типов задач на совместную деятельность, представляющих интерес для школьной программы, и набор задач указанных типов. Полигоном для отработки задачной части методики послужил конкурс «ТРИЗформашка» — ежегодный межрегиональный интернет-конкурс по информатике, системному анализу и ТРИЗ [1] для школьников и студентов. Сайт конкурса: http://www.trizformashka.ru. Начиная с 2013 года конкурс получил «подзаголовок» «Параллельные вычисления»;
- программный исполнитель (компьютерная игра) «Танковый экипаж» [2];
- «ручной» (не имеющий компьютерной реализации) программный исполнитель «Стройка»;
- элементы методики «Учить сразу параллельному программированию; последовательное — частный случай».

Данная статья посвящена описанию комплекта деловых игр для начального знакомства с параллельными вычислениями учеников начальной и средней школы.

Все предлагаемые игры прошли апробацию на уроках в младших классах лицея № 10 г. Перми и на мероприятиях по повышению квалификации учителей:

- на Весенней школе по параллельному программированию для учителей информатики в Пермском филиале НИУ ВШЭ в марте 2014 года;
- на учительском треке Летней Суперкомпьютерной академии на факультете ВМК МГУ летом 2014 года;
- на мастер-классе для учителей информатики в рамках Международной конференции Russian Supercomputing Days в Москве в сентябре 2015 года;
- на учительской секции Международной конференции «Параллельные вычислительные технологии — 2016» в Архангельске в марте 2016 года.

В настоящее время разработан и опробован **комплект деловых игр, предназначенных для знакомства со следующим учебным материалом:**

- Необходимость согласования деятельности исполнителей. Связь между исполнителями (по частям работы, по времени выполне-

* Материалы к статье можно скачать на сайте ИНФО: http://infojournal.ru/journals/school/school_05-2016/

ния, по результатам деятельности, по требуемым ресурсам).
- Выполнение одной и той же работы одним исполнителем и группой исполнителей. Зависимость скорости выполнения работы от количества исполнителей. Нелинейное возрастание скорости выполнения работы при увеличении количества исполнителей. Критический путь.
- Оптимальное количество исполнителей. Оптимальная загрузка исполнителей. Оптимальный порядок действий.
- Ресурсы. Конкуренция исполнителей за ресурсы. Блокировка. Клинч (тупик).
- Различные способы управления совместной деятельностью: квантование времени, управление с помощью приоритетов, управление по принципу «мастер — работники».

1. Деловые игры на виды согласования при совместной деятельности

В данный раздел входят четыре игры, демонстрирующие четыре вида согласования:
- по частям работы;
- по времени выполнения;
- по результатам деятельности;
- по требуемым ресурсам.

Эти игры используются в самом начале знакомства с темой «Совместная деятельность» и проводятся все на одном уроке.

1.1. Разделение работы на части

Игра 1 «Землекопы»

Играют три человека.

Оборудование:
- классная доска;
- три куска мела (лучше — разноцветных);
- карточки с заданиями для каждого игрока.

Содержание игры.

Игроки изображают землекопов, копающих канаву. Канаву будет изображать линия на доске. Лучше, если у каждого землекопа линия будет своего цвета.

Учитель на доске мелом ставит 10 точек, отмеченных буквами (от А до И), и раздает землекопам карточки с заданиями.

Задания выглядят так:
1) провести: АБ, ГД, ЁЖ;
2) провести: ГД, ЕЁ, ЗИ;
3) провести: БВ, ДЕ, ЖЗ.

Суть игры: продемонстрировать, что большую работу можно выполнить вместе, поделив ее на части между исполнителями.

При разделении работы специально допущены ошибки: участок ВГ не распределен никому, зато участок ГД распределен дважды (т. е. канава там получится то ли вдвое глубже, то ли вдвое шире). Это те ошибки, которые необходимо отслеживать при распределении работы: *каждая часть* работы должна быть поручена одному из исполнителей, каждая часть должна быть поручена *только одному* исполнителю.

1.2. Согласование по времени

Игра 2 «Поднимание парты»

Играют две бригады по два человека.

Оборудование:
- стол (парта), который ученики будут поднимать;
- стол (парта), на который будут поднимать первый стол;
- две карточки с системами команд — по одной для каждой бригады.

Содержание игры.

Две бригады поднимают стол (парту) и ставят на другой стол (парту).

В системе команд каждой бригады четыре команды: «Ах», «Ох», «Ых», «Ух»:
- первые две команды имеют для разных бригад противоположный смысл: для одной бригады «Ах» означает «давить на стол сверху вниз», «Ох» — «поднимать стол»; для другой бригады — наоборот;
- команда «Ых» в обоих случаях означает «поднимать стол»;
- команда «Ух» в обоих случаях означает «давить на стол сверху вниз».

Бригады должны ознакомиться со своими системами команд тайком друг от друга, чтобы каждая бригада знала только свою систему команд.

Ведущий (учитель) поочередно несколько раз отдает команды «Ах» и «Ох». Порядок не важен. Повторить надо несколько раз. Каждый раз одна бригада давит на свой край стола вниз, а другая пытается поднять свой край. Поднять стол при этом не удается. После

этого ведущий дает команду «Ых», и стол легко поднимается.

Обсуждение игры.

Вопрос: Почему в первых двух случаях поднять стол не удалось, а в последний — удалось? В чем причина?

Ответ: Причина в том, что в последнем случае обе бригады стали поднимать стол *одновременно*. То есть действия бригад были согласованы по времени.

1.3. Согласование по результатам

Игра 3 «Строительство светофора»

Играют три человека.

Оборудование:

- стол;
- кубики с гранями трех цветов (красного, желтого, зеленого). Количество кубиков должно быть кратно трем и лучше, если их будет побольше — 15, 18, 21. Из этих кубиков будет строиться «светофор».

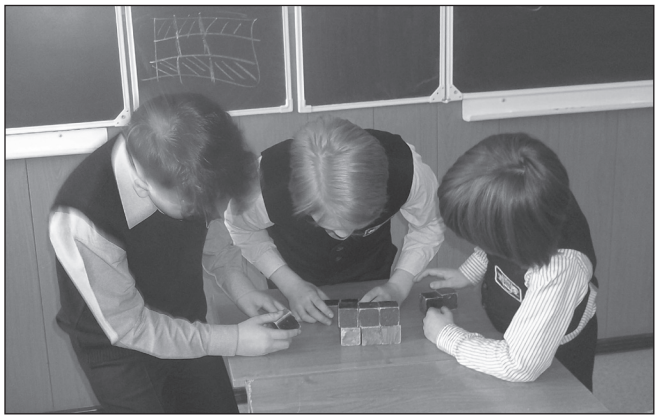
Содержание игры.

Надо сложить из кубиков «светофор» из трех рядов одинаковой длины: снизу — зеленый, в середине — желтый, сверху — красный.

Игроки распределяются по цветам. Каждый из них должен сначала сложить из кубиков ряд своего цвета, а потом установить его в «светофор».

Обсуждение игры.

Ряды кубиков будут, скорее всего, сложены всеми игроками примерно за одно и то же время. Но после этого «желтому» игроку придется ждать, пока свой ряд уложит «зеленый», а «красному» — пока будут уложены оба нижних ряда. (Бóльшая длина ряда сделает время ожидания более заметным.)



Здесь — отличие как от деления работы на части, так и от согласования по времени:

- в первой игре каждый из землекопов «копал» свою часть канавы независимо от других; его совершенно не интересовало, какие другие участки уже выкопаны, какие — нет;
- во второй игре требовалась синхронность действий двух бригад;
- в данной, третьей, игре каждого исполнителя интересует, какую часть работы проделали его коллеги: невозможно поставить верхний ряд кубиков, пока не поставлен нижний.

Но одновременность при этом не требуется (можем складывать «светофор» со скоростью один ряд в день). Важен только результат. Важно, чтобы предыдущий ряд был уложен раньше, чем начнется укладка следующего ряда.

Замечание. Важно, что укладка кубиков в «светофор» выполняется сразу целыми рядами.

Вариант игры без кубиков.

Оборудование:

- три пластиковых стаканчика;
- фломастеры трех цветов: красный, желтый, зеленый.

Содержание игры.

Игра в данном случае заключается в том, что игроки берут стаканчики и фломастеры, и каждый игрок рисует на своем стаканчике круг своего цвета. После этого из стаканчиков выстраивается «светофор».

Обсуждение игры — как в варианте с кубиками.

1.4. Согласование по ресурсам

Игра 4 «Изготовление браслетов»

Играют три человека.

Оборудование:

- лист бумаги — один;
- ножницы — одни;
- фломастеры (либо ручки, карандаши) — три;
- клей (или степлер) — один;
- стол, на котором лежат все материалы.

Содержание игры.

Игроки получают **задание:** каждый из них должен изготовить себе бумажный браслет: вырезать его из листа бумаги, раскрасить фломастером (рисунок может быть любым) и склеить.

Чтобы при вырезании одного браслета ножницы были заняты большее время, пусть края браслетов будут фигурными.

Суть игры в том, что выделенных ресурсов недостаточно для одновременной независимой работы всех троих игроков. Поэтому кому-то постоянно придется ожидать, пока другие не закончат некоторые действия и не освободят ресурс. Именно поэтому даются *одни* ножницы, *один* лист бумаги, *один* клей. Нехватку этих ресурсов можно противопоставить фломастерам. Их — три. Поэтому на стадии раскрашивания — в отличие от остальных стадий — все три игрока могут действовать одновременно.

Можно попробовать сыграть с двумя фломастерами. Тогда и этого ресурса будет недоставать.

Обсуждение игры.

При обсуждении игры вводится понятие «ресурс» (если дети его еще не знают; в некоторых школах оно может быть введено ранее в курсе экономики или в экономической части курса «Окружающий мир»). Обсуждается вопрос о нехватке ресурсов и вынужденных потерях времени на их ожидание.

В процессе обсуждения игры может возникнуть мысль о том, что изменение порядка действий может привести к сокращению времени выполнения упражнения. Это так. Но это не есть предмет данной игры. Главным образом потому, что в этом упражнении нет четкой системы команд исполнителя и счетчика времени. Поэтому измерить ускорение, полученное в результате изменения порядка действий, невозможно. Этот аспект будет подробно обсуждаться в игре «Постройка замков».

2. Деловые игры на выполнение одной работы разным числом исполнителей

В данном разделе в настоящее время одна игра, нацеленная на обсуждение следующих вопросов:

- Выполнение одной и той же работы разным количеством исполнителей. Зависимость скорости выполнения работы от количества исполнителей. Нелинейное возрастание скорости выполнения работы при увеличении количества исполнителей. Критический путь.
- Оптимальное количество исполнителей. Оптимальная загрузка исполнителей. Оптимальный порядок действий.

Игра 5 «Построение за́мков»

Игроки:

- три бригады строителей: две по три человека и одна из двух человек;
- три наблюдателя, которые должны отслеживать правильность действий строительных бригад и срок окончания строительства каждой из бригад;
- хранитель времени, который «отбивает» такты работы и считает их. В этой игре необходима синхронизация: за один такт работы каждый исполнитель выполняет лишь одну команду.

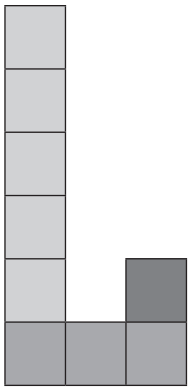
Оборудование:

- три отдельных стола (парты) — по одному для каждой строительной бригады. На них будут строиться за́мки (может быть один стол, но достаточно большого размера);
- 27 трехцветных кубиков для строительства за́мков. Для каждого за́мка понадобится три зеленых, пять желтых и один красный кубик;
- приспособление для отсчета времени. Здесь возможны варианты:

– это могут быть карточки или мелкие предметы для отсчета времени. Каждый такт хранитель времени будет откладывать в сторону один из предметов и произносить его номер (номер такта работы);
– другой вариант: хранитель времени будет регистрировать такты с помощью «библиотечной» записи (десятками: четыре точки по углам, четыре линии по сторонам и две линии по диагоналям).

Содержание игры.

Задача каждой из бригад построить из девяти кубиков за́мок следующего вида:



Система команд каждого из строителей:

1) Взять кубик.
2) Установить кубик. Установить кубик можно либо на стол, либо (NB!) на кубик, установленный на одном из предыдущих ходов. Невозможно за один ход поставить сразу два кубика, один из которых располагается на другом.
3) Ничего не делать.

Состав бригад:

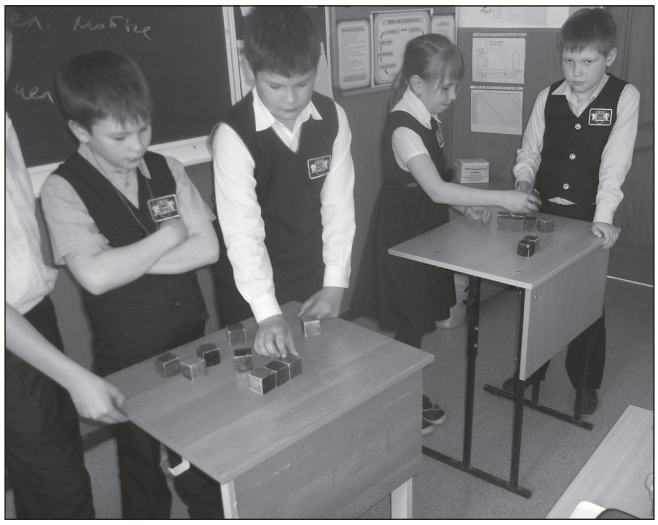
Бригада 1. Три человека. Все — узкие специалисты. Каждый строитель ставит кубики только одного цвета: один — только зеленого, второй — только желтого, третий — только красного.

Бригада 2. Три человека. Все универсалы, т. е. каждый может ставить кубики любого цвета.

Бригада 3. Два человека. Оба универсалы, т. е. каждый может ставить кубики любого цвета.

Перед началом имеет смысл озвучить следующую **логику**. Замок состоит из девяти кубиков. Один строитель построит такой замок за 18 ходов. Логично предположить, что двум строителям понадобится: 18 : 2 = 9 ходов, трем строителям: 18 : 3 = 6 ходов.

Игру имеет смысл повторить несколько раз.



Первый раз — пробный, для освоения правил. Игра вряд ли дойдет до конца. Может быть, пробных игр понадобится несколько.

Второй раз: сыграть всем вместе для того, чтобы наглядно продемонстрировать разницу во времени завершения строительства разными бригадами. Количество потребовавшихся каждой бригаде ходов записывается.

Третий раз: каждая бригада повторяет строительство за́мка отдельно от других. Благодаря этому все могут сосредоточиться на работе одной бригады. На этом этапе удобно провести поиск оптимального варианта работы бригады.

Четвертый раз: после обсуждения полученных результатов. Опять каждая бригада повторяет строительство за́мка отдельно от других.

В целом игра занимает целый урок.

Обсуждение игры.

Наилучшие результаты, которые могут быть достигнуты:

- *бригада 1* (три специализированных строителя) — 11 ходов;
- *бригада 2* (три универсальных строителя) — 7 ходов;
- *бригада 3* (два универсальных строителя) — 10 ходов.

То есть выясняется, что наши начальные теоретические оценки были слишком оптимистичны и скорость строительства никогда не возрастает линейно, всегда медленней. Это приводит к поиску оптимального по-

рядка действий и оптимальной загрузки каждого исполнителя.

Очень может быть, что реальные результаты будут еще хуже. Особенно полезно, если результат бригады из двух человек совпадет с результатом бригады из трех человек. Это будет поводом обсудить оптимальный порядок действий и оптимальную загрузку исполнителей. Не исключено, что поиск оптимального варианта потребует нескольких попыток.

Необходимо обсудить причины увеличения времени строительства по сравнению с теоретическими оценками и разницу в скорости работы двух трехчеловечных бригад.

Разница в скорости работы трехчеловечных бригад объясняется тем, что в первой бригаде строители специализированные. Поэтому строители башен вынуждены пропускать первые ходы, пока для башен не будет готов фундамент, а потом два строителя будут ждать, пока третий достроит высокую башню.

Необходимо обратить внимание на то, что при работе всех бригад обязательно есть хотя бы один простой (пропуск хода). Этот простой вызван разной высотой башен. При достраивании более высокой башни на последнем ходе в любом случае работает только один строитель.

Наибольшего времени требует строительство более высокой башни. Значит, надо как можно скорее приступить к строительству именно этой башни. Поэтому первым кубиком в фундаменте должен быть кубик под высокой башней. (Здесь мы демонстрируем понятие *критического пути*, хотя и не говорим этих слов.)

Наилучшие результаты будут достигнуты, если строительством башни займутся сразу двое строителей. За один ход один строитель устанавливает на башню кубик, взятый на предыдущем ходу, а второй в это время берет следующий кубик.

Замечание к фото. На фотографиях изображен вариант игры, в котором желтая башня состоит из четырех кубиков, а красная — из двух.

3. Деловые игры на управление ресурсами

В данном разделе три игры для знакомства со следующими вопросами:

- Ресурсы. Конкуренция исполнителей за ресурсы. Блокировка. Клинч (тупик).
- Различные способы управления совместной деятельностью: квантование времени, управление с помощью приоритетов, управление по принципу «мастер — работники».

Игра 6 «Переливашка» (квантование времени)

Игра «Переливашка» используется для демонстрации борьбы за ресурсы и взаимной блокировки процессов, а также может использоваться для демонстрации псевдопараллельного выполнения нескольких процессов на одном процессоре.

Выглядит игра следующим образом. На столе стоят: одна или несколько закрытых бутылок с водой (пронумерованных или разноцветных); одна или несколько кружек; кастрюля. Бригадам — участникам игры дается система команд исполнителя (состоящая из команд типа: «подойти к столу», «взять со стола бутылку такого-то цвета», «открутить пробку», «закрутить пробку» и т. д.) и предлагается составить для этого исполнителя алгоритм переливания воды из бутылок в кастрюлю. Например: подойти к столу, перелить из каждой бутылки в кастрюлю по две кружки воды и вернуться на свое место. Все бригады составляют алгоритмы для решения одной и той же задачи. Алгоритмы вывешиваются для всеобщего обозрения. После этого игроки из каждой бригады начинают их выполнять одновременно. Выполнение идет дискретно (пошагово). Если бригад больше, чем бутылок, в ходе выполнения неминуемо возникают конфликты из-за ресурсов (игрок должен выполнить команду «взять бутылку со стола» в то время, как бутылка находится в руках у игрока из другой команды) и почти наверняка — взаимные блокировки (один игрок держит открытую бутылку и ждет пробку, а другой в это время держит пробку и ждет бутылку). Во всяком случае, до сих пор блокировки возникали во всех проведенных играх. Для обострения ситуации можно потребовать обязательно ставить бутылку на стол после наполнения кружки. Вероятность возникновения тупика при этом увеличивается, поскольку первый игрок первой команды бутылку на стол поставит, но, скорее всего, не закроет. А игрок второй команды, взяв бутылку со стола, первым делом попытается открутить крышку, которой на бутылке уже не будет.

Версии игры отличаются количеством бутылок и кружек, количеством бригад. Стандартно в «Переливашку» играют три бригады с двумя бутылками и одной кружкой. Но никаких ограничений в игре нет. Более того, меняя количество бригад, бутылок и кружек, можно исследовать связь количественных характеристик системы и вероятность блокировки, выявить узкое место системы. Например, можно сделать количество бутылок больше количества бригад, но оставить только одну кружку. Или наоборот, увеличить количество кружек, но оставить только одну бутылку.

Игра может идти в параллельном и псевдопараллельном режимах.

В параллельном режиме игроки всех бригад по команде ведущего вместе выполняют каждый свою команду (очередную команду своего алгоритма). Нужно только заранее договориться о неких правилах разрешения конфликтов. Например, если два игрока сразу

выполняют команду «взять бутылку», бутылка достается игроку из бригады с меньшим номером.

В псевдопараллельном режиме определяется продолжительность кванта процессорного времени, выделяемого каждому процессу (т. е. каждой бригаде). Бригады действуют поочередно. Каждая бригада выполняет указанное число команд из своего алгоритма, после чего очередь переходит к следующей бригаде. Если представитель бригады не в состоянии выполнить очередную команду (например, он должен взять со стола бутылку, но на столе уже нет ни одной бутылки), квант данной бригады завершается досрочно.

Надо заметить, что первый вариант — параллельный режим — гораздо сложнее для восприятия. Поэтому рекомендуется использовать второй — квантование времени. Заодно учащиеся познакомятся с самим понятием квантования времени.

«Переливашку» можно использовать для исследования различных режимов квантования времени (очереди с приоритетами, динамическое изменение кванта с целью быстрее протолкнуть короткие процессы и т. п.). Но для начальной школы такие тонкости явно излишни.

Более строгое описание игры выглядит следующим образом.

Оборудование:

- две бутылки с водой. Бутылки могут отличаться по номеру или по цвету. Нумерация бутылок будет наталкивать на мысль о том, чтобы сначала взять бутылку № 1, а потом уже бутылку № 2. В любом случае надо оговорить, что в игре участвуют именно эти две бутылки (чтобы не возникло желания использовать какие-нибудь другие);
- кружка;
- «кастрюля» (емкость для слива воды);
- три листа от флип-чарта или другие три листа бумаги большого формата — по одному на каждую бригаду;
- три фломастера — по одному на каждую бригаду;
- три распечатки с системой команд исполнителя и заданием игры — по одному на каждую бригаду.

Задание игры.

Каждая бригада должна составить алгоритм для следующего процесса: «Подойти к столу. Из бутылки перелить в кастрюлю две кружки воды из бутылки № 1 и две кружки из бутылки № 2. Вернуться на место».

Система команд исполнителя.

1) Подойти к столу.
2) Вернуться на место.
3) Взять со стола первую бутылку (бутылку № 1, синюю бутылку).
4) Взять со стола вторую бутылку (бутылку № 2, красную бутылку).
5) Поставить бутылку на стол.
6) Взять кружку со стола.
7) Поставить кружку на стол.
8) Открыть крышку бутылки.
9) Закрыть крышку бутылки.
10) Взять крышку со стола.
11) Положить крышку на стол.
12) Налить воду из бутылки в пустую кружку.
13) Вылить воду из кружки в кастрюлю.

Подразумевается, что у исполнителя две руки. То есть он может одновременно держать только два предмета. Договариваемся, что наливать воду можно только в пустую кружку. То есть, если в кружку вода уже налита, наливать дополнительно уже нельзя. Отдельно надо оговорить вопрос о том, может ли игрок наливать воду в кружку, которую в этот момент держит другой игрок. Разрешение делать так может породить дополнительные интересные эпизоды.

Содержание игры.

На столе стоят две бутылки с водой, кружка и кастрюля.

Каждая бригада записывает алгоритм на листе флип-чарта.

Все листы с алгоритмами вывешиваются на видном месте.

Каждая бригада выставляет исполнителя и коммандера (указателя команд). Коммандер будет зачитывать команды из алгоритма, исполнитель выполнять их.

Коммандеры встают около своих листов с алгоритмами.

Определяется порядок, в котором будут работать команды.

Определяется количество тактов работы, приходящихся на одну бригаду. Проще, если оно одинаково для всех. Учитывая длину программ, квант в четыре шага представляется разумным.

Существует диспетчер, который руководит всеми коммандерами. При отдаче команд коммандерам диспетчер отсчитывает количество команд, отданных данной бригаде.

По команде диспетчера первый в очереди коммандер читает очередную команду своего алгоритма. Если исполнитель в состоянии выполнить команду, он ее выполняет. Коммандер помечает команду как выполненную. Если исполнитель не в состоянии выполнить команду, право отдавать команды переходит к следующему коммандеру.

Если бригада выполнила запланированное количество команд, она останавливается. Начинает работать следующая бригада.

Интересно, что тупик (клинч, взаимная блокировка процессов) не является обязательным состоянием в игре. Во всяком случае, необходимость тупика не доказана, ни из чего не следует. Однако на практике еще не было ни одной игры, которая бы не закончилась тупиком. И это хорошо!

Хорошо дождаться ситуации, когда все бригады заблокируют друг друга, и прокрутить несколько циклов, в ходе которых ни одна бригада не сможет выполнить свою команду.

Формально слабым местом игры может быть тот факт, что моделируется выполнение нескольких процессов на одном процессоре, в то время как современные ЭВМ — многоядерные. Но эта слабость — чисто формальная. В реальности количество процессов может многократно превышать количество ядер. (Чтобы убедиться в этом, достаточно заглянуть в Диспетчер задач.) Поэтому ситуация, когда несколько процессов выполняются на одном процессоре, — вещь совершенно обыденная. Можно позволить нескольким бригадам действовать одновременно. Это только запутает картину, сделает ее более смазанной.

Игра 7 «Строители башен» (управление с помощью приоритетов)

Альтернатива квантованию — управление с помощью приоритетов. Здесь нужна была игра, которая покажет, что низкоприоритетный процесс рискует не получить ресурс долго (в реальных многозадачных системах приходится принимать специальные меры для того, чтобы ни один процесс не остался в очереди навечно). Нужно было такое задание, чтобы невозможность продвижения вперед вызывала не обиду, а веселье. Была предложена **следующая игра.**

Три игрока одновременно строят башни из кубиков (каждый — свою). Работа ведется тактами. На каждом такте игрок может либо взять кубик, либо положить его.

Перед началом строительства каждый игрок вытягивает случайным образом две карточки. На одной записана высота башни (от трех до пяти кубиков), на другой — приоритет игрока (от I до IV, меньший приоритет считаем старшим).

Существует общее хранилище кубиков. Пока в нем есть кубики, игроки берут кубики из хранилища. Если в хранилище кубиков больше нет, игрок с более высоким приоритетом имеет право взять кубик из башни игрока с более низким приоритетом, в первую очередь — с самым низким.

Задача каждого игрока — построить башню указанной высоты. После окончания строительства башня должна простоять десять тактов. После этого игрок заканчивает игру, а кубики его башни возвращаются в ресурсохранилище.

Вместо закончившего игрока в игру вступает другой, который также разыгрывает приоритет и высоту башни и начинает строительство.

Первоначально в ресурсохранилище находится 10 кубиков.

Карточек с приоритетами — 12 штук: по три карточки с каждым приоритетом (I, II, III, IV). Карточек с высотой башни — тоже 12 штук: по три карточки с высотами 3, 4, 5.

Кроме строителей есть еще хранитель времени, который ведет отсчет тактов и отмечает, сколько тактов прошло с начала игры. Для отметок удобно использовать «библиотечный» счет (десятками: четыре точки по углам, четыре линии-стороны, две линии-диагонали).

На каждом «рабочем месте» должен быть журнал регистрации. Каждый игрок заносит в него информацию о своей игре. Часть информации будет вычисляться позже. (Для записи информации придется делать маленькие паузы в счете времени.)

Журнал содержит следующие графы:

1) Номер по порядку.
2) Приоритет.
3) Требуемая высота башни (требуемое количество кубиков).
4) Номер такта, на котором игрок начал строительство.
5) Номер такта, на котором игрок закончил строительство.
6) Номер такта, на котором игрок закончил работу (вернул кубики).
7) Время работы (номер конечного такта минус номер начального такта).
8) Минимальное время, необходимое для строительства такой башни (равно удвоенному количеству кубиков + 10).
9) Отношение реального времени работы к минимально необходимому.

Для игроков с низким приоритетом в поле «Номер такта, на котором игрок закончил строительство» может оказаться несколько чисел. Это произойдет в том случае, если игроки с высоким приоритетом начнут забирать кубики из построенной им башни.

Графы 1–6 заполняются игроками по ходу игры, графы 7–9 — после ее окончания.

Отношение реального времени работы к минимально необходимому должно продемонстрировать суть управления с помощью приоритетов. Для высшего приоритета оно всегда будет равно единице. Чем ниже приоритет, тем это отношение будет больше. (В практике автора был случай, когда на строительство башни высотой в четыре кубика игрок, имеющий низший приоритет, потратил 150 (!) тактов.)

Поясним некоторые детали.

Начального количества кубиков — десять — может хватить для строительства трех башен (при высоте 3–3–3 или 3–3–4). Но, скорее всего, кубиков будет недостаточно. Поэтому, когда кубики в ресурсохранилище закончатся, высокоприоритетные игроки начнут забирать кубики из башни низкоприоритетного игрока. После ухода высокоприоритетного игрока низкоприоритетному придется начинать снова.

Возможна ситуация, когда все игроки имеют равные приоритеты, а кубиков всем не хватает. В этом случае либо придется вводить дополнительные правила (например, преимущество получает игрок, который раньше вошел в игру), либо придется констатировать состояние клинча.

Интересно изменить количество кубиков в хранилище и оценить его влияние на производительность (аналог: проследить изменение производительности ЭВМ, для которой докупили оперативную память).

Десять тактов «стояния» башни после постройки добавлены специально для того, чтобы за это время кто-нибудь из высокоприоритетных игроков забрал кубики низкоприоритетного.

После возврата карточек в колоды карточки в колоде перемешиваются.

Имеет смысл провести игру в течение достаточно длительного модельного времени (например, в течение 200 тактов), после чего заняться анализом того, как приоритет игрока влиял на время строительства башни. Для этого надо в каждой позиции каждого журнала регистрации посчитать отношение реального времени к минимально необходимому и сгруппировать эти величины по приоритетам, посчитать среднее отношение для каждого приоритета. Для высшего приоритета оно будет равно единице. И будет возрастать по мере снижения приоритета.

В таблице приводятся данные по реальной игре, продолжавшейся 216 тактов (числа 223 и 229 в колонке «Возврат кубиков» вычислены по логике игры).

Таблица

Приоритет	Высота	Начало	Конец строительства	Возврат кубиков	Затраченное время	Минимальное время	Затраченное время / минимальное время
I	3	39	44	55	16	16	1
I	4	56	63	74	18	18	1
I	5	91	100	111	20	20	1
I	3	169	174	185	16	16	1
I	4	198	205	216	18	18	1
I	5	203	212	223	20	20	1
II	5	1	10	21	20	20	1
II	4	20	27	38	18	18	1
II	5	52	61	72	20	20	1
II	5	129	138	149	20	20	1
II	4	150	157	168	18	18	1
III	4	1	8	19	18	18	1
III	3	73	79	90	17	16	1,0625
III	3	112	117	128	16	16	1
III	3	186	191	202	16	16	1
IV	3	22	40	51	29	16	1,8125
IV	5	1	40	197	196	20	9,8
			51				
			92				
			186				
IV	4	92	115	229	137	18	7,611111
			152				
			202				

Для двух высших приоритетов отношение затраченного времени к минимально необходимому равно единице, для приоритета III — почти единице. Но для низшего (IV) приоритета среднее отношение затраченного времени к минимально необходимому равно 6,4, минимальное — почти 2, максимальное — почти 10.

Игра имеет два направления развития.

Во-первых, может быть интересно отказаться от случайного порядка карточек. Можно заранее заготовить набор карточек для того или иного «сценария» игры. Например, интересно выстроить цепочку убывающих младших приоритетов. Пусть в первой тройке будут два игрока с приоритетом I и высотой башни пять и один игрок с приоритетом II и высотой башни четыре. В этом случае игроки с приоритетом I заберут у игрока с приоритетом II *все* кубики (пусть почувствует себя ущемленным). Следом положим карточки с приоритетами I и III. Теперь игрок с приоритетом II окажется среди высокоприоритетных. Роль аутсайдера перейдет к игроку с приоритетом III. Среди следующей пары карточек должен быть приоритет IV. Это сразу переведет игрока с приоритетом III в высокоприоритетные. Цель такой цепочки — продемонстрировать относительность понятий «высокий» и «низкий» приоритет.

Второе направление — предложить учащимся улучшить дисциплину обслуживания. Например, повышать приоритет тем игрокам, которые уже простояли в очереди достаточно долго (несколько десятков тактов).

Игра 8 «Художники»
(управление по принципу «мастер — работники»)

Игра должна продемонстрировать следующие факты:

- Если несколько работников работают совместно (решают одну и ту же задачу), кто-то (или что-то) должен обеспечить согласованность их действий.
- Действия по согласованию сами по себе требуют ресурсов (прежде всего, времени).
- Существуют различные способы согласования.
- Неудачный способ согласования способен замедлить ход работы, а может быть, и остановить ее совсем.

Содержание игры.

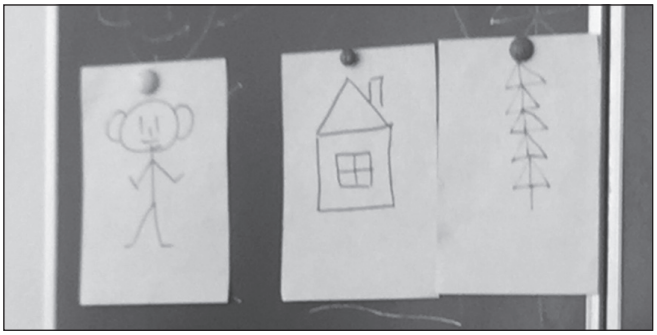
Цель играющих — нарисовать некоторую достаточно сложную картину. Для определенности пусть это будет тройка «елочка — домик — человечек».

Состав игроков. Есть *три художника* (работника), каждый из которых рисует свою часть картины (елочку, домик, человечка), и один *мастер*, который собирает картину целиком.

Каждый художник рисует на отдельном листе.

Мастер сначала создает макет будущей картины на доске. Потом собирает у художников их листочки и навешивает их на эскиз картины.

Художник за один такт может нарисовать лишь одну линию (любую, любой длины и формы, но только одну) или не рисовать ни одной.



Перед началом игры надо оценить, сколько времени потребуется на создание всей картины. Для этого надо посчитать, сколько линий в каждой из частей картины. Поскольку все части картины рисуются одновременно, легко догадаться, что время рисования всей картины будет определяться временем рисования самой длинной части.

Если какая-то часть будет требовать времени много больше остальных, это вызовет желание назначить на эту часть нескольких художников. Поэтому все части должны требовать примерно одинакового времени (состоять из примерно одинакового числа линий).

Кроме мастера и трех художников есть еще *хранитель времени*, который ведет отсчет тактов и отмечает, сколько тактов прошло с начала игры. Для отметок удобно использовать «библиотечный» счет.

Игра начинается в следующей позиции.

На доске перед мастером нарисован макет будущей картины.

Под каждой частью записано количество линий в этой части (т. е. по сути — продолжительность рисования данной части). Обведено максимальное число. Это — ожидаемое время рисования *всей картины*.

Вдоль доски стоят три художника с фломастерами. Перед каждым из них на доске висит лист формата А4 для рисования.

Хранитель времени приготовился к отсчету и отмечанию времени.

Дается дополнительная вводная.

Цель мастера — собрать рисунок целиком. Для этого он должен узнать, когда какая часть будет готова. После этого мастер подходит к художнику и забирает листок. Чтобы узнать, завершена ли работа, мастер будет проводить опрос художников. Делать он это будет следующим образом.

Мастер дает команду: «Внимание!» По этой команде все художники прекращают рисовать и поворачиваются спиной к доске.

Мастер спрашивает: «Первый готов?» («Второй готов?», «Третий готов?»).

Два художника, к которым обращение не относится, сразу же поворачиваются к доске, однако продолжать рисовать они будут только со следующего хода.

Художник, чей номер назван, отвечает «да» или «нет». Если «нет», то следующим ходом он поворачивается к доске. И только после следующего начинает рисовать. Если «да», то мастер подходит к художнику, забирает у него лист, относит его к эскизу и наклеивает на соответствующую часть рисунка.

То есть каждый опрос «Внимание!» отнимает по два такта у художников, чьи номера не названы, и три такта у художника, чей номер назван.

Чем чаще мастер повторяет опрос, тем больше оказываются потери.

В предельном случае мастер повторяет опрос непрерывно. В этом случае художники на повороты тратят больше времени, чем на рисование. Причем чем меньше художников, тем чаще вопрос задается каждому из них и тем медленней они работают. Когда художник останется один, его работа будет просто парализована.

Каждый художник (либо отдельный наблюдатель) должен засечь, сколько тактов понадобилось для того, чтобы в реальности закончить его часть рисунка.

Можно повторить игру несколько раз, проводя опрос с разной частотой.

Слабое место игры в том, что частый опрос будет однозначно восприниматься как явление негативное. Чем опрос реже, тем меньше будут потери.

В реальности существует еще один важный фактор. Художник заканчивает работу, но до получения новой команды от мастера ничего не делает и удерживает выделенные ему ресурсы. Частый опрос сокращает этот период простоя. Для демонстрации этого факта служит следующий **усложненный вариант игры.**

Нарисовать надо более сложную картину, состоящую из нескольких елочек, нескольких человечков, нескольких домиков. Каждый рисунок создается на отдельном листе бумаги. Нарисовав один рисунок, художник должен ждать, пока мастер заберет у него изрисованный лист и выдаст чистый. В этом случае редкое повторение опроса будет вызывать простои в работе художников и задержку в рисовании всей картины.

* * *

В статье описаны восемь деловых игр, придуманных в ходе работ над «пермской версией» пропедевтического курса информатики:

1) «Землекопы» 2) «Поднимание парты» 3) «Строительство светофора» 4) «Изготовление браслетов»	На виды согласования при совместной деятельности
5) «Построение замков»	На связь скорости работы с количеством исполнителей, загрузку исполнителей, критический путь
6) «Переливашка»	На конкуренцию за ресурсы, блокировку процессов и квантование времени
7) «Строители башен»	На управление с помощью приоритетов
8) «Художники»	На взаимодействие «мастер — работник»

Все эти игры (какая в большей, какая в меньшей мере) прошли апробацию на уроках в младших классах и на мероприятиях по повышению квалификации учителей и показали свою полезность.

Автор будет признателен, если учителя, которые воспользуются предложенной методикой, поделятся полученным опытом.

Литература

1. *Иванова Н. Г., Плаксин М. А., Русакова О. Л.* ТРИЗформашка // Информатика. 2010. № 5.

2. *Кучев А. Д., Плаксин М. А.* Параллельные вычисления в школьной информатике. Игра «Танковый экипаж» //Информатика в школе: прошлое, настоящее и будущее: материалы Всеросс. науч.-метод. конф. по вопросам применения ИКТ в образовании, 6–7 февраля 2014 г., Перм. гос. нац. иссл. ун-т. Пермь, 2014.

3. *Плаксин М. А., Иванова Н. Г., Русакова О. Л.* Информатика: учебник для 4 класса: в 2 ч. М.: БИНОМ. Лаборатория знаний, 2013.