



Игорь Борисович Бурдонов
Александр Сергеевич Косачев

**Обход неизвестного
графа коллективом
автоматов**

Институт Системного Программирования РАН

Обход неизвестного графа (graph learning)



Для каких целей?

- Изучение
Тестирование

Проблемы?

Размеры графа и отсюда:

Время обхода и размеры памяти

Пути решения

Распараллеливание

пока хватает памяти, коллектив обходчиков,
каждый со своей копией описания графа

Рассредоточение общего описания

Взаимодействие с неизвестным графом (Е-графом)

**Граф ориентированный детерминированный
и ограничено ветвящийся**

В каждой вершине известен идентификатор ее
и число выходящих дуг

Инициализация (создай Е-граф)

В ответ: идентификатор начальной вершины
и число выходящих дуг

Переход из текущей вершины по указанной дуге

В ответ: идентификатор новой вершины
и число выходящих дуг

Терминация

Состав коллектива автоматов

Генератор

Регуляторы (по одному на каждую пройденную вершину)

Движок

Внешнее окружение

ОСНОВНЫЕ ПОНЯТИЯ

Пройденный граф — подграф графа, определяемый всеми пройденными дугами.

Остов — остов пройденного графа, ориентированный от корня — начальной вершины графа;

Дерево, являющееся поддеревом остова с тем же корнем и содержащим все пройденные начальные вершины непройденных дуг.

Если пройденная вершина принадлежит остову, но не принадлежит дереву, работа со всеми выходящими из неё дугами закончена – по ним больше не будет проходов.

Генератор

Генератор создаётся извне и получает сообщение **ты генератор**

При инициализации генератор создаёт **Е-граф** (посылает сообщение ввне создай Е-граф и получает сообщение **Е-граф создан**) и становится регулятором начальной вершины, которая в этот момент времени является единственной пройденной вершиной и единственной вершиной остова и дерева, а также создаёт первый движок в начальной вершине графа (посылает сообщение ввне **создай автомат** и получает сообщение **автомат создан**) и посылает ему сообщение **ты движок**. После инициализации генератор генерирует новые Е-графы и связанные с ними движки так же, как это делается для первого движка.

Регулятор

- Регулятор связан с пройденной вершиной графа так, что с каждой пройденной вершиной связан ровно один регулятор. Исключение составляют терминальные вершины, которые не нужно отличать друг от друга и для которых регуляторы не создаются.
- Регулятор не двигается по графу и предназначен для регулирования движения движков – сообщения им куда двигаться дальше

Регулятор (2)

Состояния выходящих дуг:

- **не пройдена**,
проходится, т.е. по дуге прошёл движок, но ещё не известил регулятор вершины a о том, является ли вершина b не пройденной и не терминальной или нет,
на дереве, т.е. дуга пройдена и принадлежит дереву,
законченная дуга остова, т.е. дуга остова пройдена, но уже не принадлежит дереву,
законченная хорда остова, т.е. пройденная хорда остова.

ДВИЖОК

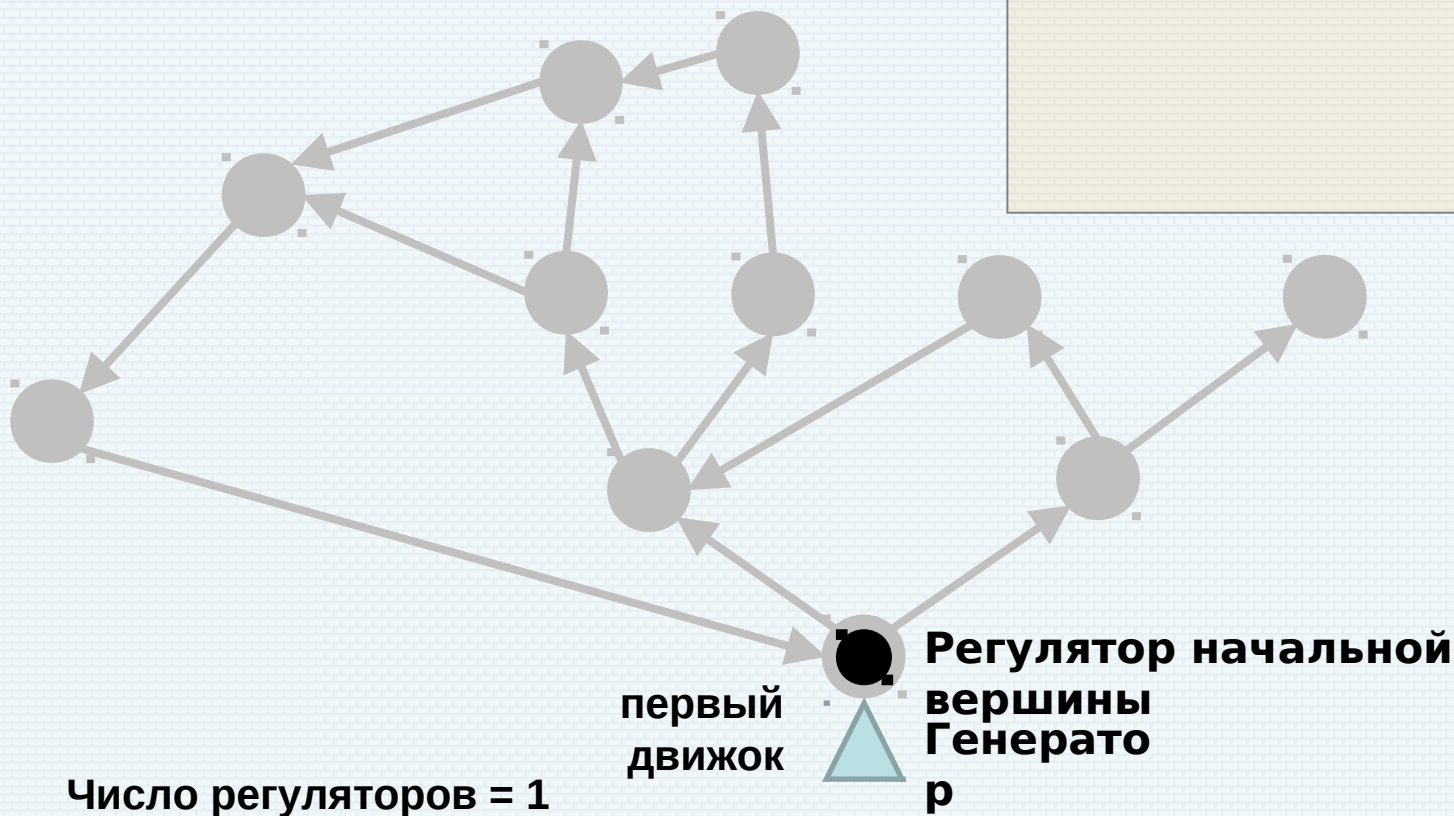
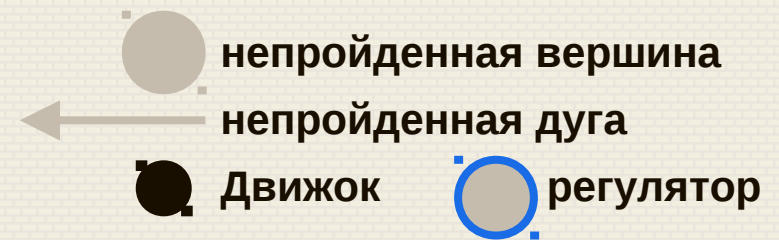
Только в режиме движка автомат двигается по графу, начиная с его корня, сначала по пройденным выходящим дугам. Для прохода по дуге движок посылает Е-графу сообщение проход по дуге и получает сообщение ответ на проход, текущей вершиной становится конец пройденной им дуги. Далее движок посылает регулятору текущей вершины сообщение куда идти и получает ответное сообщение иди по дуге. Движок проверяет сообщенный ему адрес регулятора конца выходящей дуги. Если он не пуст, эта дуга пройдена, и цикл повторяется. Если пуст, движок проходит по непройденной дуге $a \rightarrow i \rightarrow b$, ведущей из вершины a , имеющей в ней номер i и ведущей в вершину b . Если вершина b терминальная (число дуг равно нулю), движок посылает регулятору вершины a сообщение конец с указанием номера дуги i и пустого адреса в качестве адреса регулятора вершины b , а сам останавливается. В противном случае движок должен узнать по идентификатору вершины b , пройдена она или ещё нет, т.е. имеется ли регулятор этой вершины.

Оценка сложности

Движки могут быть двух типов в зависимости от того, 1) проходит ли движок до остановки непройденную ранее дугу или 2) останавливается, не пройдя ни одной новой дуги. Число движков 1-го типа равно $O(m)$. Движок 2-го типа останавливается, получив нулевой номер дуги в сообщении иди по дуге или ответ на опрос. Нулевой номер дуги регулятор сообщает в том случае, когда либо А) имеются дуги в состоянии прохождения, а все остальные дуги законченные, либо В) все дуги законченные. Ситуация А наступает тогда, когда какой-то движок пошёл по последней непройденной дуге, а остальные дуги либо законченные, либо проходятся, а заканчивается после завершения опроса регуляторов. Поскольку число регуляторов не превышает $O(n)$, опрос регуляторов заканчивается за время $O(n)$. Тем самым, ситуация А закончится через $O(n)$ тиков. Ситуация В наступает тогда, когда регулятор вершины b получил сообщение конец для некоторой выходящей дуги, а все остальные дуги уже законченные. Если вершина b начальная, через $O(1)$ тиков обход закончится. В противном случае в вершину b входит одна дуга дерева $a-i \rightarrow b$. Через $O(1)$ тиков регулятор вершины b пошлёт сообщение конец регулятору вершины a , тот получит это сообщение и дуга $a-i \rightarrow b$ перестанет быть дугой дерева. Следовательно, ситуация В закончится через $O(1)$ тиков. Поскольку регулятор вершины только один раз оказывается в каждой из ситуаций А и В, число движков 2-го типа, останавливающихся в данной вершине, не превышает $O(n)$. Суммарно число движков 2-го типа равно $O(n^2)$. Итак, число всех движков равно $O(m+n^2)$. Поскольку каждый движок генерируется через $O(1)$ тиков после генерации предыдущего движка, время обхода равно **$O(m+n^2)$** .

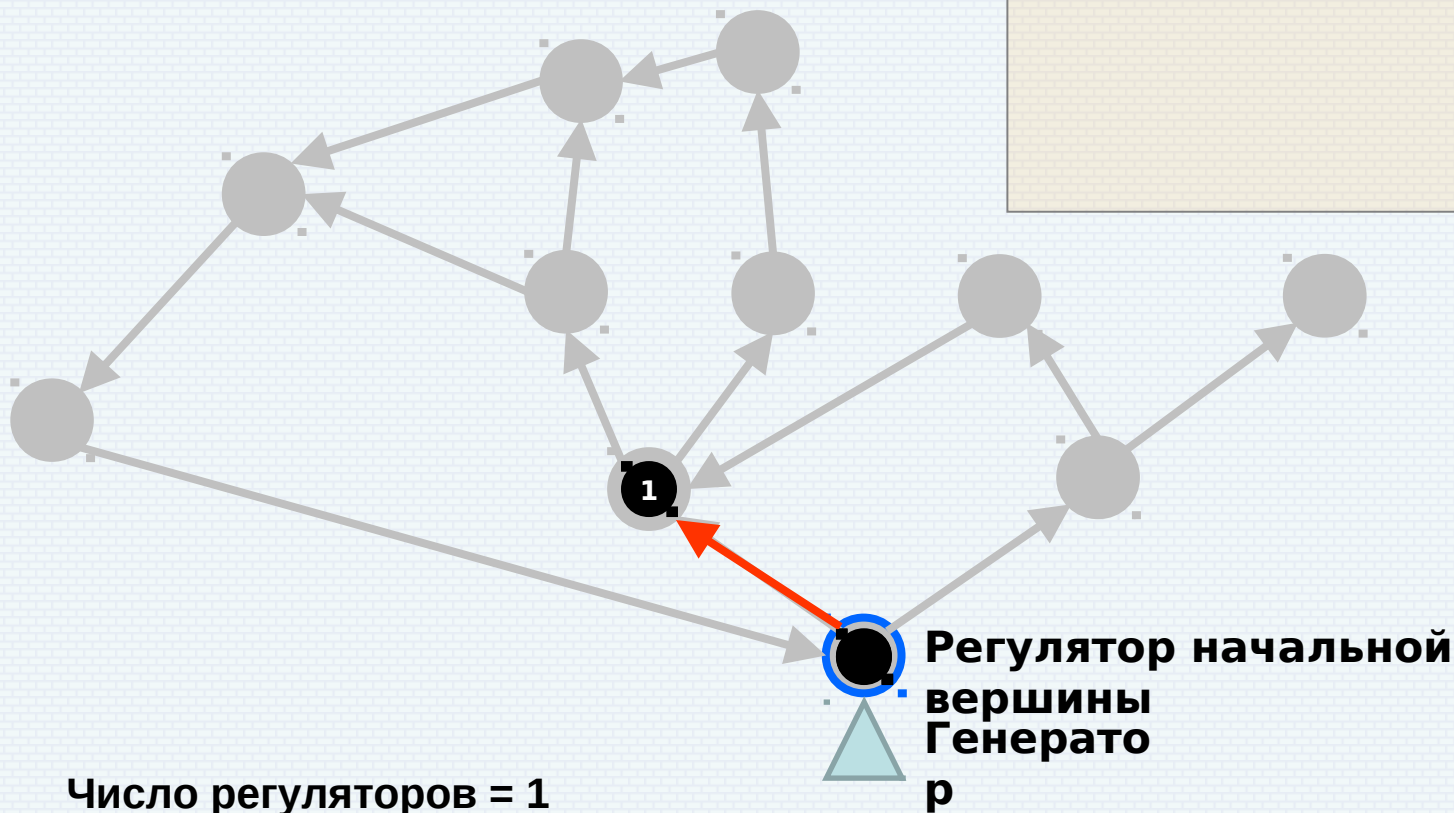
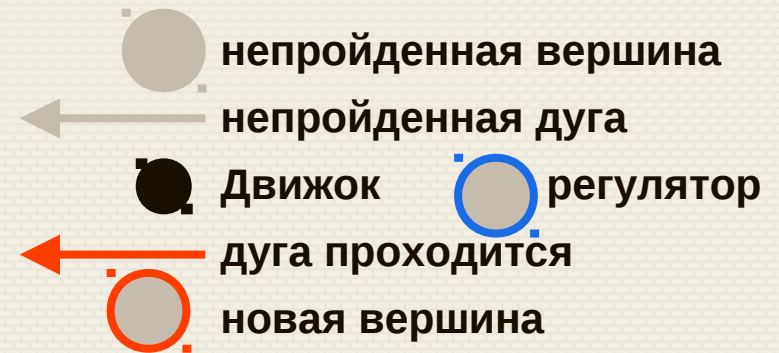
За 1 такт выполняются следующие действия:

- генерация движка
- проход по дуге
- опрос одного регулятора
- передача сообщения *конец*



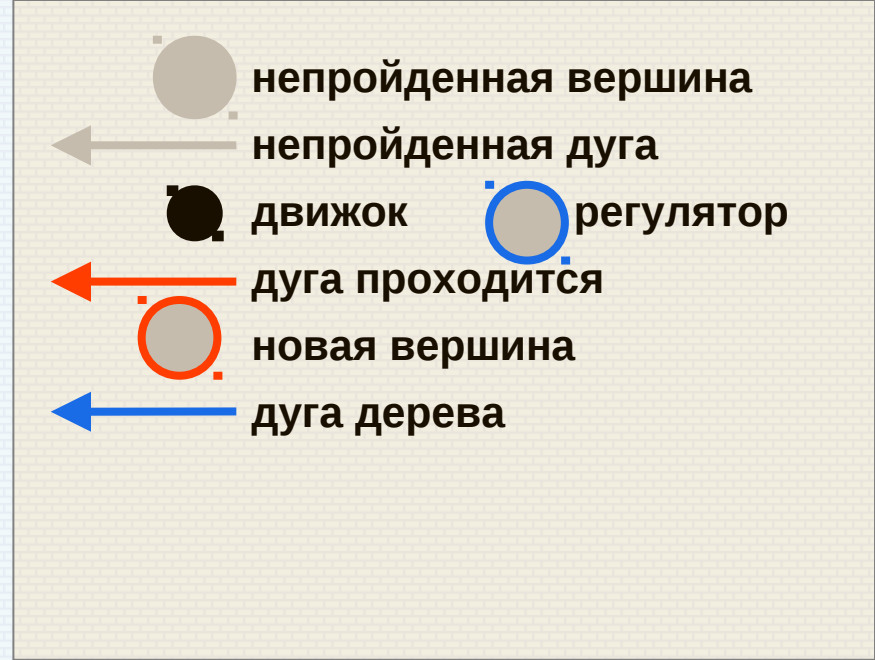
За 1 такт выполняются следующие действия:

- генерация движка
- проход по дуге
- опрос одного регулятора
- передача сообщения *конец*



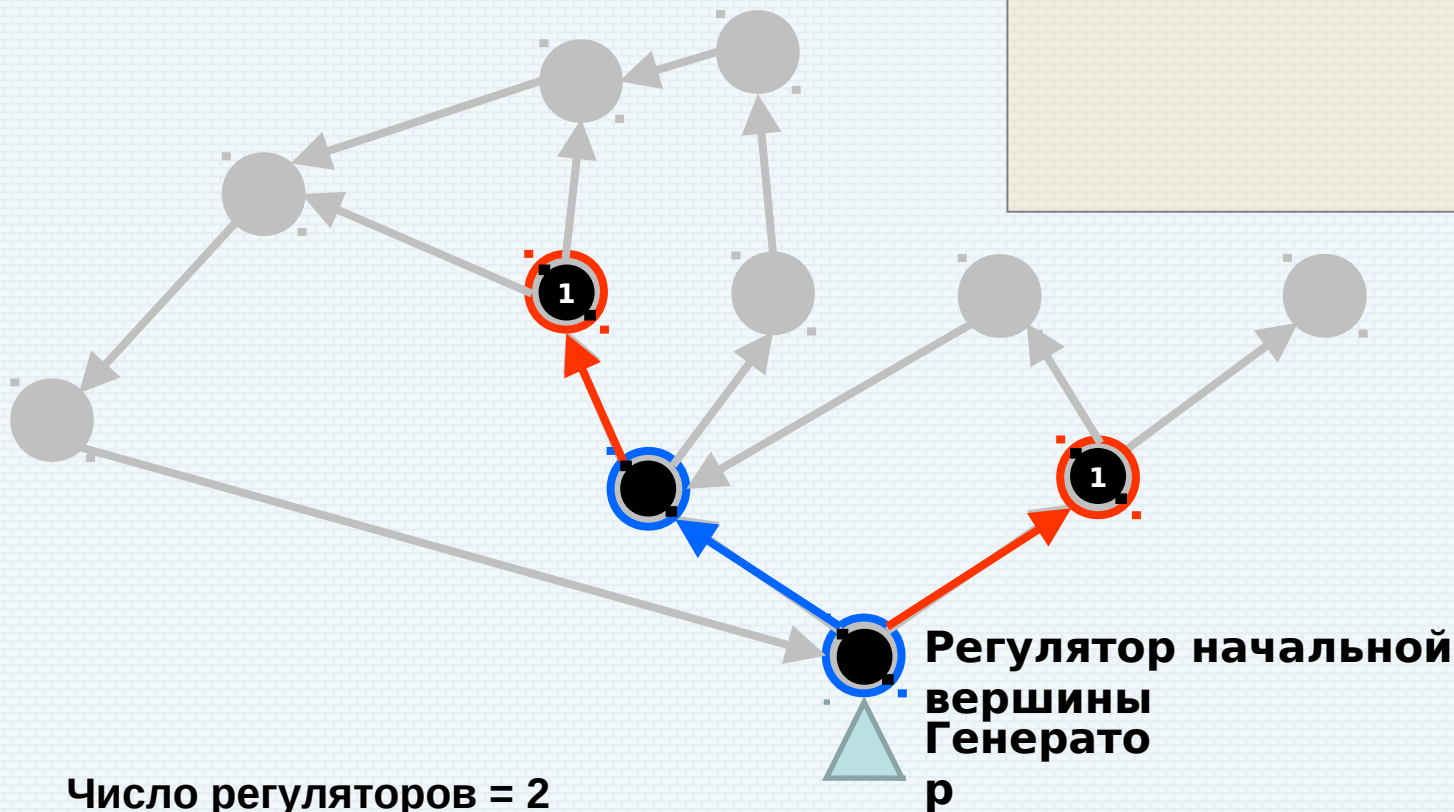
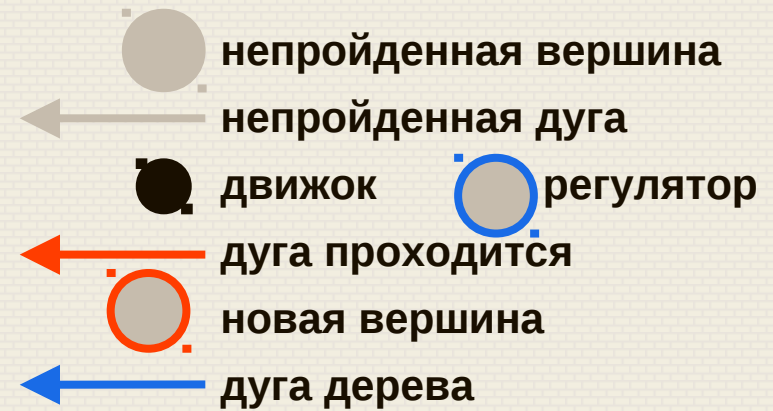
- генерация движка
- проход по дуге
- опрос одного регулятора
- передача сообщения *конец*

- генерация движка
- проход по дуге
- опрос одного регулятора
- передача сообщения *конец*



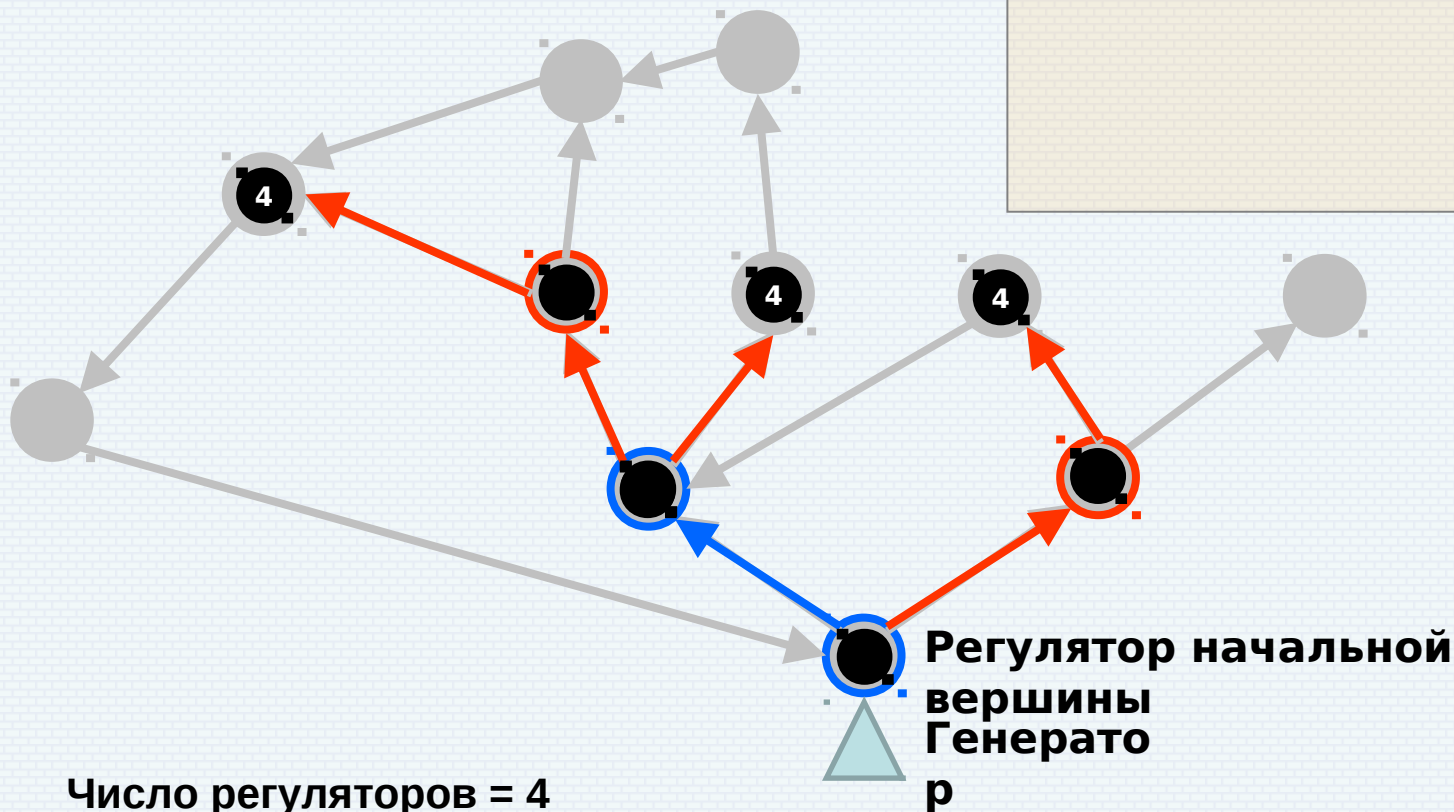
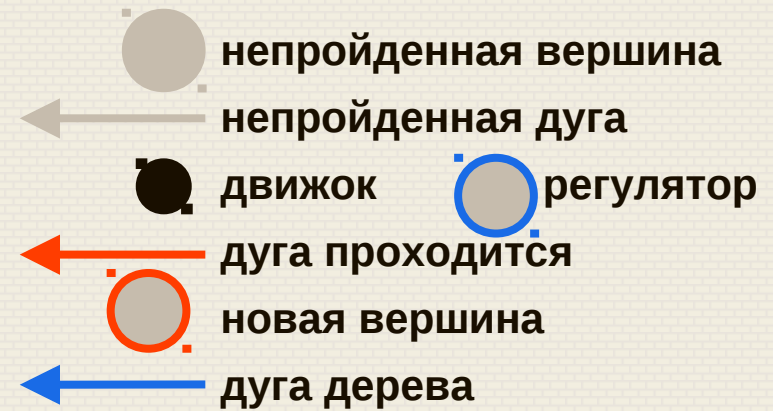
За 1 такт выполняются следующие действия:

- генерация движка
- проход по дуге
- опрос одного регулятора
- передача сообщения *конец*



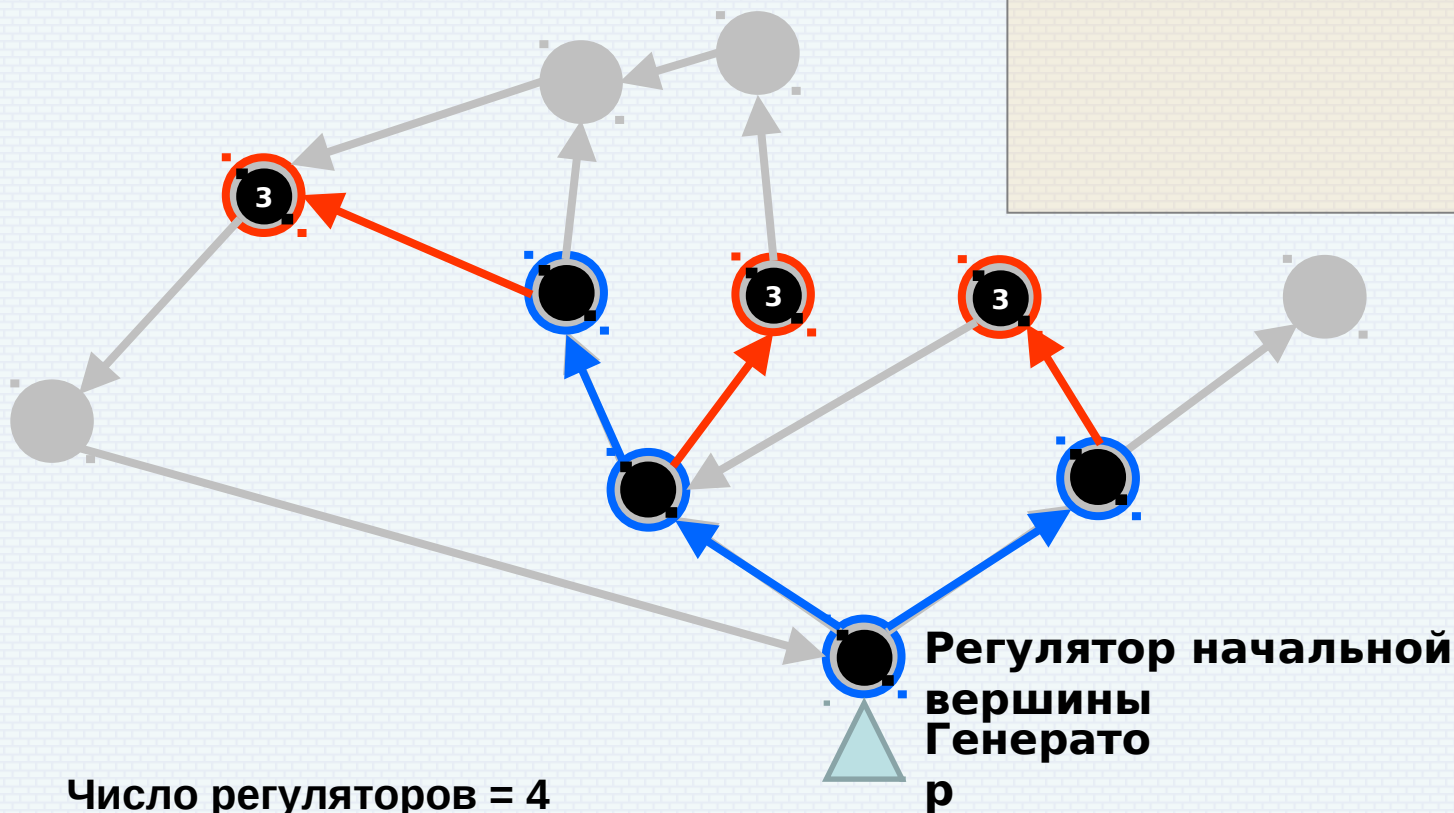
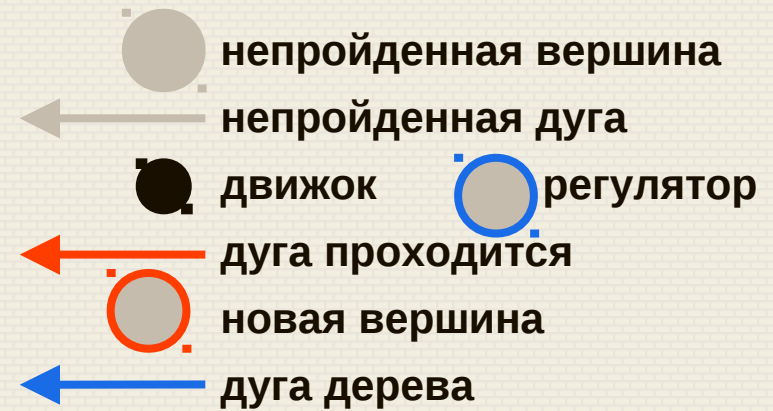
За 1 такт выполняются следующие действия:

- генерация движка
- проход по дуге
- опрос одного регулятора
- передача сообщения *конец*



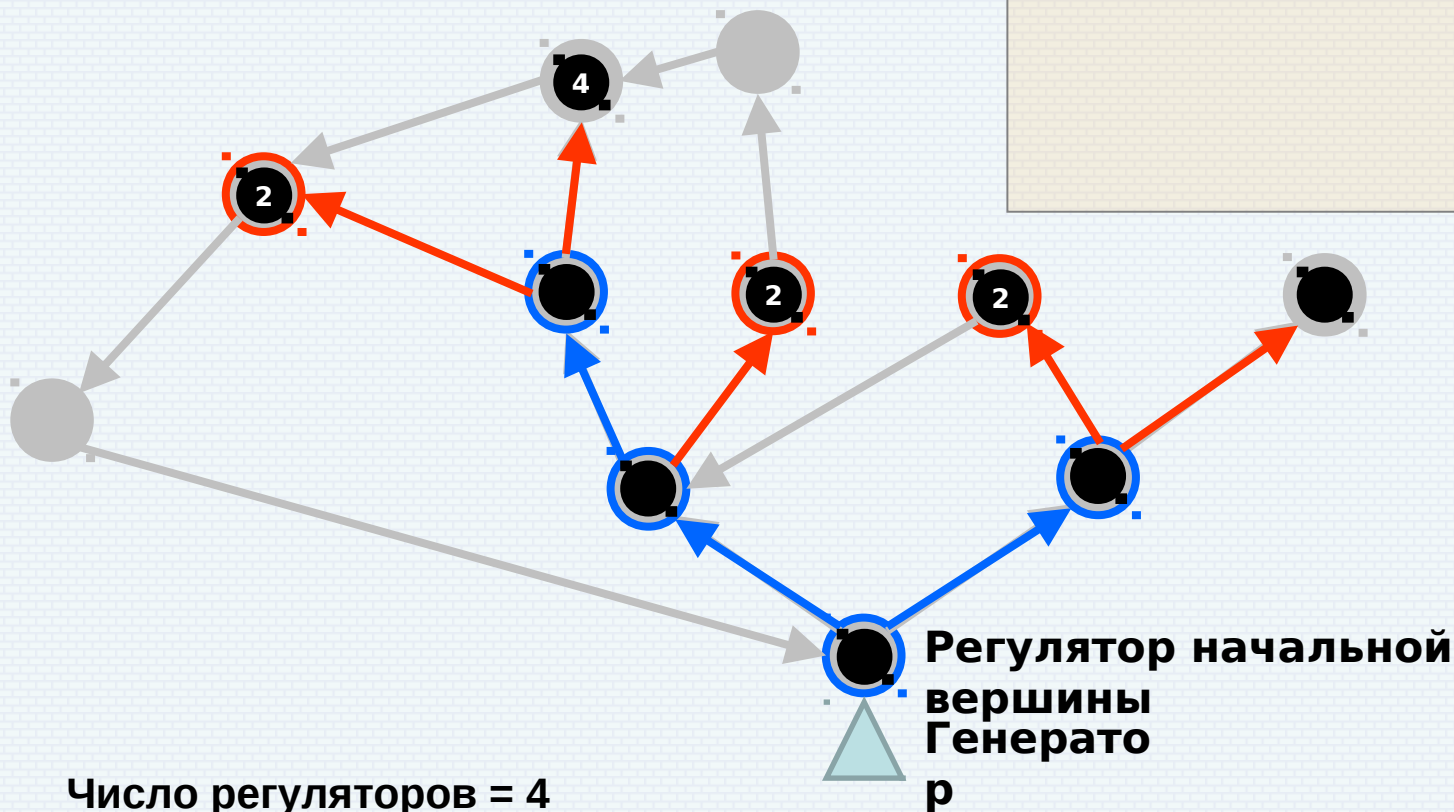
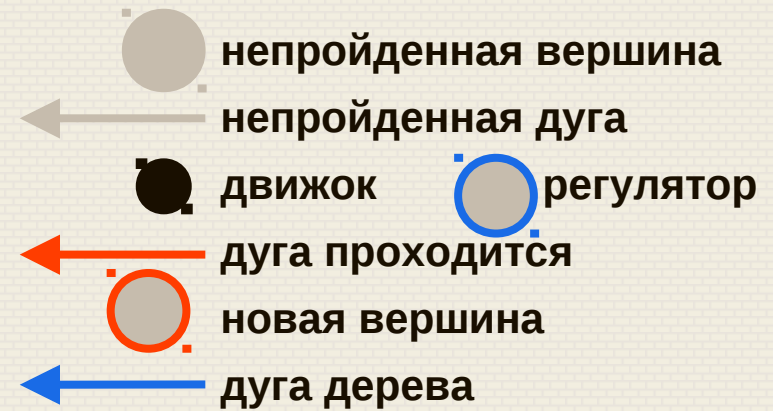
За 1 такт выполняются следующие действия:

- генерация движка
- проход по дуге
- опрос одного регулятора
- передача сообщения *конец*



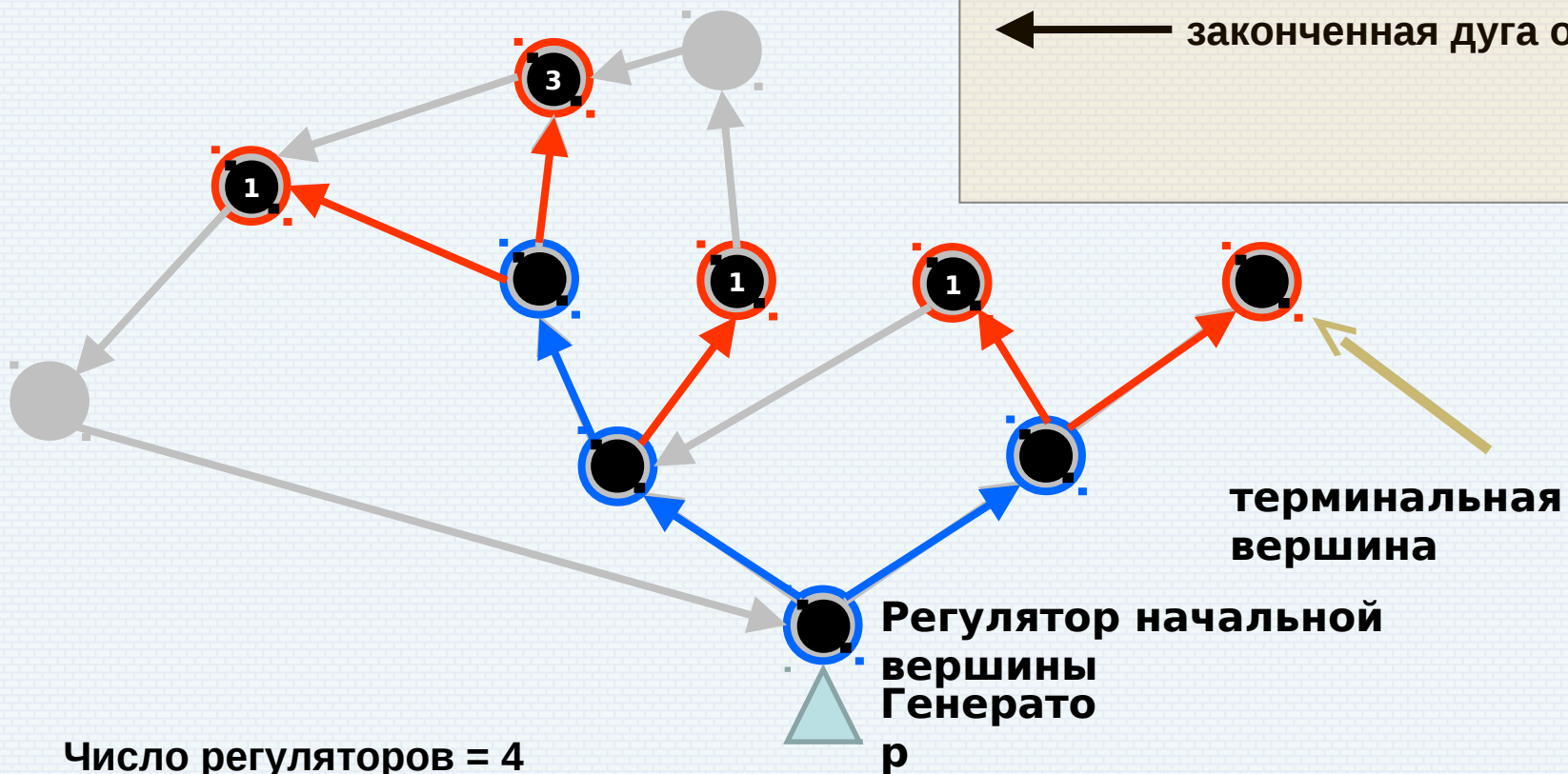
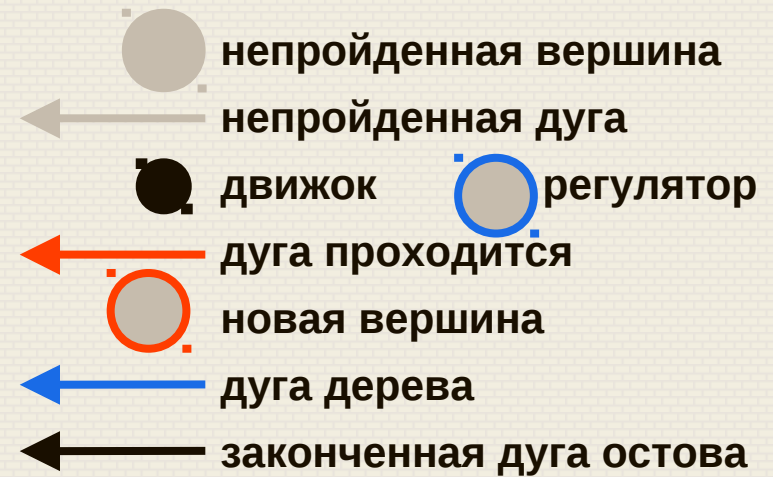
За 1 такт выполняются следующие действия:

- генерация движка
- проход по дуге
- опрос одного регулятора
- передача сообщения *конец*



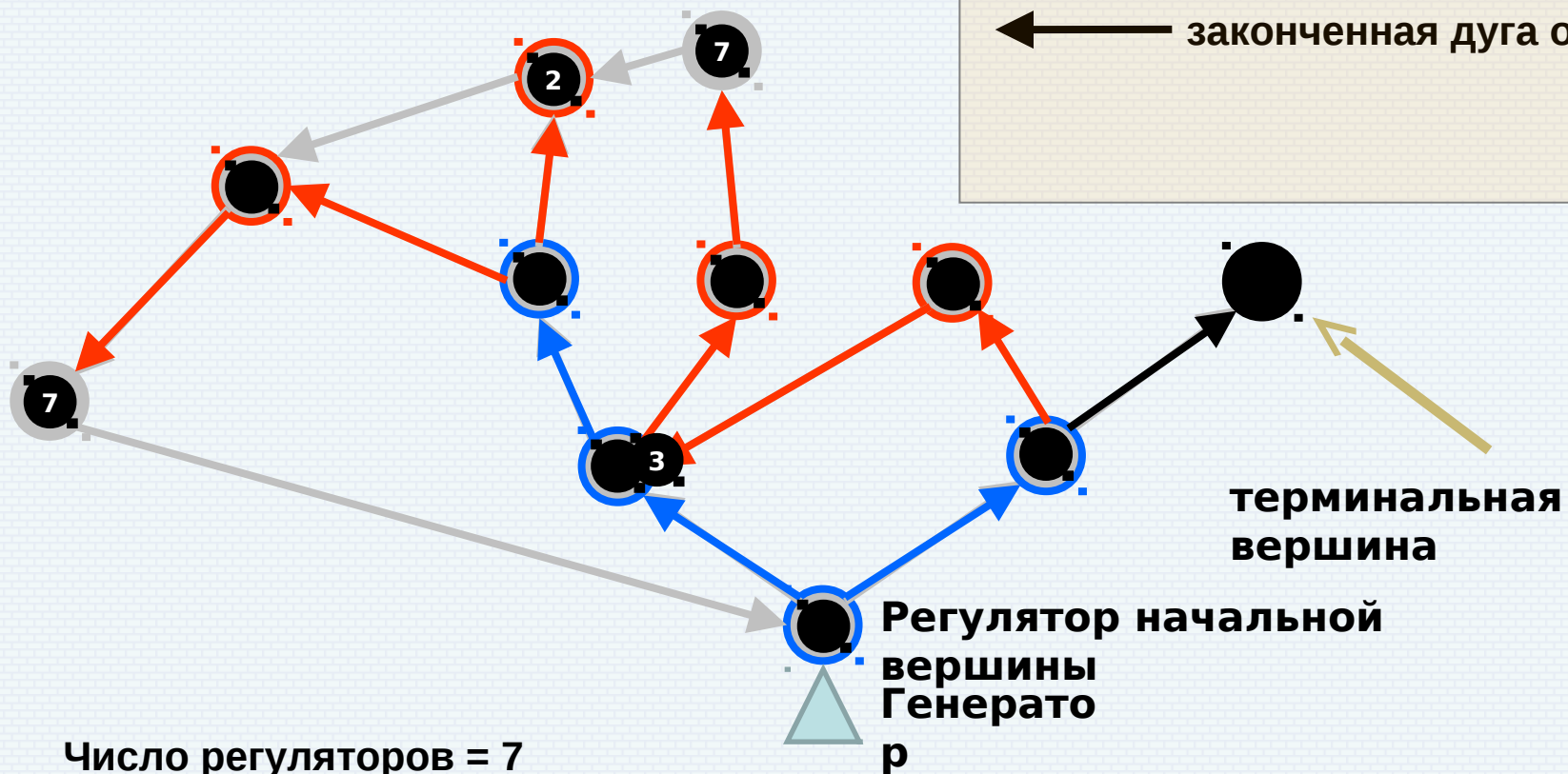
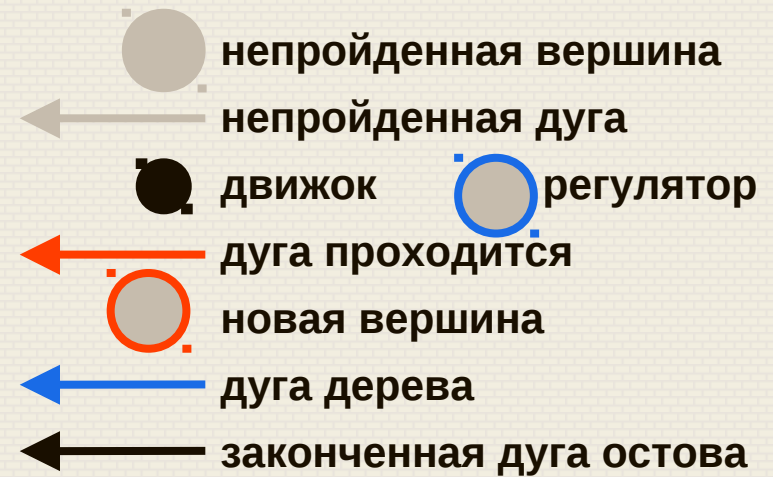
За 1 такт выполняются следующие действия:

- генерация движка
- проход по дуге
- опрос одного регулятора
- передача сообщения *конец*



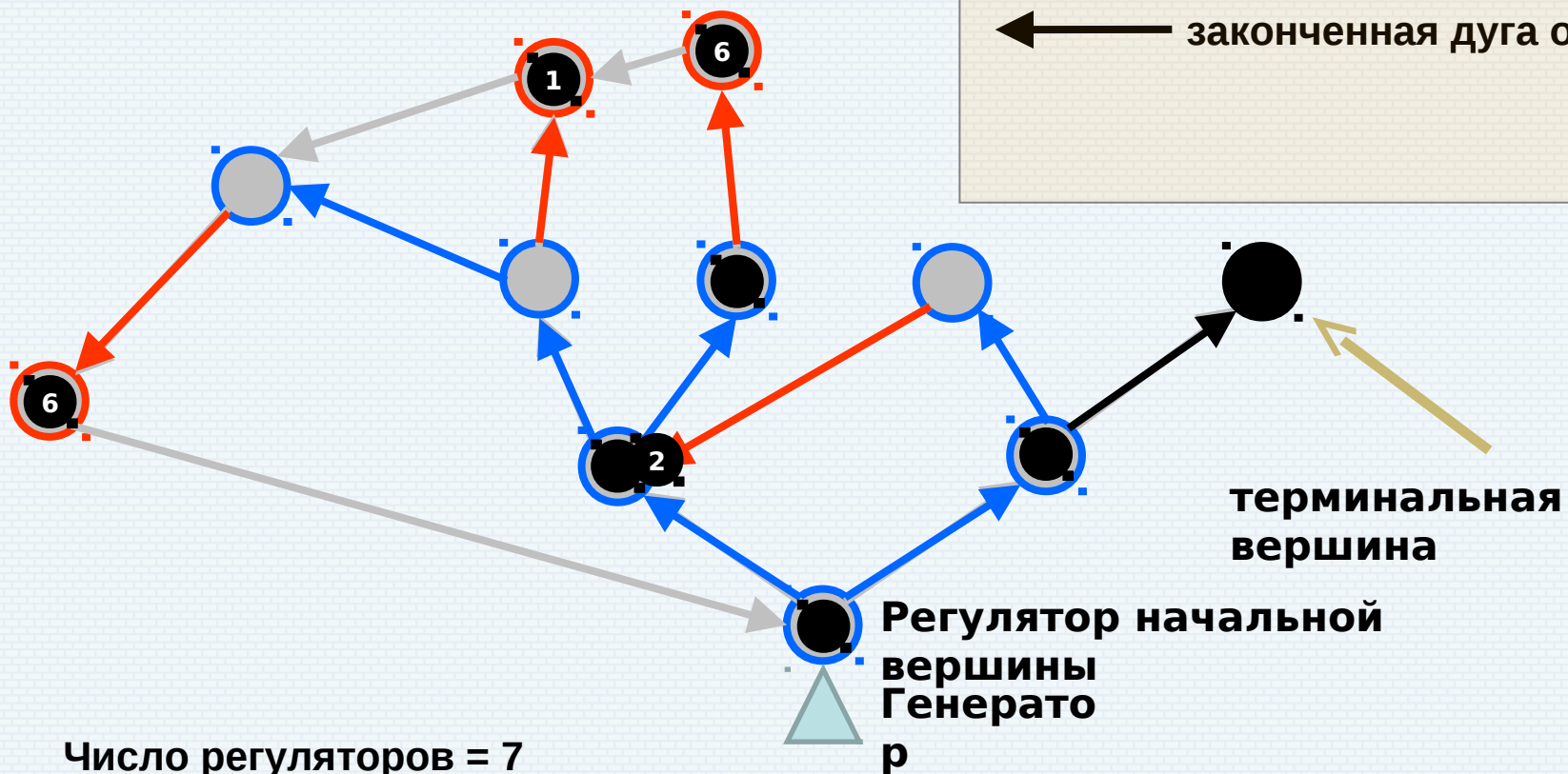
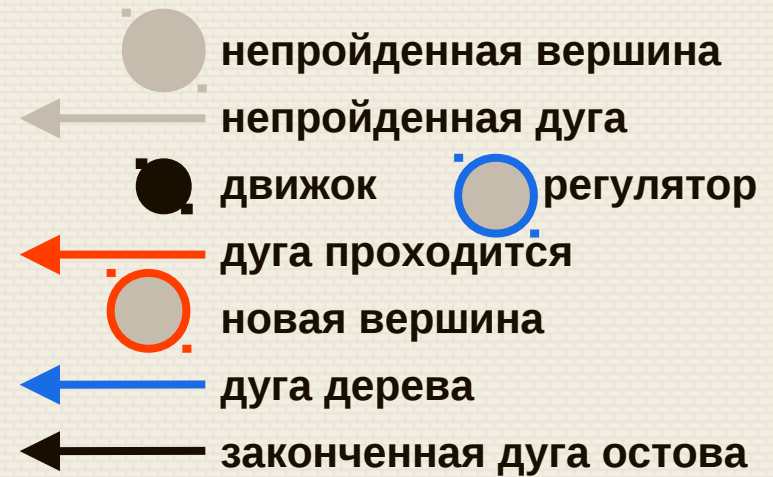
За 1 такт выполняются следующие действия:

- генерация движка
- проход по дуге
- опрос одного регулятора
- передача сообщения *конец*



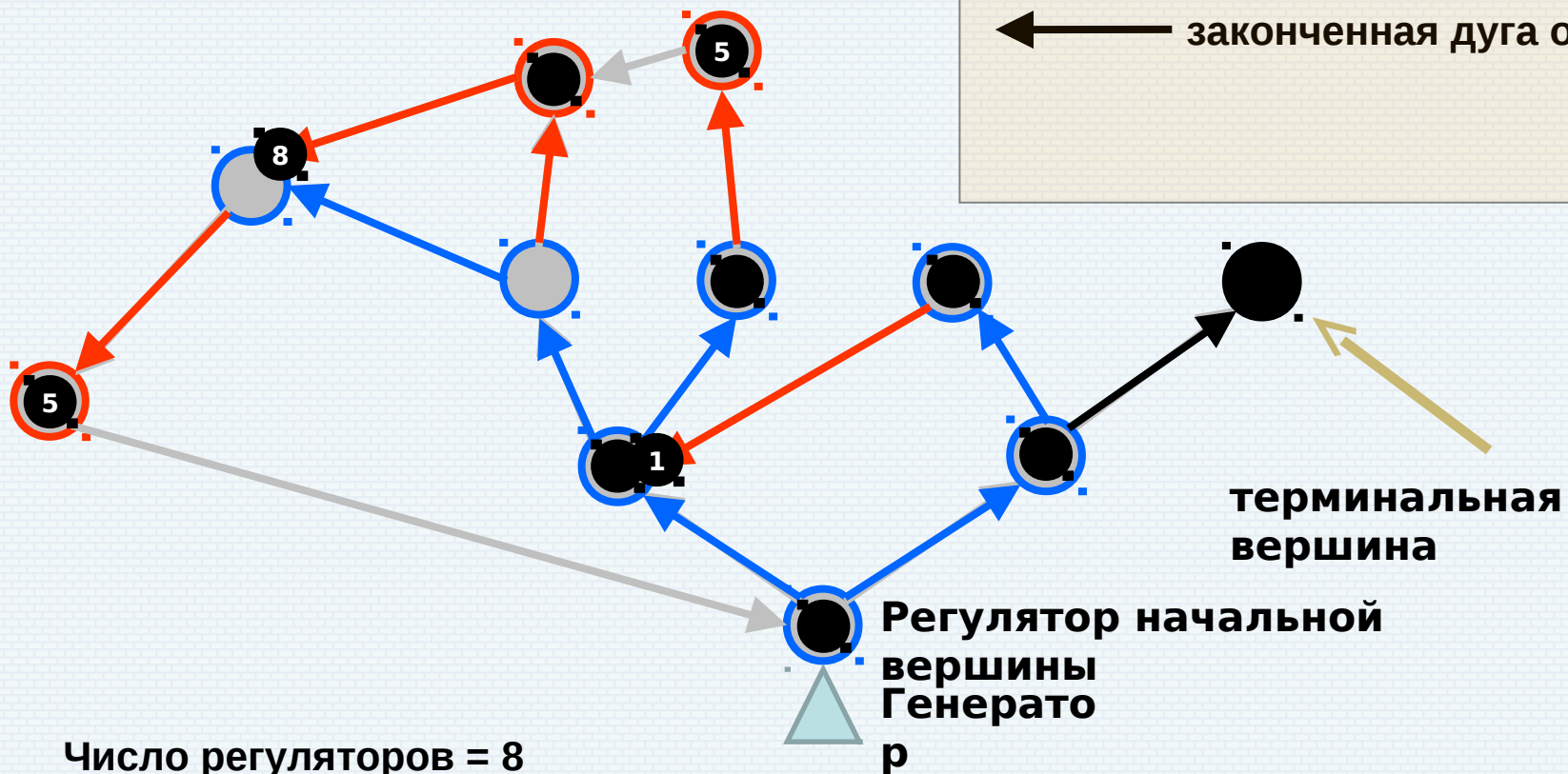
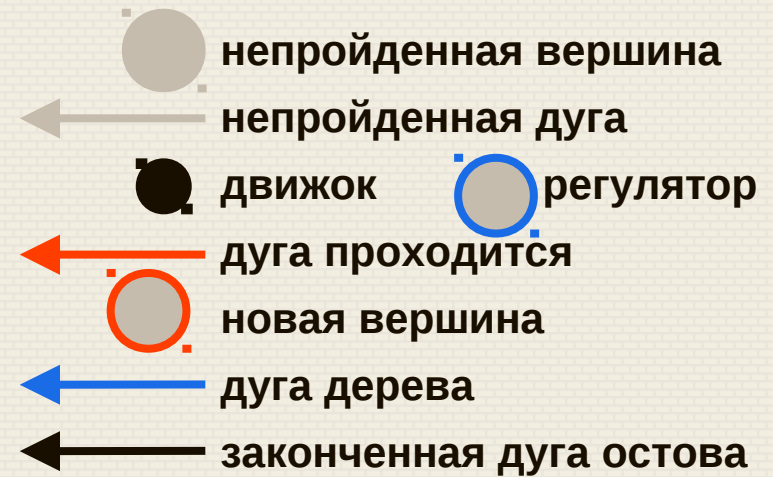
За 1 такт выполняются следующие действия:

- генерация движка
- проход по дуге
- опрос одного регулятора
- передача сообщения *конец*



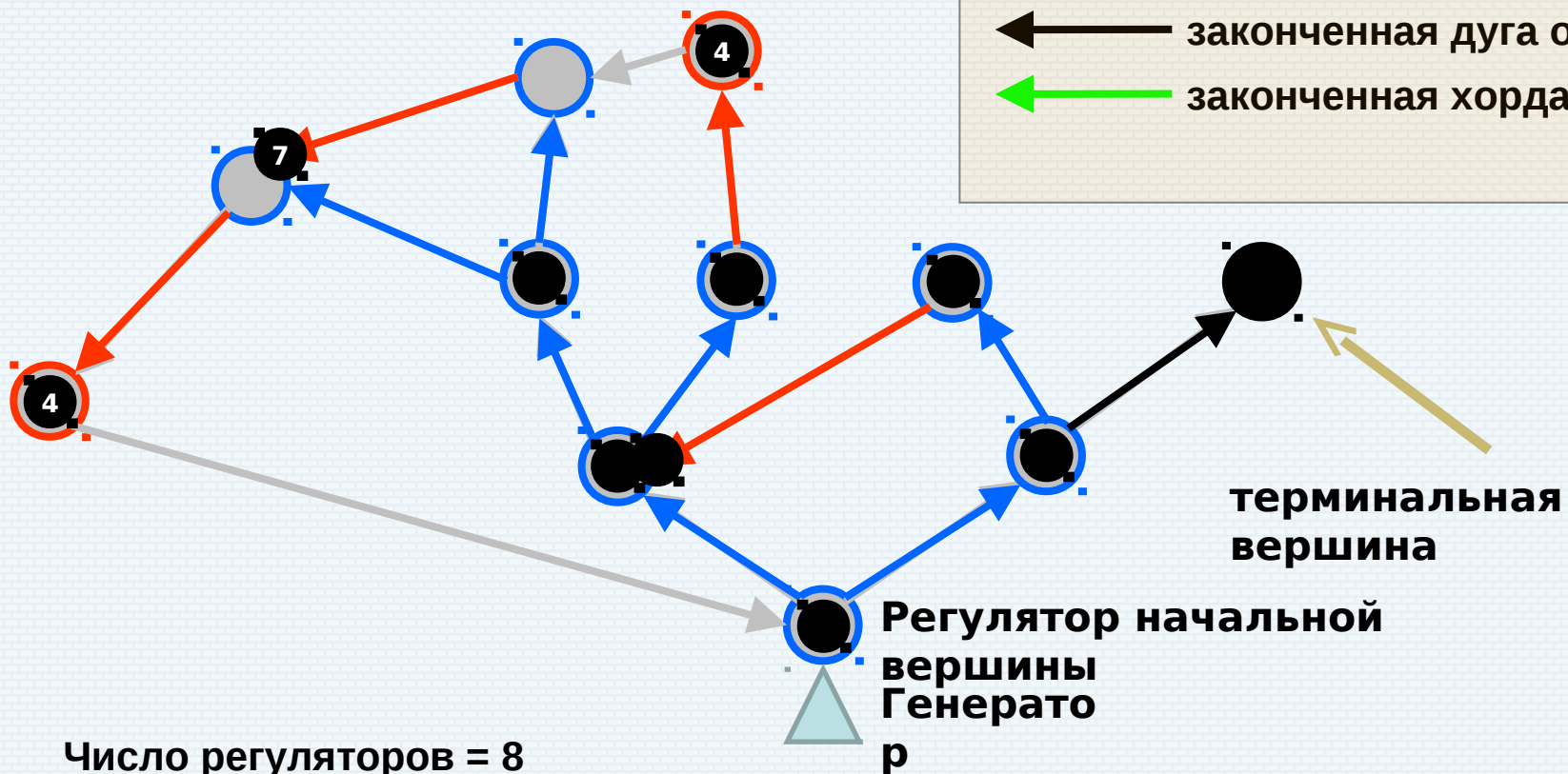
За 1 такт выполняются следующие действия:

- генерация движка
- проход по дуге
- опрос одного регулятора
- передача сообщения *конец*



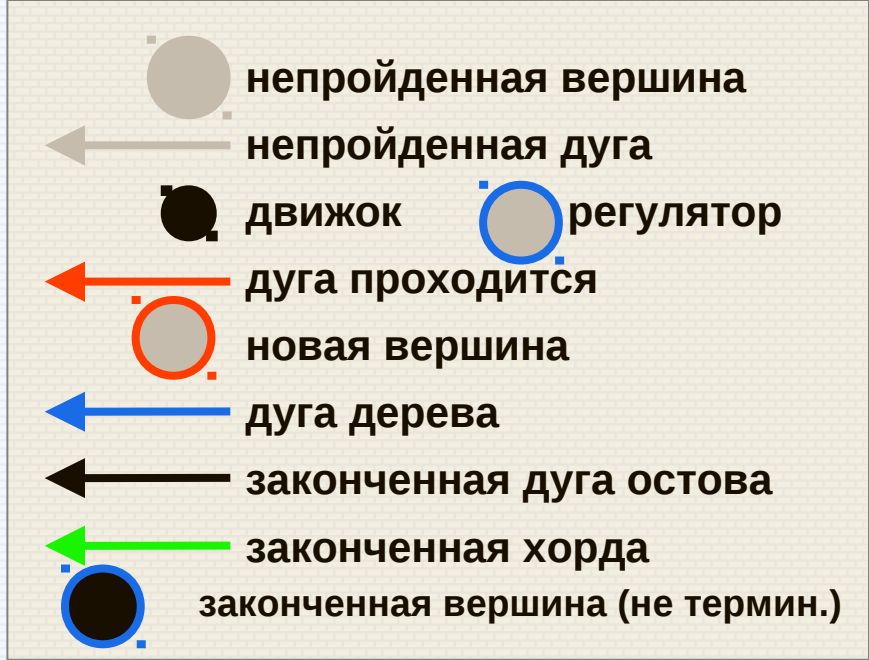
За 1 такт выполняются следующие действия:

- генерация движка
- проход по дуге
- опрос одного регулятора
- передача сообщения *конец*



- генерация движка
- проход по дуге
- опрос одного регулятора
- передача сообщения *конец*

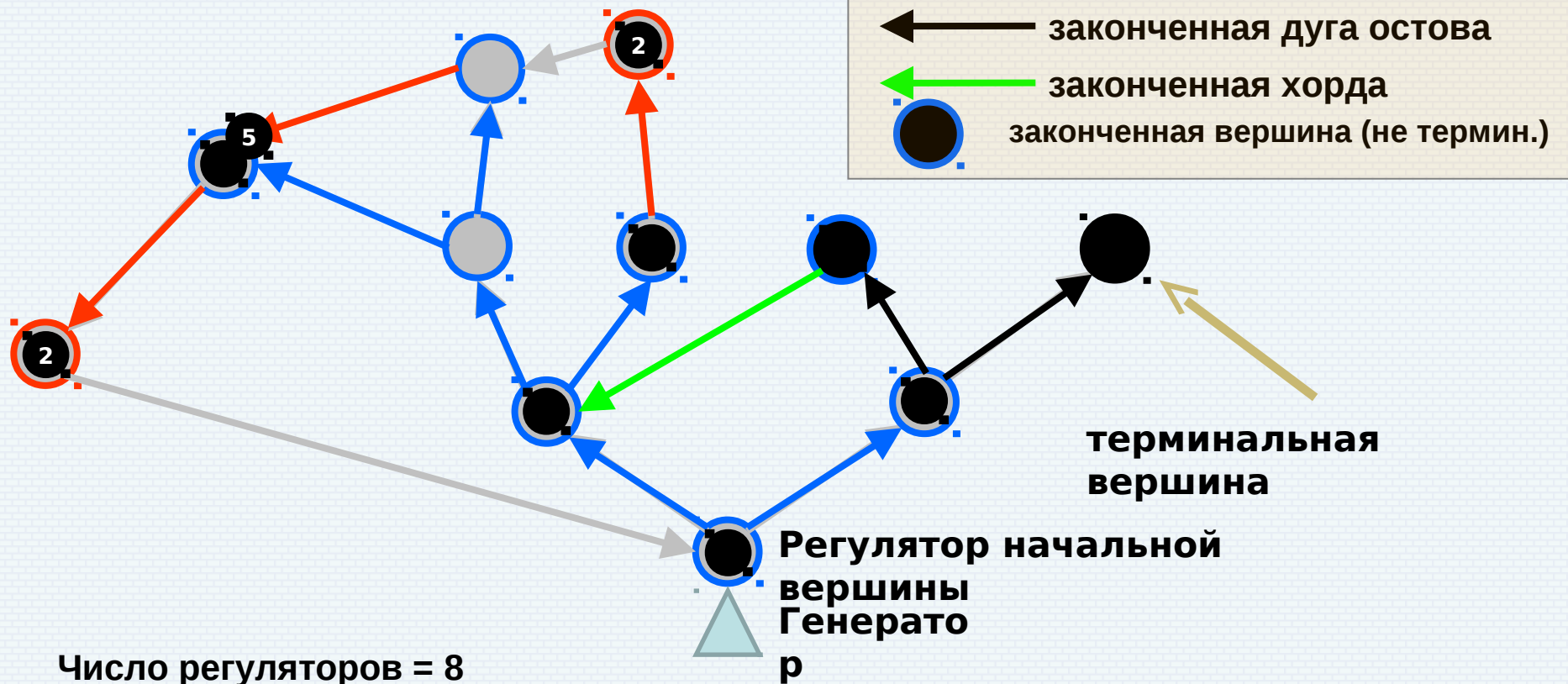
- генерация движка
- проход по дуге
- опрос одного регулятора
- передача сообщения *конец*



Число регуляторов = 8

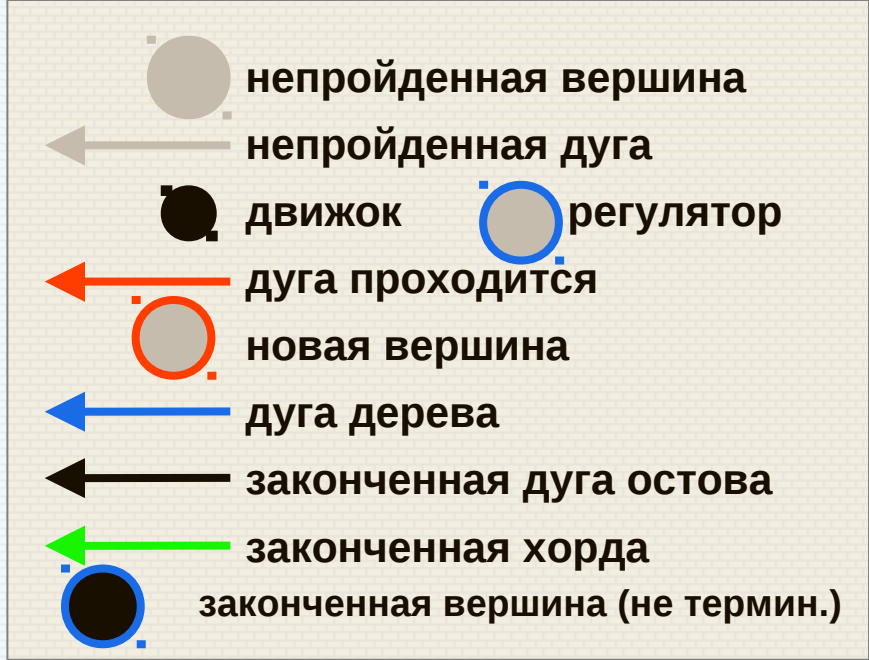
За 1 такт выполняются следующие действия:

- генерация движка
- проход по дуге
- опрос одного регулятора
- передача сообщения *конец*



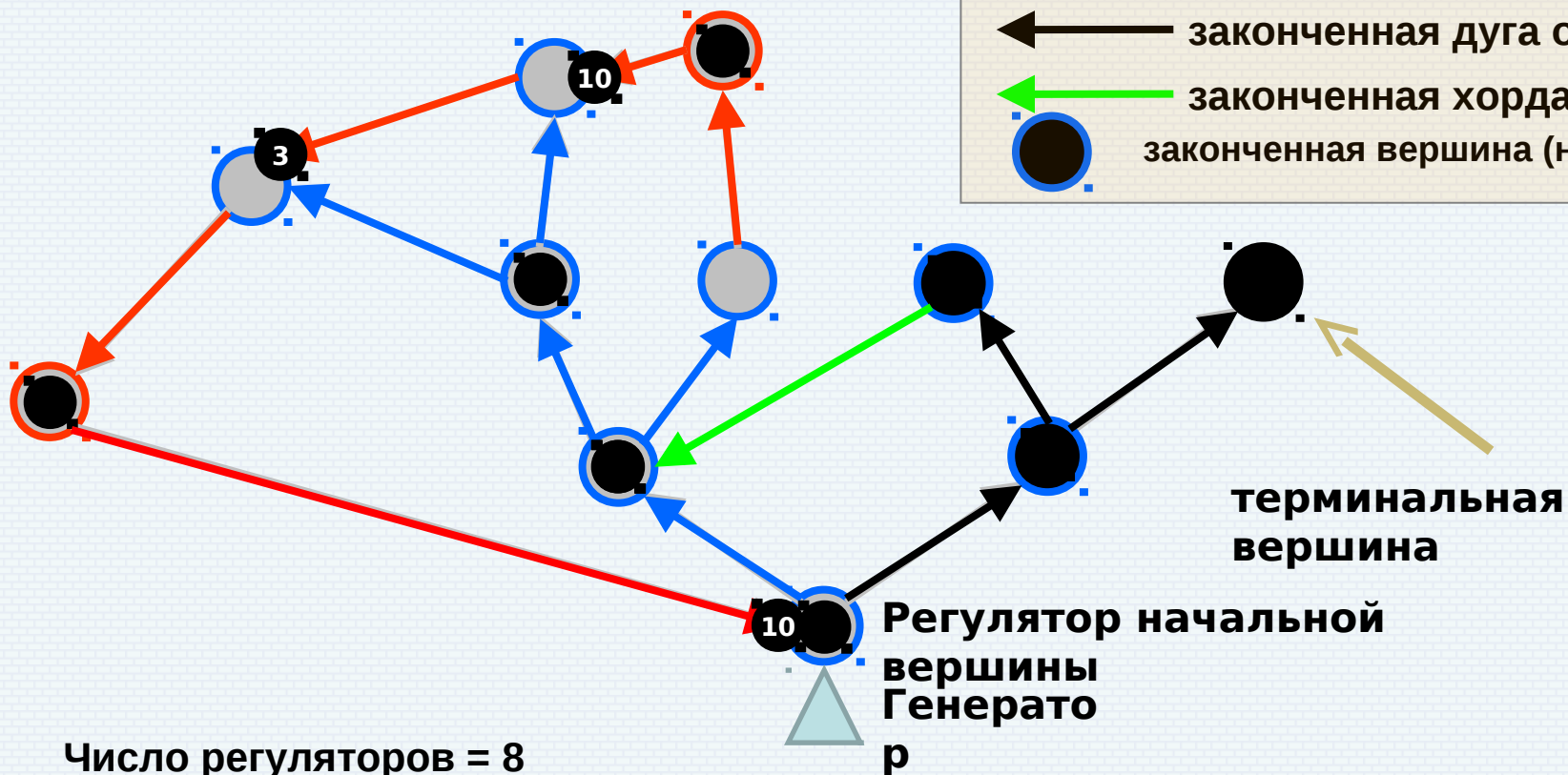
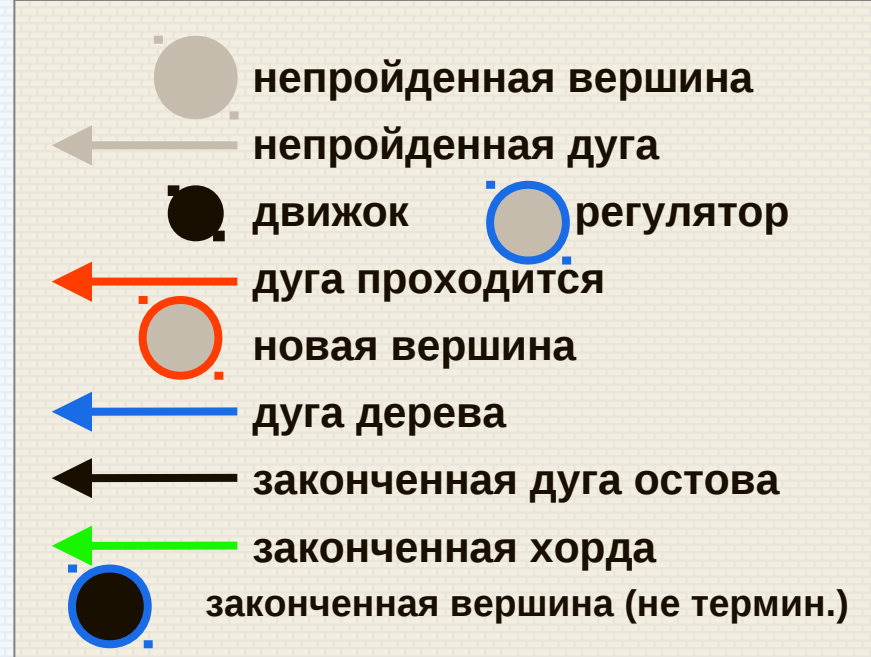
- генерация движка
- проход по дуге
- опрос одного регулятора
- передача сообщения *конец*

- генерация движка
- проход по дуге
- опрос одного регулятора
- передача сообщения *конец*



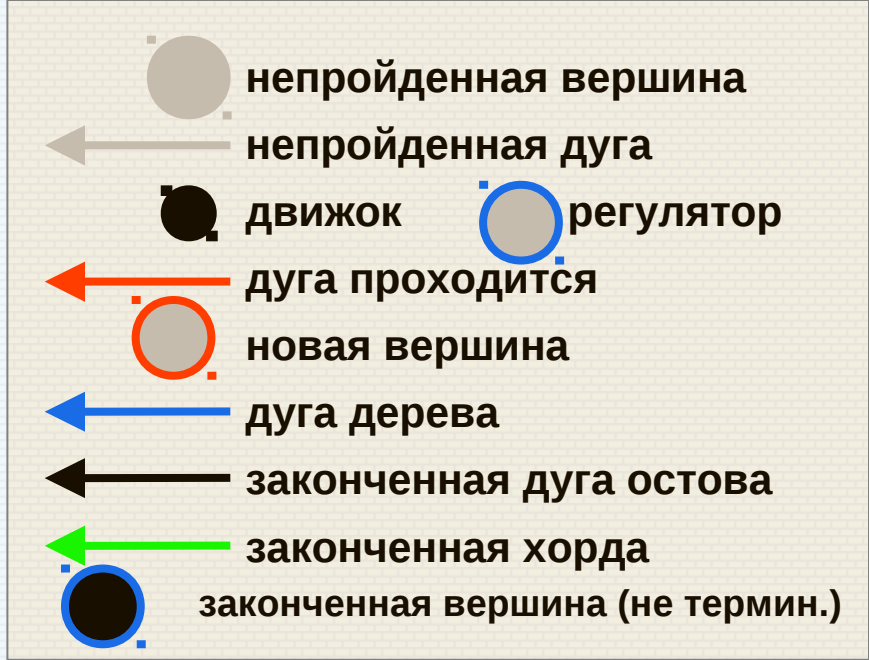
За 1 такт выполняются следующие действия:

- генерация движка
- проход по дуге
- опрос одного регулятора
- передача сообщения *конец*



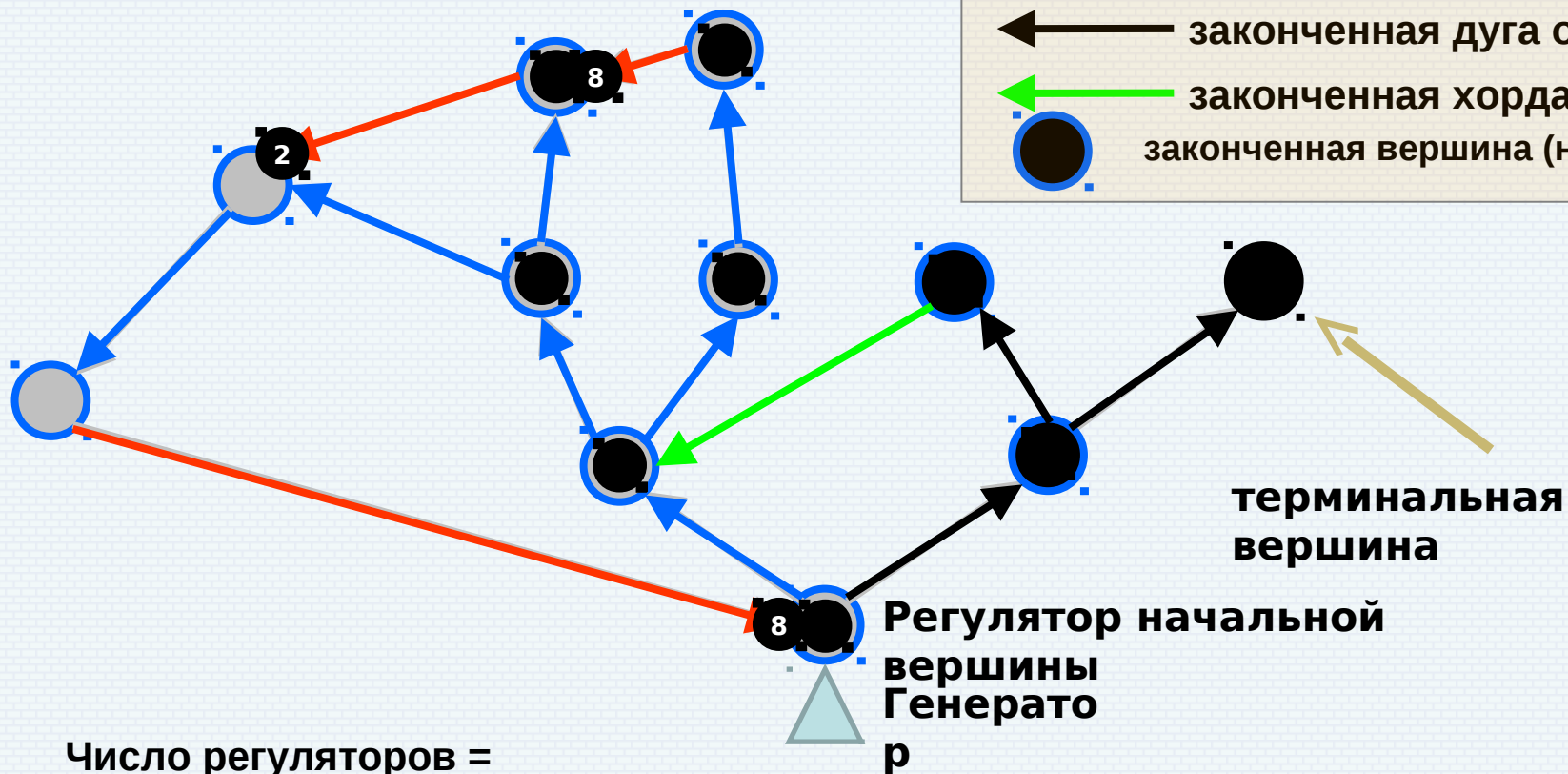
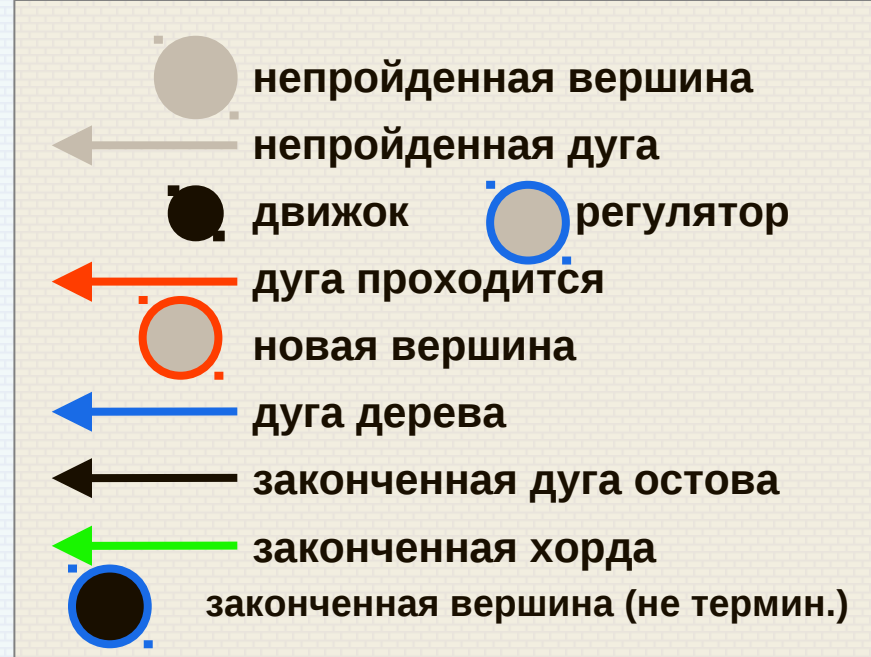
- генерация движка
- проход по дуге
- опрос одного регулятора
- передача сообщения *конец*

- генерация движка
- проход по дуге
- опрос одного регулятора
- передача сообщения *конец*



За 1 такт выполняются следующие действия:

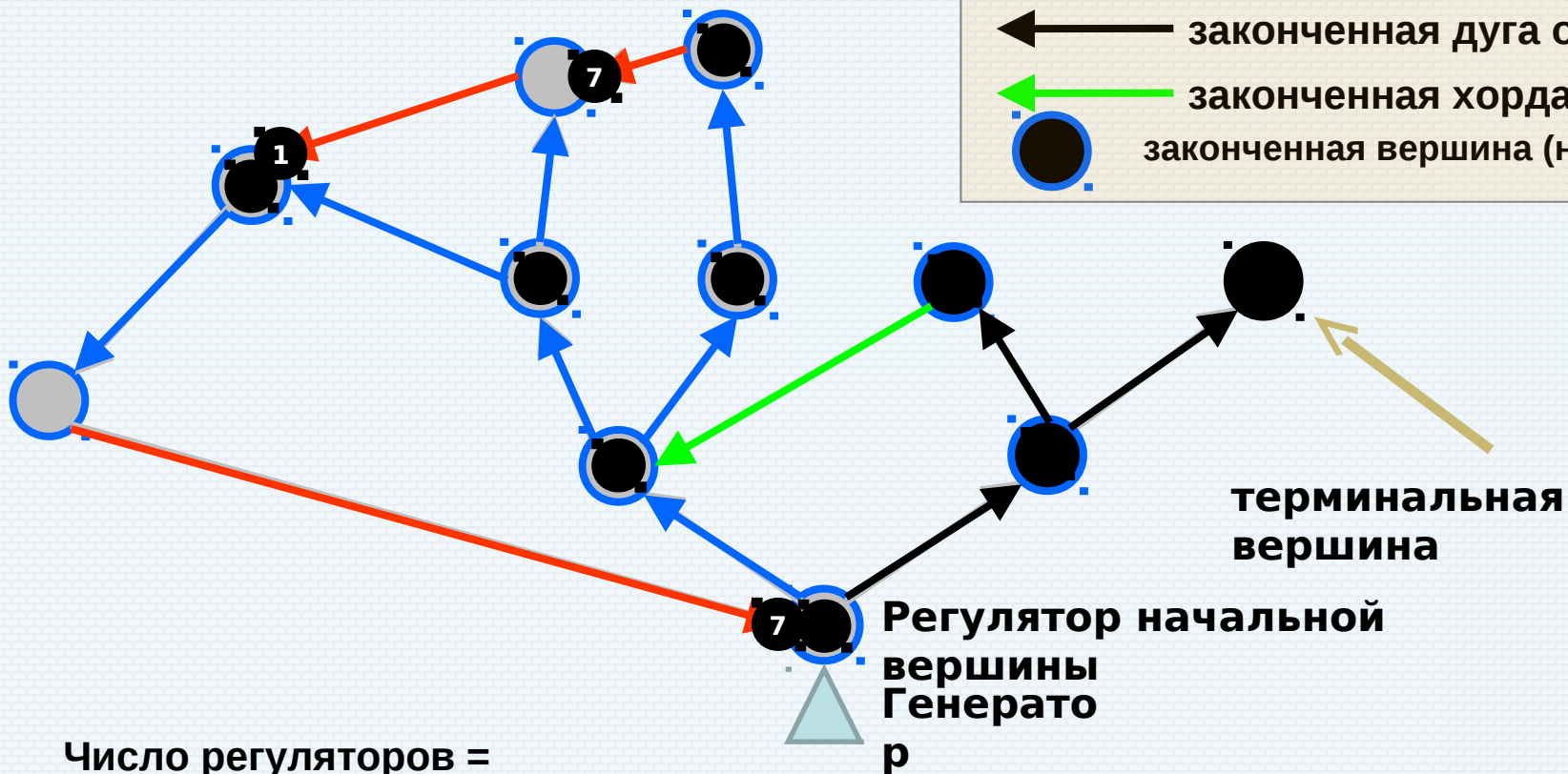
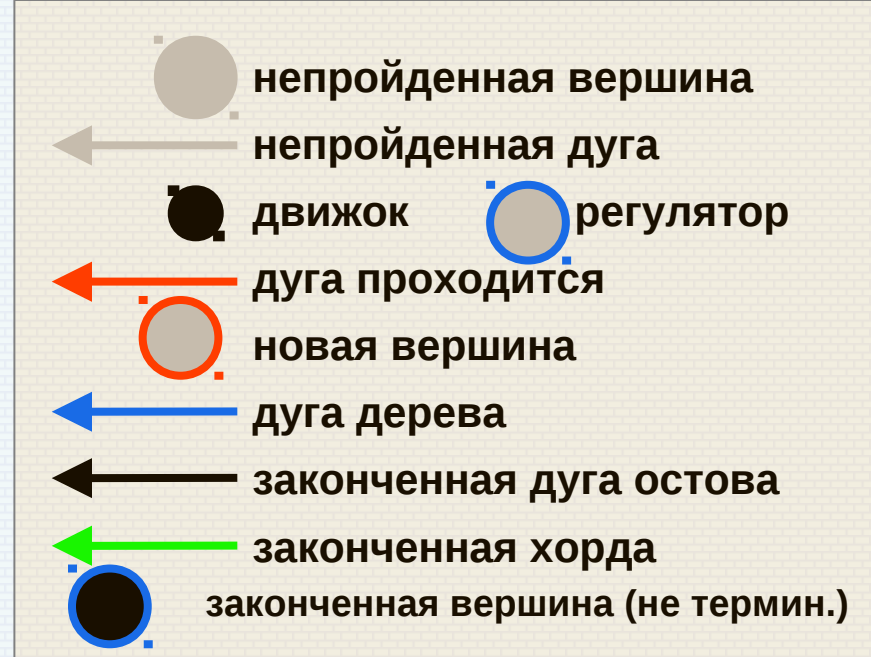
- генерация движка
- проход по дуге
- опрос одного регулятора
- передача сообщения *конец*



Число регуляторов =
10

За 1 такт выполняются следующие действия:

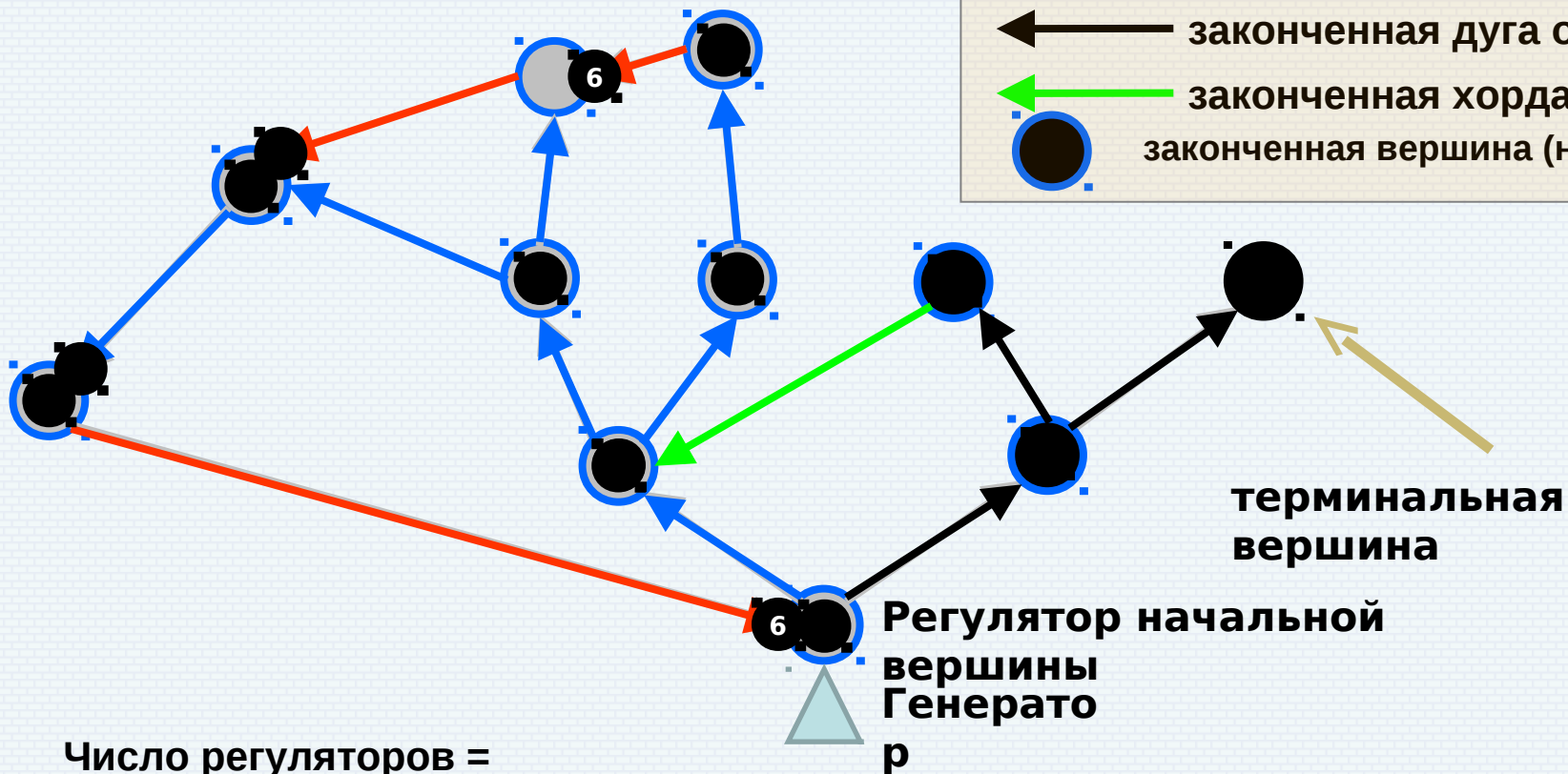
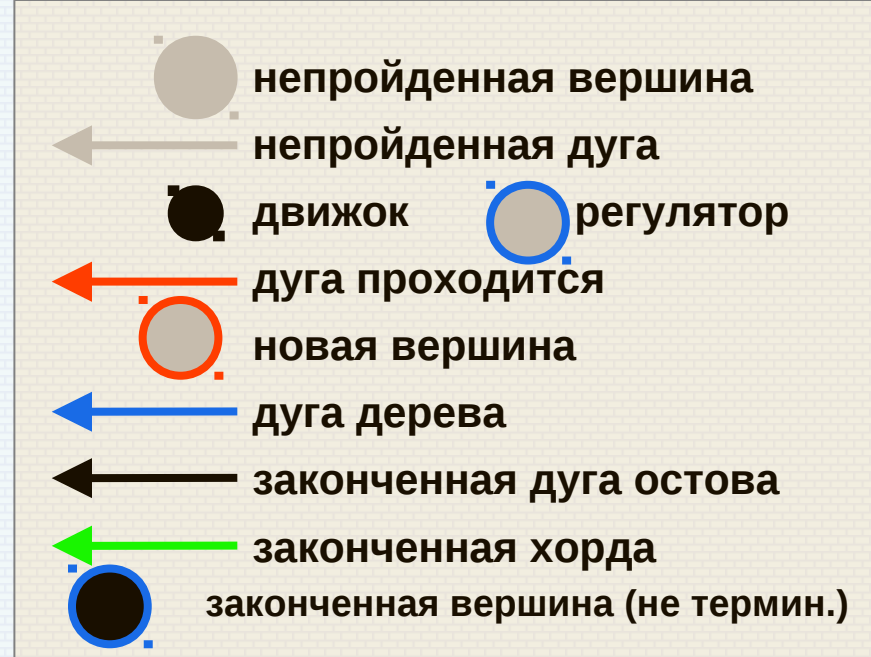
- генерация движка
- проход по дуге
- опрос одного регулятора
- передача сообщения *конец*



Число регуляторов =
10

За 1 такт выполняются следующие действия:

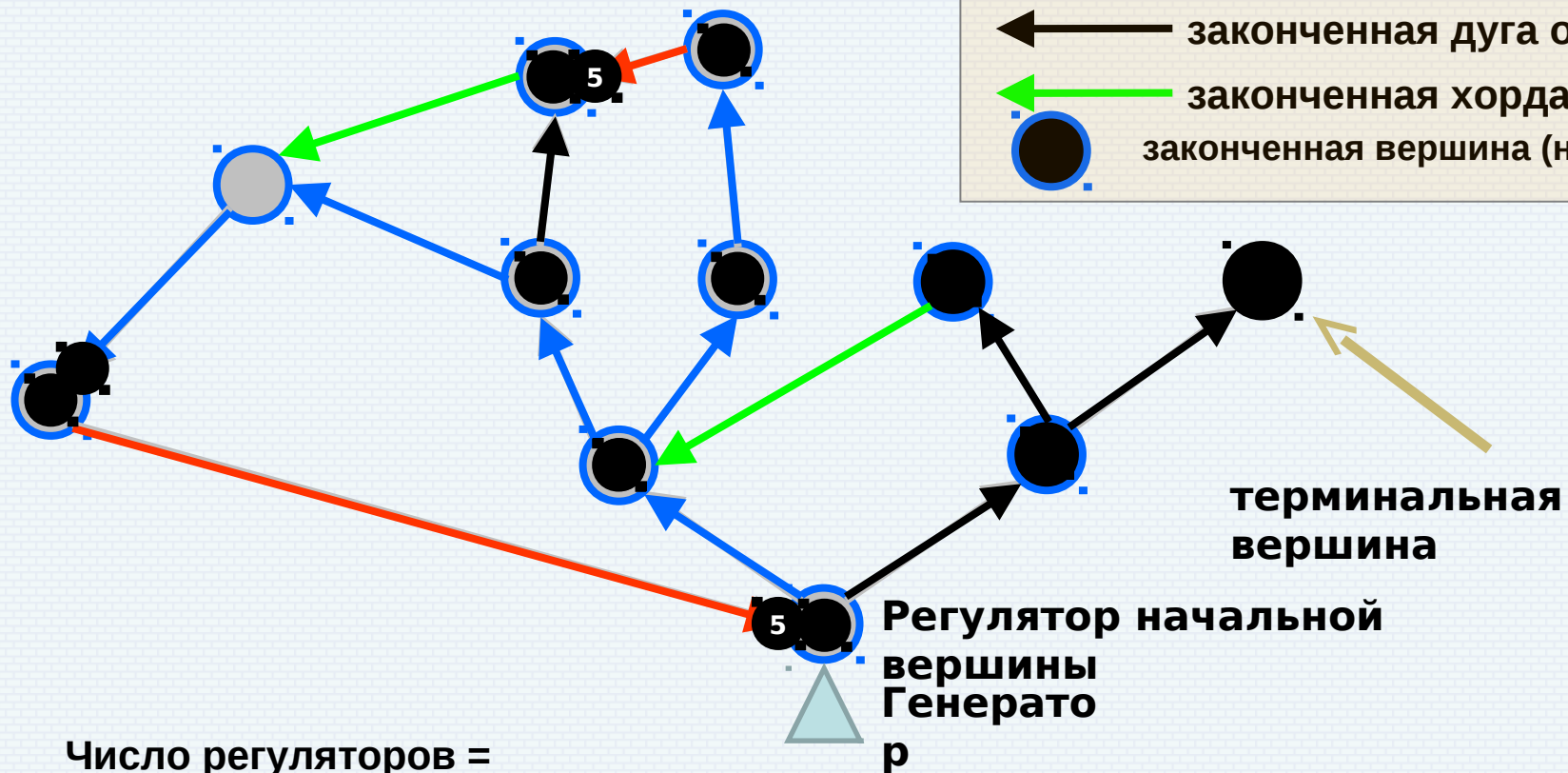
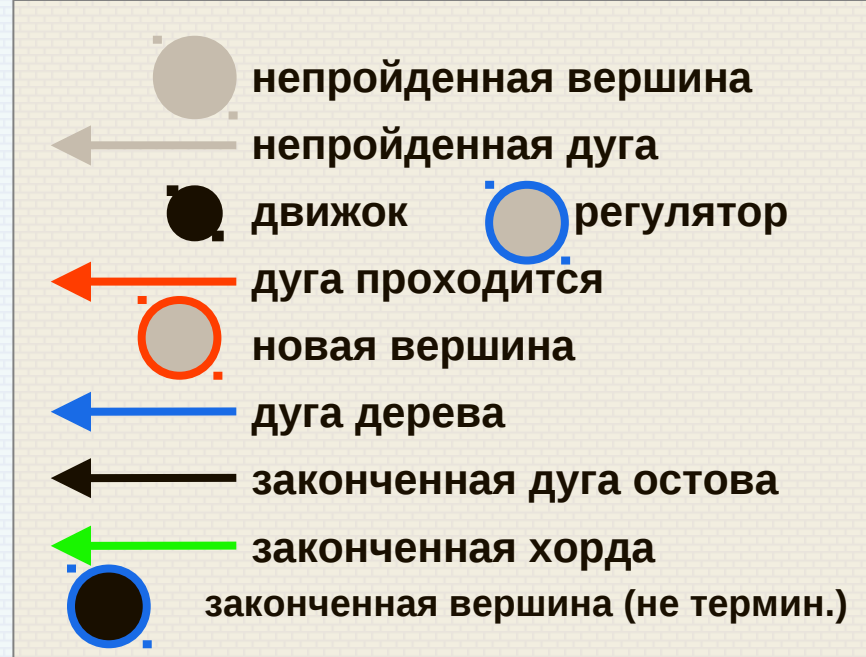
- генерация движка
- проход по дуге
- опрос одного регулятора
- передача сообщения *конец*



Число регуляторов =
10

За 1 такт выполняются следующие действия:

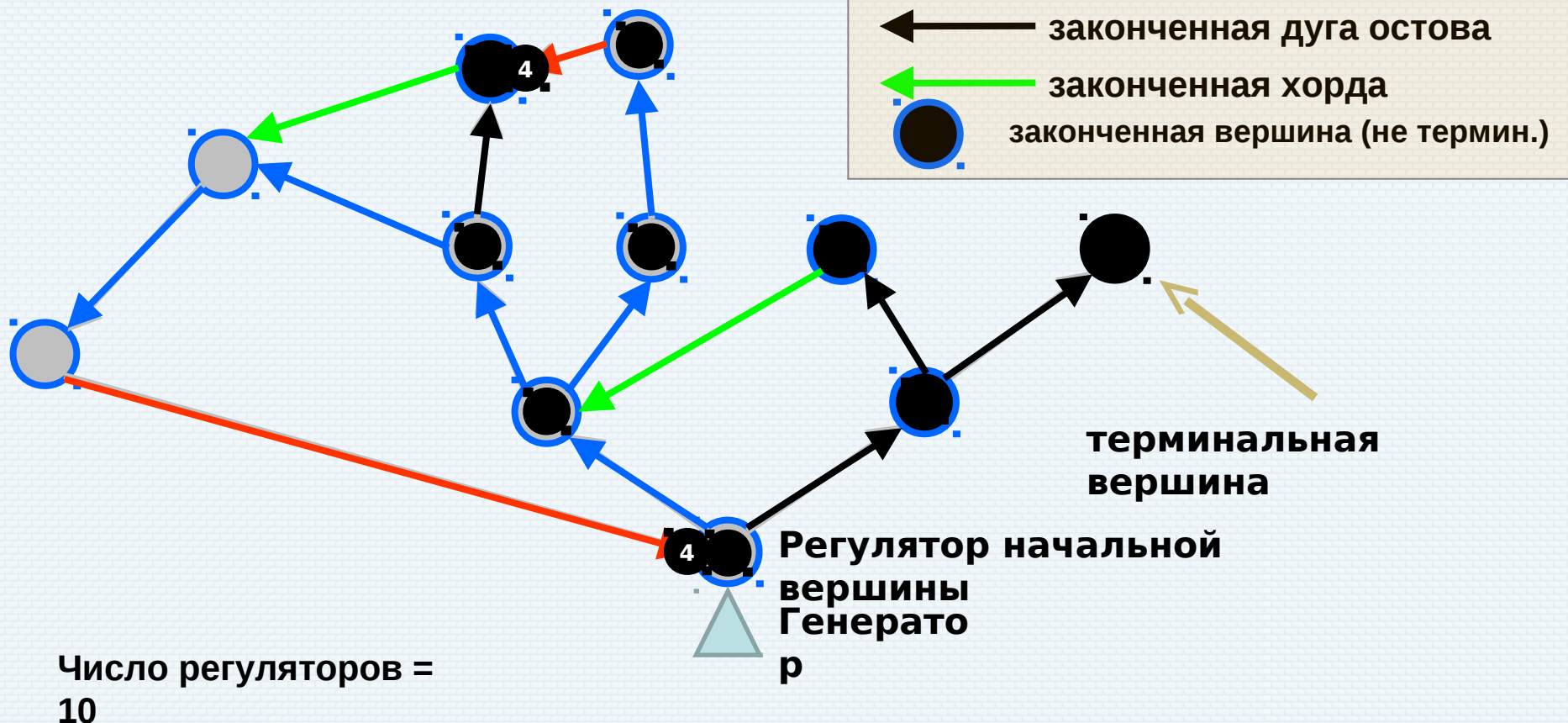
- генерация движка
- проход по дуге
- опрос одного регулятора
- передача сообщения *конец*



Число регуляторов =
10

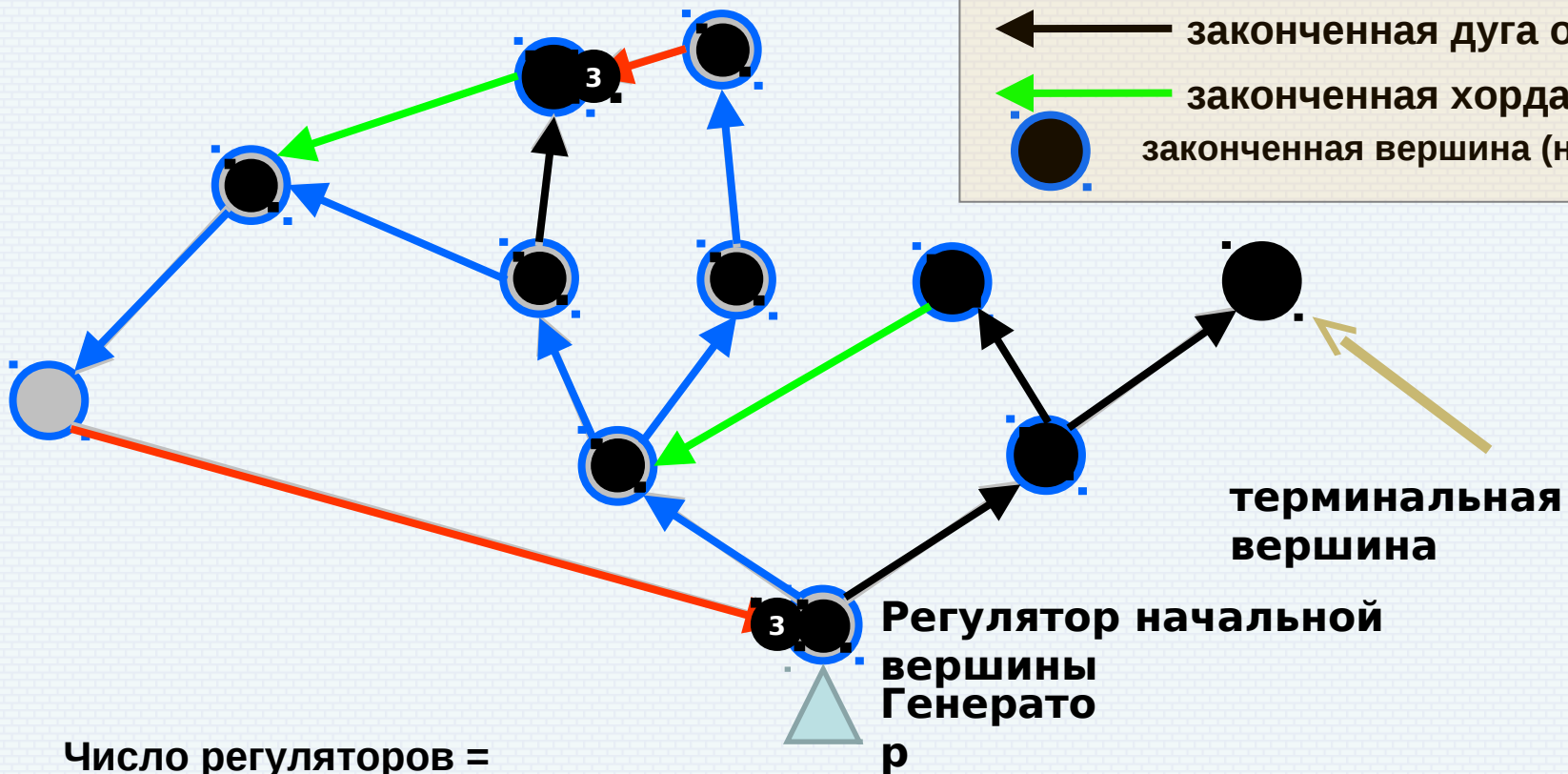
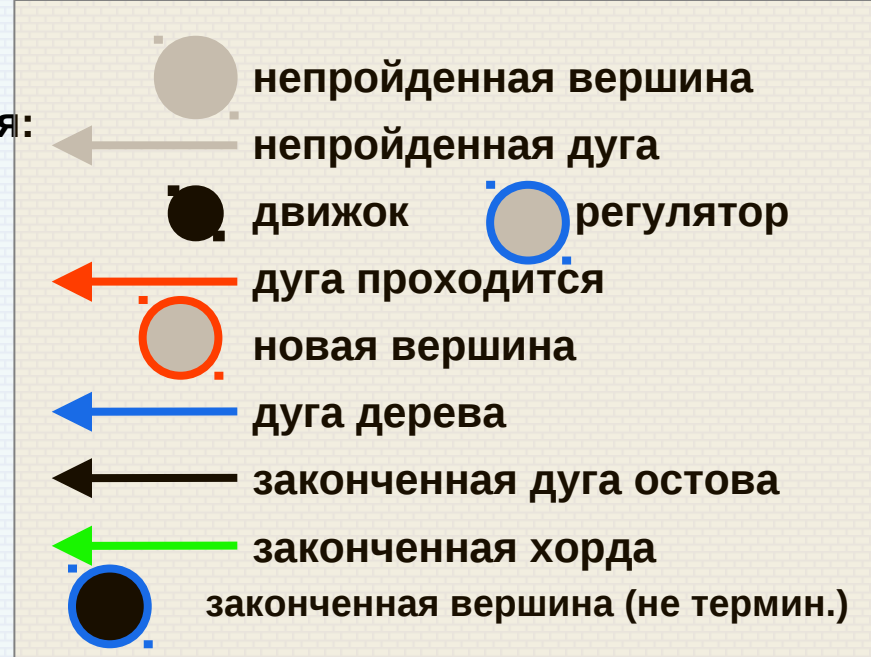
- генерация движка
- проход по дуге
- опрос одного регулятора
- передача сообщения *конец*

- генерация движка
- проход по дуге
- опрос одного регулятора
- передача сообщения *конец*



За 1 такт выполняются следующие действия:

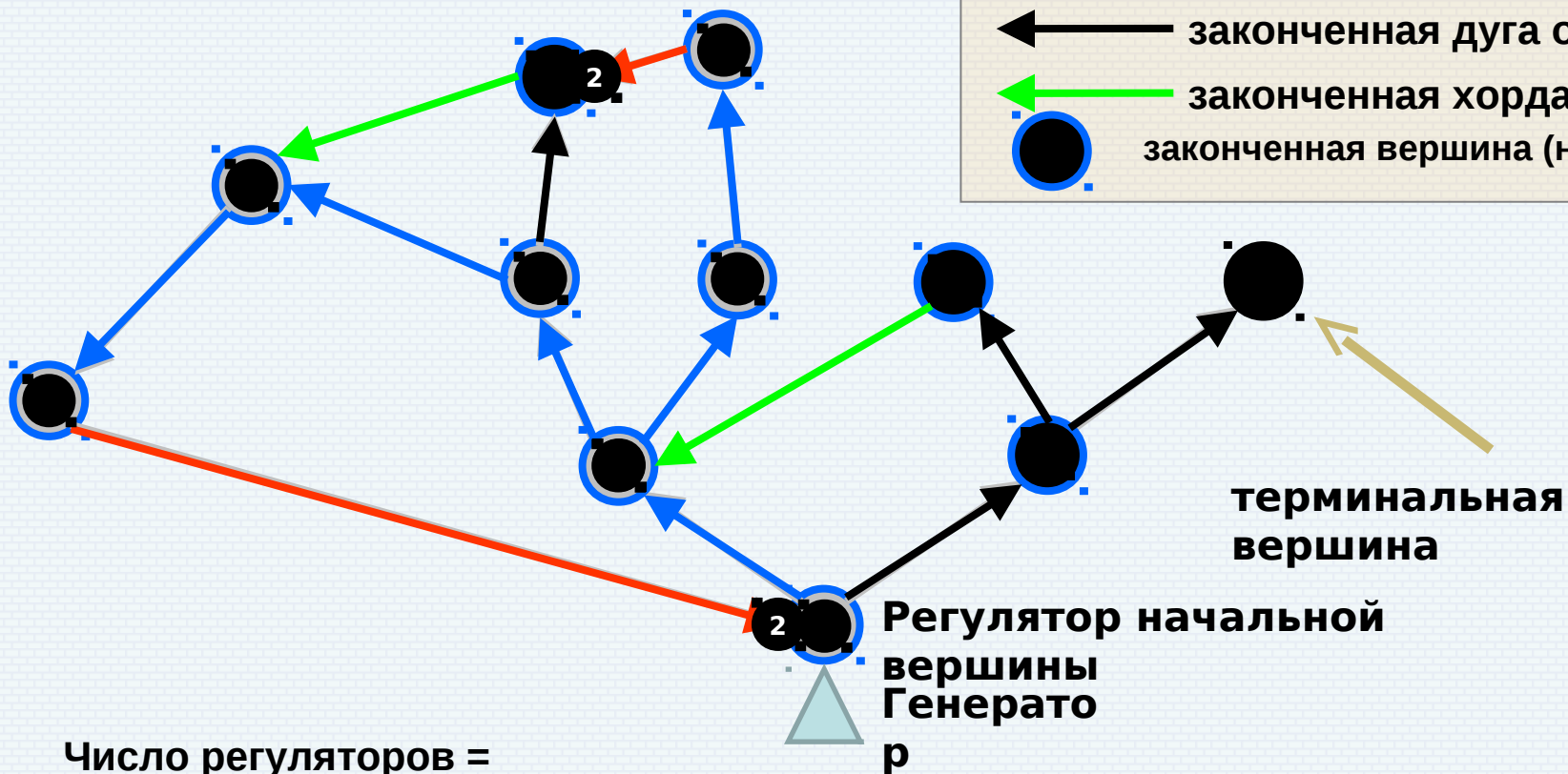
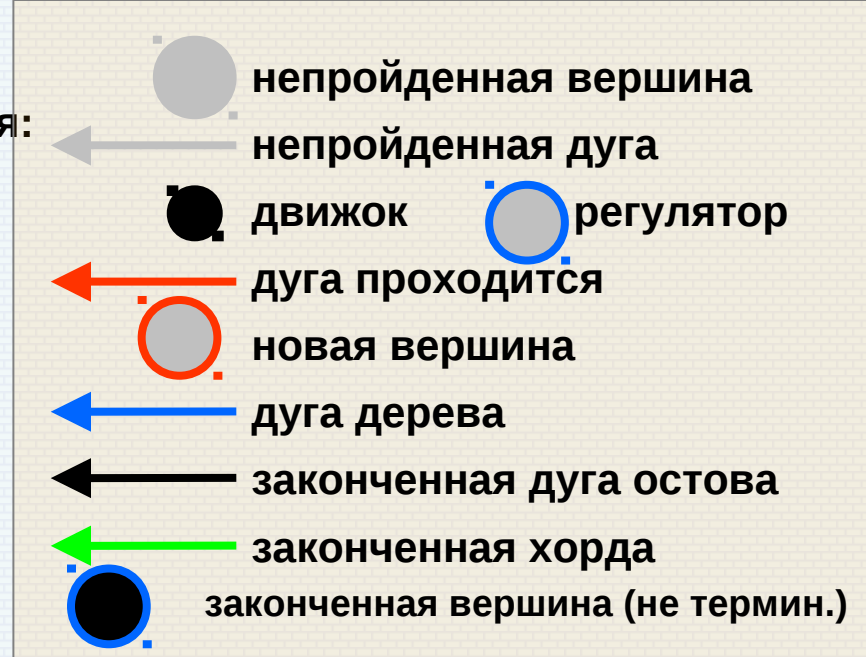
- генерация движка
- проход по дуге
- опрос одного регулятора
- передача сообщения *конец*



Число регуляторов =
10

За 1 такт выполняются следующие действия:

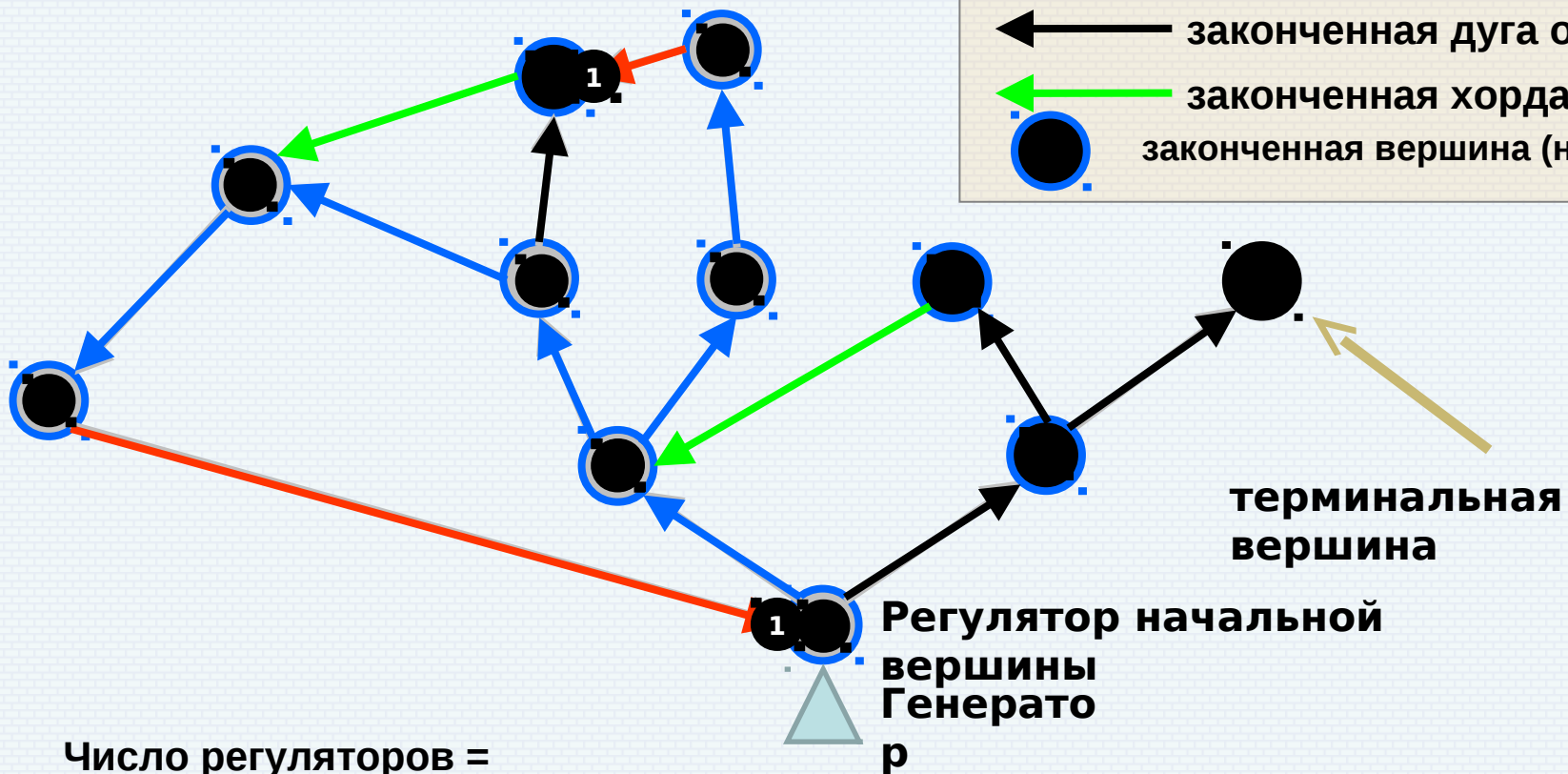
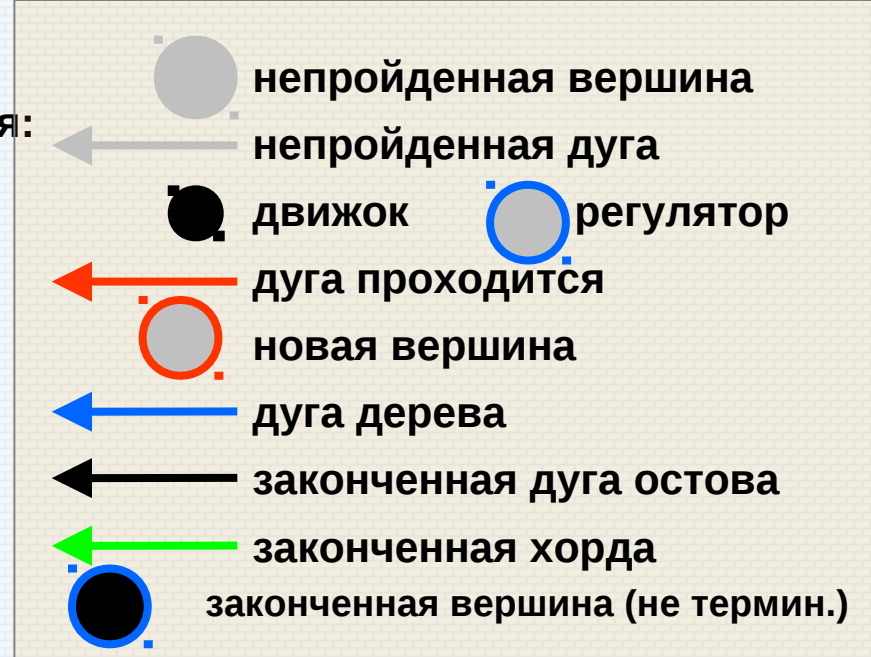
- генерация движка
- проход по дуге
- опрос одного регулятора
- передача сообщения *конец*



Число регуляторов =
10

За 1 такт выполняются следующие действия:

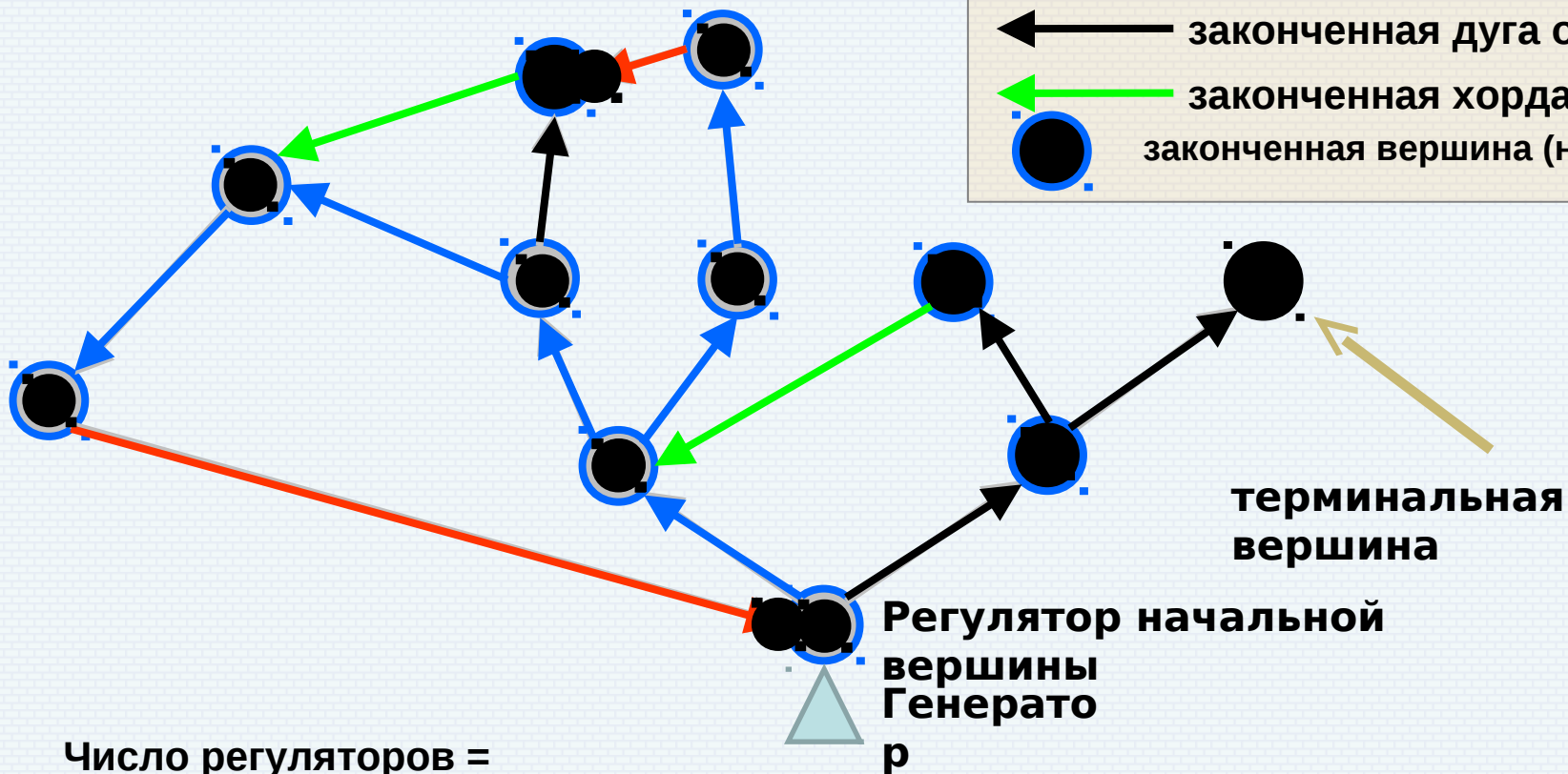
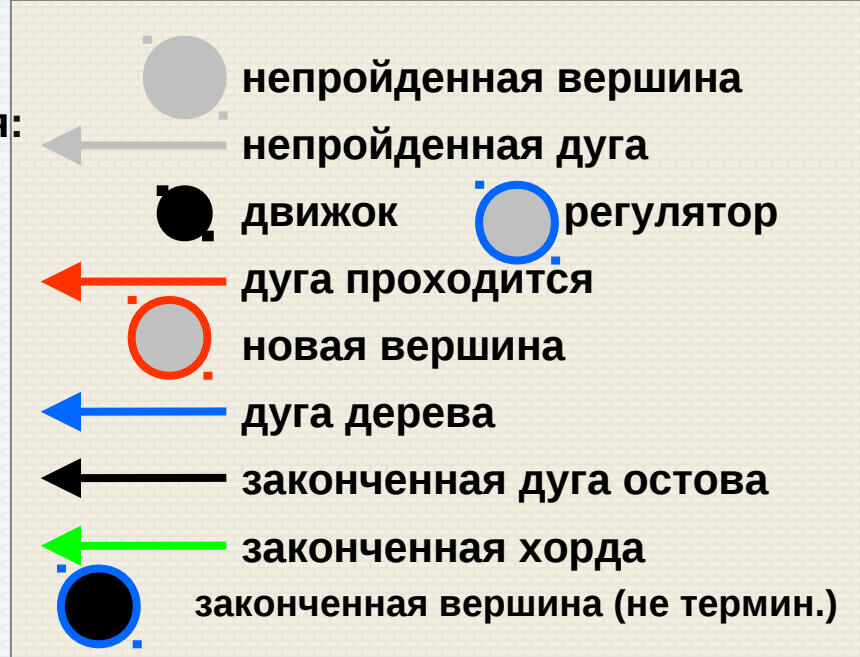
- генерация движка
- проход по дуге
- опрос одного регулятора
- передача сообщения *конец*



Число регуляторов =
10

За 1 такт выполняются следующие действия:

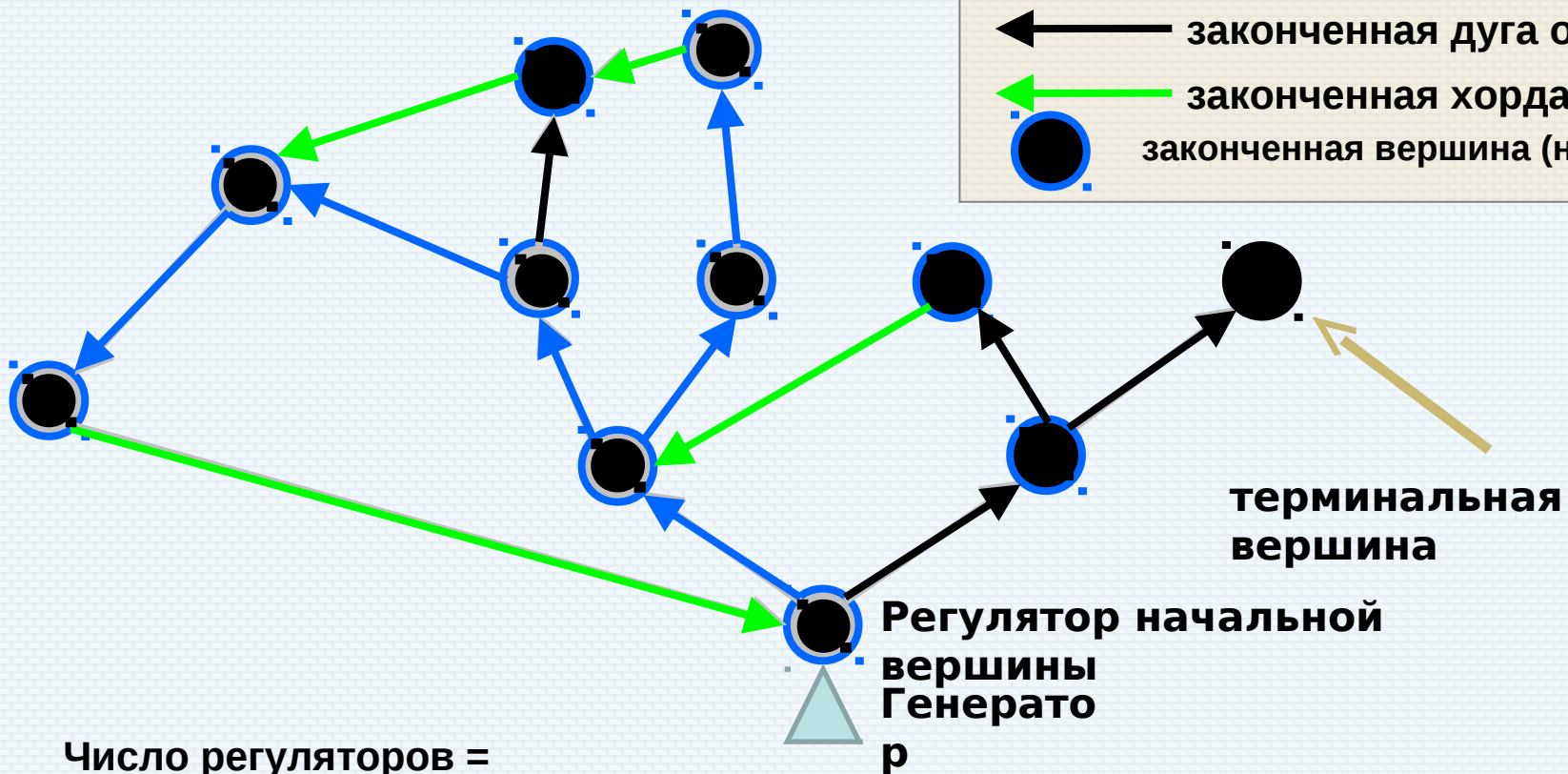
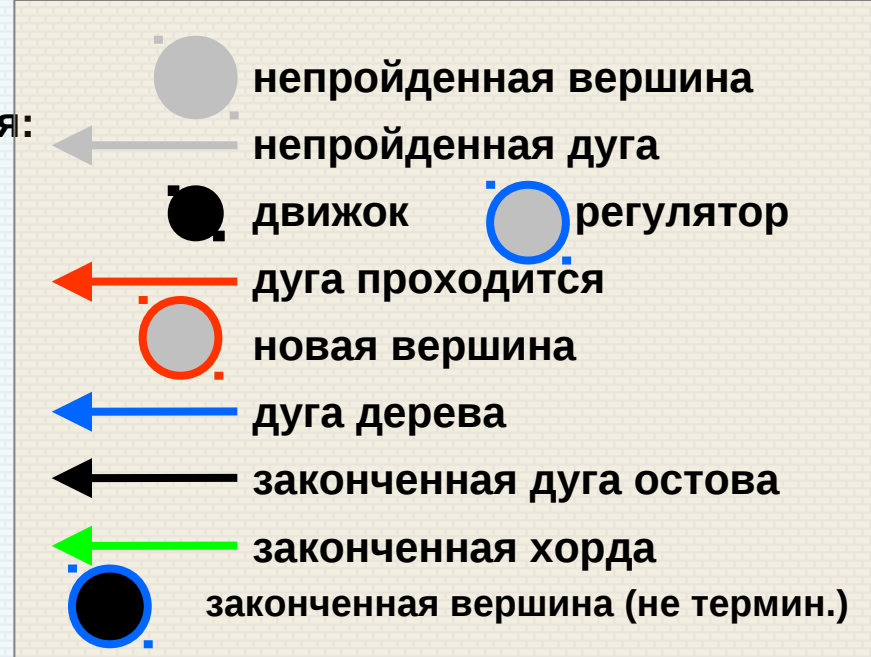
- генерация движка
- проход по дуге
- опрос одного регулятора
- передача сообщения *конец*



Число регуляторов =
10

За 1 такт выполняются следующие действия:

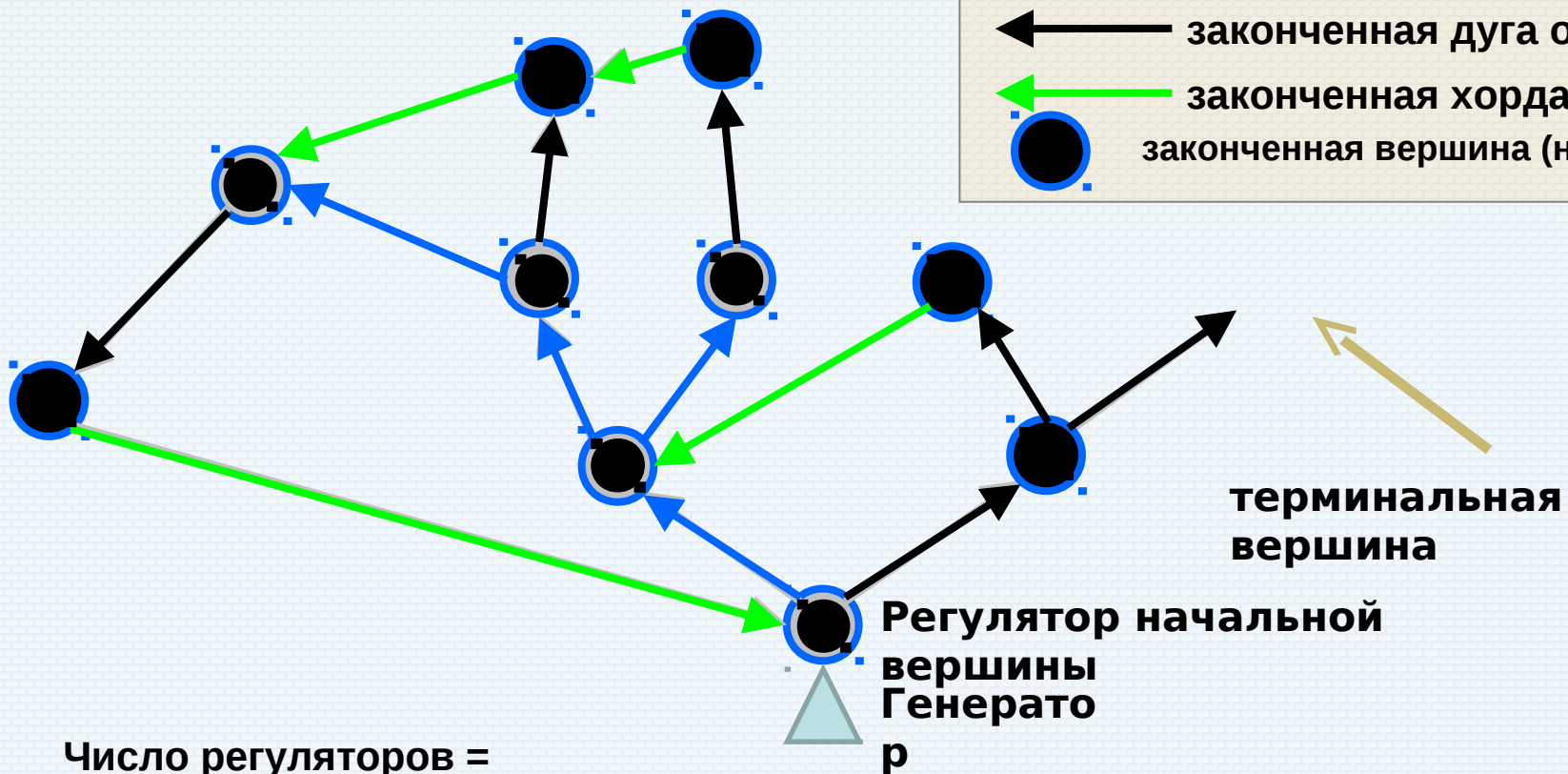
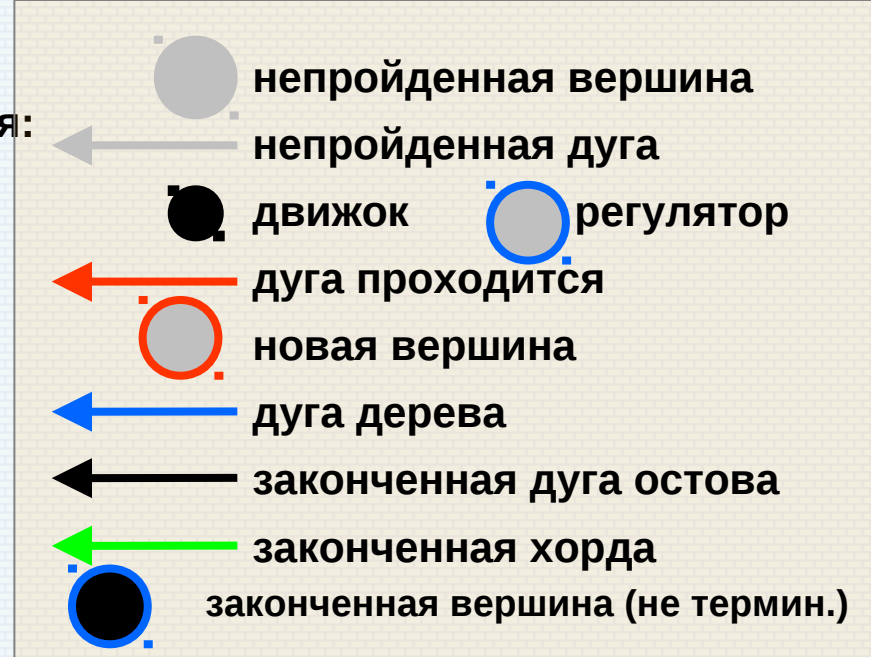
- генерация движка
- проход по дуге
- опрос одного регулятора
- передача сообщения *конец*



Число регуляторов =
10

За 1 такт выполняются следующие действия:

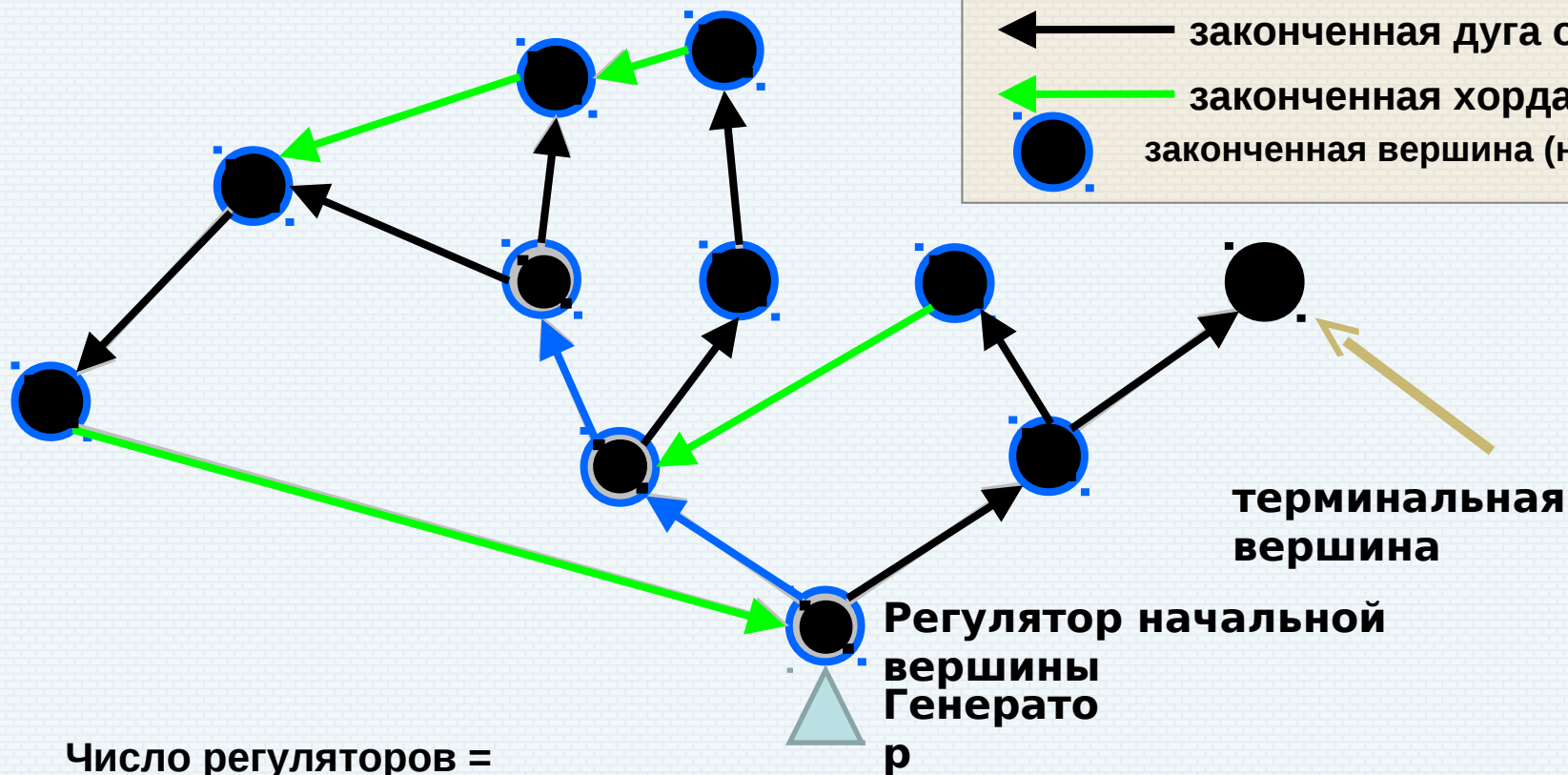
- генерация движка
- проход по дуге
- опрос одного регулятора
- передача сообщения *конец*



Число регуляторов = 10

- не пройденная вершина
- ← не пройденная дуга
- движок ○ регулятор
- ← дуга проходит
- новая вершина
- ← дуга дерева
- ← законченная дуга остова
- ← законченная хорда
- законченная вершина (не термин.)

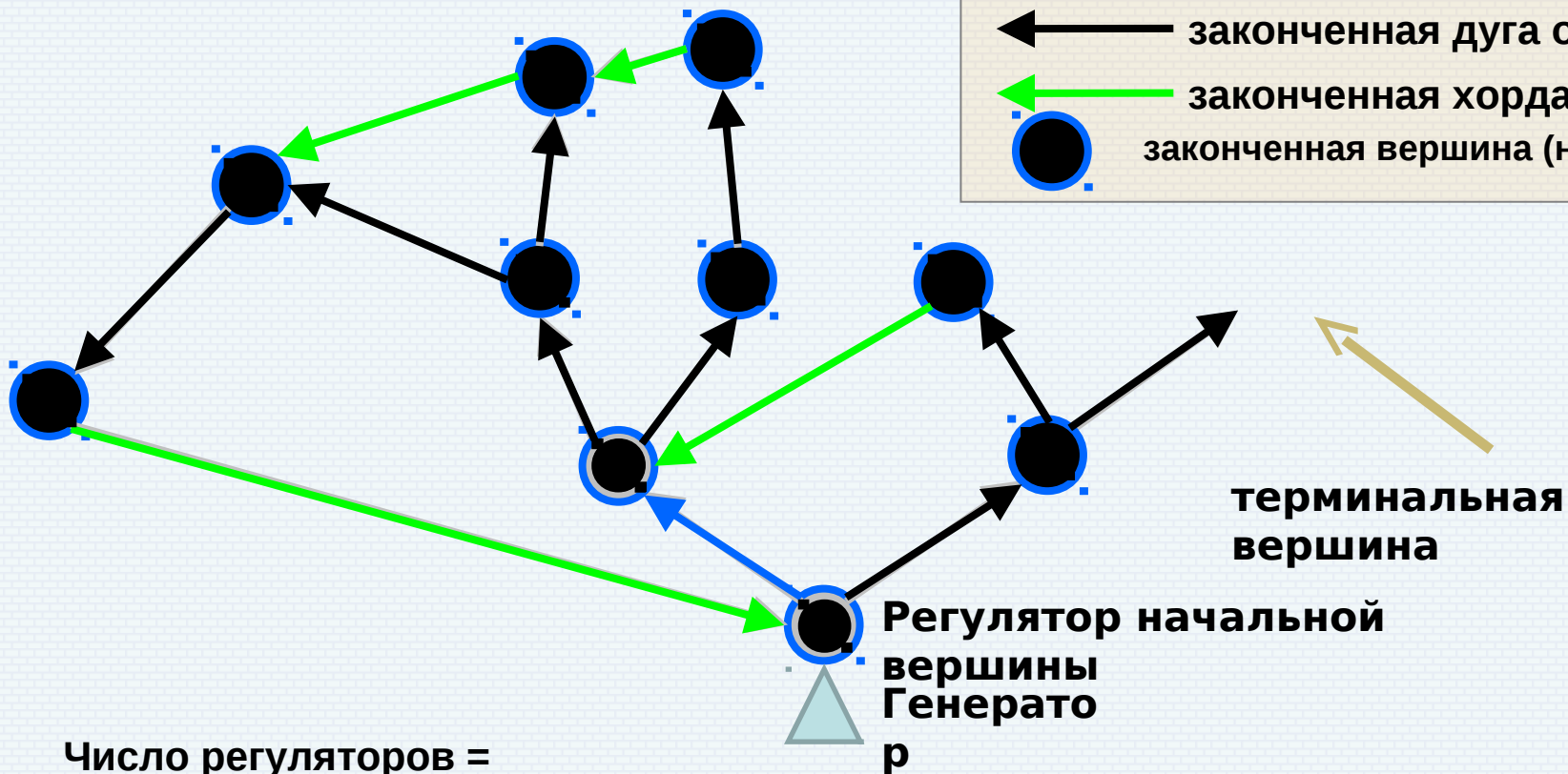
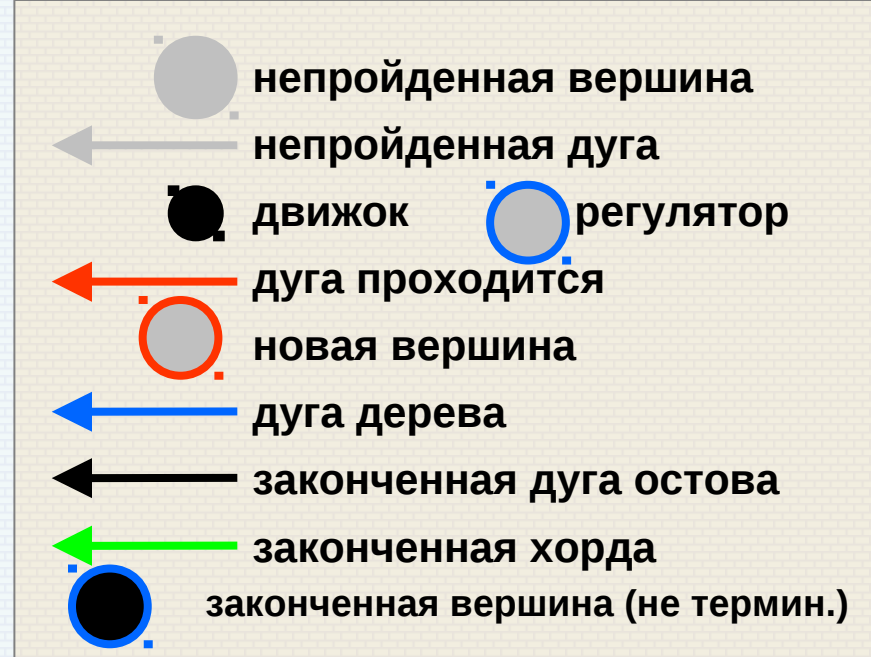
- генерация движка
- проход по дуге
- опрос одного регулятора
- передача сообщения *конец*



Число регуляторов = 10

За 1 такт выполняются следующие действия:

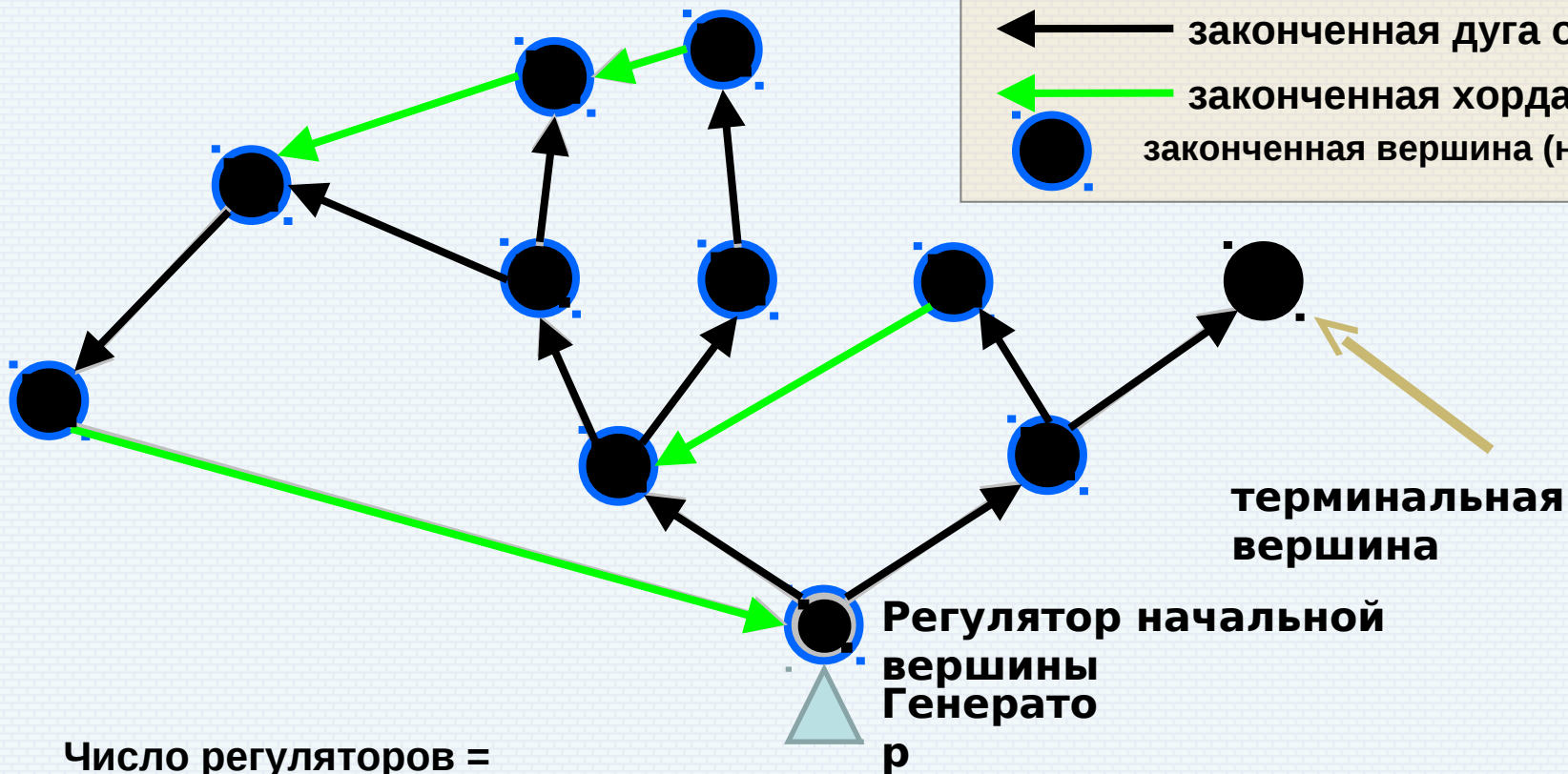
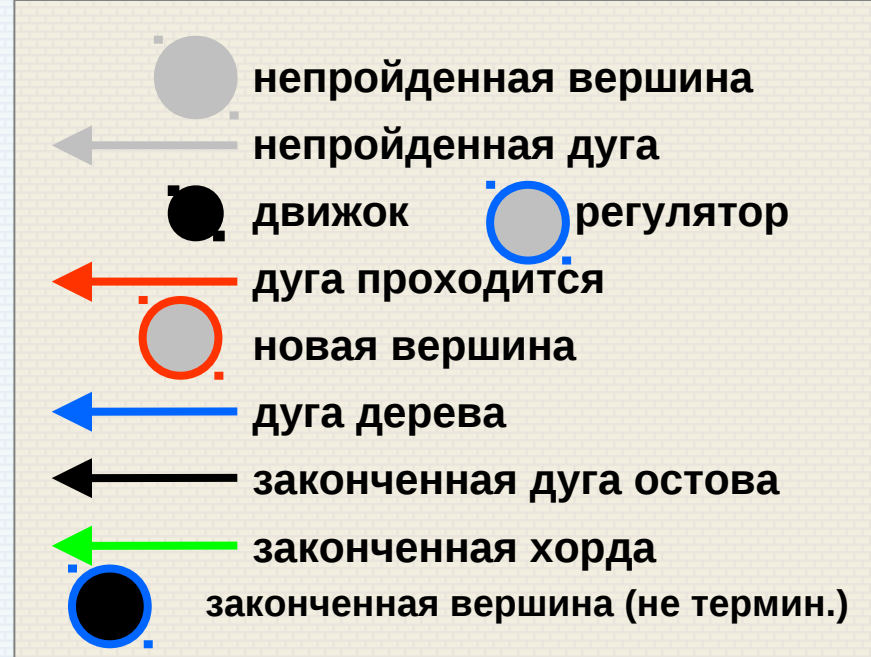
- генерация движка
- проход по дуге
- опрос одного регулятора
- передача сообщения *конец*



Число регуляторов = 10

За 1 такт выполняются следующие действия:

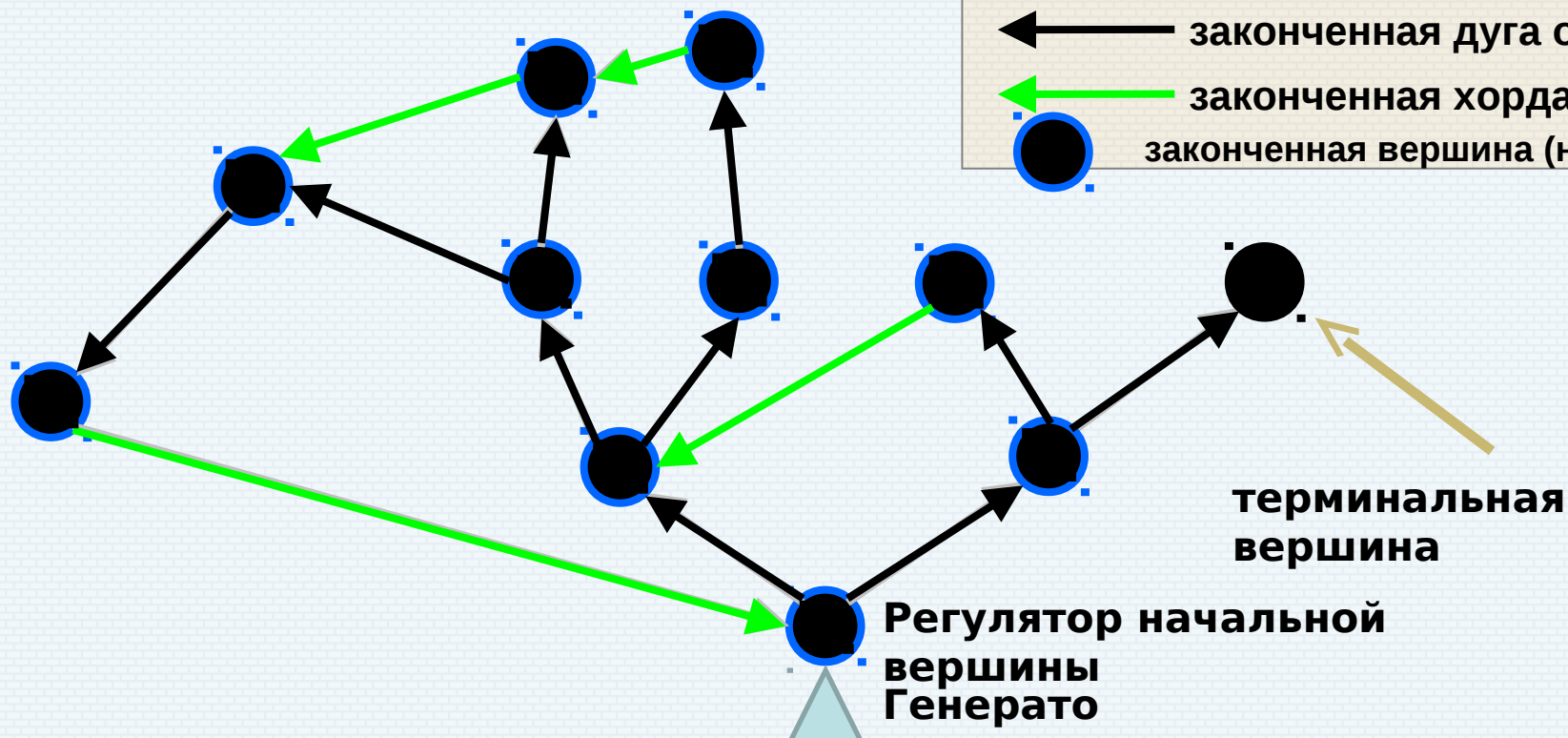
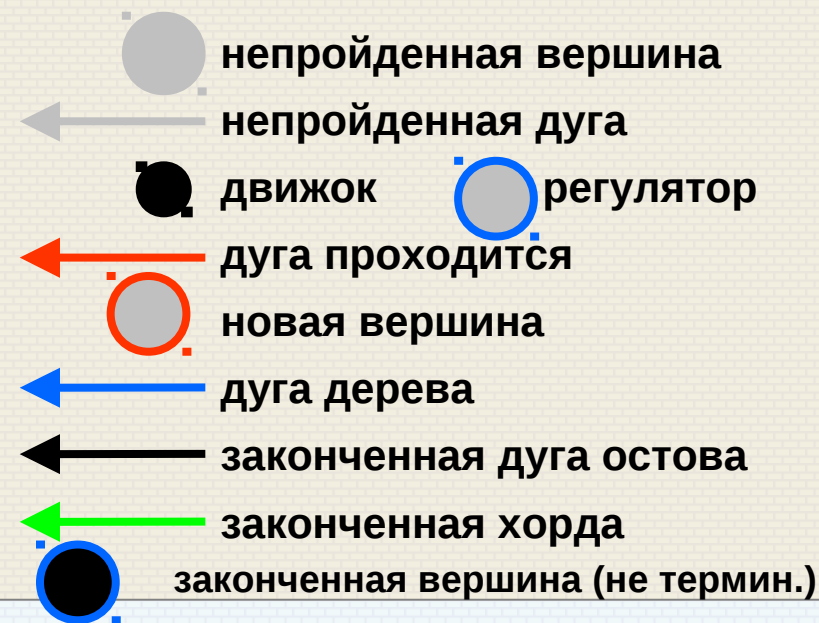
- генерация движка
- проход по дуге
- опрос одного регулятора
- передача сообщения *конец*



Число регуляторов =
10

За 1 такт выполняются следующие действия:

- генерация движка
- проход по дуге
- опрос одного регулятора
- передача сообщения *конец*



Число регуляторов = 10

число вершин $n = 11$, число дуг $m = 14$

Верхняя оценка $m+n^2 = 135$. Обход завершён за 32 такта

Пути оптимизации

 Оптимизация алгоритма

Кластеризация регуляторов

Оптимизация по типу исследуемых графов



Обход неизвестного графа коллективом автоматов

Спасибо за внимание!

Сделано в мастерской художника...

вич Бурдонов & Александр Сергеевич Косачев, ИСП РАН