Моделирование и анализ информационных систем. Т. 26, №3 (2019), с. 351–359
Modeling and Analysis of Information Systems. Vol. 26, No 3 (2019), pp. 351–359

Computer system organization

©Кононова А. И., Гагарина Л. Г., 2019

DOI: 10.18255/1818-1015-2019-3-351-359

УДК 004.94

Динамическая модель развития пиринговой файлообменной сети

Кононова А. И., Гагарина Л. Г.

Поступила в редакцию 3 июня 2019
После доработки 29 августа 2019
Принята к публикации 31 августа 2019

Аннотация. В данной работе рассматривается модель развития пиринговой файлообменной сети, организуемой одним торрент-трекером. Модель построена на основе обыкновенных дифференциальных уравнений. Определены фазовые переменные, описывающие состояние торрент-трекера и организуемой им сети (в первом приближении – это количество пользователей трекера, активно участвующих в информационном обмене, и количество активных раздач), проанализированы факторы, влияющие на изменение количества пользователей и количества раздач. На основе анализа разработана система дифференциальных уравнений, в первом приближении описывающая эволюцию файлообменной сети, организуемой торрент-трекером, – жёсткая динамическая модель эволюции торрент-трекера. Исследованы особые точки жёсткой модели эволюции трекера, описано их возможное количество и тип. Описаны все конфигурации общего положения, возможные в жёсткой модели эволюции торрент-трекера. Изображён фазовый портрет жёсткой модели. На основе анализа жёсткой модели получена система дифференциальных уравнений, описывающая эволюцию файлообменной сети с учётом зависимости интенсивности притока новых пользователей от общего количества потенциальной аудитории торрент-трекера, а также зависимости скорости вымирания раздач от приходящегося на одну раздачу количества пользователей – мягкая динамическая модель эволюции торрент-трекера. Исследованы особые точки мягкой модели эволюции трекера, описано их возможное количество и тип. Описаны все конфигурации общего положения, возможные в мягкой модели эволюции торрент-трекера. Изображены фазовые портреты каждой конфигурации. Получено соотношение параметров, необходимое для устойчивости стабильного состояния трекера. Проанализировано влияние различных административных мер на запас устойчивости трекера в целом. Показана необходимость поддержки раздач администрацией на узкоспециализированных торрент-трекерах с малой потенциальной аудиторией.

Ключевые слова: файлообменные сети, обыкновенные дифференциальные уравнения, динамические системы, устойчивость

Для цитирования: Кононова А. И., Гагарина Л. Г., "Динамическая модель развития пиринговой файлообменной сети", *Моделирование и анализ информационных систем*, **26**:3 (2019), 351–359.

Об авторах:
Кононова Александра Игоревна, orcid.org/0000-0002-4178-3828, канд. техн. наук, доцент,
Федеральное государственное автономное образовательное учреждение высшего образования «Национальный исследовательский университет «Московский институт электронной техники»,
пл. Шокина, г. Москва, г. Зеленоград, 124498 Россия, e-mail: illinc@bk.ru

Гагарина Лариса Геннадьевна, orcid.org/0000-0003-2371-9045, доктор техн. наук, профессор,
Федеральное государственное автономное образовательное учреждение высшего образования «Национальный исследовательский университет «Московский институт электронной техники»,
пл. Шокина, г. Москва, г. Зеленоград, 124498 Россия, e-mail: gagar@bk.ru

Введение

В настоящее время огромное количество информации распространяется при помощи децентрализованных сетей. В частности, для распространения файлов широко применяется протокол BitTorrent [1], где для распространения информации используется сложная система (пиринговая сеть), не сохраняющая распространяемые файлы на централизованных серверах (наборы из нескольких логически связанных файлов, распространяемых вместе, согласно протоколу BitTorrent, объединяются в непрерывный поток, поэтому в дальнейшем такой набор также будем называть файлом), и включающая:

- множество пользователей, хранящих файлы на своих локальных носителях;
- для каждого распространяемого файла — подсистему, включающую, в свою очередь:
  - информацию о характеристиках распространяемого файла (торрент-файл);
  - площадку для получения торрент-файла (элемент каталога);
  - множества пользователей, хранящих файл и предоставляющих доступ к нему (сидеров) и пользователей, скачивающих этот файл (личеров); участники информационного обмена — сидеры и личеры — в совокупности называемых пирами;
  - распределённую инфраструктуру, оперативно обновляющую и распространяющую информацию о сидерах и личерах, а также организующую информационный обмен между ними;

  всё это объединяется понятием раздачи файла (также раздачей называют и процесс распространения файла в пиринговой сети);
- глобальную инфраструктуру, обеспечивающую информационный обмен между пользователями и функционирование раздач — торрент-трекер. Понятие трекера также часто расширяется и применяется и к сообществу его пользователей, и к множеству всех поддерживаемых раздач.

Наиболее значимыми характеристиками торрент-трекера, а значит, и организуемой им пиринговой файлообменной сети, является количество его активных пользователей (не только зарегистрированных, но и участвующих в информационном обмене) и количество поддерживаемых ими раздач.

Существуют универсальные трекеры и специализированные, распространяющие контент определённой направленности. В свою очередь, специализированные трекеры могут выступать агрегаторами контента разнообразного происхождения или распространять авторский контент, производимый администрацией.

Регулярно основываются новые трекеры. Часть из них успешно развивается и растёт, часть после короткого подъёма, вызванного энтузиазмом после открытия, теряет активных пользователей и закрывается. Чем же вызвано различие в развитии торрент-трекеров?

1. Жёсткая модель эволюции торрент-трекера

Рассмотрим эволюцию пиринговой файлообменной сети, работающей по протоколу BitTorrent и организуемой некоторым торрент-трекером.

В качестве фазовых переменных [2, 3], описывающих состояние сети, логично выбрать количество n активных пользователей торрент-трекера и количество w активных раздач. Рассмотрим основные факторы, влияющие на их изменение.

По принципу предпочтительного присоединения новые пользователи охотнее регистрируются на крупных трекерах, уже имеющих множество активных пользователей; кроме того, новых пользователей привлекает большое количество раздач на трекере ($\dot{n} \sim nw$, точкой обозначаем производную по времени). Также и пользователи создают новые раздачи ($\dot{w} \sim n$).

Кроме того, разочаровавшись, часть пользователей постоянно покидают торрент-трекер и больше не участвуют в информационном обмене. Также часть раздач, как показано в [4], со временем теряет сидеров и становится непригодной для скачивания файла (вымирает). Так как пользователи принимают решение об уходе независимо друг от друга, аналогично и раздачи вымирают независимо друг от друга, убыль пользователей и раздач в первом приближении описывается моделью радиоактивного распада $\left(\left\{ \begin{array}{lcl} \dot{n} & \sim & -n \\ \dot{w} & \sim & -w \end{array} \right. \right)$.

Таким образом, получаем первое приближение модели эволюции торрент-трекера:

$$\left\{ \begin{array}{lcl} \dot{n} & = & k_1 nw - b_1 n \\ \dot{w} & = & k_2 n - b_2 w \end{array} \right. , \tag{1}$$

где $b_1 > 0$ и $b_2 > 0$ характеризуют скорости убыли пользователей и раздач, $k_1 > 0$ и $k_2 > 0$ — скорости притока. Выбором единиц измерения n и w можно сделать $k_1 = k_2 = 1$. Тогда (1) можно записать в виде:

$$\left\{ \begin{array}{lcl} \dot{n} & = & nw - b_1 n \\ \dot{w} & = & n - b_2 w \end{array} \right. . \tag{2}$$

Это, согласно классификации Арнольда [5], жёсткая модель, то есть она применима на достаточно ограниченном этапе развития.

1.1. Особые точки жёсткой модели

Найдём особые точки системы (2).

Очевидно, при $n = 0$ из стационарности второго уравнения (2) получим $w = 0$, то есть начало координат $(0, 0)$ всегда будет особой точкой. Можно показать, что это всегда притягивающий узел.

Если $n \neq 0$, из стационарности первого уравнения получаем $w = b_1$. Затем из стационарности второго $n = b_1 b_2$. Особая точка $(n^*, w^*) = (b_1 b_2, b_1)$ всегда является седлом.

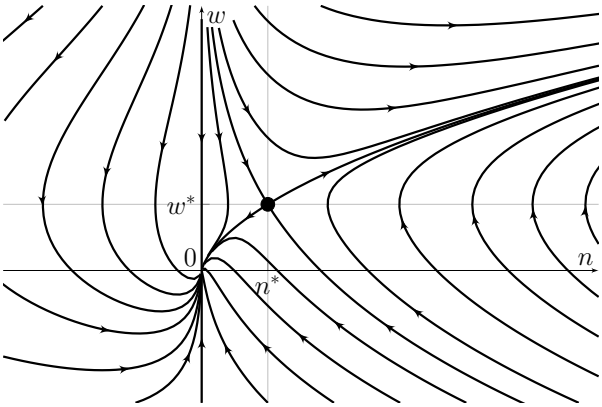

Рис. 1. Фазовый портрет жёсткой системы (2)
Fig. 1. Hard model phase portrait

1.2. Фазовый портрет жёсткой модели

В соответствии с философией общего положения [6] сепаратрисы седла (n^*, w^*) должны разделять бассейны единственного притягивающего узла $(0, 0)$ и бесконечности. Фазовый портрет жёсткой системы (рис. 1) подтверждает этот вывод.

То есть, если торрент-трекер успеет набрать достаточное количество пользователей и раздач на волне энтузиазма после создания и к моменту перехода к этапу, описываемому моделью (2), его состояние (n, w) окажется выше сепаратрисы, то далее количество пользователей и раздач будет бесконечно расти, если нет — будет стремиться к нулю.

На практике бесконечный рост невозможен. Соответственно, необходимо уточнение жёсткой модели и превращение её в мягкую.

2. Смягчение модели эволюции торрент-трекера

Рост количества пользователей трекера всегда ограничен сверху некоторым объёмом n_{max}. Темпы роста в этом случае описываются логистической динамикой Ферхюльста ($\dot{n} \sim \frac{n_{max}-n}{n_{max}}$).

Кроме того, в [4] показано, что вероятность вымирания раздачи зависит от размера её потенциальной аудитории, так что интенсивность убыли раздач b_2 не может быть постоянной и растёт при уменьшении количества пользователей, приходящихся на раздачу.

С учётом этого составим смягчённый вариант системы (2):

$$\begin{cases} \dot{n} &= nw\frac{n_{max}-n}{n_{max}} - b_1 n \\ \dot{w} &= n - b_2 w\left(1 + b_{2N} e^{-\frac{n}{wN_0}}\right) \end{cases}, \tag{3}$$

где $n_{max} > 0$ — потолок роста числа пользователей, $N_0 > 0$ — среднее число пользователей, приходящихся на одну раздачу, при котором поддержание активности всех раздач невозможно (катастрофическая пропорция), $b_{2N} >> 1$ характеризует увеличение скорости вымирания в этом случае.

Второе уравнение модели (3) не определено при $w = 0$ (на оси On). Доопределим его. При $n \neq 0$ и стремлении w к нулю из первого и третьего квадрантов (то есть при $\frac{n}{w} \to +\infty$) значение в скобках стремится к единице. Так как все физически реализуемые траектории принадлежат первому квадранту, примем, что при $w = 0$ второе уравнение (3) превращается в $\dot{w} = n - b_2 w$, а при $n = w = 0$ его правая часть равна нулю. Тогда при всех физически реализуемых значениях n и w динамика системы определена и непрерывна (эта непрерывность нарушается при стремлении к оси On и началу координат из нереализуемых второго и четвёртого квадрантов).

2.1. Особые точки мягкой модели

Количество особых точек (3) уже не будет постоянным.

При $w = 0$ из стационарности первого уравнения (3) получаем $n = 0$. По данному в предыдущем разделе доопределению второе уравнение при $n = w = 0$ также будет стационарно. Таким образом, будем считать начало координат $(0, 0)$ особой точкой модели (3).

При $w \neq 0$ обозначим $\frac{n}{w} = x$ и рассмотрим стационарность второго уравнения (3). Получим уравнение $\frac{x}{b_2} = 1 + b_{2N} e^{-\frac{x}{N_0}}$, которое при любых положительных параметрах имеет единственный корень x^*, лежащий между b_2 и $b_2(1+b_{2N})$. Стационарность первого уравнения при условии $\frac{n}{w} = x^*$ даёт квадратное уравнение $n_{max} w - x^* w^2 - b_1 n_{max} = 0$, которое в зависимости от дискриминанта $1 - \frac{4b_1 x^*}{n_{max}}$ может не иметь вещественных решений, иметь одно или два решения $w^*_{1,2} = \frac{n_{max}}{2x^*}\left(1 \pm \sqrt{1 - \frac{4b_1 x^*}{n_{max}}}\right)$. Соответственно, $n^*_{1,2} = w^*_{1,2} \cdot x^* = \frac{n_{max}}{2}\left(1 \pm \sqrt{1 - \frac{4b_1 x^*}{n_{max}}}\right)$.

При $\frac{4b_1 x^*}{n_{max}} << 1$ получим $\sqrt{1 - \frac{4b_1 x^*}{n_{max}}} \approx 1 - \frac{1}{2} \cdot \frac{4b_1 x^*}{n_{max}}$, то есть

$$\begin{cases} w^*_1 & \approx & b_1 & = & w^* \\ w^*_2 & \approx & \frac{n_{max}}{x^*} - b_1 & = & \frac{n_{max}}{x^*} - w^* \end{cases} \tag{4}$$

и

$$\begin{cases} n^*_1 & \approx & b_1 x^* > b_1 b_2 & = & n^* \\ n^*_2 & \approx & \left(\frac{n_{max}}{x^*} - b_1\right) x^* & = & n_{max} - n^*_1 \end{cases}. \tag{5}$$

Точка (n^*_1, w^*_1) соответствует седлу жёсткой модели, (n^*_2, w^*_2) — «потолку» роста трекера и является притягивающим обобщённым узлом.

При $\frac{4b_1 x^*}{n_{max}} = 1$ седло и узел сливаются в вырожденную особую точку — седлоузел $\left(\frac{n_{max}}{2}, \frac{n_{max}}{2x^*}\right)$.

Все ненулевые особые точки модели (3), если они существуют, расположены в первом квадранте координатной плоскости.

2.2. Фазовый портрет мягкой модели

Рассмотрим фазовый портрет модели (3) при различных значениях $\frac{4b_1 x^*}{n_{max}}$ (рис. 2). Случай седлоузла не описывается философией общего положения и не показан на рис. 2.

Отметим, что при приближении к началу координат из первого и третьего квадрантов начало координат $(0, 0)$ ведёт себя как притягивающий узел. Траектории

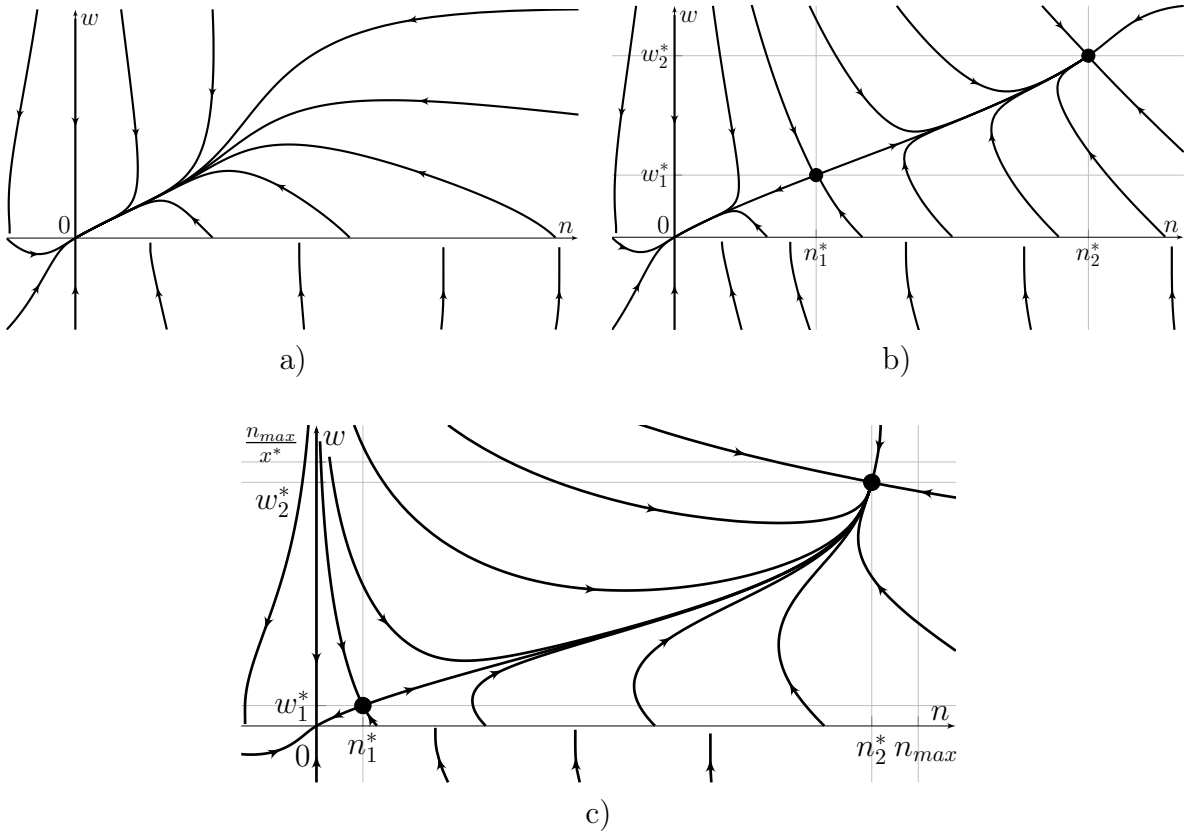

Рис. 2. Фазовый портрет мягкой системы (3):
a) при $\frac{4b_1x^*}{n_{max}} > 1$, b) при $\frac{4b_1x^*}{n_{max}} < 1$, c) при $\frac{4b_1x^*}{n_{max}} << 1$

Fig. 2. Soft model phase portrait:
a) at $\frac{4b_1x^*}{n_{max}} > 1$, b) at $\frac{4b_1x^*}{n_{max}} < 1$, c) at $\frac{4b_1x^*}{n_{max}} << 1$

отходят от оси On (то есть из состояния, когда нет раздач, но есть некоторое количество пользователей, что в принципе реализуемо) под наклоном $-b_1$.

Во втором и четвёртом квадрантах траектории входят в ось On вертикально; поведение при стремлении n и w к нулю не определено.

Если начальное состояние системы (3) находится на оси Ow (когда нет пользователей, а есть только раздачи, что физически нереализуемо), траектория лежит строго на оси Ow и направлена в начало координат к физически реализуемому состоянию $(0, 0)$.

Поведение траекторий второго, третьего и четвёртого квадрантов качественно не зависит от наличия и положения ненулевых особых точек. Траектории второго и четвёртого квадрантов заканчиваются на оси On, третьего — в начале координат $(0, 0)$.

При $\frac{4b_1x^*}{n_{max}} > 1$, когда ненулевых особых точек нет, все траектории первого квадранта также заканчиваются в начале координат $(0, 0)$.

При $\frac{4b_1x^*}{n_{max}} < 1$ сепаратрисы седла (n_1^*, w_1^*) разбивают первый квадрант координатной плоскости на бассейны притяжения начала координат $(0, 0)$ и притягивающего обобщённого узла (n_2^*, w_2^*).

2.3. Устойчивость мягкой модели

В отличие от жёсткой модели, для (3) не при всех значениях параметров возможно устойчивое существование торрент-трекера.

При $\frac{4b_1x^*}{n_{max}} > 1$, сколько бы ни было на трекере пользователей и раздач, со временем он опустеет и будет закрыт (как правило, администрация закрывает трекер, не дожидаясь стабилизации в нулевом состоянии). При $\frac{4b_1x^*}{n_{max}} = 1$, хотя теоретически возможна стабилизация в седлоузле, но малейшее изменение состояния или параметров может привести к попаданию в бассейн начала координат, что означает постепенную потерю всех пользователей и закрытие.

При $\frac{4b_1x^*}{n_{max}} < 1$ при достаточном начальном количестве пользователей и раздач имеется возможность стабилизации в ненулевом состоянии (n_2^*, w_2^*). Необходимо отметить, что при недостаточном их количестве, в случае, когда начальное состояние торрент-трекера при переходе к модели (3) лежит ниже сепаратрисы седла — устойчивое состояние (n_2^*, w_2^*) достигнуто не будет, хотя оно потенциально возможно. Далее предполагается, что на начальном этапе развития трекера накоплено достаточное для стабилизации количество пользователей и раздач, и рассматривается устойчивость состояния (n_2^*, w_2^*).

В случае, когда $\frac{4b_1x^*}{n_{max}}$ незначительно меньше единицы, то есть система (3) имеет две расположенные рядом ненулевые особые точки, стабилизация торрент-трекера в состоянии (n_2^*, w_2^*) возможна, причём это состояние достигается достаточно быстро, но оно не слишком устойчиво. Торрент-трекер, как и любая система, всегда подвержен случайным внешним воздействиям, вследствие чего есть возможность либо потери части пользователей и перескока из устойчивого состояния (n_2^*, w_2^*) в бассейн начала координат (и дальнейшего исчезновения всех пользователей), либо изменения параметров так, что текущее состояние трекера уже окажется в бассейне начала координат новой системы [7, 8].

Наоборот, при $\frac{4b_1x^*}{n_{max}} << 1$ при достаточном начальном количестве пользователей трекер будет долгое время устойчиво расти, а затем стабилизируется в обобщённом узле (n_2^*, w_2^*). Чем дальше узел (n_2^*, w_2^*) от седла (n_1^*, w_1^*) и его сепаратрис, тем устойчивее будет достигнутое стабильное состояние торрент-трекера.

Таким образом, для достижения максимальной устойчивости трекера необходимо достичь $\frac{4b_1x^*}{n_{max}} << 1$ или, что то же самое,

$$n_{max} >> 4b_1x^*. \tag{6}$$

С учётом того, что $x^* < b_2(1 + b_{2N})$, условие (6) заведомо будет выполняться при $n_{max} >> 4b_1b_2(1 + b_{2N})$, а с учётом $b_{2N} >> 1$ его можно переписать как

$$n_{max} >> 4b_1b_2b_{2N}. \tag{7}$$

Для выполнения этого условия при нерегулируемых b_1, b_2, b_{2N} необходимо огромное значение n_{max}. Это выполняется на крупных универсальных и специализированных трекерах (в частности, rutracker.org, thepiratebay.org, pornolab.net).

Чтобы усилить разрыв между левой и правой частями (7) также желательно уменьшить параметры оттока b_1, b_2, b_{2N}. Отток пользователей b_1 можно уменьшить как разнообразными не связанными с информационным обменом мерами (рекламные акции, бонусы, торрентовки), так и наличием на трекере уникального контента.

Таким образом, для понижения b_1 необходимо увеличить количество раздач с редким контентом или, во всяком случае, максимально долго сохранить имеющиеся. Как показано в [4], система учёта рейтинга негативно влияет на устойчивость таких раздач, поэтому от неё желательно отказаться. Также устойчивость раздач редкого контента можно укрепить, введя повышенный коэффициент таймбонуса за их сидирование.

Для уменьшения вымирания раздач b_2 и b_{2N}, как показано в [4], администрация трекера может использовать учёт таймбонуса (времени сидирования), поглощение дублирующих раздач и обратную связь с ранее скачивавшими и ушедшими с раздачи пользователями.

Для узкоспециализированных торрент-трекеров (при относительно небольшом n_{max}) для выполнения условия (7) необходимо иметь крайне малые параметры оттока b_1, b_2, b_{2N}. Этого не всегда можно добиться описываемыми выше мерами. Если торрент-трекер распространяет контент, производимый администрацией, то администрация обычно выполняет не только регулирование, но и сидирование раздач (в частности, debian.org, baibako.tv). Таким образом, раздачи никогда не вымирают полностью и $b_2 \to 0$, что делает такие трекеры устойчивыми.

Напротив, узкоспециализированный трекер, рассчитанный на самоорганизацию, вероятнее всего, имеет $n_{max} \approx 4b_1b_2b_{2N}$ и через какое-то время будет закрыт (в частности, не существующий в настоящее время cultscaro.net). Более устойчивым решением данной задачи будет тематический раздел на крупном универсальном торрент-трекере.

Заключение

На основе анализа факторов, влияющих на количество пользователей и количество раздач в файлообменной сети, была построена жёсткая динамическая модель (2). На её основе была создана смягчённая модель (3).

Исследование модели показало, что запас устойчивости файлообменной сети в целом можно повысить, расширяя целевую аудиторию и используя для регулирования раздач систему таймбонусов, связь администрации с ранее скачивавшими файл пользователями и поглощение раздач-дубликатов, но не систему учёта рейтинга.

Узкоспециализированные файлообменные сети должны либо сохранять устойчивость за счёт сидирования раздач администрацией, либо вливаться в более крупные сети как тематические разделы.

Список литературы / References

[1] Cohen B., “The BitTorrent Protocol Specification”, 2008, https://www.bittorrent.org/beps/bep_0003.html.

[2] Андронов А. А. и др., *Качественная теория динамических систем второго порядка*, Наука, М., 1966; [Andronov A. A. et al., *Kachestvennaya teoriya dinamicheskih sistem vtorogo poryadka*, Nauka, M., 1966, (in Russian).]

[3] Баутин Н. Н., Леонтович Е. А., *Методы и приёмы качественного исследования динамических систем на плоскости*, Наука, М., 1990; [Bautin N. N., Leontovich E. A.,

Metody i priyomy kachestvennogo issledovaniya dinamicheskih sistem na ploskosti, Nauka, M., 1990, (in Russian).]

[4] Кононова А. И., "Динамическая модель процессов информационных обменов в пиринговой сети", *Моделирование и анализ информационных систем*, **25**:4 (2018), 421–434; [Kononova A. I., "Dynamic Model of single Torrent with File-Sharing P2P Network", *Modeling and Analysis of Information Systems*, **25**:4 (2018), 421–434, (in Russian).]

[5] Арнольд В. И., *"Жёсткие" и "мягкие" математические модели*, МЦНМО, М., 2008; [Arnold V. I., ""Hard" and "soft" mathematical models", *Butl. Soc. Catalana Mat.*, **13**:1 (1998), 7–26, (in English)]

[6] Ильяшенко Ю. С., "Аттракторы динамических систем и философия общего положения", *Математическое просвещение*, **12**, 2008, 13–22; [Ilyashenko Yu. I., "Attractors of dynamical systems and philosophy of generic position", *Images de Mathematique*, **18**, 2006, 58–63, (in French)]

[7] Макаров И. М., Менский Б. М., *Линейные автоматические системы: Элементы теории, методы расчета и справочный материал*, Машиностроение, 1982; [Makarov I. M., Menskij B. M., *Linejnye avtomaticheskie sistemy: Elementy teorii, metody rascheta i spravochnyj material*, Mashinostroenie, 1982, (in Russian).]

[8] Ye K. Z., Portnov E. M., Gagarina L. G., Lin K. Z., "Method for increasing reliability for transmission state of power equipment energy", *IEEE GlobalSIP*, 2015, 433–437.

Kononova A. I., Gagarina L. G., "Dynamic Model of Growing File-Sharing P2P Network", *Modeling and Analysis of Information Systems*, **26**:3 (2019), 351–359.

DOI: 10.18255/1818-1015-2019-3-351-359

Abstract. In this work, the model of development of the P2P file exchange network organized by a torrent tracker is considered. The model is constructed on the basis of ordinary differential equations. The phase variables describing a status of a torrent tracker and the network organized by it (in first approximation is the number of the users of the tracker who are actively participate in information exchange, and the number of active torrents) are defined, the factors influencing the change of users number and the number of torrents are analyzed. On the basis of the analysis the system of differential equations, in first approximation describing evolution of the file exchange network organized by the torrent tracker — a hard dynamic model of evolution of the torrent tracker is written. Equilibrium points of hard model of evolution of the tracker are investigated, their possible quantity and type is described. All configurations of the general provision, possible in a hard model of evolution of the torrent tracker are described. The phase portrait of the hard model is represented. On the basis of the analysis of the hard model the system of differential equations describing evolution of a file exchange network with accounting of dependence of new users inflow intensity on a total quantity of potential audience of the torrent tracker, and also dependences of speed of torrents extinction on the number of users falling on one torrent — a soft dynamic model of evolution of a torrent tracker is written. Equilibrium points of a soft model of tracker evolution are investigated, their possible quantity and type is described. All configurations of the general provision, possible in a soft model of evolution of the torrent tracker are described. Phase portraits of each configuration are represented. The ratio of parameters necessary for the stability of the tracker a stable status is received. The influence of different administrative measures on a stock of the tracker stability in whole is analyzed. The need of support of torrents by administration at highly specialized torrent trackers with small potential audience is shown.

Keywords: file-sharing network, ODEs, dynamical systems, stability

On the authors:
Alexandra I. Kononova, orcid.org/0000-0002-4178-3828, PhD,
National Research University of Electronic Technology,
1 Shokin sq., Moscow, Zelenograd, 124498, Russia, e-mail: illinc@bk.ru

Larisa G. Gagarina, orcid.org/0000-0003-2371-9045, Doctor of Engineering Sciences,
National Research University of Electronic Technology,
1 Shokin sq., Moscow, Zelenograd, 124498, Russia, e-mail: gagar@bk.ru