

**МОДЕЛИРОВАНИЕ ПРОЦЕССОВ СОЗДАНИЯ ВИРТУАЛЬНЫХ  
ПИРИНГОВЫХ КАНАЛОВ В ЛОКАЛЬНЫХ КОМПЬЮТЕРНЫХ СЕТЯХ**

**MODELING OF CREATION PROCESSES OF VIRTUAL  
PEERING CHANNELS IN LOCAL COMPUTER NETWORKS**

**Аннотация.** Приведено описание сетевой модели механизма создания виртуальных пиринговых каналов в локальной компьютерной сети и на ее основе построена математическая модель. Исследовано влияние основных параметров пиринговой компьютерной сети на время создания виртуального пирингового канала. Рассмотрены рекомендации по программной реализации пиринговых механизмов.

**Summary.** The description of network model of the mechanism of creation virtual peering channels in the local area network is resulted and on its basis the mathematical model is constructed. Influence of leading particulars peering the computer network for the period of creation virtual peering channel is researched. Guidelines on program implementations of peering mechanisms are resulted.

Проектирование и реализация современных систем обмена информацией в локальных компьютерных сетях (ЛКС) требует разработки принципиально новых механизмов взаимодействия узлов, позволяющих продвинуть решение проблемы повышения уровня качества обслуживания клиентов. Одним из путей решения указанной проблемы является использование пирингового (равнорангового) обмена информацией в ЛКС, который основан на использовании виртуальных пиринговых каналов (ВПК) [1]. Создание данного механизма предусматривает разработку ряда программных модулей, поддерживающих работу специального протокола и специфических процессов (способы адресации при передаче анонимных сообщений, процедуры объединения физических подсетей и т.д.), обеспечивающих его функционирование. Однако при планировании сети и организации корректного пирингового обмена информацией необходимо обладать математической моделью и методами расчета характеристик (параметров) процесса взаимодействия узлов в ЛКС.

*Целью работы является разработка математической модели процесса создания виртуальных пиринговых каналов и расчет основных характеристик пиринговой ЛКС.*

**1. Сетевая модель.** Как известно, процесс создания ВПК состоит из нескольких этапов: запрос-ответ, установка виртуального соединения, передача данных, разрушение соединения. Будем полагать, что пиринговый канал является полностью сформированным после прохождения двух первых этапов. Из описания пирингового механизма [1] известно, что процессы, происходящие на двух первых этапах создания ВПК, подобны и каждый из них состоит из двух subprocesses (стадий) – запроса источника и ответа узлов. Причем отвечают на запрос только те узлы, которые поддерживают пиринговый механизм и содержат запрашиваемую информацию. Следует отметить, что результатом одного запроса может быть создание достаточно большого количества отдельных ВПК.

Рассмотрим процесс организации ВПК в простейшей пиринговой ЛКС. Под простейшей будем понимать такую пиринговую ЛКС, которая удовлетворяет следующему ряду условий:

- 1) в сети действует только один источник пиринговых запросов;
- 2) время обработки узлами запросов источника либо обработки источником ответов узлов одинаково в рамках соответствующих стадий;
- 3) на параметры работы ВПК не влияют сторонние источники сетевого трафика и уровень загрузки каналов связи, подключенных к сети.

Время  $T_{\text{ВПК}}$ , затрачиваемое на создание ВПК, будет состоять из времени обработки запроса  $T_{\text{запр1}}$  и ответов  $T_{\text{отв1}}$  на первом этапе его организации и времени обработки запроса  $T_{\text{запр2}}$  и ответов  $T_{\text{отв2}}$  на создание виртуального канала на втором этапе организации пирингового канала, т.е. может быть рассчитано по формуле:

$$T_{\text{ВПК}} = T_{\text{запр1}} + T_{\text{отв1}} + T_{\text{запр2}} + T_{\text{отв2}} \quad (1)$$

Как видно из формулы (1), каждой стадии соответствует своё слагаемое, вклад и степень влияния которых на  $T_{\text{ВПК}}$  зависит от предлагаемой конкретной модели и параметров, характеризующих процесс обмена информацией между источником и узлами сети.

Рассмотрим процесс создания ВПК на двух первых этапах. На рис. 1 представлена схема процесса создания ВПК. На первой стадии первого этапа от источника поступает простейший поток запросов с интенсивностью  $\lambda_1$  на каждый узел некоторого конечного множества узлов  $U_1 \{1, 2, \dots, n\}$ . Каждый из узлов множества  $U_1$  обрабатывает<sup>1</sup> данный запрос с одинаковой интенсивностью потока обслуживания  $\mu_1$ . При этом, лишь некоторое конечное множество узлов  $U_2 \{1, 2, \dots, m\}$ , на которых содержится интересующая клиента информация, отвечает источнику с интенсивностью  $\lambda_2$ , причем  $U_2 \subseteq U_1$ . В результате суперпозиции потоков от узлов ЛКС к источнику, интенсивность результирующего потока  $\lambda_{\text{отв2}}$  может быть рассчитана по формуле  $\lambda_{\text{отв2}} = m\lambda_2$ . Будем полагать, что после отправки узлами ЛКС ответов на источнике формируется очередь длиной  $m$  и ответы обрабатываются с интенсивностью обслуживания  $\mu_2$  в течении времени ожидания  $T_{\text{ожид1}}$  с момента отправки запроса. По истечении этого времени обработка ответов прекращается. Таким образом, для того, чтобы процесс создания ВПК продолжился должно соблюдаться условие:

$$T_{\text{запр1}} + T_{\text{отв1}} \leq T_{\text{ожид1}}. \quad (2)$$

Анализ и уточнение информации, содержащейся в ответах, которые получены от  $m$  узлов, приводит к тому, что запросы на втором этапе формируются к меньшему либо равному  $m$  числу узлов, т.е.  $l \leq m$ .

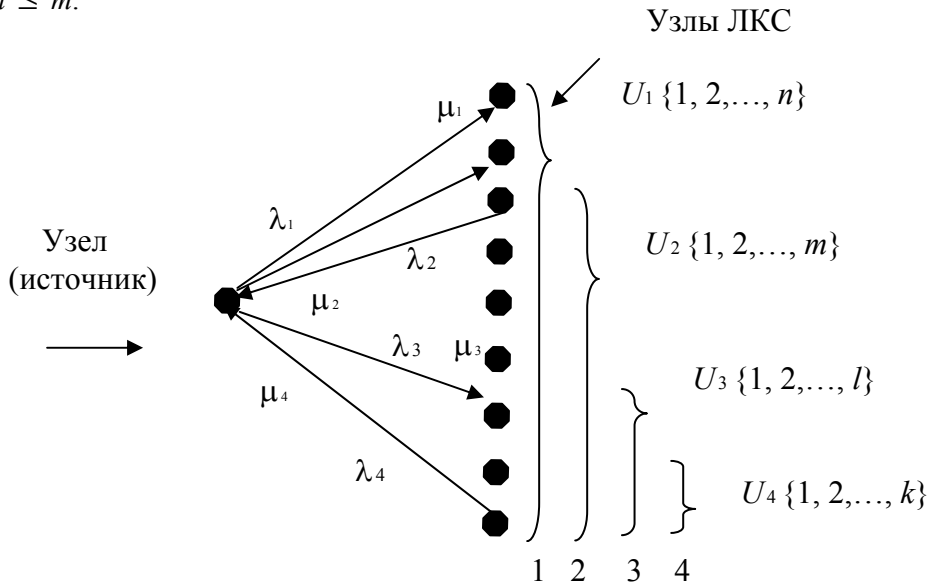


Рисунок 1 – Схема процесса создания ВПК на двух первых этапах. Цифрами под фигурными скобками обозначены номера стадий двух этапов

На третьей стадии второго этапа установки виртуального соединения источник генерирует запросы о создании виртуальных каналов к некоторому конечному множеству выбранных узлов  $U_3 \{1, 2, \dots, l\}$  с одинаковой интенсивностью  $\lambda_3$ , которые обрабатываются этими узлами с одинаковой интенсивностью потока обслуживания  $\mu_3$ . Подтверждает создание ВПК и отвечает источнику, с интенсивностью  $\lambda_4$ , после реализации процедуры проверки возможности установления соединений, лишь некоторое конечное множество узлов  $U_4 \{1, 2, \dots, k\}$ , при этом  $k \leq l$ . Как и на второй стадии формирования ВПК, в результате суперпозиции потоков от узлов к источнику, результирующий поток  $\lambda_{\text{отв4}}$  может быть рассчитан по формуле  $\lambda_{\text{отв4}} = k\lambda_4$ . Причем конечные

<sup>1</sup> Под обработкой, в данном случае, будем понимать процесс анализа информации, содержащейся в запросе, принятие решения об отправке источнику ответа и, в случае необходимости, формирование ответа на запрос.

множества  $U_i$  на рассмотренных стадиях создания ВПК связаны соотношениями  $U_4 \subseteq U_3$  и  $U_3 \subseteq U_2$ .

Будем также полагать, что после отправки узлами ЛКС ответов на источнике формируется очередь длиной  $k$  и ответы обрабатываются источником с интенсивностью обслуживания  $\mu_4$  в течении времени ожидания  $T_{\text{ожид}2}$  с момента отправки запроса на третьей стадии формирования ВПК. По истечении этого времени обработка ответов прекращается. Таким образом, для того, чтобы процесс создания ВПК полностью завершился должно соблюдаться условие:

$$T_{\text{запр}2} + T_{\text{отв}2} \leq T_{\text{ожид}2}. \quad (3)$$

При этом максимально допустимое время создания ВПК  $T_{\text{max}}$  будет вычисляться как сумма времени ожидания на первом и втором этапах его формирования:

$$T_{\text{max}} = T_{\text{ожид}1} + T_{\text{ожид}2}. \quad (4)$$

Выбор значений параметров  $T_{\text{ожид}1}$  и  $T_{\text{ожид}2}$  для пиринговой системы обмена информацией должен производиться в зависимости от задач<sup>1</sup>, которые решаются в пиринговой ЛКС, и напрямую зависит от среднего времени обработки запросов и ответов в узлах.

**2. Математическая модель.** В основу модели положены элементы теории массового обслуживания. Предположим, что поток запросов и ответов на них от каждого узла на первом этапе создания ВПК представляет собой простейший (пуассоновский) поток. В этом случае  $n$  узлов, к которым направлен поток запросов на первой стадии формирования ВПК, могут быть представлены в виде простейших одноканальных систем массового обслуживания (СМО) с неограниченной очередью, т.е. СМО<sup>2</sup> типа M|M|1. Время обслуживания в узлах ЛКС – показательное с параметром  $\mu_1 = \frac{1}{t_{\text{обсл}}}$ . Коэффициент загрузки системы  $\rho_1 = \lambda_1 / \mu_1 < 1$ , т.е. СМО работает в стационарном режиме<sup>3</sup>. Тогда  $T_{\text{запр}1}$  может быть определено как время пребывания заявки в системе и может быть рассчитано по формуле Литтла для СМО с неограниченной очередью [4]:

$$T_{\text{запр}1} = \frac{\rho_1}{\lambda_1(1 - \rho_1)}, \quad (5)$$

Ввиду того, что для обработки ответов от узлов ЛКС на источнике организовывается очередь длиной  $m$ , данный процес может быть представлен в виде простейшей одноканальной СМО с ограничением по длине очереди, то есть СМО типа M|M|1|m. Для этой СМО время обслуживания также показательное с параметром  $\mu_2 = \frac{1}{t'_{\text{обсл}}}$ . СМО работает в стационарном режиме лишь при  $\rho_2 = m\lambda_2 / \mu_2 < 1$ . В данном случае  $T_{\text{отв}1}$  для второй стадии может быть рассчитано по формуле Литтла для СМО с ограничением по длине очереди [4]:

$$T_{\text{отв}1} = \frac{\bar{z}}{m\lambda_2}, \quad (6)$$

где  $\bar{z} = \bar{k} + \bar{r}$  – среднее число ответов обслуживаемых и ожидающих в очереди;

$\bar{k} = 1 - \frac{1 - \rho_2}{1 - \rho_2^{m+2}}$  – среднее число ответов обслуживаемых в СМО;

$\bar{r} = \frac{\rho_2^2 [1 - \rho_2^m (m + 1 - m\rho_2)]}{(1 - \rho_2^{m+2})(1 - \rho_2)}$  – среднее число ответов ожидающих в очереди.

<sup>1</sup> В первую очередь к ним следует отнести обеспечение требуемого уровня качества функционирования пиринговых приложений и услуг.

<sup>2</sup> Тип СМО указан в соответствии с классификацией, описанной в [2].

<sup>3</sup> Если  $\rho_1 > 1$ , то система работает в режиме перегрузок. Случай  $\rho_1 = 1$  является нетривиальным и требует особого рассмотрения [3].

Формулы (5) и (6) позволяют вычислить время на создание ВПК на первой и второй стадиях первого этапа.

Нетрудно убедиться, что процессы, происходящие на втором этапе создания (на третьей и четвертой стадиях) ВПК идентичны процессам, происходящим на первом этапе запрос-ответ и, следовательно, узлы и источник могут быть также представлены в виде СМО. При этом узлы ЛКС, отвечающие на запрос источника на третьей стадии формирования ВПК моделируется СМО с неограниченной очередью, а источник, обрабатывающий ответы на четвертой стадии, в виде СМО с ограничением по длине очереди  $k$ . Время обработки запроса  $T_{запр2}$  и ответов  $T_{отв2}$  могут быть рассчитаны по формулам (5) и (6), в которых вместо  $\lambda_1, \lambda_2, \mu_1, \mu_2, m$ , необходимо использовать параметры  $\lambda_3, \lambda_4, \mu_3, \mu_4$  и  $k$  соответственно. После чего по формуле (1) может быть вычислено время на создание ВПК.

Рассмотрим условия существования стационарного режима работы модели. Так как модель на каждой из четырех стадий формирования ВПК представлена одноканальными СМО, то условия существования стационарного режима работы всей системы будут зависеть от значений загрузки отдельных СМО, и для его реализации коэффициенты загрузки СМО на всех стадиях процесса должны быть меньше единицы, т.е.:

$$\rho_1 = \frac{\lambda_1}{\mu_1} < 1, \rho_2 = \frac{m\lambda_2}{\mu_2} < 1, \rho_3 = \frac{\lambda_3}{\mu_3} < 1, \rho_4 = \frac{k\lambda_4}{\mu_4} < 1. \quad (7)$$

Условия (7) нетрудно выполнить, если интенсивности потоков обслуживания  $\mu_1$  и  $\mu_3$  на стадиях 1 и 3 будут больше интенсивностей потока запросов на соответствующих стадиях, а на стадиях 2 и 4 интенсивности потоков обслуживания  $\mu_2$  и  $\mu_4$  должны быть больше значений  $\lambda_{отв2} = m\lambda_2$  и  $\lambda_{отв4} = k\lambda_4$  соответственно.

Предложенная простейшая модель, по существу, базируется на использовании марковских систем массового обслуживания. Данная модель может быть развита в следующих направлениях:

1. Узлы ЛКС представляются, например, одноканальной СМО с неограниченной очередью при пуассоновском потоке запросов и произвольном времени их обслуживания, т.е. СМО типа M|G|1. В этом случае СМО представляет так называемую полумарковскую одноканальную систему. При этом случайное время обслуживания  $T_{обсл}$  рассчитывается по произвольному закону с математическим ожиданием  $1/\mu$  и коэффициентом вариации  $v_\mu$ .
2. Узлы ЛКС моделируются одноканальной СМО при пальмовском или произвольном потоке запросов от источника и произвольном времени их обслуживания, т.е. СМО типа G|G|1.

Следует отметить, что простейшая модель имеет право на существование, поскольку позволяет рассчитывать параметры с некоторым запасом в то время как последующие модели их лишь уточняют. Окончательный выбор и обоснованное применение той либо иной модели расчета для практических целей возможно будет определить после оценки отклонений вычисленных параметров процесса создания ВПК от характеристик, полученных в результате экспериментального исследования пирингового механизма в ЛКС.

*Влияние интенсивности запросов (обработки) на время создания ВПК.* Как следует из формул (5) и (6) время формирования ВПК зависит от:

- интенсивности поступающих запросов и ответов на каждой из четырех стадий  $(\lambda_1, \lambda_2, \lambda_3, \lambda_4)$ ;
- интенсивности обработки запросов и ответов  $(\mu_1, \mu_2, \mu_3, \mu_4)$ ;
- количества узлов, отвечающих источнику на второй и четвертой стадиях  $(m, k)$ .

Практическая реализация пирингового механизма в ЛКС предполагает, что запросы источника и ответы узлов представляют собой модифицированные Ethernet кадры [1] и интенсивность потока запросов источника (ответов узлов) в такой ЛКС будет зависеть от следующих параметров:

- пропускной способности канала или скорости передачи данных в сети Ethernet  $v$ ;
- длины модифицированных кадров  $L$ ;

– длительности технологической паузы между двумя передаваемыми модифицированными кадрами  $t_p$  и определяется выражением:

$$\lambda_{\max} = \frac{v}{8 \cdot L + v \cdot t_p}. \quad (8)$$

С целью упрощения практической реализации пирингового механизма рекомендуется ее осуществлять таким образом, чтобы длины модифицированных кадров и длительности технологических пауз были равными на всех стадиях формирования ВПК. В этом случае, интенсивности потока запросов на всех стадиях будут равны, т.е.  $\lambda_1 = \lambda_2 = \lambda_3 = \lambda_4$ .

На рис. 2 приведены кривые зависимостей времени создания ВПК  $T_{\text{ВПК}}$  как функции от интенсивности потока запросов, рассчитаного в соответствии с формулой (1), для интенсивностей потока обслуживания  $\mu_2 = \mu_3 = \mu_4 = 1000$  запроса(ответа)/с (время обработки запросов и ответов на второй, третьей и четвертой стадиях равно 1 мс) и количества узлов на второй стадии  $m = 100$  и четвертой  $k = 30$  соответственно, т.е. для  $m/k = 3,3$ .

Кривые  $T_{\text{ВПК}}(\lambda)$  построены для различных значений  $\mu_1$ , а именно 0,2; 0,33 и 1 запроса/с или для времени обработки запросов на первой стадии формирования ВПК равном 5; 3 и 1 с соответственно<sup>1</sup>.

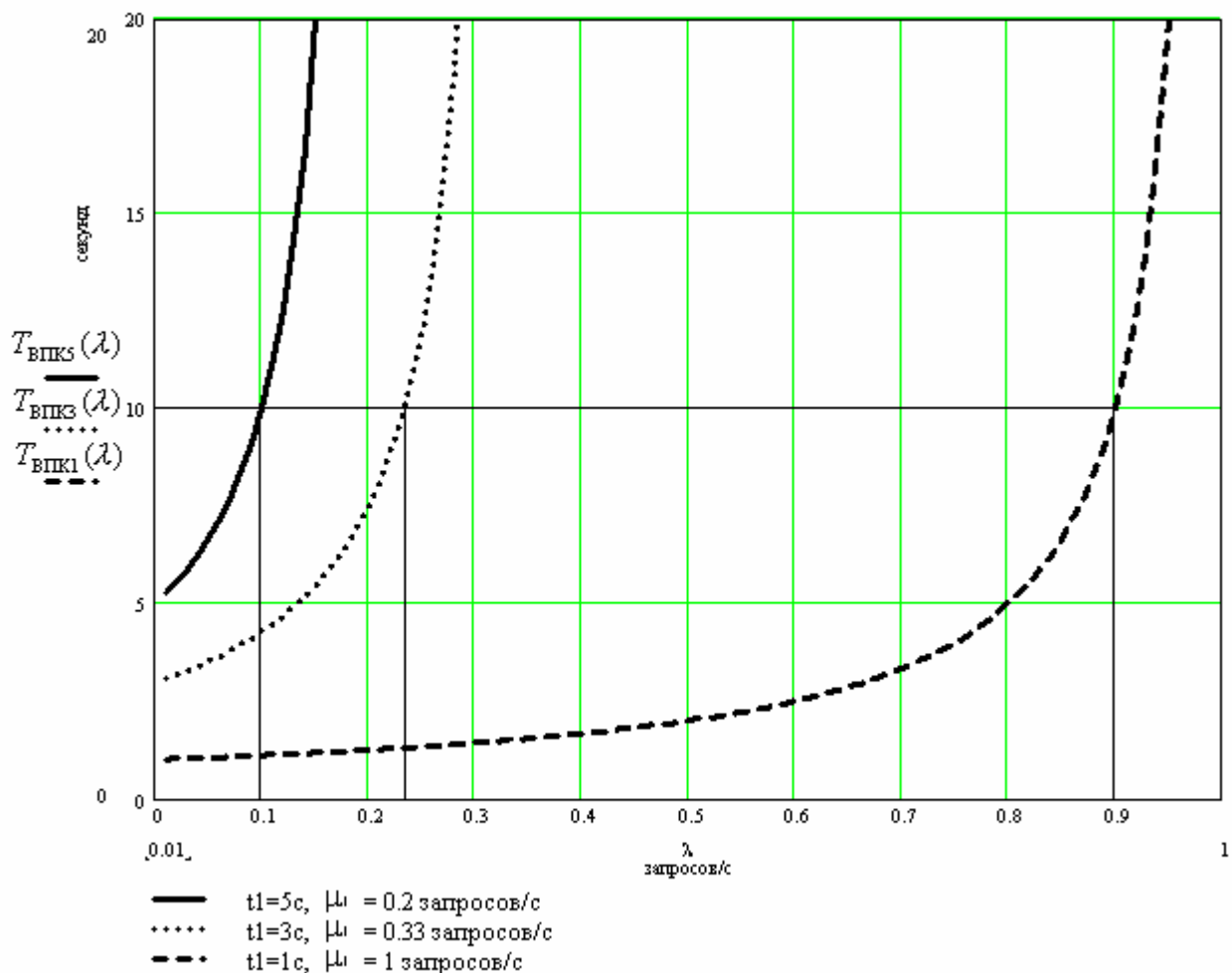


Рисунок 2 – Зависимости времени создания ВПК от интенсивности потока запросов

<sup>1</sup> Значения времени обработки запросов на первой стадии формирования ВПК подобраны близкими к реальным значениям при реализации поисковых систем в существующих ЛКС либо фрагментах телекоммуникационных сетей, построенных на их базе.

Как видно из рис. 2, время на создание ВПК  $T_{\text{ВПК5}}(\lambda)$ ,  $T_{\text{ВПК3}}(\lambda)$  и  $T_{\text{ВПК1}}(\lambda)$  резко возрастает при коэффициенте загрузки  $\rho_1 = \frac{\lambda_1}{\mu_1}$  стремящемся к единице. Подобный характер зависимости

$T_{\text{ВПК}}(\lambda)$  наблюдается и для случаев, когда значения коэффициентов загрузки  $\rho_2, \rho_3$  и  $\rho_4$  будут стремиться к единице. Таким образом, как следует из рис. 2, чтобы избежать резкого возрастания времени формирования ВПК при минимальном приросте интенсивности поступающих запросов, рекомендуемый коэффициент загрузки  $\rho$  для всех стадий процесса не должен быть больше 0,5.

*Качество обслуживания в пиринговых ЛКС* зависит от двух составляющих, каждая из которых гарантирует определенный его уровень на этапах установления соединения и во время сеанса связи, т.е. при передаче информации. Качество обслуживания при установлении соединения в нашем случае, определяется временем создания ВПК, т.е. временем между отправкой широковещательного запроса к  $n$  узлам (первый этап – «запрос-ответ») и получением подтверждений от  $k$  узлов о создании виртуальных каналов (второй этап – установка виртуального соединения), при условии, что это время меньше  $T_{\text{max}}$ , т.е. максимально допустимого времени создания ВПК. Величина  $T_{\text{max}}$  может характеризовать тот либо иной класс обслуживания, причем, чем оно меньше, тем выше класс обслуживания.

Воспользовавшись графиками (рис. 2) и задавшись  $T_{\text{max}}$ , нетрудно определить предельно возможные интенсивности запросов, соответствующие определенному классу обслуживания. Так, для времени  $T_{\text{max}} = 10$  с значение предельно возможной интенсивности запросов  $\lambda_{QoS \text{ max}}$  будет приблизительно равняться 0,1; 0,233 и 0,9 запросов/с для интенсивностей обработки  $\mu_1$  равных 0,2; 0,33 и 1 запроса/с соответственно.

**3. Рекомендации по программной реализации пирингового механизма.** Программное обеспечение (ПО), поддерживающее реализацию механизма, должно состоять из двух частей: ПО источника и ПО узлов.

ПО источника может содержать следующие модули:

- расчета параметров пиринговой ЛКС;
- контроля обеспечения заданного класса обслуживания;
- формирования и отправки запросов источника (пользователя);
- получения и обработки ответов узлов и подтверждений о создании ВПК;
- контроля обмена информацией между источником и узлами.

*Модуль расчета параметров пиринговой ЛКС* производит вычисление характеристик пиринговой ЛКС, таких как допустимая пропускная способность  $\nu_{\text{допуст}}$  и максимально допустимое значение интенсивности потока запросов на первой стадии формирования ВПК  $\lambda_{\text{LAN max}}$  (рис. 3).

*Модуль контроля обеспечения заданного класса обслуживания* позволяет определить значение предельно возможной интенсивности потока запросов на первой стадии формирования ВПК  $\lambda_{QoS \text{ max}}$  и соответствующую этому значению длительность паузы между запросами  $T_{\text{паузы}QoS}$  (см. рис. 3).

После вычисления значений  $\lambda_{QoS \text{ max}}$  и  $\lambda_{\text{LAN max}}$  производится их сравнение, и в случае если выполняется условие  $\lambda_{QoS \text{ max}} > \lambda_{\text{LAN max}}$ , пользователь уведомляется о том, что заданный уровень качества обслуживания не может быть достигнут в данной ЛКС. Адаптация пиринговой услуги к работе в ЛКС может быть произведена путем модификации параметров, таких как выделяемая для работы пропускная способность, количество узлов в ЛКС и т.д., либо понижением уровня качества обслуживания (уменьшением значения  $T_{\text{max}}$ ), что является нежелательным.

ПО узлов может содержать следующие модули:

- получения и обработки запросов источника (на всех стадиях формирования ВПК);
- формирования и отправки ответов источнику (подтверждений о создании ВПК).

Алгоритмы работы и описание функций, выполняемых модулями *формирования и отправки запросов источника, получения и обработки ответов узлов* (подтверждений о создании ВПК), *контроля обмена информацией между источником и узлами* ПО источника, а также модулей ПО узлов описаны в [1] и в данной статье не рассматриваются.

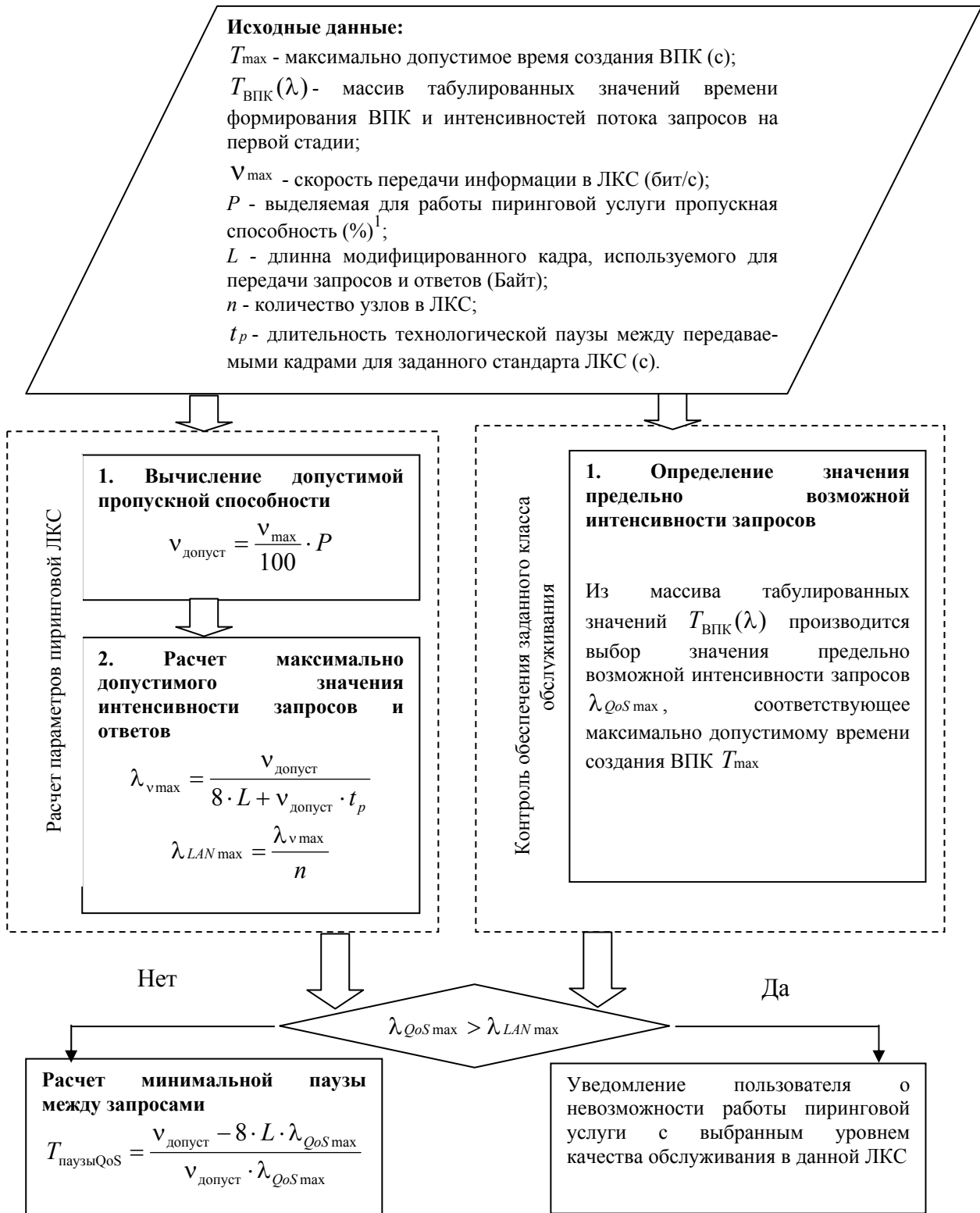


Рисунок 3 – Алгоритм работы модулей расчета параметров пиринговой ЛКС и контроля обеспечения заданного класса обслуживания

<sup>1</sup> Ввиду того, что превышение широковещательным трафиком уровня 20% крайне нежелательно, поскольку приводит к резкому увеличению времени ожидания доступа к среде передачи [5], рекомендуется использовать не более 10% общей пропускной способности ЛКС для работы пирингового механизма.

**Выводы и результаты.**

1. Предложена сетевая модель механизма создания виртуальных пиринговых каналов в ЛКС и на ее основе построена математическая модель функционирования ВПК. При этом ключевыми элементами модели являются простейшие одноканальные системы массового обслуживания с неограниченными и конечными по длине очередями, с помощью которых проведено моделирование работы узлов ЛКС и источника запросов соответственно.
2. Установлено, что на первом и втором этапах создания виртуальных пиринговых каналов качество предоставления пиринговых услуг определяется и зависит от времени создания ВПК. Это время ограничивается максимально допустимым временем установления соединений между источником и узлами ЛКС.
3. Предложены рекомендации по программной реализации пиринговых механизмов, облегчающие процесс предоставления пиринговой услуги, при требуемом классе качества обслуживания.

**Литература**

1. *Каптур В.А., Нечипорук О.Л.* Механизм создания пиринговых каналов в Ethernet сетях // Зв'язок. – 2005. – №4. – С. 28 – 33.
2. *Вишневский В.М.* Теоретические основы проектирования компьютерных сетей. – М.: Техносфера, 2003. – 512 с.
3. *Электронное учебное пособие.* Дисциплина: Моделирование. – Пенза: Пензенский технологический институт. - <http://modelling.verilog.ru/docs/gpss/posob/modelling.doc> (22.02.05).
4. *Вентцель Е.С.* Прикладные задачи теории вероятности. – М.: Радио и Связь, 1983. – 416 с.
5. *Олифер Н.А., Олифер В.Г.* Средства анализа и оптимизации локальных сетей. – <http://www.dlink.ru/technology/olifer.php> (22.02.05).