

*На правах рукописи*



**Куцакин Максим Алексеевич**

**МЕТОДЫ И АЛГОРИТМЫ ДЕЦЕНТРАЛИЗОВАННОГО УПРАВЛЕНИЯ  
ВРЕМЕННЫМИ ПАРАМЕТРАМИ ПРИ СЕТЕВОМ ПЛАНИРОВАНИИ  
В ИНФОРМАЦИОННЫХ СИСТЕМАХ С АВТОНОМНЫМИ  
ИНТЕЛЛЕКТУАЛЬНЫМИ АГЕНТАМИ**

Специальность 05.13.01 – Системный анализ, управление и обработка  
информации (информационные системы управления)

**АВТОРЕФЕРАТ**  
диссертации на соискание ученой степени  
кандидата технических наук

Орел – 2017

Работа выполнена в Федеральном государственном казённом военном образовательном учреждении высшего образования «Академия Федеральной службы охраны Российской Федерации».

Научный руководитель: кандидат технических наук, доцент  
Лебеде́нко Евге́ний Викто́рович

Официальные оппоненты: доктор технических наук, профессор Ерёменко Владимир Тарасович, заведующий кафедрой «Информационная безопасность» Федерального государственного бюджетного образовательного учреждения высшего образования «Орловский государственный университет им. И.С. Тургенева», г. Орел

кандидат технических наук, доцент Ломакин Владимир Васильевич, заведующий кафедрой прикладной информатики и информационных технологий Федерального государственного автономного бюджетного образовательного учреждения высшего образования «Белгородский государственный национальный исследовательский университет», г. Белгород

Ведущая организация: Федеральное государственное бюджетное образовательное учреждение высшего образования «Юго-Западный государственный университет», г. Курск

Защита состоится 13 сентября 2017 года в 14 часов 00 минут на заседании диссертационного совета Д 212.015.14 на базе ФГАОУ ВО «Белгородский государственный национальный исследовательский университет» по адресу: 308015, г. Белгород, ул. Победы, 85.

С диссертацией можно ознакомиться в научной библиотеке ФГАОУ ВО «Белгородский государственный национальный исследовательский университет» по адресу: 308015 г. Белгород, ул. Победы, 85, а также на сайте организации [www.bsu.edu.ru](http://www.bsu.edu.ru).

Автореферат разослан 10 июля 2017 года.

Ученый секретарь  
диссертационного совета,  
кандидат технических наук



А.Г. Жихарев

## ОБЩАЯ ХАРАКТЕРИСТИКА РАБОТЫ

### Актуальность темы

Одной из актуальных проблем современных распределенных систем обработки информации и управления, реализующих сложные многоэтапные проекты, является согласование сроков выполнения последовательности их этапов. При этом, в случае централизованного управления, координация действий подсистем, ответственных за каждый из этапов, реализуется в рамках единого информационного пространства, обеспечивающего их взаимодействие (рис. 1).

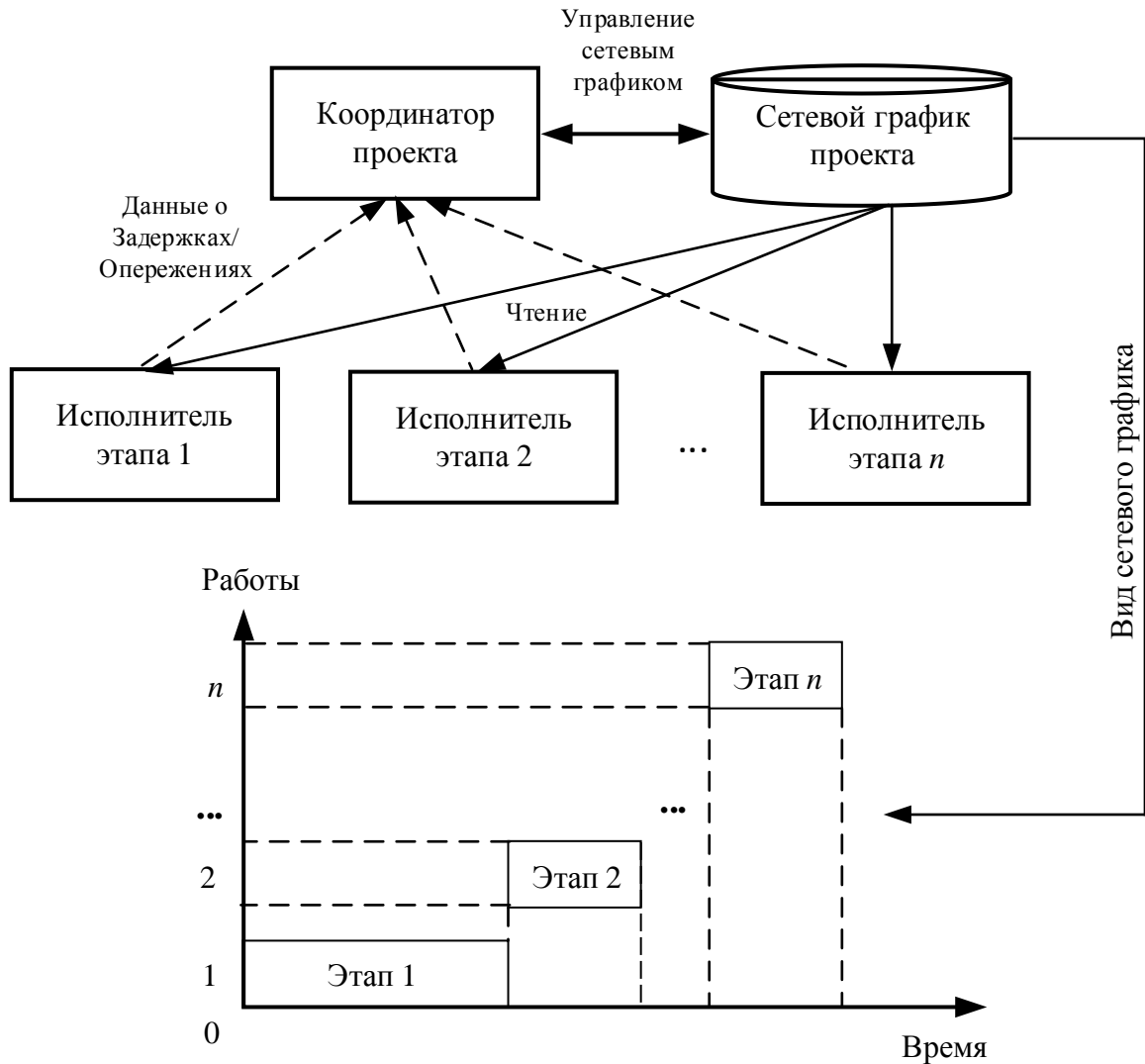


Рисунок 1 – Координация действий исполнителей этапов при централизованном способе управления

Однако, в ряде случаев, возможность использования схемы с централизованным управлением отсутствует. Это означает, что подсистемы, ответственные за каждый из этапов, функционируют автономно. Примерами подобных распределенных систем являются системы управления: логистикой в территориально-распределенных промышленных и торговых комплексах, поддержки выездных мероприятий и/или операций в интересах охраны и при возникновении чрезвычайных ситуаций, координации действий подвижных объектов, таких как беспилотные летательные аппараты или специализированные роботы. Особенностью подобных систем является использование агентно-ориентированного подхода, согласно которому их подсистемы представлены совокупностью интеллектуальных агентов.

Традиционно задачи согласования сроков выполнения последовательности этапов сложных проектов решаются в рамках теории сетевого планирования и управления (СПУ), представляющей указанную последовательность в виде специальной структуры, именуемой сетевым графиком – динамической моделью процесса реализации проекта. Наиболее известным методологическим аппаратом теории СПУ является метод критического пути, реализуемый в таких технологиях анализа проектов, как *PERT*, *GERT* и *PRINCE2*. В рамках этих технологий сетевой график представляется в виде особого вида диаграмм (сетевые диаграммы *PERT*, диаграммы Гантта), которые используются для устранения коллизий (рис. 2) – моментов перерасчета критического пути проекта, на основе информации о моментах временных задержек или опережений выполнения его отдельных этапов.

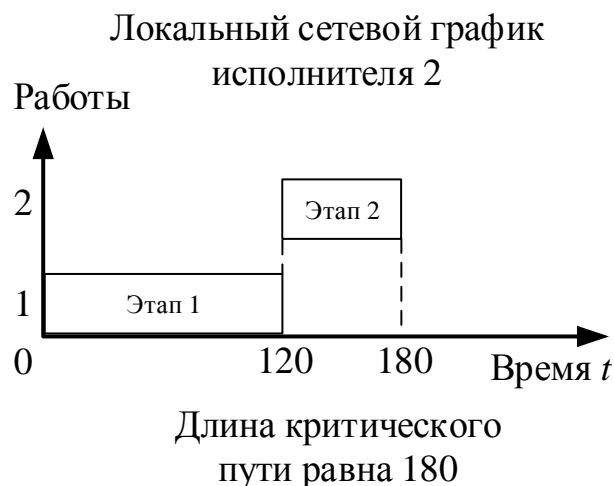
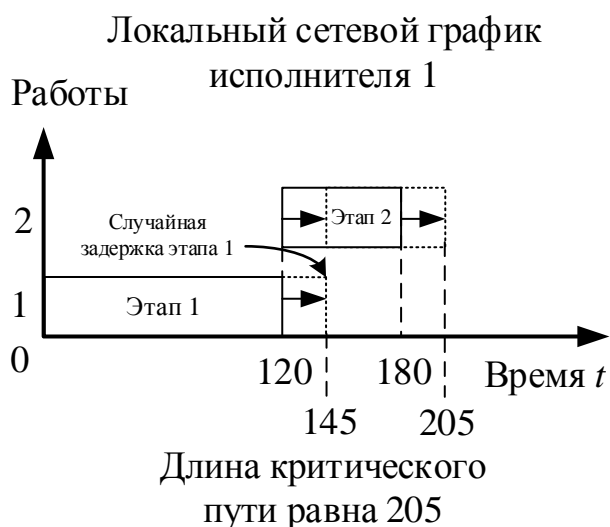


Рисунок 2 – Пример коллизии, связанной с задержкой выполнения этапа 1

Обычно, в рамках процесса СПУ, изменения временных параметров сетевого графика, обусловленных коллизиями, а также расчет критического пути проекта выполняется централизованно, и оперативно доводится до исполнителей этапов проекта по каналам взаимодействия (рис. 1). Однако, в условиях автономного функционирования интеллектуальных агентов, доступной для них является только локальная копия сетевого графика, а, в силу отсутствия каналов взаимодействия, информация о возникающих на предшествующих этапах проекта коллизиях является недоступной (рис. 3).

Таким образом, существует объективное противоречие между децентрализованной организацией ряда распределенных систем обработки информации и управления, реализующих процесс СПУ, и отсутствием методов и алгоритмов управления согласованием временных параметров локальных сетевых графиков многоэтапного проекта в условиях возникновения коллизий.

Наиболее известные исследования методов оценки временных параметров сетевого графика в теории СПУ выполнены Д.И. Голенко, А.Н. Швецовым, С.Я. Виленкиным, Карсаевым О.В., Гейда А.С., Городецким В.И., Соколовым Б.В., Д.Р. Фалкерсоном, А. Кофманом, А.А. Мешковым, Г. Дебазеем, Дж.Е. Келли, В. Купером, Ю.П. Кривенковым, Дж. Томпсоном и др.

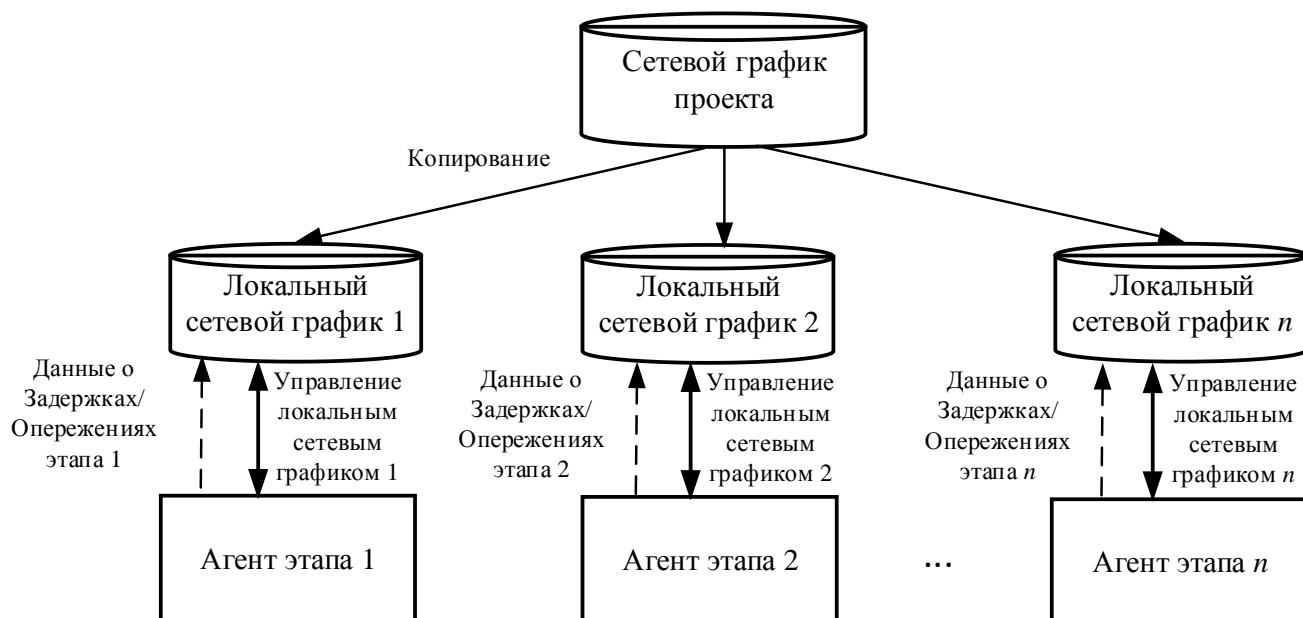


Рисунок 3 – Вариант распределенной системы обработки информации и управления, реализующей сложные многоэтапные проекты в условиях автономности интеллектуальных агентов

Однако, проведенный анализ этой области исследования показал, что существующие методы СПУ, такие как *PERT* и его модификации *GERT* и *PRINCE2* не поддерживают механизмы управления согласованием локальных копий сетевого графика в условиях автономного функционирования интеллектуальных агентов, что определяет **актуальность** разработки метода децентрализованного управления процессом сетевого планирования и алгоритма формирования локальных сетевых графиков множества автономных интеллектуальных агентов, учитывающего возникновение коллизий в процессе СПУ.

**Область исследования.** Содержание диссертации соответствует паспорту специальности 05.13.01 «Системный анализ, управление и обработка информации (информационные системы управления)» (технические науки) по следующим областям исследования:

п.5. Разработка специального математического и алгоритмического обеспечения систем анализа, оптимизации, управления, принятия решений и обработки информации;

п.10. Методы и алгоритмы интеллектуальной поддержки при принятии управленческих решений в технических системах.

**Объект исследования:** распределенная система обработки информации и управления, поддерживающая процесс сетевого планирования многоэтапными проектами на основе автономных интеллектуальных агентов.

**Предмет исследования:** методы, способы и алгоритмы управления временными параметрами при сетевом планировании.

**Цель исследования:** совершенствование методов управления временными параметрами сетевых графиков многоэтапных проектов в системах с автономными исполнителями этапов за счет повышения уровня согласованности их локальных сетевых графиков на основе учета коллизий в процессе сетевого планирования.

**Научная задача** заключается в разработке метода децентрализованного управления процессом сетевого планирования и алгоритма формирования локальных сетевых графиков множества автономных интеллектуальных агентов, учитывающих возникновение коллизий в процессе сетевого планирования и управления.

Для решения научной задачи и достижения поставленной цели были сформулированы и решены следующие основные задачи:

1. Исследование существующих моделей, методов и алгоритмов управления временными параметрами сетевого графика, применяющихся в распределенных системах обработки информации и управления, на предмет поддержки процесса сетевого планирования многоэтапными проектами в условиях автономности исполнителей этапов.

2. Выбор и обоснование модели закона вероятностного распределения значений времени наступления событий сетевого графика, адекватно позволяющей учесть известные временные параметры и требования к их описанию.

3. Разработка метода децентрализованного управления процессом сетевого планирования, учитывающего установленный закон распределения вероятностей значений времени наступления событий сетевого графика и возникающие коллизии.

4. Разработка алгоритма формирования локальных сетевых графиков множества автономных интеллектуальных агентов, обеспечивающего минимизацию количества коллизий за счет применения решающей функции разработанного метода.

5. Проведение вычислительных экспериментов на основе разработанной имитационной модели, иллюстрирующих работоспособность предлагаемых метода и алгоритма.

**Методы исследования.** Научной основой для решения поставленной задачи являются: теория и методы сетевого планирования и управления, методы системного анализа и моделирования, теория коллективного поведения, теория вычислительных экспериментов, теория вероятностей и математической статистики, теория эффективности целенаправленных процессов.

**Научная новизна полученных результатов заключается:**

1. В новом методе управления процессом сетевого планирования, отличающемся от известных учетом имеющихся временных параметров сетевого графика и требований к их описанию, что обеспечивает корректность локальных сетевых графиков множества автономных интеллектуальных агентов на основе учета коллизий.

2. В разработке нового алгоритма формирования локальных сетевых графиков множества автономных интеллектуальных агентов, базирующегося на предложенном методе управления процессом сетевого планирования и отличающемся от известных использованием принципов стайного управления в технических системах, что позволяет реализовать рациональный вариант децентрализованного управления процессом сетевого планирования.

3. В разработке имитационной модели системы децентрализованного управления процессом сетевого планирования, основанной на методах сетевого моделирования стохастических процессов, отличающейся от известных тем, что обеспечивается учет коллизий, возникающих в ходе реализации сетевого графика, и позволяющей проводить оценивание работоспособности разработанных метода и алгоритма.

**Теоретическая значимость** полученных решений заключается в расширении аппарата сетевого моделирования стохастических процессов для адаптации традиционных методов расчета временных параметров сетевых графиков к задаче получения согласованных вариантов локальных сетевых графиков исполнителями проекта.

**Практическая значимость работы** заключается в доведении разработанных теоретических подходов и алгоритмических конструкций, применяемых для управления процессом сетевого планирования множества автономных интеллектуальных агентов, до уровня программных средств, предусматривающих непосредственное применение в

процессе информационной поддержки организационно-технологических мероприятий, что подтверждается актом внедрения в деятельность Центра специальной связи и информации Федеральной службы охраны Российской Федерации в Орловской области, в учебный процесс Академии ФСО России на кафедре «Автоматизированные информационные системы» и свидетельством о государственной регистрации программы для ЭВМ № 2017612858. Разработанные теоретические подходы отражены в патенте на изобретение № 2606315 от 10.01.2017 г. «Способ обработки запросов пользователей распределенной информационной системы».

**Положения, выносимые на защиту:**

1. Метод децентрализованного управления временными параметрами сетевого графика множества автономных интеллектуальных агентов в составе распределенной системы обработки информации и управления, поддерживающей процесс сетевого планирования и управления многоэтапными проектами, позволяющий учесть имеющиеся временные параметры сетевого графика и требования к их описанию, а также скорректировать локальные сетевые графики множества автономных интеллектуальных агентов на основе учета коллизий.

2. Алгоритм формирования локальных сетевых графиков множества автономных интеллектуальных агентов, позволяющий повысить уровень их согласованности с целью минимизации возникающих коллизий.

3. Результаты вычислительных экспериментов, проведенных на имитационной модели системы децентрализованного управления процессом сетевого планирования, подтверждающие работоспособность разработанных метода и алгоритма.

**Достоверность выводов и рекомендаций** обусловлена корректными преобразованиями, адекватностью модели стохастического сетевого планирования, отражающей вероятностно-временные характеристики сетевого графика со случайными длительностями работ, отсутствием противоречий с известными положениями теории и практики сетевого планирования и управления, проверкой свойств и вычислительной сложности разработанного алгоритма, а также подтверждена результатами вычислительных экспериментов.

**Личный вклад соискателя.** Все изложенные в диссертации результаты исследований получены либо соискателем лично, либо при его непосредственном участии.

**Апробация результатов диссертационного исследования.** Результаты диссертационного исследования обсуждались на следующих научно-технических конференциях: 20-я международная открытая научная конференция «Современные проблемы информатизации», Воронежский ГТУ, 2014 г.; IX Всероссийская межведомственная научная конференция «Актуальные направления развития систем охраны, специальной связи и информации для нужд государственного управления», Академия ФСО России, Орел, 2015 г.; 21-я международная открытая научная конференция «Современные проблемы информатизации», Воронежский ГТУ, 2015 г.; 11-я Межведомственная конференция «Научно-техническое и информационное обеспечение деятельности спецслужб», ИКСИ, Москва, 2016 г.; X Всероссийская межведомственная научная конференция «Актуальные направления развития систем охраны, специальной связи и информации для нужд государственного управления», Академия ФСО России, Орел, 2017 г.; 22-я международная открытая научная конференция «Современные проблемы информатизации», Воронежский ГТУ, 2017 г.

**Публикации.** По теме диссертационного исследования опубликовано 13 печатных работ (из них 6 научных статей опубликованы в 5-и рецензируемых журналах, ре-

комендованных ВАК при Минобрнауки России), в том числе 1 патент на изобретение и 1 Свидетельство Роспатента РФ о государственной регистрации программы для ЭВМ.

**Объем и структура работы.** Диссертация состоит из Введения, четырех глав, Заключения и Приложений. Работа изложена на 128 страницах машинописного текста, включая 40 рисунков, 7 таблиц и список литературы из 101 наименования.

## СОДЕРЖАНИЕ РАБОТЫ

Во **ВВЕДЕНИИ** обоснована актуальность работы, описаны объект и предмет исследования, сформулированы цель и задачи диссертационной работы, перечислены использованные в работе методы исследования, обоснованы научная новизна, теоретическая ценность и практическая значимость результатов работы.

В **ПЕРВОЙ ГЛАВЕ «Анализ методов сетевого планирования и управления в распределенных информационных системах»** рассматриваются распределенные системы обработки информации и управления, поддерживающие процесс СПУ. Рассматриваются параметры сетевого графика и процесс его формирования с учетом случайного характера длительностей входящих в график работ.

Определяется, что в соответствии с методом критического пути существенная составляющая параметров сетевого графика относится к его временным характеристикам, таким как: значения ранних (оптимистичных) сроков наступления событий об окончании работ; значения поздних (пессимистичных) сроков, а также наиболее вероятные значения (моды) сроков окончания работ, входящих в сетевой график. Из-за наличия случайных коллизий (рис. 2), перечисленные параметры с течением времени перестают соответствовать текущей ситуации, связанной с опережением (задержкой) наступления событий сетевого графика. Исходя из этого, рассмотрены известные и перспективные методы, которые возможно использовать для оценки и пересмотра временных параметров сетевых графиков, поддерживаемых распределенными информационными системами, приведены их достоинства и недостатки.

При этом выделяются наиболее распространенные подходы к вопросу согласования вероятностно-временных характеристик сетевого графика, выполняемого методом «эстафеты» (выполнение каждого последующего этапа не может начаться, пока не завершены все предшествующие ему этапы), когда автономные интеллектуальные агенты функционируют, используя локальную копию общего сетевого графика многоэтапного проекта (рис. 3). Показано, что отсутствие каналов взаимодействия между интеллектуальными агентами приводит к возникновению коллизий, которые влияют на достижимость выполнения многоэтапного проекта в целом. Обосновывается утверждение о том, что основой рассмотренных подходов может быть децентрализованная стратегия сетевого планирования и управления, основанная на применении методов коллективного взаимодействия автономных объектов.

Исходя из этого, определяется цель исследования, заключающаяся в совершенствовании методологии управления процессом сетевого планирования в децентрализованных системах обработки информации и управления, для сокращения числа коллизий, возникающих в ходе процесса СПУ, удовлетворяющая требованию выражения (1).

$$\forall o_n \exists Y_{0n}' : \Delta Y_n \rightarrow \min, n = \overline{1, N}, \quad (1)$$

где  $o_n$  – интеллектуальный агент,  $Y_{0n}'$  – текущая версия локального сетевого графика агента  $o_n$ , учитывающая текущую ситуацию и полученная путем пересмотра вероятностно-временных характеристик исходной локальной версии сетевого графика  $Y_{0n}$ ,  $N$  – количество работ исходного сетевого графика  $Y_{0n}$ , а  $\Delta Y_n$  – разница между критическими путями текущего варианта общего сетевого графика и текущей версией локального сетевого графика агента  $o_n$  определяющаяся выражением (2):



$$\Delta Y_n = Y_{H_{n-1}} - Y'_{0_n}, \quad (2)$$

где  $Y_{H_{n-1}}$  – текущий вариант общего сетевого графика, а  $Y'_{0_n}$  – текущая версия локального сетевого графика агента  $o_n$ .

Иными словами, выражение (1) означает, что при наличии случайных динамических изменений временных параметров сетевого графика, у интеллектуального агента  $o_n$ , по мере выполнения предшествующих этапов проекта, должна сформироваться такая текущая версия локального сетевого графика  $Y'_{0_n}$  относительно имеющейся исходной версии локального сетевого графика  $Y_{0_n}$ , которая минимизирует значение  $\Delta Y_n$ .

Учитывая это, а также установленные временные ограничения для каждой работы, определены требования к методологическому аппарату, обеспечивающему расчет вероятностно-временных характеристик сетевого графика, основным из которых является низкая полиномиальная вычислительная сложность реализующих его алгоритмов, обусловленная необходимостью.

**ВТОРАЯ ГЛАВА «Метод децентрализованного управления временными параметрами сетевого графика множества автономных интеллектуальных агентов»** посвящена выбору методологического аппарата, используемого для решения задачи оценивания вероятностно-временных характеристик сетевого графика со случайными длительностями работ, который позволяет получить текущую версию локального сетевого графика  $Y'_{0_n}$  для  $n$ -го интеллектуального агента.

Проведенный анализ показал следующее: в существующих системах СПУ априорно считается, что плотность распределения временных оценок наступления событий в сетевом графике обладает тремя свойствами: непрерывностью, унимодальностью и двумя неотрицательными точками пересечения с осью времени.

Простейшим распределением с подобными свойствами является бета-распределение, которое характеризуется тем, что, помимо наличия большого количества случайных факторов, каждый из которых в отдельности оказывает пренебрежимо малое влияние, также имеется небольшое количество факторов, влияние которых значительно. В результате воздействия таких существенных факторов, распределение вероятностей обычно становится асимметричным. Именно такого рода обстоятельство имеет место при реализации подавляющего большинства входящих в проект этапов, что позволяет при моделировании априорно выбрать бета-распределение в качестве закона распределения вероятностей времени наступления событий в рассматриваемом сетевом графике.

Классический подход к оцениванию вероятностно-временных характеристик сетевого графика, использующий бета-распределение, заключается в представлении плотности вероятностей выражением (3):

$$B(p, q, t) = \left\{ \begin{array}{ll} \frac{t^{p-1}(1-t)^{q-1}}{B(p, q)} & \text{при } 0 \leq t \leq 1, \\ 0 & \text{при } t < 0, t > 1, \end{array} \right\}, \quad (3)$$

где  $B(p, q)$  – бета-функция, имеющая вид:

$$B(p, q) = \int_0^1 t^{p-1}(1-t)^{q-1} dt = \frac{\Gamma(p)\Gamma(q)}{\Gamma(p+q)} \quad (4)$$

$\Gamma(z)$  – гамма-функция, определяемая по формуле:

$$\Gamma(z) = \int_0^{\infty} e^{-t} t^{z-1} dt, \quad (5)$$

причем для целых значений  $z$ , гамма-функция имеет вид:

$$\Gamma(z) = 1 * 2 * \dots * (z-1) = (z-1)! \quad (6)$$

а  $(p-1)$  и  $(q-1)$  – свободные параметры плотности бета-распределения. В дальнейшем эти параметры обозначаются  $\alpha$  и  $\beta$  соответственно.

При этом для каждого этапа исследуемого множества сетевых графиков на основе собранной статистики заданы: продолжительность работы  $L_n$  (наиболее вероятный срок  $m_n$  завершения работы); срок  $a_n$ , равный  $(m_n - 0,25 \cdot L_n)$ , раньше которого этап не может быть завершён. Также задано значение времени  $b$  окончания всех этапов в

установленный срок, равное  $1,15 \cdot L_{общ}$ , где  $L_{общ} = \sum_1^n L_n$ . Очевидно, что классический подход не учитывает перечисленные параметры.

Данный недостаток учитывается в теоретико-вероятностном методе, предложенном Д.И. Голенко и являющимся модификацией технологии *PERT*, которая для оценивания сетевой модели оперирует следующими параметрами: нижняя грань области определения  $a$  (оптимистическое время наступления события сетевого графика), верхняя грань  $b$  (пессимистическое время) и мода распределения  $m$  (наиболее вероятное время наступления события) с учетом следующих допущений:

1. Наступление события, заключающегося в завершении этапа – есть случайная величина, распределенная по закону бета-распределения на отрезке  $[a, b]$  с плотностью:

$$\varphi(t) = C(t-a)^\alpha (b-t)^\beta, \quad (7)$$

где  $\alpha$  и  $\beta$  – свободные параметры плотности бета-распределения;  $a, b$  – соответственно оптимистическое и пессимистическое время наступления рассматриваемого события, коэффициент  $C$  рассчитывается по формуле (8):

$$C = \frac{\Gamma(\alpha+\beta+2)}{\Gamma(\alpha+1)\Gamma(\beta+1)}, \quad (8)$$

где  $\Gamma(\alpha+\beta+2)$ ,  $\Gamma(\alpha+1)$  и  $\Gamma(\beta+1)$  – гамма-функции, определяемые выражением (5).

2. Параметры закона распределения  $\varphi(t)$  – математическое ожидание  $M(n)$  и дисперсия  $\sigma^2(n)$  – определяются выражениями:

$$M(n) = \frac{a_n + 4m_n + b_n}{6}, \quad (9)$$

$$\sigma^2(n) = \frac{(b_n - a_n)^2}{36}, \quad (10)$$

где  $a_n, b_n$  и  $m_n$  – соответственно оптимистическая, пессимистическая и наиболее вероятная (мода) оценки, задаваемые ответственными за работы интеллектуальными агентами  $(i, j)$ .

На основе выражений (5), (7) и (8) были сделаны расчеты плотности распределения значений времени окончания каждого этапа модельного сетевого графика, состоящего из четырех работ с заданными значениями мод 120, 180, 210 и 270 минут соответственно. Результаты расчетов приведены на рисунке 4.

Полученные результаты позволили принять решение о нецелесообразности использования в ходе моделирования представленного подхода, так как подынтегральная площадь фигур, образованных кривыми распределения и осью абсцисс и рассчитанная с помощью выражения (11), на порядки превышала значение 1, то есть не выполнялось свойство нормировки.

$$S_n = \int_a^b p(t)dt \quad (11)$$

Например, для первой фигуры выражение (11) принимает значение  $2.534 \times 10^{16}$ .

Для выполнения условия нормировки (выражение 11) данный метод был модифицирован таким образом, чтобы плотность распределения вероятностей зависела только от параметров  $a$  и  $b$  (выражение 12), задающих соответственно пессимистическое и оптимистическое значение времени окончания работы. При этом введено ограничение, заключающееся в том, что параметры  $\alpha$  и  $\beta$  на каждом этапе остаются неизменными.

$$p(t) = C(t - a)(b - t)^2, \quad (12)$$

где  $C$  – константа, определяемая выражением (13):

$$C = \frac{12}{(b - a)^4} \quad (13)$$

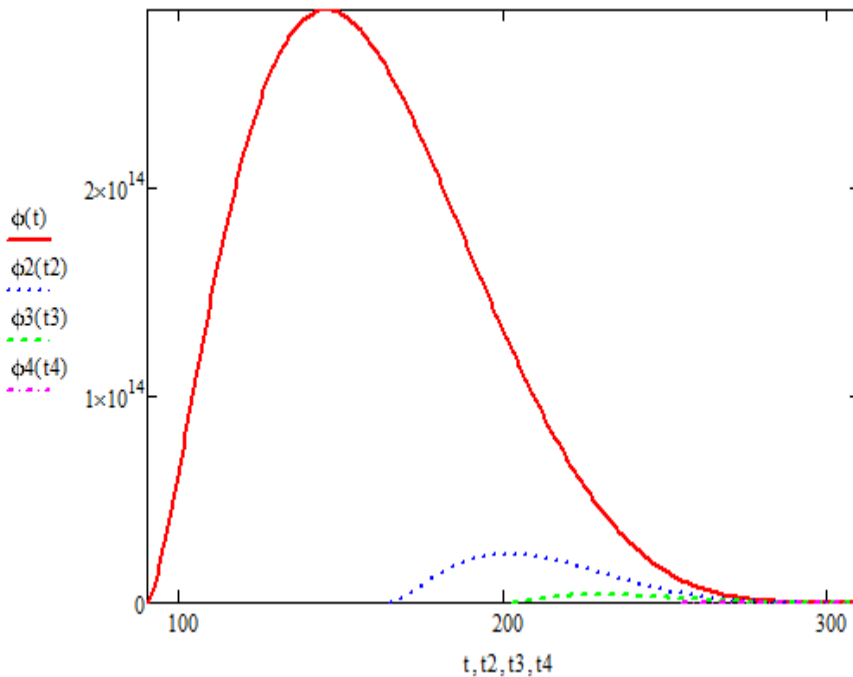


Рисунок 4 – Результаты расчета плотности распределения значений времени окончания этапов (технология *PERT*)

Распределение (12) относится к классу бета-распределений с известными математическим ожиданием, дисперсией и модой распределения.

Результаты расчета плотности распределения значений времени окончания каждой работы сетевого графика со значениями мод, заданных выше, согласно выражениям (12-13), приведены на рисунке 5.

При этом основным недостатком является то, что рассчитанные значения мод

отличаются от значений исходного сетевого графика. В дальнейшем при моделировании случайных динамических изменений сетевого графика эти расхождения существенно возрастают.

Для преодоления этого недостатка было проведено дальнейшее исследование ряда модификаций технологии *PERT*, которое позволило в качестве основы разработанной стохастической модели продолжительности выполнения этапов сетевого графика выбрать закон бета-распределения с плотностью, представленной выражением (14):

$$\varphi(t) = \begin{cases} \frac{(t-a)^{\alpha-1}(b-t)^{\beta-1}}{(b-a)^{\alpha+\beta-1} B(\alpha, \beta)}, & \text{если } t \in [a; b] \\ 0, & \text{если } t \notin [a; b] \end{cases}, \quad (14)$$

в котором  $\alpha, \beta$  – свободные параметры;  $a, b$  – отрезок, задающий возможные значения случайной величины  $t$  времени наступления события; а  $B(\alpha, \beta)$  есть функция Эйлера:

$$B(\alpha, \beta) = \int_0^1 t^{\alpha} (1-t)^{\beta} dt \quad (15)$$

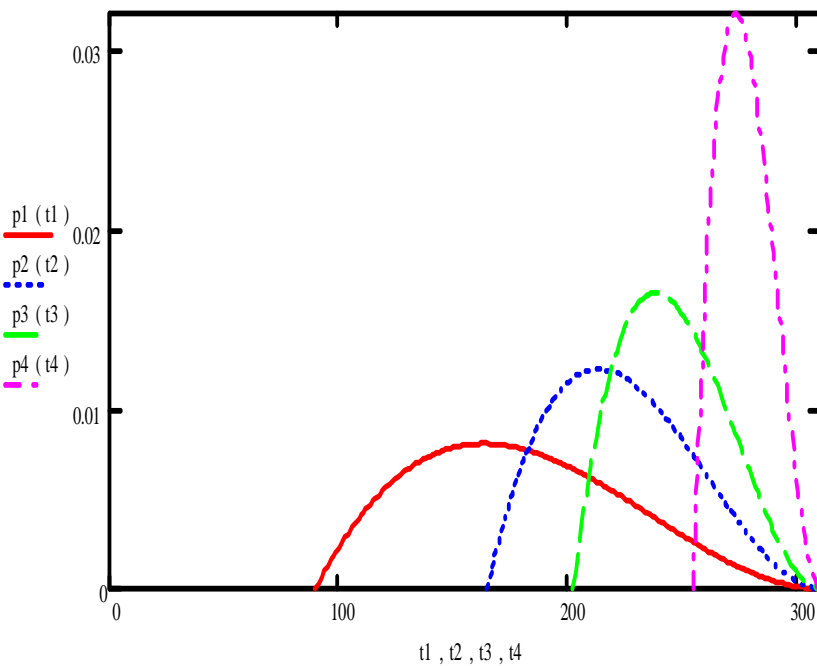


Рисунок 5 – Результаты расчета плотности распределения значений времени окончания этапов модельного проекта

Основным преимуществом перед другими рассмотренными подходами является значительное сокращение необходимой для планирования информации, что актуально для коллектива автономных интеллектуальных агентов.

Исследуя с помощью данного подхода рассмотренный выше сетевой график модельного проекта, с целью получения изначально заданных параметров для каждого этапа, изменялись свободные параметры  $\alpha$  и  $\beta$ .

В ходе этого были получены граничные условия параметров  $\alpha$  и  $\beta$ , а также выявлена зависимость их значений от того, насколько далеко мода  $m_n$  каждого этапа отстоит от значения времени окончания всего сетевого проекта.

Значение моды  $m_n$  для каждого этапа рассчитывается по формуле (16):

$$m_n = \frac{\alpha_n - 1}{\alpha_n + \beta_n - 2} \text{ при } \alpha_n > 1, \beta_n > 1 \quad (16)$$

Применяя выражение (16), с помощью эмпирического исследования были определены аналитические выражения (17-18) для свободных параметров  $\alpha$  и  $\beta$  каждого этапа сетевого графика:

$$\alpha_n = 1.25 + 0.1 \cdot \frac{b_n - m_n}{b_n}, \quad (17)$$

$$\beta_n = 2 - \alpha_n + \frac{(b_n - a_n)(\alpha_n - 1)}{m_n - a_n} \quad (18)$$

Данный подход позволил получить плотности распределения случайного времени окончания этапов, соответствующие изначально заданным характеристикам сетевого графика. Результаты расчетов на основании выражений (14-18) приведены на рисунке 6.

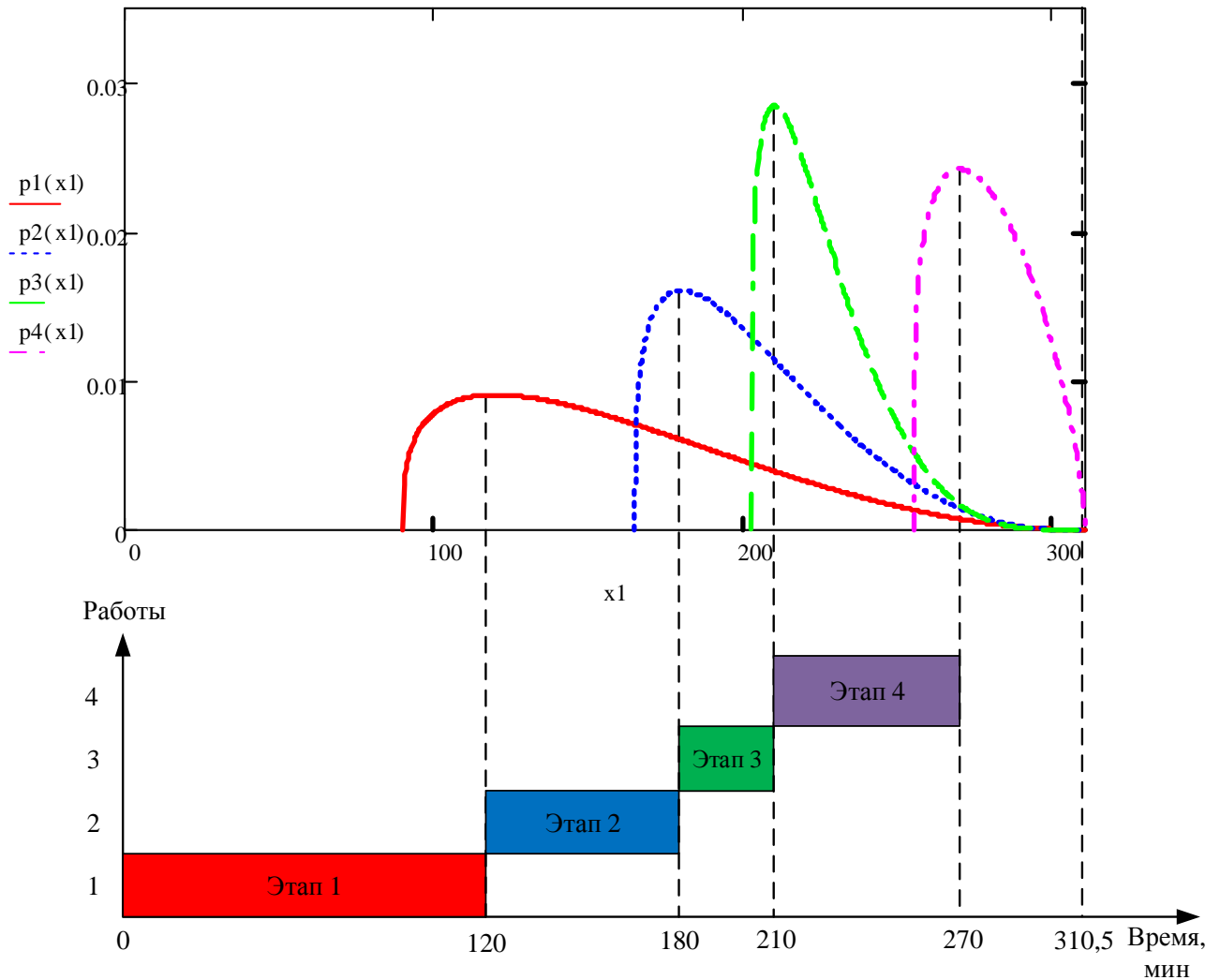


Рисунок 6 – Результаты расчета плотности распределения значений времени окончания этапов исходного модельного сетевого графика

Так как время наступления событий исходного сетевого графика в ходе выполнения его этапов может быть изменено под воздействием случайных факторов, то для учета произошедших изменений интеллектуальным агентам, управляющим планированием последующих этапов, к модам их этапов предложено добавлять случайную величину  $z_n$ , обозначающую насколько позже (раньше) закончился текущий этап относительно запланированного срока. Тогда мода следующего этапа примет значение:

$$m'_{n+1} = m_{n+1} + z_n, \quad (19)$$

где  $n$  – номер текущей работы, а мода  $m_{n+2}$  будет учитывать и случайный сдвиг  $z_n$ , и случайный сдвиг  $z_{n+1}$ . При этом все расчеты сроков завершения каждого этапа будут вестись относительно новых значений.

Применяя используемое в технологии *PERT* выражение (20) для расчета дисперсии каждого этапа сетевого графика, выражение (21) для расчета общей дисперсии принятого закона распределения (14), и выражение (22), возможно оценить значение решающей функции окончания всего сетевого проекта в запланированный срок, заданный значением  $b$ :

$$\sigma_n = \left( \frac{b - a_n}{6} \right)^2, \text{ где } n = \overline{1, N}, \quad (20)$$

$$\sigma = \sum_{1}^N \sigma_n, \quad (21)$$

$$K = \frac{b - m_N}{\sqrt{\sigma}} \quad (22)$$

Соотношение значений решающей функции (выражение 22) и возможностей реализации сетевого графика проекта с заданными условиями представлены в таблице 1.

Таблица 1

Соотношение значений решающей функции с возможностью реализации сетевого графика проекта

<b>Значение <math>K</math></b>	<b>Реализация проекта в заданных условиях</b>
$> 1$	В выполнение сетевого графика проекта заложены излишние временные ресурсы
от 0,6 до 1	Выполнение сетевого графика проекта будет безусловно реализовано в заданное время
от 0,1 до 0,6	Выполнение сетевого графика проекта возможно в заданное время при наличии дополнительных ресурсов
$< 0,1$	Выполнение сетевого графика проекта возможно только при удалении некоторых работ

При исследовании рассмотренного выше сетевого графика модельного проекта, для случайной задержки первого этапа на 15 единиц времени были получены результаты, представленные на рисунке 7. Решающая функция окончания всего сетевого проекта в запланированный срок, заданный значением  $b$ , приняла значение  $K = 0,541$ . Для случайной задержки третьей работы на 50 единиц времени были получены результаты, представленные на рисунке 8. При этом значение решающей функции окончания всего сетевого проекта в запланированный срок, заданный значением  $b$ , стало отрицательным.

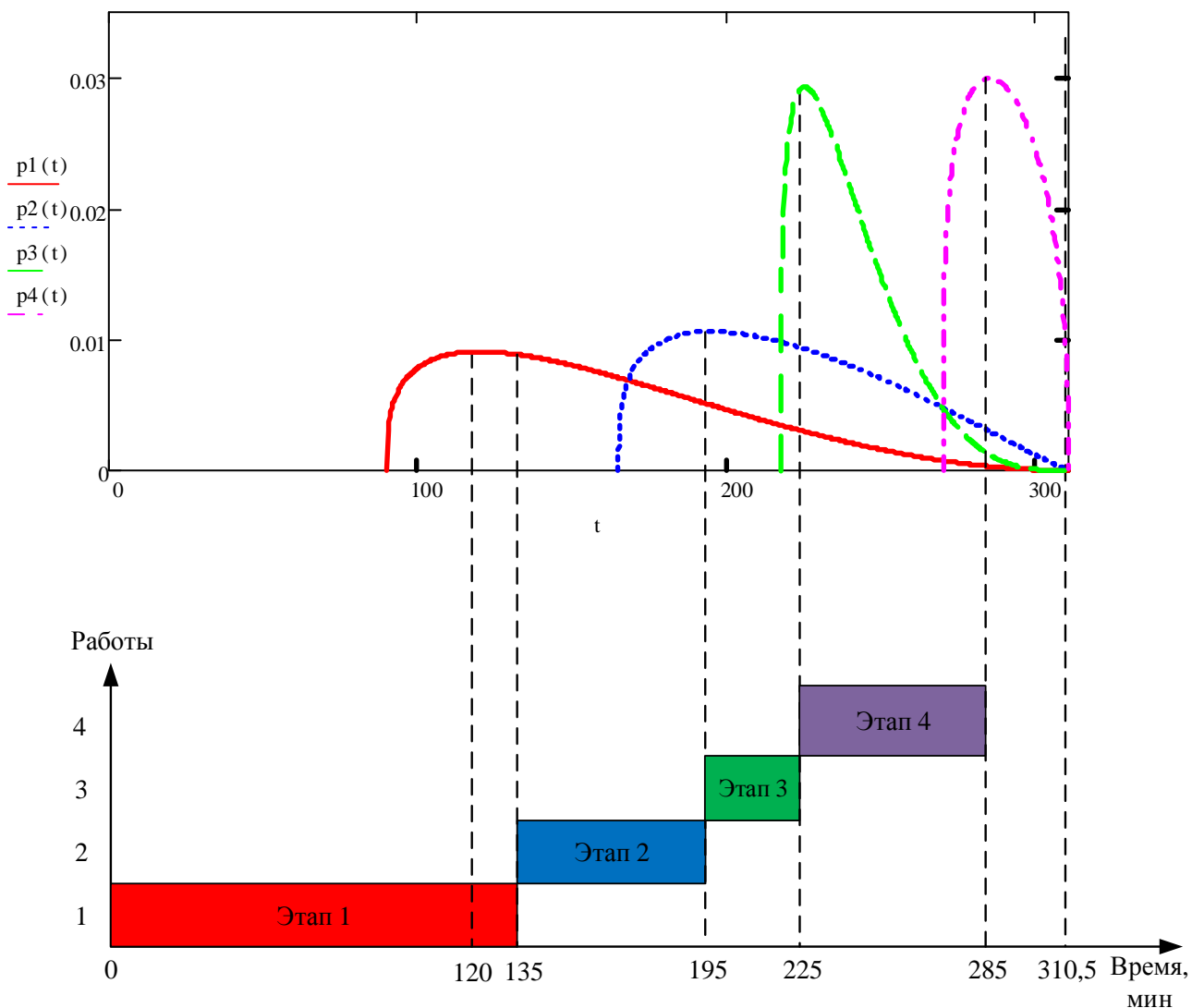


Рисунок 7 – Результаты расчета плотности распределения значений времени окончания этапов при задержке первого этапа на 15 единиц и соответствующий этому вариант сетевого графика

Реализация предложенного метода возможна на основе интеллектуальных агентов, ведущих наблюдение за моментом времени наступления события об окончании предыдущего этапа. Согласно классификации, используемой в агентно-ориентированном подходе, такие агенты относятся к классу агентов предсказывающего типа.

Разработанный метод обеспечивает возможность получения варианта локального сетевого графика у каждого интеллектуального агента, с определенной степенью близости согласованного с текущим вариантом общего сетевого графика, в условиях случайного значения задержки (опережения) выполнения входящих в проект этапов.

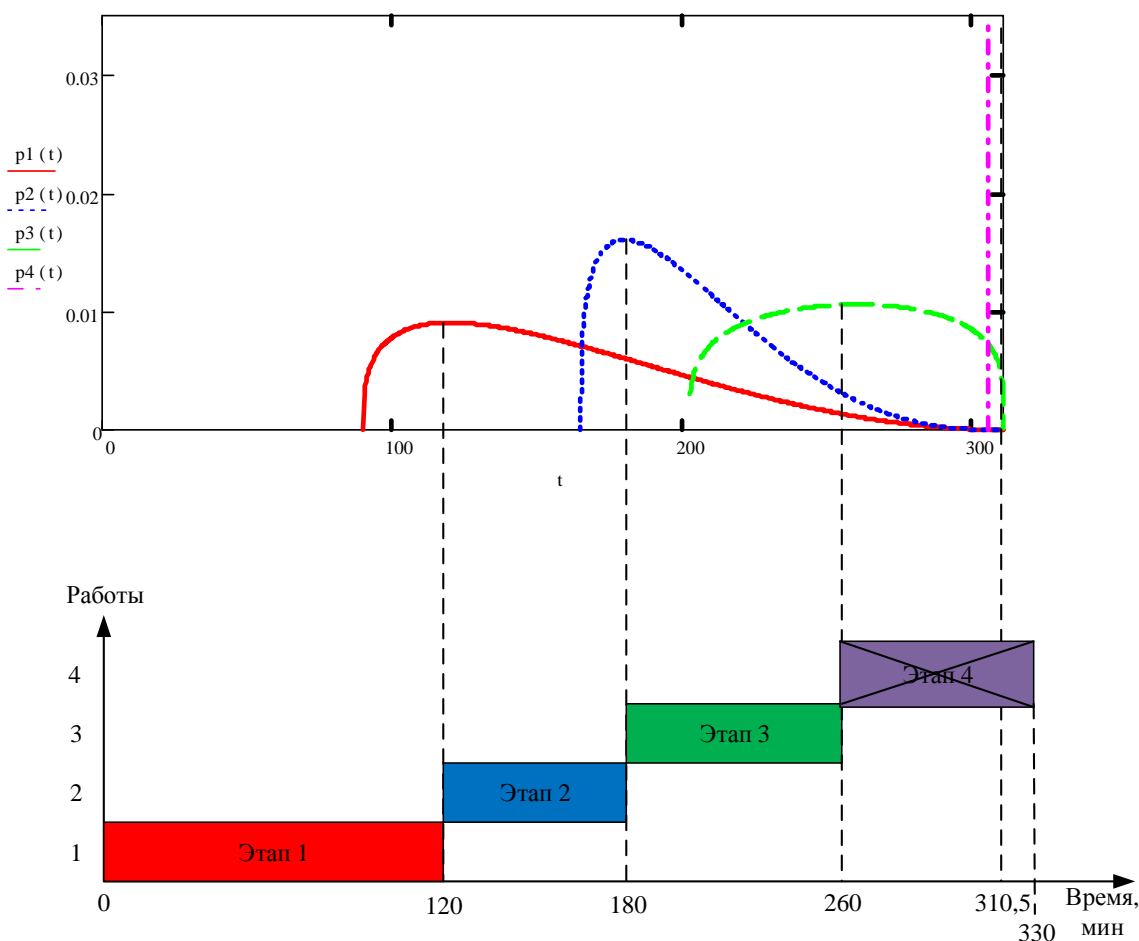


Рисунок 8 – Результаты расчета плотности распределения значений времени окончания этапов при задержке третьего этапа на 50 единиц и соответствующий этому вариант сетевого графика

**В ТРЕТЬЕЙ ГЛАВЕ «Алгоритм формирования локальных сетевых графиков множества автономных интеллектуальных агентов»** представлен анализ алгоритмов оценивания и пересмотра вероятностно-временных параметров сетевых графиков, а также предложен алгоритм формирования локальных сетевых графиков автономными интеллектуальными агентами предсказывающего типа, позволяющий достичь цели исследования.

Для сокращения числа коллизий, возникающих в ходе сетевого планирования и управления, учитывая автономность интеллектуальных агентов, целесообразным решением выглядит организация необходимого управления их взаимодействием на основе методов группового управления в технических системах. Децентрализованный характер объекта исследования позволил из множества известных методов группового управления выбрать метод стайного управления.

Суть метода стайного управления заключается в том, что каждый объект в группе (коллективе) не имеет прямой информационной связи с другими объектами и отсутству-



ет информация о: количестве объектов в группе, текущих характеристиках этих объектов, ранее совершенных объектами действиях, а также о действиях, которые планируются в ближайшее время. При этом объект может получать информацию из среды, в которой он функционирует.

Применительно к объекту исследования под стаей понимается множество  $O$  автономных интеллектуальных агентов  $o_n$  ( $n = 1, 2, \dots, N$ ), поддерживающих выполнение этапов  $P_n$  сетевого графика, совместное взаимодействие которых обеспечивает решение задачи наличия у каждого агента  $o_n$  коллектива  $O$  к моменту выполнения своего этапа такого варианта локального сетевого графика, который бы учитывал текущие коллизии. При этом все объекты  $o_n$  одинаковы, то есть, рассматриваемый коллектив является гомогенной группой.

Каждый агент  $o_n \in O$  может совершать информационный обмен через среду функционирования с некоторым подмножеством агентов  $\Theta_n \in O$ , находящихся в пределах некоторой зоны видимости агента. В случае рассматриваемого объекта исследования зона видимости определена следующим образом: каждый агент  $o_n$  может совершать информационный обмен только с соседними агентами  $o_{n-1}$  и  $o_{n+1}$ . При этом суть информационного обмена в условиях выполнения сетевого графика методом «эстафеты» заключается в отслеживании агентом  $o_n$  наступления события об окончании этапа  $P_{n-1}$ , выполняемого объектом  $o_{n-1}$ , относительно запланированного изначально значения моды  $m_{n-1}$ .

Состояние каждого агента  $o_n \in O$  определяется вектором  $S_n$ :

$$S_n = \langle s_{n0}, s_{n1}, s_{n2} \rangle, \quad (23)$$

где:

- $s_{n0}$  – состояние исполнителя  $o_n \in O$ , когда работа  $P_n$  выполняется своевременно в запланированные изначально сроки  $t_n$ ;
- $s_{n1}$  – состояние исполнителя  $o_n \in O$ , когда работа  $P_n$  выполняется с опережением относительно  $t_n$  на случайную величину  $z'_n$ ;
- $s_{n2}$  – состояние исполнителя  $o_n \in O$ , когда работа  $P_n$  выполняется с задержкой относительно  $t_n$  на случайную величину  $z_n$ .

Агент  $o_n \in O$  может выполнять ограниченный набор простейших локальных действий, определяемых вектором  $A_n$ :

$$A_n = \langle a_{n0}, a_{n1}, a_{n2}, a_{n3} \rangle, \quad (24)$$

где:

- $a_{n0}$  – действие, когда автономный интеллектуальный агент не выполняет никаких шагов;
- $a_{n1}$  – сдвиг влево по оси времени запланированного срока окончания работы  $P_n$  на значение случайной величины опережения  $z'_n$  и переход в состояние  $S_{n1}$ ;

- $a_{n2}$  – сдвиг влево по оси времени запланированного срока окончания работы  $P_n$  на значение случайной величины задержки  $z_n$  и переход в состояние  $S_{n2}$ ;
- $a_{n3}$  – удаление из сетевого графика работы  $P_n$  и переход в состояние  $S_{n2}$ .

Состояние среды функционирования агентов определяется следующим вектором  $E_n$ :

$$E_n = \langle e_{n1}, e_{n2} \rangle, \quad (25)$$

- где:
- $e_{n1}$  – состояние среды, когда событие, заключающееся в окончании предыдущей работы еще не наступило;
  - $e_{n2}$  – состояние среды, когда событие, заключающееся в окончании предыдущей работы свершилось.

Агент  $o_n \in O$  «знает» зависимости изменения своего состояния от своих действий, а также действий и состояний других агентов, входящих в его зону видимости, то есть:

$$\frac{ds_n}{dt} = f(s_n, A_n; s_{n-1}, A_{n-1}; s_{n+1}, A_{n+1}), \quad (26)$$

где  $s_{nj}$ ,  $A_{nj}$  ( $j = 1, 2, \dots, L$ ) – текущее состояние и действие исполнителя  $o_{nj} \in \Theta_n$ , входящего в зону видимости исполнителя  $o_n$ .

Выражение (26) не относится к производной, оно определяет изменения состояния агента  $o_n \in O$  во времени в зависимости от состояний и действий агентов, входящих в зону видимости.

Задача стайного управления таким множеством агентов формулируется следующим образом: определить в качестве новых действий агентов  $\Theta_n$  ( $n = \overline{1, N}$ ) такие действия  $A_n$  ( $n = \overline{1, N}$ ), которые удовлетворяли бы требованиям выражения (1).

С учетом выражения (26) выражение (2) можно представить следующим образом:

$$\Delta Y_n = Y_{H_{n-1}} - Y'_{0n} = F_{n-1}(S_{n-1}, A_{n-1}, E_{n-1}) - F_n(S_n, A_n, E_n), \quad (27)$$

где слагаемые  $F_{n-1}(S_{n-1}, A_{n-1}, E_{n-1})$  и  $F_n(S_n, A_n, E_n)$  представляют собой прямое (декартово) произведение аргументов  $E$ ,  $A$  и  $S$  из, которые выбраны из соответствующих множеств. В обобщенном виде указанную задачу можно сформулировать следующим образом: агенты, входящие в стаю, должны выбирать в качестве своих новых действий такие допустимые в сложившейся ситуации опережения (задержки) выполнения этапов, которые дают экстремальное приращение целевого функционала (1).

Каждый агент  $o_n \in O$ , отслеживая момент времени окончания предыдущего этапа, должен выполнить в необходимый момент времени такое локальное действие  $a_{nj}$  ( $j = \overline{1, 3}$ ), которое будет направлено на минимизацию значения, получаемого с помощью выражения (27). Таким образом, если в ходе выполнения сетевого графика каждый агент сможет определить и реализовать необходимое локальное действие, то теку-

ший вариант сетевого графика агентов  $o_{n-1}$  и  $o_{n+1}$  будет минимально отличаться по временным параметрам.

Для получения агентом  $o_n \in O$  такого текущего варианта сетевого графика предлагается следующий алгоритм взаимодействия множества агентов в стае:

1. Все агенты  $o_n \in O$  в качестве исходных данных получают копию общего сетевого графика многоэтапного проекта.

2. Каждый агент  $o_n \in O$  распознает текущее состояние и локальные действия предыдущего агента  $o_{n-1}$ .

3. На основании полученных данных агент  $o_n \in O$  определяет состояние  $S_n^{\min}$ , в котором функция  $\Delta Y$  (выражение 2) принимает минимальное значение.

4. Агент  $o_n \in O$  определяет действие  $a_{nj}$ , направленное на преобразование его текущего состояния  $S_n$  в состояние  $S_n^{\min}$ .

5. Агент  $o_n \in O$  реализует локальное действие  $a_{nj}$ , после чего переходит ко второму шагу до тех пор, пока не произойдет событие, обозначающее завершение выполнения работы  $P_{n-1}$ .

На первом шаге алгоритма, помимо получения копии общего сетевого графика многоэтапного проекта, выполняется расчет плотностей распределения времени окончания каждого из этапов.

Второй шаг алгоритма заключается в вычислении агентом  $o_n \in O$  значения времени окончания предыдущего этапа путем циклического отслеживания события о его завершении.

Третий шаг заключается в сравнении агентом  $o_n \in O$  срока наступления события о завершении текущего этапа с плановым значением времени. Это задает состояние  $S_n^{\min}$ , определяющее вариант локального сетевого графика, с определенной степенью близости согласованного с текущим вариантом общего сетевого графика. Тогда функция (27) будет принимать минимальное значение, и по мере выполнения работ проекта выполнится требование, согласно выражению (1).

Если время совпадает с плановым, то на четвертом шаге агент  $o_n \in O$  принимает решение об отсутствии необходимости выполнения какого-либо действия.

При несовпадении планового и фактического значений времени окончания текущего этапа агент  $o_n \in O$  принимает решение о выполнении действия, заключающегося в выборе варианта локального сетевого графика, учитывающего произошедшую коллизию и с определенной степенью близости согласованного по временным характеристикам с текущим вариантом локального сетевого графика агента  $o_{n-1}$ . При выполнении этого действия на пятом шаге алгоритма выполняется перерасчет вероятностно-временных характеристик локального сетевого графика. Так как сетевой график должен быть выполнен не позже установленного срока, для достижения этой цели, после перерасчета вероятностно-временных характеристик локального сетевого графика, может

быть выполнено действие, заключающееся в удалении работы из состава работ сетевого графика.

Схема алгоритма действия автономного интеллектуального агента в составе стаи представлен на рисунке 9.

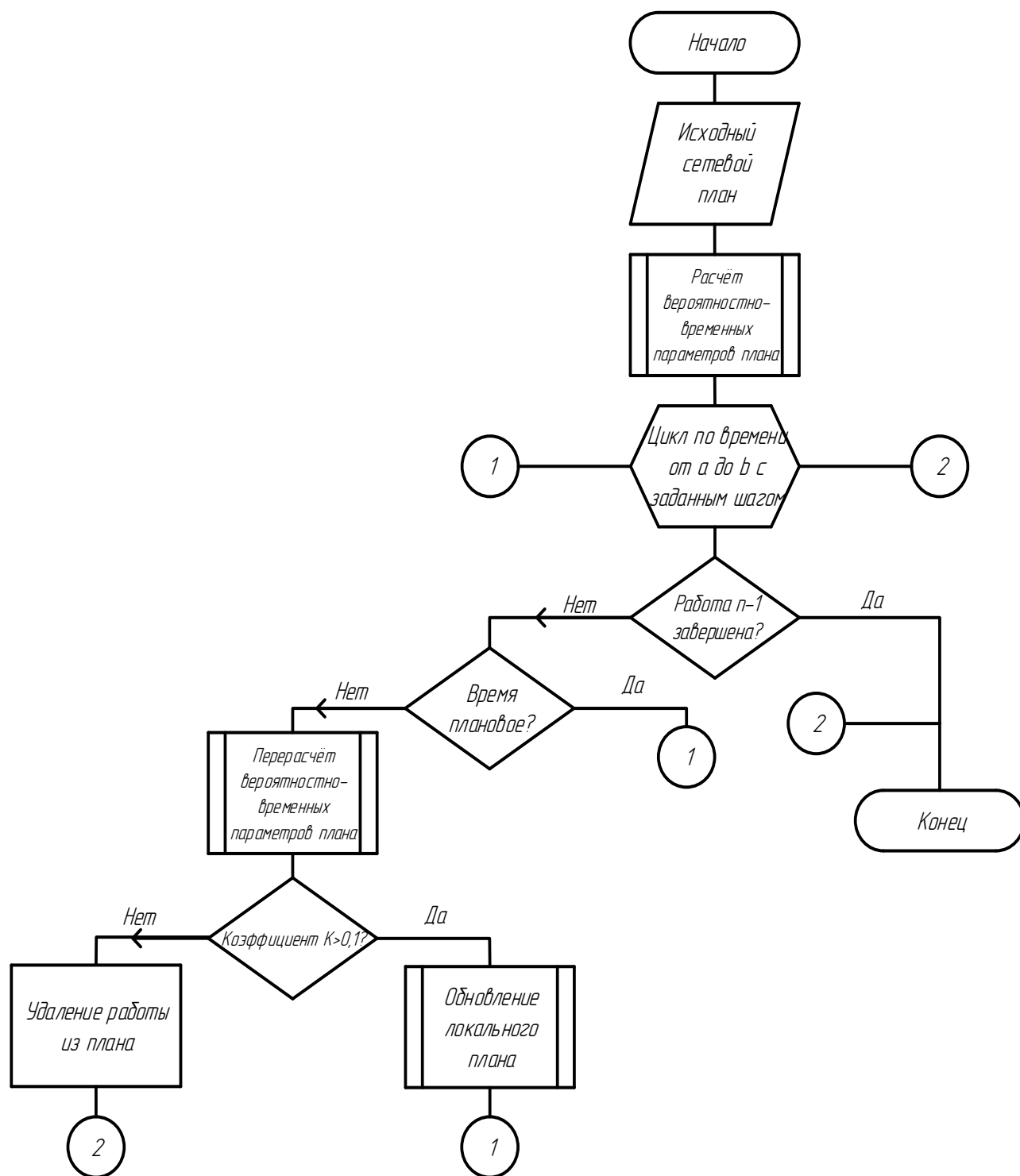


Рисунок 9 – Схема алгоритма действия автономного интеллектуального агента в составе стаи

Оценка свойств разработанного алгоритма представлена в работе. Она показала сходимость процедур, реализуемых алгоритмом и допустимую вычислительную слож-

ность для реализации оценки и пересмотра локальных сетевых графиков с учетом возникновения коллизий.

В ЧЕТВЕРТОЙ ГЛАВЕ «Экспериментальное оценивание эффективности метода децентрализованного управления временными параметрами сетевого графика множества автономных интеллектуальных агентов» представлена разработанная в рамках исследования имитационная модель, позволяющая реализовать процесс формирования автономными интеллектуальными агентами варианта текущего локального сетевого графика на основе предложенного метода и разработанного алгоритма. Также в главе представлены проверка имитационной модели на адекватность и результаты экспериментов, подтверждающих достижение цели исследования.

Программная реализация имитационной модели является авторской разработкой. На ее основе был спланирован вычислительный эксперимент, позволяющий оценить разработанный метод и алгоритм в моменты наступления событий сетевого графика путем вычисления значения  $\Delta Y_n$  (2). Значение  $\Delta Y_n$  вычисляется на основе расчета критического пути варианта локального сетевого графика и общего сетевого графика проекта. Результаты расчетов для разного количества исполнителей этапов проекта и разных длительностей работ с учетом исходных условий, определяющих область для плановых значений [15; 1440] минут, целочисленные значения случайных длительностей работ, ограниченных отрезком  $[a_n, b_n]$  и с заданной степенью близости локальных сетевых график в 1,5 минуты, приведены в таблице 2.

Таблица 2

Результаты оценивания для сетевого проекта в составе 6 работ

№ этапа п/п	Плановое время окончания этапа	Полученное время окончания этапа	Разница между исходным и полученным временем	Значение $\Delta Y_n$ без применения разработанного алгоритма	Значение $\Delta Y_n$ с применением разработанного алгоритма
1.	50	38	-12	-12	1
2.	70	66	-4	-4	0
3.	140	142	2	2	0,5
4.	190	197	7	7	1
5.	270	253	-17	-17	0,5
6.	320	329	9	9	1

Полученные результаты вычислительного эксперимента показали, что перерасчет графиков с использованием разработанного алгоритма при заданной требуемой близости между локальными копиями меньше 0,2 секунд становится проблематичным и мало реализуемым.

При заданной степени близости от 0,2 секунд до 1 минуты для проектов, разработанные решения могут использоваться в проектах, где количество работ не превышает 50.

При заданной степени близости между локальными копиями сетевых графиков больше 1 минуты и озвученных выше условиях возможно применение разработанных решений для сетевых графиков, объемом до 100 работ.

Пример полученных результатов эксперимента для проекта, состоящего из 30 работ, отображен на рисунке 10.

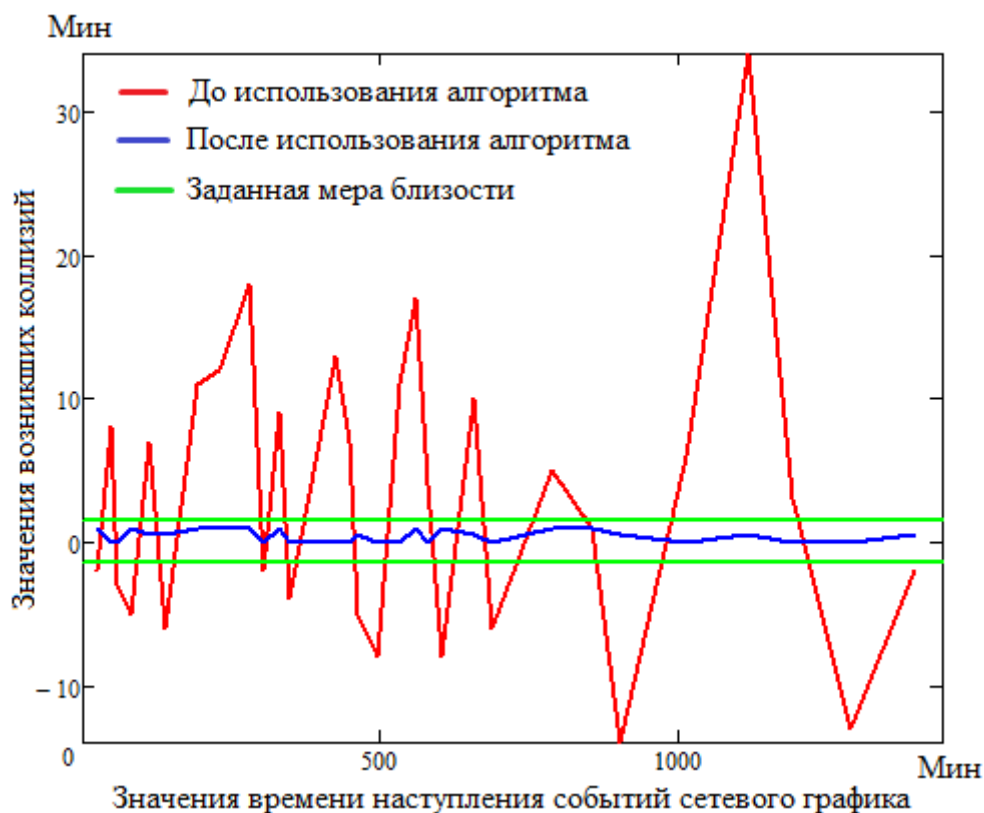


Рисунок 10 – Результаты эксперимента без использования и с использованием разработанного алгоритма

Результаты вычислительного эксперимента позволили сделать вывод о том, что разработанные метод и алгоритм могут быть использованы при децентрализованном варианте сетевого планирования и управления с последовательным выполнением работ для наиболее распространенных на сегодняшний день по объему работ проектов, а также позволяет сократить коллизии с заданной степенью близости между локальными версиями сетевых графиков до 100%.

В **ЗАКЛЮЧЕНИИ** представлены основные выводы и результаты диссертационного исследования, рекомендации по использованию полученных результатов, а также перспективы дальнейшей разработки темы.

**ОСНОВНЫЕ ВЫВОДЫ И РЕЗУЛЬТАТЫ.** В ходе выполнения диссертационного исследования были получены следующие результаты:

1. Разработан метод децентрализованного управления временными параметрами сетевого графика множества автономных интеллектуальных агентов в составе распределенной системы обработки информации и управления, учитывающий имеющиеся временные параметры сетевого графика и требования к их описанию, что обеспечивает корректность локальных сетевых графиков множества автономных интеллектуальных агентов на основе учета коллизий.

2. В рамках метода выбрана и обоснована модель закона вероятностного распределения значений времени наступления событий сетевого графика, адекватно позволя-

ющая учесть известные временные параметры и требования к их описанию, найдены аналитические выражения для расчета значений свободных параметров установленного закона распределения.

3. Разработан алгоритм формирования локальных сетевых графиков множества автономных интеллектуальных агентов, базирующийся на предложенном методе управления временными параметрами сетевого графика и использующий принципы стайного управления в технических системах, позволяющий повысить уровень их согласованности с целью минимизации возникающих коллизий.

4. Разработана имитационная модель, основанная на аппарате сетевого моделирования стохастических процессов, отражающая децентрализованное управление процессом сетевого планирования с учетом возникающих коллизий.

Полученные с помощью имитационной модели результаты подтверждают выводы о возможности использования разработанного метода и алгоритма для решения задач децентрализованного управления процессом сетевого планирования и управления проектами для сокращения разницы между критическими путями текущих локальных сетевых графиков, а также работоспособность предложенных решений в сравнении с существующими.

**РЕКОМЕНДАЦИИ.** Результаты диссертационного исследования могут быть использованы в задачах контроля выполнения организационно-технологических процессов при принятии решений оценки и пересмотра сетевых графиков в условиях отсутствия централизованного управления.

**ПЕРСПЕКТИВЫ ДАЛЬНЕЙШЕЙ РАЗРАБОТКИ ТЕМЫ.** Уточнение и доработка представленных метода и алгоритма для сетевых графиков с параллельным выполнением этапов, а также для сетевых графиков, где работы могут обладать некоторым приоритетом.

В **ПРИЛОЖЕНИЯХ** представлены акты внедрения полученных результатов и свидетельство о регистрации патента.

### ПУБЛИКАЦИИ ПО ТЕМЕ ДИССЕРТАЦИИ

Статьи в журналах из списка ВАК:

1. **Куцакин, М.А.** Представление взаимодействия компонентов в распределённой информационной системе с точки зрения теории конечных автоматов / Куцакин М.А., Лебеденко Е.В. // Информационные системы и технологии. – 2016. – № 2 (94). – С. 105-110. (*Соискателем рассматривается необходимость автоматизированной поддержки актуальности и непротиворечивости данных во всех компонентах распределённой информационной системы за минимально возможный промежуток времени. Рассмотрены современные способы решения задачи данного типа, а также описана и представлена модель функционирования распределённой информационной системы в виде конечного автомата*) (доля участия автора – 50 %).

2. **Куцакин, М.А.** Подходы к моделированию процесса взаимодействия автономных элементов распределённых информационных систем / Куцакин М.А., Лебеденко Е.В. // Вопросы кибербезопасности. – 2016. – № 3 (16). – С. 50-54 (*Соискателем показана необходимость использования в распределённой информационной системе децентрализованного способа управления процессом согласования данных в автономных элементах, выполняющих сетевой график. Представлена математическая модель взаимодействия автономных элементов, позволяющая оценить целесообразность их поведения в определенной стационарной случайной среде без учета возникновения конфликтных ситуаций*) (доля участия автора – 60 %).

3. **Куцакин, М.А.** Модель случайного времени наступления событий в задачах сетевого планирования и управления проектами, выполняемыми коллективом автономных исполнителей / Дунаев В.А., Куцакин М.А., Лебеденко Е.В. // Интернет-

журнал «Наукоедение». – 2016. – № 3. – Т. 8. – Режим доступа к ресурсу: <http://naukovedenie.ru/PDF/107TVN316.pdf>. (В статье соискателем рассматриваются подходы к моделированию характеристик стохастической сетевой модели, применяемой для решения задач сетевого планирования и управления проектами, выполняемыми коллективом автономных структур, каждая из которых реализует отдельный этап в рамках этой модели. Для каждого из освещённых подходов представлены результаты расчётов плотностей распределения временных оценок наступления событий конкретного сетевого графика) (доля участия автора – 50 %).

4. **Куцакин, М.А.** К вопросу моделирования случайного времени наступления событий в задачах сетевого планирования и управления проектами, выполняемыми коллективом автономных исполнителей / М.А. Куцакин // Системы управления и информационные технологии. – 2016. – № 4.1 (66). – С. 158-163. (В статье представлена математическая модель коллективного поведения полностью автономных информационных подсистем в процессе сетевого планирования и управления совместного выполнения ими линейной последовательности этапов, представленной диаграммой Гантта. Разработанная модель позволила проверить гипотезу о возможности получения реализации локального сетевого графика, наиболее близкой соответствующей текущей ситуации, с учетом случайного значения задержки (опережения) выполнения этапов).

5. **Куцакин, М.А.** Алгоритм взаимодействия автономных информационных подсистем, поддерживающих решение задач сетевого планирования и управления проектами / М.А. Куцакин // Экономика и менеджмент систем управления. – 2016. – № 4.2. – Т. 22. – С. 287-298. (В работе рассматривается задача разработки алгоритма взаимодействия автономных информационных подсистем, поддерживающих решение задач сетевого планирования и управления. Основу представленного решения составляет стайная стратегия управления группой агентов).

6. **Куцакин, М.А.** Обоснование выбора закона распределения вероятностей значений времени наступления событий сетевого графика при решении задач сетевого планирования и управления проектами / Куцакин М.А., Лебеденко Е.В., Приходько А.В. // Информационные системы и технологии. – 2017. – № 3 (101). – С. 21-32. (Соискателем рассматриваются законы распределения случайных значений времени окончания работ сетевого графика, представленного диаграммой Гантта. На основании полученных расчетов обосновывается выбор закона распределения для моделирования коллективного поведения полностью автономных информационных подсистем в процессе сетевого планирования и управления проектами при совместном выполнении ими линейной последовательности этапов) (доля участия автора – 50 %).

Прочие публикации и апробации:

7. **Куцакин, М.А.** Information systems and technologies in a field of the security organizations activity // Куцакин М.А., Лебеденко Е.В. / Modern informatization problems in economics and safety: Proceedings of the XX-th International Open Science Conference (Yelm, WA, USA, January 2015). – Yelm, WA, USA: Science Book Publishing House, 2015. – P.103-106.

8. **Куцакин, М.А.** Проблемы информационно-аналитического обеспечения при планировании, организации и проведении охранных мероприятий // Кудряшов Р.О., Куцакин М.А., Лебеденко Е.В. / Сборник докладов IX Всероссийской межведомственной научной конференции «Актуальные направления развития систем охраны, специальной связи и информации для нужд государственного управления», Академия ФСО России. – Часть 10. – Орел. – 2015. – С. 29-31.

9. **Куцакин, М.А.** К проблеме информационной безопасности в ведомственных распределённых автоматизированных системах // Кудряшов Р.О., Куцакин М.А., Мионов О.Ю. / Modern informatization problems in economics and safety: Proceedings of the



XXI-th International Open Science Conference (Yelm, WA, USA, January 2016). – Yelm, WA, USA: Science Book Publishing House, 2016. – P. 44-50.

10. **Куцакин, М.А.** Анализ подходов к математическому моделированию процесса выполнения сетевого графика со случайными длительностями работ // Дунаев В.А., Куцакин М.А., Лебеденко Е.В. / Сборник докладов X Всероссийской межведомственной научной конференции «Актуальные направления развития систем охраны, специальной связи и информации для нужд государственного управления», Академия ФСО России. – Часть 3. – Орел. – 2017. – С. 157-159.

11. **Куцакин, М.А.** К вопросу разработки алгоритма взаимодействия коллектива автономных исполнителей в задачах сетевого планирования и управления проектами // Куцакин М.А., Лебеденко Е.В., Дунаев В.А. / Modern informatization problems in economics and safety: Proceedings of the XXII-th International Open Science Conference (Yelm, WA, USA, January 2017). – Yelm, WA, USA: Science Book Publishing House, 2017. – P. 81-85.

12. **Пат. 2606315 Российская Федерация, МПК G 06 F 17/30, G 06 F 21/62, G 06 F 15/16.** Способ обработки запросов пользователей распределенной информационной системы / Куцакин М.А., Лебеденко Е.В., Шелковый Д.В.; заявитель и патентообладатель Федеральное государственное казенное военное образовательное учреждение высшего образования «Академия Федеральной службы охраны Российской Федерации». – № 2015121986; заявл. 08.06.2015; опубл. 10.01.2017, Бюл. № 1. – 2 с. (*Соискателем представлена и реализована возможность децентрализованного управления данными в распределенных информационных системах с автономными производными структурами, позволяющая обрабатывать запросы пользователей с учетом возникающих коллизий*) (доля участия автора – 70 %).

13. **Свидетельство о государственной регистрации программы для ЭВМ 2017612858.** Имитация СГ / Куцакин М.А., Лебеденко Е.В., Рябоконт В.В., Чесноков А.С.; заявители и правообладатели: Куцакин М.А., Лебеденко Е.В., Рябоконт В.В., Чесноков А.С. – № 2017610178; заявл. 09.01.2017; опубл. 03.03.2017. – 1 с. (*Соискателем разработана имитационная модель, генерирующая случайное время наступления событий локального сетевого графика и осуществляющая его перестроение с учетом возникающих коллизий*) (доля участия автора – 50%, соответствует пункту 3 научной новизны).