

МОДЕЛЬ ПЛАНИРОВАНИЯ И ПОСТАНОВКИ ЗАДАЧ УЧИТЫВАЮЩАЯ ВОЗМОЖНОСТЬ ИСПОЛЬЗОВАНИЯ ТЕХНОЛОГИИ ЦИФРОВЫХ ДВОЙНИКОВ

А.Ю. Савицкий

Рассматриваются вопросы повышения оперативности в планировании и постановке задач для должностных лиц, отвечающих за связь в современных сетях передачи данных. Проводится анализ процессов планирования и постановки задач на трех уровнях управления: организационном, оперативно-техническом и технологическом, что влияет на продолжительность цикла управления и качество планирования. Анализируется авторский подход к процессу планирования с применением технологии цифровых двойников. Также выполнено моделирование с использованием геометрического распределения для оценки качества планирования.

Ключевые слова: система управления, планирование и постановка задач, цифровые двойники, качество планирования, геометрическое распределение.

В контексте современного динамичного развития военно-политической обстановки системы управления связью должны обладать способностью к быстрой адаптации к изменениям, оперативному реагированию на новые вызовы и обеспечению высокого уровня надёжности функционирования. С увеличением объёмов передаваемой информации и усложнением структуры сетей передачи данных вопросы эффективного управления этими процессами приобретают особую актуальность. В данной работе предлагается модель планирования и постановки задач на обеспечение связи в рамках объединения, основанная на трёхуровневой структуре. Модель включает подробное описание процессов и применение передовых технологий цифровых двойников для оптимизации планирования и постановки задач на обеспечение связи.

Планирование и постановка задач в системе управления связью объединения. Система управления связью представляет собой интеграцию функционально связанных органов и средств управления, функционирующих на организационном, оперативно-техническом и технологическом уровнях [1]. Планирование и постановка задач (П и ПЗ) может быть структурирована на три уровня: организационный, организационно-технический и технологический (рис.1). Каждый из этих уровней выполняет специфические функции и отвечает за определенный диапазон задач, что способствует эффективному управлению процессами обеспечения связи.

1. Организационный уровень. На организационном уровне начальник связи определяет общую структуру сетей передачи данных и формулирует задачи для подчинённых. Эти задачи представляются в виде боевых распоряжений, которые сопровождаются приложениями с данными по

связи, включая типы используемого оборудования, основные технические параметры и требования к организации связи. Данный уровень обеспечивает стратегическое управление и формирует общее направление работы, устанавливая структуру взаимодействия между подразделениями и уровнями командования.

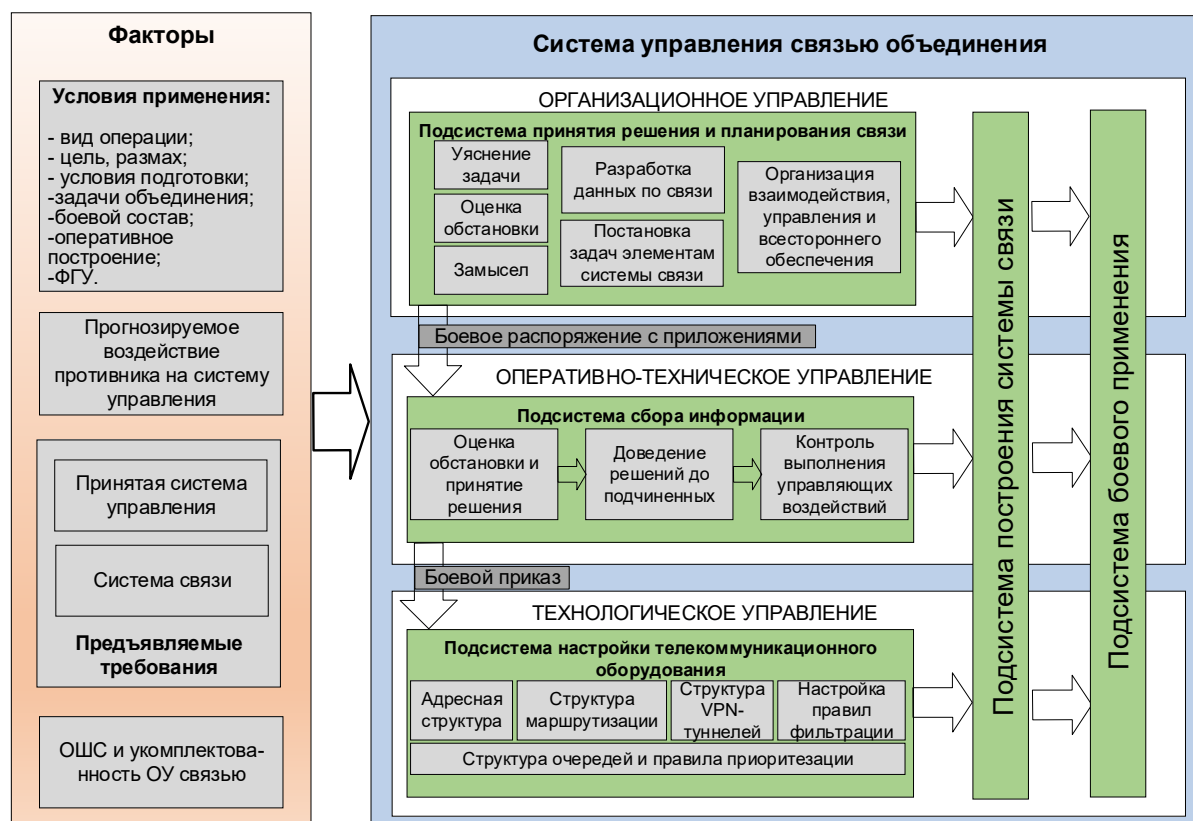


Рис. 1. Система управления связью объединения

2. Организационно-технический уровень. На этом уровне командир воинской части и штаб, получив боевое распоряжение, детализируют общую задачу через разработку схем-приказ. Командир подразделения готовит схемы-приказы для боевых постов, что обеспечивает соответствие задач на более низких уровнях. Этот уровень требует участия квалифицированных специалистов, способных учитывать специфику каждого узла связи.

3. Технологический уровень. На технологическом уровне механики аппаратной связи используют схемы-приказы и технологические карты для настройки телекоммуникационного оборудования. Этот этап критически важен для эффективности работы системы связи, поскольку требует высокой квалификации и точности. Технологический уровень также связан с необходимостью регулярного обслуживания и модернизации используемого оборудования.

Ключевыми процессами управления связью на трех уровнях - организационном, оперативно-техническом и технологическом - являются планирование и постановка задач, требующие разработки логических структур

для каждого типа оборудования. Эти структуры играют важную роль в оптимизации процессов управления, что, в свою очередь, способствует повышению качества связи в системе управления.

Сложность планирования логических структур в системе связи.

Применение логических структур в сети передачи данных, особенно в контексте системы связи и управления, представляет собой сложную задачу (рис.2), связанную с несколькими ключевыми аспектами: адресной структурой, маршрутизацией, организацией VPN, а также структурой услуг, очередей и правилами приоритезации трафика [3].

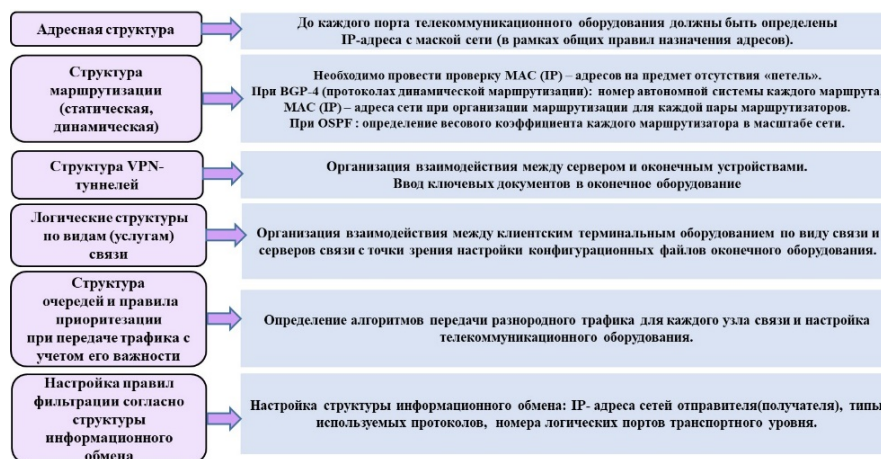


Рис. 2. Перечень основных настроек логических структур

Рассмотрим основные из этих составляющих более подробно.

1. Адресная структура. Адресная структура является основой для идентификации устройств в сети. В современных сетях используется иерархическая система адресации, такая как IP-адресация, которая позволяет уникально идентифицировать каждое устройство. Однако создание и поддержание такой структуры могут быть сложными из-за необходимости обеспечения уникальности адресов в больших масштабах. Например, в IPv4 адреса имеют ограниченное количество комбинаций, что приводит к необходимости использования NAT (Network Address Translation) для управления адресами и предотвращения конфликтов.

Кроме того, адресация должна быть удобной для пользователей и соответствовать требованиям сетевой инфраструктуры. Это создает противоречия между необходимостью компактности адресов и их иерархической структурой.

2. Структура маршрутизации. Маршрутизация – это процесс определения оптимального пути для передачи данных от источника к получателю через сеть. Она требует наличия сложных алгоритмов и протоколов, таких как OSPF (Open Shortest Path First) или BGP (Border Gateway Protocol), которые обеспечивают эффективное распределение трафика и минимизацию задержек. Однако маршрутизация может столкнуться с проблемами, связанными с изменениями в топологии сети или перегрузкой маршрутизаторов.

Необходимо учитывать различные уровни маршрутизации: локальную (в пределах одной сети) и глобальную (между различными сетями). Каждая из этих уровней требует различных подходов к управлению маршрутами, что усложняет общую структуру управления сетью.

3. Структура VPN. Создание виртуальных частных сетей (VPN) добавляет еще один уровень сложности к управлению сетями. VPN обеспечивает безопасное соединение между удаленными устройствами через общедоступные сети, но требует тщательной настройки для обеспечения безопасности и производительности. Это включает выбор протоколов шифрования, настройку туннелей и управление доступом пользователей.

Использование VPN может привести к увеличению задержек из-за дополнительной обработки данных и шифрования. Это требует от администраторов сети постоянного мониторинга производительности и безопасности соединений.

4. Логические структуры по видам услуг. Логические структуры должны учитывать различные виды услуг, предоставляемых в сети передачи данных. Каждая услуга может иметь свои требования к качеству обслуживания (QoS), что требует разработки специализированных логических структур для их поддержки. Это включает определение приоритетов для различных типов трафика (например, голосовые вызовы могут иметь более высокий приоритет по сравнению с обычным интернет-трафиком).

5. Структура очередей и правила приоритезации. Структура очередей и правила приоритезации трафика являются важными аспектами управления сетью. Необходимость организации очередей для обработки трафика с учетом его важности создает дополнительные сложности в проектировании логических структур. Администраторы должны разрабатывать правила приоритезации, чтобы обеспечить надлежащее качество обслуживания для критически важных приложений и минимизировать задержки для менее важных данных.

6. Настройка правил фильтрации. Настройка правил фильтрации согласно структуре информационного обмена, также представляет собой сложную задачу. Фильтрация трафика должна быть адаптирована к различным типам информации, передаваемой в сети, чтобы обеспечить безопасность и соответствие нормативным требованиям. Это требует глубокого понимания структуры информационного обмена и потенциальных угроз безопасности.

Таким образом, применение и планирование логических структур в сети передачи данных представляет собой сложный процесс, требующий учета множества факторов на уровне адресации, маршрутизации, организации VPN, а также структур услуг, очередей и правил фильтрации трафика. Каждая из этих составляющих играет важную роль в обеспечении эффективного функционирования системы связи и управления в целом. Необходимость балансировки между удобством использования, оперативностью управления и безопасностью создает дополнительные сложности для специалистов связи в области сетевых технологий.

Модель планирования и постановки задач на обеспечение связи объединения, учитывающая возможность использования технологии цифровых двойников. Планирование и настройка систем связи - это сложные задачи, требующие высокой степени точности и внимательности. Одно дело - спланировать структуру сети передачи данных, и совершенно другое - реализовать эту структуру на реальном оборудовании. Здесь на помощь приходят цифровые двойники, которые значительно упрощают процесс настройки и повышают качество выполнения задач.

Преимущества использования цифровых двойников

1. Цифровые двойники представляют собой виртуальные модели, которые позволяют имитировать работу реальных систем [4]. Это дает возможность заранее протестировать различные сценарии и конфигурации, прежде чем применять их в реальной среде. В результате вероятность ошибок при настройке оборудования снижается, поскольку все возможные варианты могут быть проверены в безопасной и контролируемой виртуальной среде и обеспечить повышение оперативности П и ПЗ (1) на обеспечение связи с качеством не хуже требуемого:

$$Pr(T_{nl} \leq T_{mp}) = P_{nl}(u(t), d, T_{mp}) \rightarrow \max_{u(t) \in U_{nl}} | Q(u(t)) \in Q_{mp} , \quad (1)$$

где $Pr(T_{nl} \leq T_{mp})$ – вероятность своевременного П и ПЗ на обеспечение связи (показатель оперативности); T_{nl} – общее время П и ПЗ на обеспечение связи; T_{mp} – требуемое время П и ПЗ на обеспечение связи.

$P_{nl}(u(t), d, T_{mp})$ – функциональная зависимость вероятности своевременного П и ПЗ от T_{mp} и следующих параметров:

$u(t) = \{g(t), l(t)\}$ – реализация управляющих воздействий должностных лиц (ДЛ) связи, включающих выполнение функциональных обязанностей $g(t)$ в виде соответствующих работ $l(t)$ в процессе П и ПЗ на обеспечение связи: $t \in [0, T_{nl}]$ – текущее время в П и ПЗ на обеспечение связи.

$U_{nl} \subset (U_{nl.ЦД}, U_{nl.ЦД})$ – множество возможных управляющих воздействий ДЛ связи, включающее подмножества управляющих воздействий без использования цифровых $U_{nl.ЦД}$ двойников $U_{nl.ЦД}$ и с использованием цифрового двойника; d – совокупность дестабилизирующих факторов, влияющих на состав и временные параметры выполняемых работ $l(t)$ в процессе П и ПЗ на обеспечение связи (под учитываемыми дестабилизирующими факторами понимаются ожидаемые условия применения и вероятное воздействие противника на систему управления в объединении) [4].

$Q(u(t))$ – качество П и ПЗ на обеспечение связи; Q_{mp} – требуемое качество П и ПЗ на обеспечение связи;

2. Снижение вероятности ошибок: Использование цифровых двойников позволяет выявить потенциальные проблемы до их возникновения в реальной системе. Например, при планировании логических структур, таких как адресация, маршрутизация и управление трафиком, цифровые двойники позволяют моделировать различные сценарии работы сети и выявлять возможные конфликты или узкие места.

3. Улучшение качества настройки: Цифровые двойники обеспечивают более высокую степень детализации и точности при настройке оборудования. Специалисты могут использовать данные из виртуальных моделей для оптимизации параметров настройки, что ведет к улучшению качества связи. Например, при настройке правил фильтрации трафика можно протестировать различные варианты конфигурации в виртуальной среде, прежде чем применять их на практике.

4. Эффективная модель планирования: Внедрение цифровых двойников в модель планирования и постановки задач позволяет более точно оценить временные затраты и ресурсы, необходимые для выполнения задач. Это также способствует более эффективному распределению ресурсов и управлению процессами.

5. Анализ и предсказание: Цифровые двойники позволяют проводить анализ данных в реальном времени и предсказывать поведение системы при различных условиях эксплуатации. Это особенно важно для систем связи, где качество передачи данных может зависеть от множества факторов.

Функция распределения вероятности времени качественного П и ПЗ на обеспечение связи может быть представлена следующим образом:

$$P_{nl} = FQ(T_{nl}, p, m_0, m, \sigma_0, \sigma) = \sum_{n=1}^{\infty} fG(n, p) \cdot FN(T_{nl}, m_0 + m \cdot n, \sqrt{\sigma_0^2 + \sigma^2 \cdot n}), \quad (2)$$

где $T_{nl} = T_0 + T_{ц.нл} \cdot n$ – общее время П и ПЗ на обеспечение связи; T_0 – время планирования, завершающееся временем окончания этапа определения замысла; $T_{ц.нл}$ – время одного цикла планирования, включающее время принятия решения и постановки задач, завершающееся временем окончания загрузки конфигурационных файлов в телекоммуникационное оборудование; $n \geq 1$ – количество циклов, необходимых для качественного планирования; p – вероятность качественного планирования за один цикл планирования; m_0 – математическое ожидание времени T_{nl} , m – математическое ожидание времени $T_{ц.нл}$; σ_0 – стандартное отклонение времени T_{nl} , σ – стандартное отклонение времени $T_{ц.нл}$; $fG(n, p)$ – функция вероятности n циклов планирования до первого качественного при вероятности p качественного планирования за один цикл; $FN(T_{nl}, m_0 + m \cdot n, \sqrt{\sigma_0^2 + \sigma^2 \cdot n})$ – функция распределения времени T_{nl} П и ПЗ на обеспечение связи за n циклов планирования, с параметрами математического ожидания $m_0 + m \cdot n$ и стандартного отклонения $\sqrt{\sigma_0^2 + \sigma^2 \cdot n}$.

Следует отметить, что для оценки вероятности n циклов планирования до первого качественного результата при вероятности p качественного планирования за один цикл используется геометрическое распределение $fG(n, p)$. Это распределение способствует лучшему пониманию динамики качества связи и позволяет более точно оценивать необходимое качество планирования и постановки задач в системе управления связью оперативного командования.

В качестве функции $FN(T_{nl}, m_0 + m \cdot n, \sqrt{\sigma_0^2 + \sigma^2 \cdot n})$ распределения времени T_{nl} П и ПЗ на обеспечение связи за n циклов планирования учитывается нормальное распределение, с параметрами математического ожидания $m_0 + m \cdot n$ и стандартного отклонения $\sqrt{\sigma_0^2 + \sigma^2 \cdot n}$.

В процессе исследования были проанализированы риски возникновения ошибок на этапах подготовки и ввода начальных данных, а также при использовании традиционного подхода к планированию для различных видов оборудования. Результаты анализа представлены в таблице.

**Вероятности ошибок при подготовке и вводе исходных данных
в применяемом в сети передачи данных оборудовании**

№ п/п	Тип оборудования	Тип операции по настройке оборудования	Разновидность операции	Вероятность ошибок при подготовке и вводе исходных данных	
				в ходе повседневной деятельности	в сложных условиях обстановки
1	Граничный маршрутизатор	Адресация	Статическая	0,1	0,15
			Динамическая	0,1	0,15
		Маршрутизация	Статическая	0,1	0,2
			Динамическая	0,05	0,1
			Ограничение петель сети	0,05	0,1
		Приоритезация	Ограничение пропускной способности (shaping)	0,05	0,1
			Указание квалификационных признаков	0,05	0,1
			Деление пропускной способности между типом трафика	0,05	0,1
			Маркировка трафика	0,05	0,1
2	Межсетевой экран	Фильтрация	Ввод данных (IP-адрес, тип используемого протокола, номер логического порта транспортного уровня)	0,2	0,3
3	АТС	Способ построения сети	с использованием сервера режимной телефонной связи старшего штаба.	0,05	0,1
			путем формирования расширенных конфигурационных файлов в телефонных станциях узлов связи объединения	0,15	0,25
			с использованием сервера режимной телефонной связи старшего штаба в режиме проксирования	0,1	0,2
			путем соединения телефонных станций между собой по потоку Е1.	0,1	0,2

При расширении сети и увеличении количества единиц оборудования возрастает риск возникновения ошибок на этапе подготовки и ввода исходных данных, осуществляемых вручную [5]. В то же время снижается вероятность успешного планирования за один цикл планирования.

Применение технологии цифровых двойников имеет важное преимущество: после завершения моделирования конфигурационные файлы виртуального оборудования автоматически переносятся в реальные устройства в соответствии с их расположением в сети. Это обеспечивает высокую вероятность качественного планирования, которая оценивается как 0,99. Проведён сравнительный анализ результатов планирования без использования технологии цифровых двойников и с её применением. представленный на рис.3

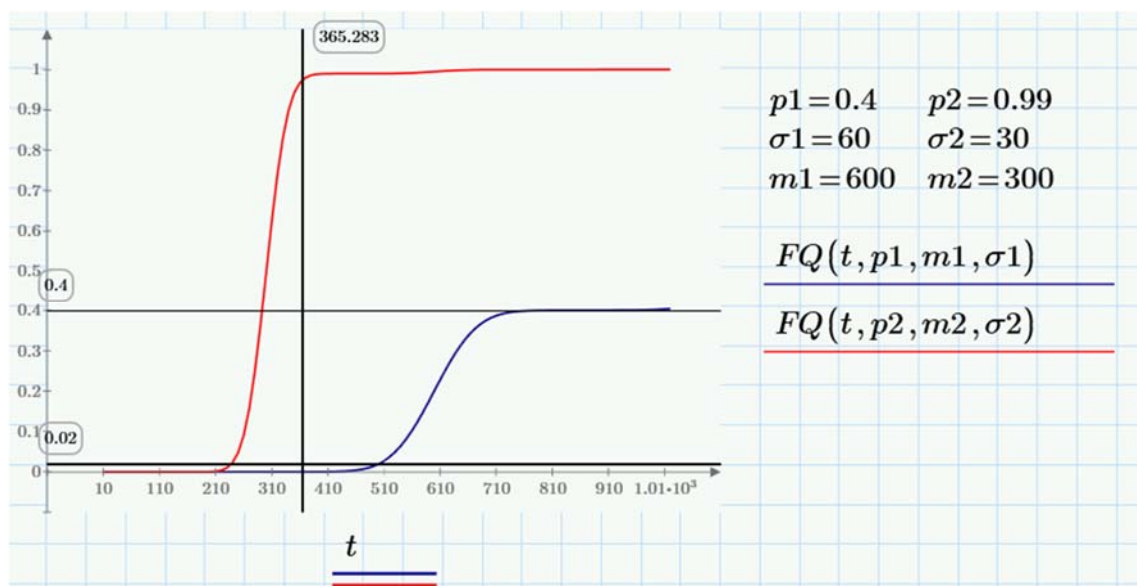


Рис. 3. Сравнение функций распределения вероятности времени, необходимого для качественного планирования и постановки задач на обеспечение связи, при использовании традиционных методов планирования и при применении технологии цифровых двойников

Таким образом, использование технологии цифровых двойников в процессе планирования и настройки систем связи не только снижает вероятность ошибок, но и значительно повышает качество работы оборудования. Модель планирования и постановки задач с учетом возможностей цифровых двойников становится важным инструментом для достижения высокой эффективности управления в современных сетях связи. Применение цифровых двойников упрощает процесс настройки логических структур, что делает его более надежным и эффективным по сравнению с традиционными методами.

Заключение. Использование технологии цифровых двойников в системе управления связью объединения является актуальным подходом к оптимизации процессов планирования и обеспечения связи. Данный метод не

только повышает качество планирования, но и способствует повышению оперативности и точности работы системы управления.

Список литературы

1. Боговик А.В., Игнатов В.В. Теория управления в системах военного назначения. СПб.: ВАС. 2008. 468 с.
2. Лукьянчик В.Н., Савицкий А.Ю., Иванов В.Г. Направления развития системы управления полевыми узлами связи объединения // Научно-технический сборник. Труды академии. 2020. № 108. С. 243–249.
3. Имитационное планирование системы связи специального назначения на основе применения технологии цифровых двойников / С.А. Падишин, А.М. Сазыкин, С.С. Даньшин, К.А. Грищенко // Вопросы оборонной техники. 2022. № 16. С. 48–55.
4. Имитационное планирование системы связи объединения на основе применения виртуальной сетевой лаборатории EVE-NG / С.А. Падишин, А.И. Литвинов, К.О. Манаков [и др.] // Известия РАРАН. Вып. 5 (115). СПб.: РАРАН, 2020. С. 148–157.
5. Грищенко К.А. Способ построения цифрового двойника сети связи. // Вопросы радиоэлектроники. серия: техника телевидения. 2023. № 4. С. 54–61.
6. Имитационное планирование системы связи специального назначения на основе применения технологии цифровых двойников / С.А. Падишин, А.М. Сазыкин, С.С. Даньшин [и др.] // Вопросы оборонной техники. Серия 16: Технические средства противодействия терроризму. 2021. № 7–8 (157–158). С. 48–55.

Савицкий Алексей Юрьевич, адъюнкт, savialexey7@mail.ru, Россия, Санкт-Петербург, Военная академия связи им. Маршала Советского Союза С.М. Буденного

PLANNING AND TASK SETTING MODEL CONSIDERING THE POSSIBILITY OF USING DIGITAL TWIN TECHNOLOGY

A.Yu. Savitsky

The article is devoted to the issues of increasing the efficiency of planning and setting tasks for officials responsible for communications in modern data transmission networks. The paper analyzes the processes of planning and setting tasks at three management levels: organizational, operational-technical and technological, which affects the duration of the management cycle and the quality of planning. The author's approach to the planning process using digital twin technology is considered. Modeling using geometric distribution to assess the quality of planning is also performed.

Key words: management system, planning and setting tasks, digital twins, planning quality, geometric distribution.

Savitsky Alexey Yurievich, adjunct, savialexey7@mail.ru, Russia, St. Petersburg, Military Academy of Communications named after Marshal of the Soviet Union S.M. Budyonny