

УДК 658.562

DOI: 10.34670/AR.2026.63.79.033

**Внедрение цифровых технологий на промышленных
предприятиях на основе формирования информационно-
коммуникационной сети**

Хлынин Эдуард Валентинович

Доктор экономических наук, профессор,
профессор кафедры финансов и менеджмента,
Тульский государственный университет,
300012, Российская Федерация, Тула, просп. Ленина, 92;
e-mail: hklynin@yandex.ru

Сычева Ирина Викторовна

Доктор экономических наук, профессор,
профессор кафедры финансов и менеджмента,
Тульский государственный университет,
300012, Российская Федерация, Тула, просп. Ленина, 92;
e-mail: sychova15@mail.ru

Шульженко Николай Антонович

Доктор технических наук, профессор,
профессор кафедры финансов и менеджмента,
Тульский государственный университет,
300012, Российская Федерация, Тула, просп. Ленина, 92;
e-mail: nik.shulzhenko46@mail.ru

Быковская Елена Викторовна

Доктор экономических наук, доцент,
профессор кафедры менеджмента,
Тамбовский государственный технический университет,
392000, Российская Федерация, Тамбов, ул. Советская, 106/5;
e-mail: elenarafa@yandex.ru

Аннотация

Актуальность исследования обосновывается необходимостью более активного внедрения в производственную деятельность промышленного предприятия цифровых технологий для интенсификации его экономического развития в современных условиях хозяйствования. Предметом исследования являются информационные потоки и коммуникационные каналы, формируемые промышленным предприятием для обеспечения качественного взаимодействия как с внутренней, так и с внешней средой. Цель исследования заключается в развитии теоретических представлений и

методологических положений, связанных с обоснованием перспективности цифрового развития промышленного предприятия на основе формирования информационно-коммуникационной сети. Для получения результатов исследования были использованы комплексный, системный и сетевой подходы. В результате проведенного исследования установлены виды информационно-коммуникационной сети и основные характеристики, присущие каналам коммуникации и информационным потокам. Для исследования многоуровневой информационно-коммуникационной сети рекомендовано осуществлять уменьшение количества ее уровней путем формирования нескольких информационно-коммуникационных подсетей, объединяющих участников, обладающих одинаковыми условиями для коммуникационного взаимодействия между собой. Определен перечень основных характеристик, присущих различным элементам информационно-коммуникационной сети, к которым относятся максимальная скорость передачи информации по каналу коммуникации, емкость канала коммуникации, объем информационного потока, время и скорость перемещения информационного потока, а также загруженность канала коммуникации по объему и времени перемещения информационных потоков. Сформулирована основная задача, решаемая в информационно-коммуникационной сети, и предложено решение маршрутизации информационных потоков на промышленном предприятии. Областью применения результатов исследования является управленческая деятельность промышленного предприятия, направленная на повышение эффективности функционирования каналов коммуникации и перемещения информационных потоков. В результате проведенных исследований сформулирован вывод о необходимости активизировать деятельность, связанную с внедрением цифровых технологий на промышленных предприятиях.

Для цитирования в научных исследованиях

Хлынин Э.В., Сычева И.В., Шулженко Н.А., Быковская Е.В. Внедрение цифровых технологий на промышленных предприятиях на основе формирования информационно-коммуникационной сети // Экономика: вчера, сегодня, завтра. 2026. Том 16. № 4А. С. 335-354. DOI: 10.34670/AR.2026.63.79.033

Ключевые слова

Информационно-коммуникационная сеть, цифровизация, информационный поток, канал коммуникации, маршрутизация, критерий маршрутизации информационного потока, изокванта объема перемещаемого информационного потока.

Введение

На этапе цифрового развития экономики невозможно представить ни одно направление деятельности промышленного предприятия, в котором было бы не востребовано использование информационно-коммуникационных технологий. Информационно-коммуникационные технологии характеризуются совокупностью «программно-технических средств, производственных процессов и методов, которые обеспечивают сбор, хранение, обработку, анализ и распространение информации, для того чтобы максимально снизить трудоемкость использования информационных ресурсов, при этом повышая их оперативность и надежность» [Гаврилов, Климов, 2016]. Учитывая, что управление – это «воздействие на работу системы, в том числе и экономической, для достижения намеченной цели» [Афанасьев, Постников, 2006],

использование информационно-коммуникационных технологий в управлении является современным направлением разработки, принятия и реализации управленческих решений [Хлынин, Коровкина, 2022].

Использование информационно-коммуникационных технологий на промышленных предприятиях обеспечивает формирование информационно-коммуникационной сети, которая позволяет:

- во-первых, существенно повысить эффективность взаимодействия с внутренней и внешней средой;
- во-вторых, сформировать инновационное конкурентное преимущество перед другими участниками рынка, которые не уделяют должного внимания внедрению цифровых технологий;
- в-третьих, повысить качество информационных потоков как важнейшего ресурса производственной деятельности в современных условиях;
- в-четвертых, осуществлять непрерывный мониторинг и постоянно актуализировать требуемую информацию;
- в-пятых, совершенствовать технический уровень каналов коммуникации для достижения эффективного функционирования информационно-коммуникационной сети.

Процесс управления информацией промышленного предприятия, предполагает создание необходимых условий для эффективного взаимодействия всех участников информационно-коммуникационной сети, обеспечивающего достижение требуемого результата. Эффективность систем взаимодействия «человек – информация» должна постоянно увеличиваться, что предполагает развитие информационно-коммуникационной сети в направлении повышения уровня роботизации, компьютеризации, автоматизации и механизации производства, общей и факторной производительности, рентабельности и др. Для обеспечения устойчивого роста эффективности системы взаимодействия «человек – информация» предполагается формирование информационно-коммуникационной сети промышленного.

Понятийный аппарат цифровизации производственной деятельности промышленного предприятия

Информационное взаимодействие между отдельными работниками предприятия или его структурными подразделениями на основе использования цифровых технологий предполагает формирование информационно-коммуникационной сети (ИКС) предприятия. Информационно-коммуникационная сеть - это «объединение определенным образом участвующих в коммуникационном процессе субъектов с помощью информационных потоков» [Статейнов, 2014].

Любая ИКС имеет стандартную структуру, включающую такие элементы, как участники ИКС, каналы коммуникации, устанавливаемые между участниками ИКС и информационные потоки, перемещающие по каналам коммуникации от одного участника ИКС к другому [Гафарова, Акчурина, 2019].

Участники ИКС представляют собой «субъекты информационно-коммуникационного взаимодействия, которые могут формировать и (или) получать информационный поток» [Максимов, Партыка, Попов, 2010], т.е. выступать в качестве его инициатора и (или) потребителя. Участниками ИКС могут выступать работники предприятия, менеджеры разного уровня управления, структурные подразделения предприятия, отдельные фирмы корпорации и

др.

Канал коммуникации представляет собой «технически организованный способ передачи информации от одного участника ИКС к другому, способный в любой момент времени перемещать только один информационный поток в одном направлении» [Трофимов, Саакян, 2023]. Например, каналом коммуникации может выступать точка доступа в сети Интернет, точка доступа во внутренней локальной вычислительной сети, телефонная точка и др.

Информационный поток представляет собой «определенный объем информации, обладающей требуемыми свойствами, востребованной участниками ИКС и осуществляющей перемещение от одного участника ИКС (формирующего информацию) к другому (потребителю информации)» [Куприянов, 2017]. Единицей измерения объема информации является бит или байт, содержащий 8 бит. Для измерения большого объема информации используются более крупные единицы измерения – килобайт, мегабайт, гигабайт, терабайт и др [Павлов, 2023]. К требуемым свойствам информации наиболее часто относятся такие, как [Кочетков, Казанцева, Чернышева, 2022]:

- полнота – отражает объем получаемой пользователем информации, необходимый для принятия управленческих решений, устраняющий поиск дополнительно требуемой информации;
- доступность – определяет возможность получения пользователем требуемой информации для принятия управленческих решений;
- оперативность – предусматривает своевременное поступление информации пользователю;
- достоверность – характеризует реалистичность поступающей информации, соответствующей действительности;
- аналитичность – предусматривает возможность точной и понятной, как правило, количественной оценки информации для ее однозначной интерпретации и дальнейшей обработки для принятия управленческих решений;
- объективность – предусматривает устранение субъективного фактора, присущего различным структурным подразделениям приносить в предоставляемую информацию личный положительный вклад и нивелировать свое отрицательное влияние;
- единство – предусматривает совпадение информации, поступающей из разных структурных подразделений предприятия, ее непротиворечивость и однозначность;
- рациональность – предусматривает минимум затрат на сбор, хранение и использование информации, исключающий получение излишней информации, затрудняющей ее поиск, обработку и принятие управленческих решений;
- устойчивость – получаемая информация должна определенный период времени быть актуальной пользователю для принятия управленческих решений.

Каждый элемент ИКС обладает определенными характеристиками, устанавливающими особенности его функционирования и ИКС в целом.

Формирование и исследование информационно-коммуникационной сети на промышленном предприятии

Для участников ИКС основными характеристиками являются их количество, а также статус участников, т.е. равноправными или неравноправными являются их взаимоотношения в ИКС. Участники ИКС являются равноправными в том случае, если не обладают полномочиями

руководителей и подчиненных. В противном случае участники ИКС являются неравноправными. От статуса участников может зависеть количество уровней, формируемых в ИКС [Евсюков, Хлынин, 2019]. Если все участники ИКС являются равноправными, то в этом случае наиболее часто формируется одноуровневая информационно-коммуникационная сеть. В одноуровневой ИКС, как правило, отсутствуют особые требования, предъявляемые к каналам коммуникации и информационным потокам. Если участники ИКС являются неравноправными, то в этом случае наиболее часто формируется многоуровневая информационно-коммуникационная сеть, в которой могут предъявляться особые требования к каналам коммуникации и информационным потокам.

Для канала коммуникации основными характеристиками являются его направление, максимальная скорость передачи информации, максимальный объем информационного потока, перемещаемого за определенный период времени [Хлынин, 2020]. По направлению канал коммуникации может быть односторонним и двухсторонним. Односторонний канал коммуникации обеспечивает перемещение информационного потока только в одном направлении, т.е. от участника ИКС, формирующего информационный поток, к участнику ИКС, получающему информационный поток. Двухсторонний канал коммуникации обеспечивает перемещение информационного потока в любом направлении между двумя участниками ИКС, т.е. каждый из двух участников ИКС может являться и инициатором, и потребителем информационного потока.

Для информационного потока основными характеристиками являются его объем, время перемещения, скорость перемещения, значимость для пользователя, степень удовлетворенности пользователя [Лебедевская, Харкевич, 2020].

Рассматривая структуру ИКС, следует указать, что наибольший интерес в ней представляют не участники ИКС, а информационно-коммуникационные взаимосвязи между ними [Синаторов, 2009]. Поэтому в ИКС формируются и исследуются потоки информации между определенным количеством участников. Однако в ИКС статус участника также имеет существенное значение, так как от этого зависит ее вид, количество уровней и требования, предъявляемые к каналам коммуникации и информационным потокам.

Учитывая стандартную структуру ИКС, включающую основные элементы, она может быть представлена в виде схемы. На схеме ИКС ее участники изображаются в виде кругов с указанием номера или его аббревиатуры, а каналы коммуникации и перемещающиеся по ним информационные потоки – сплошными двухсторонними или пунктирными односторонними стрелками. Например, схема одноуровневой ИКС с пятью участниками представлена на рис. 1.

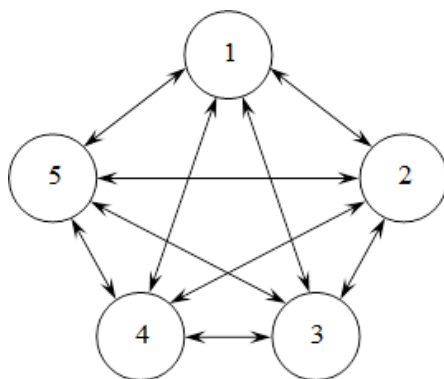


Рисунок 1 – Схема одноуровневой ИКС с пятью участниками

Анализируя особенности формирования одноуровневой ИКС с пятью участниками, представленной на рис. 1, следует указать на то, что каждый участник обладает четырьмя двухсторонними каналами коммуникации с другими участниками ИКС.

Количество уровней в ИКС определяется числом групп участников, обладающих одинаковыми условиями для коммуникации. Если все участники ИКС обладают одинаковыми условиями для коммуникационного взаимодействия, то они образуют только одну группу участников и определяют наличие одноуровневой ИКС. Но как только для некоторых участников ИКС исключить канал коммуникационного взаимодействия или заменить его вид, то изменяет ее уровень. Например, если для участников 3 и 4 исключить канал коммуникации, то будет сформирована двухуровневая ИКС с пятью участниками (рис. 2).

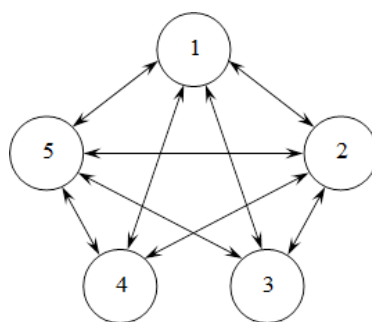


Рисунок 2 – Схема двухуровневой ИКС с пятью участниками

В двухуровневой ИКС (рис. 2) можно выделить две группы участников, обладающих одинаковыми условиями для коммуникации. Одна группа включает участников 1, 2 и 5, которые обладают четырьмя двухсторонними каналами коммуникации с другими участниками ИКС. Другая группа включает участников 3 и 4, которые обладают тремя двухсторонними каналами коммуникации с другими участниками ИКС.

Для исследования двухуровневой ИКС с пятью участниками, изображенной на рис. 2, целесообразно ее представить по-другому, а, именно, в виде:

- двух одноуровневых информационно-коммуникационных подсетей (рис. 3). Каждая одноуровневая ИК подсеть объединяет участников, обладающих одинаковыми условиями для коммуникационного взаимодействия между собой. Каждый участник обладает тремя двухсторонними каналами коммуникации с другими участниками одноуровневой ИК подсети.

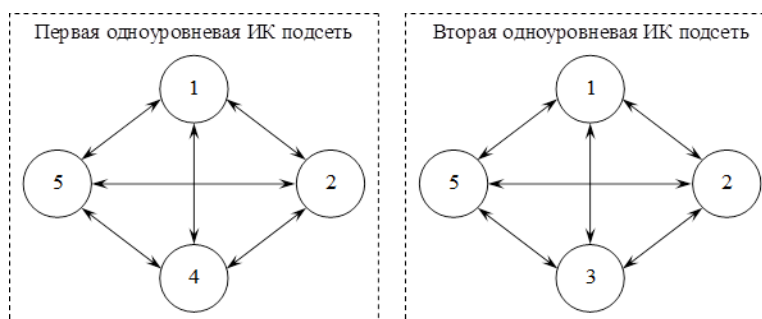


Рисунок 3 – Представление двухуровневой ИКС с пятью участниками в виде двух одноуровневых ИК подсетей с четырьмя участниками

- двух взаимосвязанных групп участников ИКС (рис. 4). Для каждой группы участников характерны особые требования, предъявляемые к каналам коммуникации и информационным потокам. Первая группа включает участников 1, 2 и 5, которые формируют одноуровневую ИК подсеть, а вторая группа объединяет двух участников 3 и 4, которые не устанавливают между собой каналы коммуникации, но взаимосвязаны с первой группой участников.

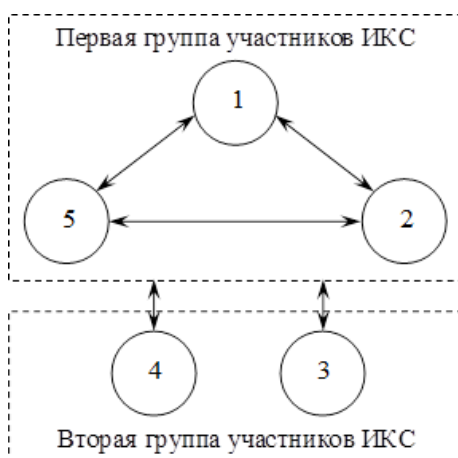


Рисунок 4 – Представление двухуровневой ИКС с пятью участниками в виде двух взаимосвязанных групп участников

Исследуя двухуровневую ИКС с пятью участниками, представленную в виде двух взаимосвязанных групп участников, можно предположить, что ее формирование на предприятии описывает взаимодействие руководителей и подчиненных. Например, три менеджера, образующие первую группу участников ИКС (участники 1, 2 и 5), осуществляя между собой информационное взаимодействие, вырабатывают согласованные управленческие решения, которые предназначены для подчиненных, образующих вторую группу участников ИКС (участники 3 и 4), осуществляющих обособленную деятельность, не формируя между собой каналы коммуникации. А возможно, наоборот, три исполнителя образующие первую группу участников ИКС (участники 1, 2 и 5), согласованно выполняют бизнес-процесс, используя для этого сформированные каналы коммуникации, и учитывают в своей деятельности руководящее воздействие двух менеджеров, отвечающих за определенный вид функций и не образующие между собой каналов коммуникации, которые являются участниками второй группы ИКС (участники 3 и 4).

Такой же результат, связанный с формированием двухуровневой ИКС, можно получить в том случае, если между участниками 3 и 4 не полностью исключить канал коммуникации, а изменить его вид, например, заменить его на канал коммуникации, действующий в одном направлении (односторонний канал коммуникации). Тогда схема двухуровневой ИКС с пятью участниками пример вид, представленный на рис. 5.

Такую двухуровневую ИКС с пятью участниками при наличии одностороннего канала коммуникации между двумя участниками можно представить, во-первых, в виде двух взаимосвязанных одноуровневых ИК подсетей. Взаимосвязь между ИК подсетями будет устанавливаться за счет одностороннего канала коммуникации между участниками 3 и 4. Во-вторых, рассматриваемая двухуровневая ИКС может быть представлена в виде двух

взаимосвязанных групп участников ИКС, причем во второй группе между участниками 3 и 4 существует односторонний канал коммуникации.

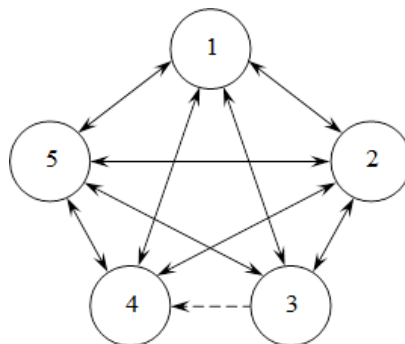


Рисунок 5 – Схема двухуровневой ИКС с пятью участниками при наличии одностороннего канала коммуникации между двумя участниками

Основные характеристики, присущие различным элементам информационно-коммуникационной сети

Основные характеристики, присущие различным элементам ИКС, имеют количественное выражение, являются взаимосвязанными между собой и используются для определения основных параметров функционирования ИКС.

Максимальная скорость передачи информации по каналу коммуникации является основной технической характеристикой каждого канала коммуникации. Максимальная скорость передачи информации зависит от вида технического устройства, используемого в качестве канала коммуникации. Наиболее современные имеют максимальную скорость передачи информации, измеряемую в гигабитах в секунду (Гбит/с), мегабитах в секунду (Мбит/с).

Максимальный объем информационного потока, перемещаемого по каналу коммуникации за определенный период времени (емкость канала коммуникации), является основной количественной характеристикой каждого канала коммуникации. Максимальный объем перемещаемой информации по каналу коммуникации зависит от максимальной скорости передачи информации по каналу коммуникации и рассматриваемого периода времени. Поэтому максимальный объем перемещаемой информации по каналу коммуникации определяется

$$Q_{\max} = V_{\max} \cdot T_{\text{п}},$$

где $V_{\max}$ - максимальная скорость передачи информации по каналу коммуникации;

$T_{\text{п}}$ - период времени, выделенный для коммуникационного взаимодействия ИКС.

Объем информационного потока является основной количественной характеристикой каждого информационного потока и зависит от количества информации, которую требуется передать от одного участника ИКС к другому. За рассматриваемый период времени между двумя участниками ИКС может быть осуществлено определенное количество перемещений информационных потоков, соответствующего объема, в разных направлениях. Поэтому за рассматриваемый период времени может быть определен суммарный объем перемещаемых информационных потоков

$$Q = \sum_{i=1}^n Q_i,$$

где n - количество перемещений информационных потоков в разных направлениях;

Q_i - объем i -го информационного потока, перемещаемого между двумя участниками ИКС.

Время перемещения информационного потока является основной количественной характеристикой каждого информационного потока и определяет период времени, в течение которого информационный поток осуществляет перемещение от одного участника ИКС к другому. Так как за рассматриваемый период времени между двумя участниками ИКС может быть осуществлено определенное количество перемещений информационных потоков, соответствующего объема, в разных направлениях, то может быть определено суммарное время перемещения информационных потоков

$$T = \sum_{i=1}^n T_i,$$

где T_i - время перемещения i -го информационного потока между двумя участниками ИКС.

Скорость перемещения информационного потока является основной количественной характеристикой каждого информационного потока и зависит от объема перемещаемого информационного потока и времени его перемещения по каналу коммуникации

$$V_i = \frac{Q_i}{T_i}.$$

Так как за рассматриваемый период времени между двумя участниками ИКС может быть осуществлено определенное количество перемещений информационных потоков, соответствующего объема, в разных направлениях, то может быть определена средняя скорость перемещения информационного потока

$$V = \frac{Q}{T} = \frac{\sum_{i=1}^n Q_i}{\sum_{i=1}^n T_i} = \frac{\sum_{i=1}^n V_i \cdot T_i}{\sum_{i=1}^n T_i} = \frac{\sum_{i=1}^n Q_i}{\sum_{i=1}^n \frac{Q_i}{V_i}}.$$

В любой момент времени канал коммуникации может быть занят перемещением информационного потока или свободен, т.е. не осуществлять перемещение информационного потока. Исходя из определения канала коммуникации, согласно которому это технически организованный способ передачи информации от одного участника ИКС к другому, способный в любой момент времени перемещать только один информационный поток в одном направлении, в первом случае канал коммуникации будет полностью загружен, а, во втором случае загрузка канала коммуникации отсутствует. Поэтому, рассматривая загруженность канала коммуникации в качестве моментной характеристики, этот показатель может принимать только два крайних значения 0 или 1. Однако, оценивая загруженность канала коммуникации за

любой период времени, в течение которого он может, как использоваться, так и не использоваться для перемещения информационного потока, этот показатель будет варьироваться в интервале от 0 до 1. Загруженность канала коммуникации за рассматриваемый период времени определяется в результате сопоставления объемных или временных характеристик, соответствующих перемещаемым информационным потокам между двумя участниками ИКС по каналу коммуникации.

Загруженность канала коммуникации по объему перемещаемых информационных потоков определяется

$$k_{\text{заг}}^Q = \frac{Q}{Q_{\text{max}}} = \frac{\sum_{i=1}^n Q_i}{V_{\text{max}} \cdot T_{\Pi}} ;$$

Загруженность канала коммуникации по времени перемещения информационных потоков определяется

$$k_{\text{заг}}^T = \frac{T}{T_{\Pi}} = \frac{\sum_{i=1}^n Q_i}{V \cdot T_{\Pi}} .$$

Анализируя представленные формулы определения загруженности канала коммуникации по объему и времени перемещения информационных потоков, можно сделать вывод о том, что загруженность по объему получается меньше, чем по времени, так как максимальной скорости передачи информации по каналу коммуникации больше средней скорости перемещения информационного потока ($V_{\text{max}} > V$).

Маршрутизация информационных потоков в информационно-коммуникационной сети

Формирование и использование информационно-коммуникационной сети (ИКС) предприятия обеспечивает перемещение информационных потоков между ее участниками. Основной задачей, решаемой в ИКС для перемещения информационных потоков между ее участниками, является их маршрутизация [Шемякин, Мартынушкин, Лозовая, Пашканг, Терентьев, 2023]. Маршрутизация информационных потоков – это «процесс установления возможных каналов коммуникации для перемещения информационных потоков от одного участника ИКС к другому и распределения информационных потоков по каналам коммуникации в соответствии с требуемым критерием» [Трайнев, 2013]. Тогда маршрутом является полная последовательность каналов коммуникации, по которым перемещается информационный поток от одного участника ИКС к другому.

Задача маршрутизации информационных потоков возникает в связи с тем, что информацию от одного участника ИКС к другому, как правило, можно доставить различными маршрутами. Различные маршруты доставки информации отличаются друг от друга своей протяженностью, включающей участников-посредников в перемещении информации, временем и скоростью перемещения информационного потока. Например, в ИКС, представленной на рис. 1, информацию от участника 1 к участнику 2 можно доставить шестнадцатью альтернативными маршрутами (табл. 1).

Для лучшей визуализации альтернативных маршрутов доставки информации в ИКС от одного участника к другому схему ИКС можно представить таким образом, чтобы левое крайнее положение занимал участник, формирующий информационный поток, правое крайнее положение – участник, получающий информационный поток, а между ними располагались участники-посредники в перемещении информации. Между участниками ИКС устанавливаются каналы коммуникации, формирующие маршрут перемещения информационного потока от одного участника ИКС к другому (рис. 6).

Таблица 1 – Альтернативные маршруты доставки информации в ИКС от участника 1 к участнику 2

Альтернативный вариант маршрута	Маршрут перемещения информационного потока в ИКС между участниками 1 и 2	Количество участников-посредников в перемещении информации	Время перемещения информационного потока, мин.	Скорость перемещения информационного потока, Кбит/с
1	1 → 2	0	T ₁	V ₁
2	1 → 3 → 2	1	T ₂	V ₂
3	1 → 4 → 2	1	T ₃	V ₃
4	1 → 5 → 2	1	T ₄	V ₄
5	1 → 3 → 4 → 2	2	T ₅	V ₅
6	1 → 3 → 5 → 2	2	T ₆	V ₆
7	1 → 4 → 3 → 2	2	T ₇	V ₇
8	1 → 4 → 5 → 2	2	T ₈	V ₈
9	1 → 5 → 3 → 2	2	T ₉	V ₉
10	1 → 5 → 4 → 2	2	T ₁₀	V ₁₀
11	1 → 3 → 4 → 5 → 2	3	T ₁₁	V ₁₁
12	1 → 3 → 5 → 4 → 2	3	T ₁₂	V ₁₂
13	1 → 4 → 3 → 5 → 2	3	T ₁₃	V ₁₃
14	1 → 4 → 5 → 3 → 2	3	T ₁₄	V ₁₄
15	1 → 5 → 3 → 4 → 2	3	T ₁₅	V ₁₅
16	1 → 5 → 4 → 3 → 2	3	T ₁₆	V ₁₆

Выбор маршрутов доставки информации от одного участника ИКС к другому зависит от ряда факторов, характеризующих перемещаемый информационный поток, используемые для этого каналы коммуникации и маршрут:

- приоритетность перемещаемого информационного потока;
- объем перемещаемого информационного потока,
- скорость перемещения информационного потока по каналам коммуникации и маршруту;
- загруженность каналов коммуникации и маршрута.

В качестве критерия маршрутизации информационного потока, как правило, выступает

требование доставки всего объема информации от одного участника ИКС к другому за наименьший период времени или с максимальной скоростью, так как между временем и скоростью перемещения информационного потока существует обратная зависимость. Такой критерий маршрутизации информационного потока обеспечивает наделение информации такими свойствами, как полнота, доступность и оперативность.

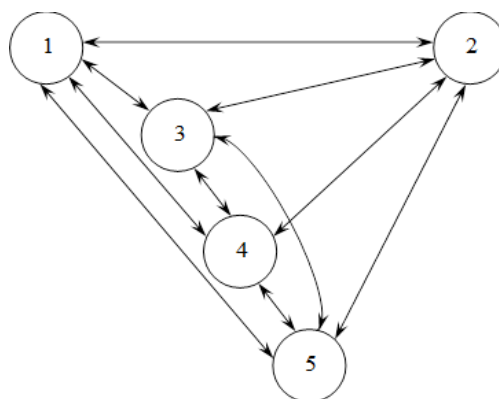


Рисунок 6 – Схема альтернативных маршрутов доставки информации в ИКС от участника 1 к участнику 2

Рассматривая влияние факторов маршрутизации на время доставки информации от одного участника ИКС к другому, следует указать на то, что увеличение объема перемещаемого информационного потока и загруженности каналов коммуникации и маршрута увеличивают время доставки информации, а повышение скорости перемещения информационного потока по каналам коммуникации и маршруту снижают время доставки информации. Обратную зависимость времени доставки информации от одного участника ИКС к другому от скорости перемещения информационного потока по каналам коммуникации и маршруту можно представить в виде семейства гипербол (изоквант), каждая из которых соответствует определенному объему перемещаемого информационного потока (рис. 7). Изокванта – это кривая, определяющая все возможные сочетания (пропорции) факторов и критериев маршрутизации информационного потока, обеспечивающие перемещение одного и того же объема информации от одного участника ИКС к другому.

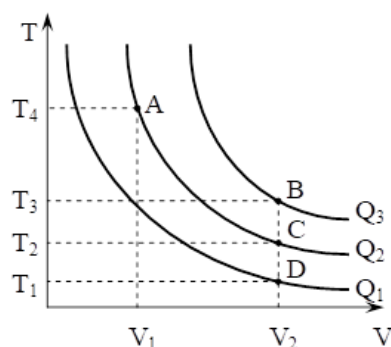


Рисунок 7 – Изокванты, определяющие обратную зависимость времени доставки информации от одного участника ИКС к другому от скорости перемещения информационного потока по каналам коммуникации и маршруту

На рис. 7 представлены три изокванты, каждая соответствует определенному объему перемещаемого информационного потока. Чем ниже и левее располагается изокванта, тем меньший объем информационного потока необходимо переместить от одного участника ИКС к другому и, наоборот, чем выше и правее располагается изокванта, тем перемещается больший объем информационного потока. Поэтому три изокванты описывают соотношение времени доставки информации от одного участника ИКС к другому и скорости перемещения информационного потока по каналам коммуникации и маршруту для разного объема информационного потока ($Q_1 < Q_2 < Q_3$). На рис. 7 указаны два разных значения времени доставки информации от одного участника ИКС к другому при одном и том же объеме информационного потока Q_2 . Точка А на изокванте Q_2 соответствует большему времени доставки информации от одного участника ИКС к другому при меньшей скорости V_1 , а точка С на изокванте Q_2 – меньшему времени доставки информации от одного участника ИКС к другому при большей скорости V_2 . На рис. 7. указаны три разных значения времени доставки информации от одного участника ИКС к другому при для разного объема информационного потока ($Q_1 < Q_2 < Q_3$). Точки В, С и D соответствуют снижающемуся времени доставки информации от одного участника ИКС к другому для уменьшающегося объема информационного потока.

Аналитически обратная зависимость времени доставки информации от одного участника ИКС к другому от скорости перемещения информационного потока по каналам коммуникации и маршруту описывается следующими формулами

$$T_i = \frac{Q_i}{V_i} \quad \text{и} \quad T = \frac{Q}{V},$$

где T_i , T - время перемещения информационного потока по i -му каналу коммуникации и маршруту;

Q_i , Q - объем информационного потока, перемещаемого по i -му каналу коммуникации и маршруту;

V_i , V - скорость перемещения информационного потока по i -му каналу коммуникации и маршруту.

Учитывая тот факт, что в конкретный момент времени по любому каналу коммуникации перемещаются различные информационные потоки, может возникнуть ситуация, когда доставка полного объема информации от одного участника ИКС к другому невозможна по одному каналу коммуникации, обладающему наилучшими характеристиками. В этом случае маршрутизация информационного потока предполагает его распределение по каналам коммуникации, исходя из их загруженности, которое обеспечивает достижение как можно более лучших критериев перемещения информации.

Реализуя маршрутизацию информационного потока, необходимо учитывать такой фактор, как приоритетность перемещаемого информационного потока. В соответствии с этим фактором необходимо принимать во внимание:

- приоритетный информационный поток;
- приоритетный информационный поток с учетом загруженности каналов коммуникации и маршрута;
- информационный поток с общими правилами доставки от одного участника ИКС к другому.

Маршрутизация информационного потока в условиях его приоритетности, как правило, не вызывает больших сложностей, так как в этом случае для его перемещения выделяется самый скоростной маршрут, обеспечивающий наискорейшую доставку информации от одного участника ИКС к другому. При этом если изначально каналы коммуникации, входящие в маршрут перемещения приоритетного информационного потока, были загружены другой информацией, то их передача может не только приостанавливаться, но и перераспределяться по другим маршрутам.

Маршрутизация информационного потока в условиях его приоритетности с учетом загруженности каналов коммуникации и маршрута предполагает распределение приоритетного информационного потока по наиболее скоростным маршрутам для достижения их полной загрузки. При этом сначала будет перемещаться приоритетный информационный поток в объеме, обеспечивающим полную загрузку маршрута, а после этого должно быть закончено перемещение временно приостановленных информационных потоков. Если по наиболее скоростному маршруту не удастся переместить весь объем информации, то оставшаяся ее часть перемещается по другим менее скоростным маршрутам.

Например, если предположить, что в табл. 1 альтернативные маршруты доставки информации в ИКС от участника 1 к участнику 2 проранжированы по времени и скорости перемещения приоритетного информационного потока, то, исходя из загруженности каналов коммуникации, его распределение будет следующим (табл. 2).

При таком распределении приоритетного информационного потока, перемещаемого в ИКС между участниками 1 и 2 по пяти маршрутам (табл. 2), будет доставлен весь объем информации, так как

$$Q = \Delta Q_1 + \Delta Q_2 + \Delta Q_3 + \Delta Q_4 + \Delta Q_5,$$

а критерий перемещения информации будет наилучшим, так как достигается минимальное время перемещения приоритетного информационного потока с учетом загруженности каналов коммуникации, которое определяется

$$T = \frac{\Delta Q_1}{V_1} + \frac{\Delta Q_2}{V_2} + \frac{\Delta Q_3}{V_3} + \frac{\Delta Q_4}{V_4} + \frac{\Delta Q_5}{V_5},$$

и наибольшая средняя скорость перемещения приоритетного информационного потока, которая определяется

$$V = \frac{Q}{T} = \frac{\sum_{i=1}^5 \Delta Q_i}{\sum_{i=1}^5 \frac{\Delta Q_i}{V_i}}.$$

Альтернативный вариант маршрута	Маршрут перемещения приоритетного информационного потока в ИКС между участниками 1 и 2	Загруженность маршрута по объему перемещаемых информационных потоков	Максимальный объем перемещаемого приоритетного информационного потока по маршруту в ИКС между участниками 1 и 2, Мбайт	Возможный объем перемещаемого приоритетного информационного потока по маршруту в ИКС между участниками 1 и 2, Мбайт
1	1 → 2	$k_{\text{заг}1}^Q$	$Q_{\text{max}1} = V_{\text{max}1,2} \cdot T_{\text{п}}$	$\Delta Q_1 = (1 - k_{\text{заг}1}^Q) \cdot Q_{\text{max}1}$
2	1 → 3 → 2	$k_{\text{заг}2}^Q = \max(k_{\text{заг}1,3}^Q; k_{\text{заг}2,3}^Q)$	$Q_{\text{max}2} = \min(V_{\text{max}1,3}; V_{\text{max}3,2}) \cdot T_{\text{п}}$	$\Delta Q_2 = (1 - k_{\text{заг}2}^Q) \cdot Q_{\text{max}2}$
3	1 → 4 → 2	$k_{\text{заг}3}^Q = \max(k_{\text{заг}1,4}^Q; k_{\text{заг}2,4}^Q)$	$Q_{\text{max}3} = \min(V_{\text{max}1,4}; V_{\text{max}4,2}) \cdot T_{\text{п}}$	$\Delta Q_3 = (1 - k_{\text{заг}3}^Q) \cdot Q_{\text{max}3}$
4	1 → 5 → 2	$k_{\text{заг}4}^Q = \max(k_{\text{заг}1,5}^Q; k_{\text{заг}2,5}^Q)$	$Q_{\text{max}4} = \min(V_{\text{max}1,5}; V_{\text{max}5,2}) \cdot T_{\text{п}}$	$\Delta Q_4 = (1 - k_{\text{заг}4}^Q) \cdot Q_{\text{max}4}$
5	1 → 3 → 4 → 2	$k_{\text{заг}5}^Q = \max(k_{\text{заг}1,3}^Q; k_{\text{заг}3,4}^Q; k_{\text{заг}2,4}^Q)$	$Q_{\text{max}5} = \min(V_{\text{max}1,3}; V_{\text{max}3,4}; V_{\text{max}4,2}) \cdot T_{\text{п}}$	ΔQ_5 , если $\Delta Q_5 \leq (1 - k_{\text{заг}5}^Q) \cdot Q_{\text{max}5}$
Итого				$Q = \Delta Q_1 + \Delta Q_2 + \Delta Q_3 + \Delta Q_4 + \Delta Q_5$

Рисунок 8 – Распределение приоритетного информационного потока, перемещаемого в ИКС между участниками 1 и 2 по пяти маршрутам

Маршрутизация информационного потока с общими правилами доставки от одного участника ИКС к другому предполагает распределение информационного потока по маршрутам, которые обладают не только высокой скоростью перемещения информации, но и низкой загруженностью. При распределении такого информационного потока необходимо руководствоваться следующим правилом: скоростной канал коммуникации (маршрут) с высокой загруженностью менее предпочтителен низкоскоростного канала коммуникации (маршрута) с низкой загруженностью. Это правило подтверждается тем, что перемещения информационного потока по загруженному каналу коммуникации начнется только после того, как по нему будут перемещены все ранее распределенные информационные потоки. Следовательно, время перемещения информационного потока по скоростному каналу коммуникации (маршруту) с высокой загруженностью увеличивается на время ожидания того, когда канал коммуникации (маршрут) будет свободен.

Таким образом, время доставки информации от одного участника ИКС к другому зависит также от загруженности каналов коммуникации и маршрута. Чем выше загруженность каналов коммуникации и маршрута, тем больше время доставки информации от одного участника ИКС к другому и, наоборот. Однако такая зависимость проявляется через изменение скорости перемещения информационного потока по каналам коммуникации и маршруту. То есть увеличение загруженности каналов коммуникации и маршрута сначала снижают скорость перемещения информационного потока по каналам коммуникации и маршруту, а уменьшение скорости приводит к увеличению время доставки информации от одного участника ИКС к другому и, наоборот. Уровень загруженности каналов коммуникации и маршрута может по-разному влиять на изменение скорости перемещения информационного потока, однако указанная тенденция всегда сохраняется. При этом у полностью загруженного канала

коммуникации или маршрута скорость перемещения информационного потока будет равна нулю, а у канала коммуникации и маршрута, загрузка которых равна нулю, скорость перемещения информационного потока будет максимальной. Учитывая это, зависимость скорости перемещения информационного потока по каналам коммуникации и маршруту от их загрузки может быть представлена убывающей прямой (рис. 9).

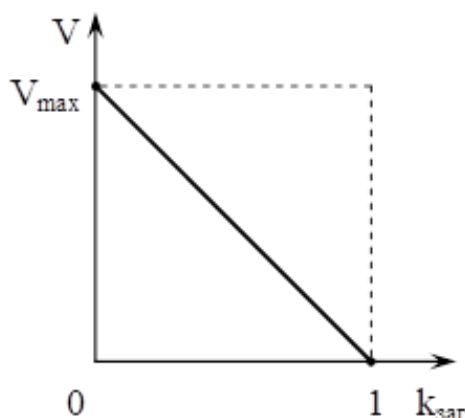


Рисунок 9 – График обратной линейной зависимости скорости перемещения информационного потока по каналам коммуникации и маршруту от их загрузки

Аналитически обратная линейная зависимость скорости перемещения информационного потока по каналам коммуникации и маршруту от их загрузки описывается следующими формулами

$$V_i = (1 - k_{\text{заг}i}) \cdot V_{\text{max}i} \quad \text{и} \quad V = (1 - k_{\text{заг}}) \cdot V_{\text{max}},$$

где $k_{\text{заг}i}$, $k_{\text{заг}}$ - загрузка i-го канала коммуникации и маршрута;

$V_{\text{max}i}$, V_{max} - максимальная скорость перемещения информационного потока по i-му каналу коммуникации и маршруту.

Тогда аналитически зависимость времени доставки информации от одного участника ИКС к другому по каналам коммуникации и маршруту описывается следующими формулами

$$T_i = \frac{Q_i}{(1 - k_{\text{заг}i}) \cdot V_{\text{max}i}} \quad \text{и} \quad T = \frac{Q}{(1 - k_{\text{заг}}) \cdot V_{\text{max}}}.$$

Следует обратить внимание на то, что проблема маршрутизации информационных потоков во многом зависит от качества ИКС, сформированной на промышленном предприятии. В свою очередь, качество ИКС, сформированной на промышленном предприятии, зависит от характеристик ее функционирования. Для поддержания конкурентных преимуществ промышленное предприятие должно постоянно совершенствовать ИКС для поддержания ее качества на требуемом уровне, что является достаточно затратным направлением развития. Поэтому рекомендуется всегда учитывать инвестиционные возможности промышленного предприятия с точки зрения развития сформированной ИКС.

Заключение

Развитие предприятий, предусматривающее постоянное совершенствование их деятельности. На современном этапе развития наиболее актуальным является цифровизация деятельности хозяйствующих субъектов, так как это направление является наиболее перспективным для формирования конкурентных преимуществ промышленного предприятия.

В результате проведенного исследования рекомендовано постоянно отслеживать новые тенденции в развитии ИКС и по возможности внедрять наиболее важные из них в управление взаимодействием в системах «человек – информация». Основной проблемой поддержания высокого уровня развития ИКС на промышленном предприятии является ограниченность инвестиционных ресурсов. Поэтому менеджеры должны всегда решать оптимизационную задачу, связанную с выбором наилучшего варианта совершенствования ИКС в условиях ограниченности инвестиционных ресурсов. По нашему мнению, на сколько успешно будет решена эта задача на промышленном предприятии, на столько удастся повысить уровень развития ИКС.

Библиография

1. Афанасьев В.Н., Постников А.И. Информационные технологии в управлении предприятием: учебное пособие. М.: МИЭМ, 2006. 412 с.
2. Гаврилов М.В., Климов В.А. Информатика и информационные технологии: учебное пособие. 4-е изд., перераб. и доп. М.: Юрайт, 2016. 383 с.
3. Гафарова З.Р., Акчурина А.М. Цифровизация производства на предприятиях нефтегазовой отрасли // Евразийский юридический журнал. 2019. № 6 (133). С. 408-410.
4. Евсюков В.В., Хлынин Э.В. Оценка стоимости компании в парадигме цифровой экономики // Известия Тульского государственного университета. Науки о земле. 2019. Выпуск 2. С. 376-391.
5. Кочетков А.А., Казанцева Я.Ю., Чернышева И.Н. Цифровизация производственных процессов на крупных промышленных предприятиях // Управление качеством. 2022. № 2. С. 22-29.
6. Куприянов Д.В. Информационное и технологическое обеспечение профессиональной деятельности: учебное пособие. М.: Юрайт, 2017. 255 с.
7. Лебедевская А.В., Харкевич И.С. Цифровизация производства на предприятиях промышленности: экономическая сущность и значение // Школа университетской науки: парадигма развития. 2020. № 4 (38). С. 82-87.
8. Максимов Н.В., Партыка Т.Л., Попов И.И. Информационные технологии в профессиональной деятельности: учебное пособие. М.: Форум, 2010. 496 с.
9. Павлов В.А. Цифровизация производственных процессов на металлургических предприятиях российской федерации // Прогрессивная экономика. 2023. № 5. С. 64-75.
10. Синаторов С.В. Информационные технологии: учебное пособие. М.: Альфа-М, ИНФРА-М, 2009. 336 с.
11. Статейнов Р.А. Информационно-коммуникативные технологии в управлении организацией // Двигатель. 2014. № 2 (92). С. 50-52.
12. Трайнев В.А. Новые информационные коммуникационные технологии в образовании: учебное пособие. 2-е изд. М.: ИТК «Дашков и К°», 2013. 320 с.
13. Трофимов О.В., Саакян А.Г. Цифровизация и проблемы обеспечения информационной безопасности на предприятиях оборонно-промышленного комплекса российской федерации // Креативная экономика. 2023. Т. 17. № 9. С. 3331-3344.
14. Хлынин Э.В. Исследование уровня развития информационно-коммуникационных технологий, используемых в управлении предприятием // Вектор развития управленческих подходов в цифровой экономике: Материалы II Всероссийской научно-практической конференции, Казань, 05 декабря 2019 г. / Казанский инновационный университет имени В.Г. Тимирязева. 2020. С. 262-268.
15. Хлынин Э.В., Коровкина Н.И. Информационно-коммуникационные технологии в управлении основными средствами предприятия // Российский журнал менеджмента. 2022. Т. 20, № 4. С. 566-584.
16. Шемякин А.В., Мартынушкин А.Б., Лозовая О.В., Пашканг Н.Н., Терентьев В.В. Комплексная цифровизация на предприятиях автомобильного транспорта: перспективы внедрения // Грузовик. 2023. № 6. С. 30-34.

Implementation of Digital Technologies at Industrial Enterprises Based on the Formation of an Information and Communication Network

Eduard V. Khlynin

Doctor of Economic Sciences, Professor,
Professor of the Department of Finance and Management,
Tula State University,
300012, 92, Lenina ave., Tula, Russian Federation;
e-mail: hklynin@yandex.ru

Irina V. Sycheva

Doctor of Economic Sciences, Professor,
Professor of the Department of Finance and Management,
Tula State University,
300012, 92, Lenina ave., Tula, Russian Federation;
e-mail: sychova15@mail.ru

Nikolai A. Shul'zhenko

Doctor of Technical Sciences, Professor,
Professor of the Department of Finance and Management,
Tula State University,
300012, 92, Lenina ave., Tula, Russian Federation;
e-mail: nik.shulzhenko46@mail.ru

Elena V. Bykovskaya

Doctor of Economic Sciences, Associate Professor,
Professor of the Department of Management,
Tambov State Technical University,
392000, 106/5, Sovetskaya str., Tambov, Russian Federation;
e-mail: elenarafa@yandex.ru

Abstract

The relevance of the study is substantiated by the need for more active implementation of digital technologies in the production activities of an industrial enterprise to intensify its economic development in modern economic conditions. The subject of the research is the information flows and communication channels formed by an industrial enterprise to ensure high-quality interaction with both the internal and external environment. The aim of the study is to develop theoretical concepts and methodological provisions related to substantiating the prospects for the digital development of an industrial enterprise based on the formation of an information and communication network. Comprehensive, systemic, and network approaches were used to obtain the research results. As a result of the conducted research, the types of information and communication networks and the main characteristics inherent in communication channels and

information flows were established. For the study of a multi-level information and communication network, it is recommended to reduce the number of its levels by forming several information and communication subnets that unite participants with identical conditions for communication interaction among themselves. A list of the main characteristics inherent in various elements of the information and communication network has been determined, which includes the maximum speed of information transmission over the communication channel, the capacity of the communication channel, the volume of the information flow, the time and speed of information flow movement, as well as the load of the communication channel in terms of volume and time of information flow movement. The main task solved in the information and communication network is formulated, and a solution for routing information flows at an industrial enterprise is proposed. The area of application of the research results is the management activity of an industrial enterprise aimed at increasing the efficiency of communication channels and the movement of information flows. As a result of the conducted research, a conclusion is formulated on the need to intensify activities related to the implementation of digital technologies at industrial enterprises.

For citation

Khlynin E.V., Sycheva I.V., Shul'zhenko N.A., Bykovskaya E.V. (2026) Vnedrenie tsifrovyykh tekhnologiy na promyshlennyykh predpriyatiyakh na osnove formirovaniya informatsionno-kommunikatsionnoy seti [Implementation of Digital Technologies at Industrial Enterprises Based on the Formation of an Information and Communication Network]. *Ekonomika: vchera, segodnya, zavtra* [Economics: Yesterday, Today and Tomorrow], 16 (4A), pp. 335-354. DOI: 10.34670/AR.2026.63.79.033

Keywords

Information and communication network, digitalization, information flow, communication channel, routing, information flow routing criterion, isoquant of the volume of the moved information flow.

References

1. Afanasyev V.N., Postnikov A.I. (2006) Informatsionnyye tekhnologii v upravlenii predpriyatiem [Information Technologies in Enterprise Management]. Moscow: MIEM, p. 412.
2. Gavrilov M.V., Klimov V.A. (2016) Informatika i informatsionnyye tekhnologii [Computer Science and Information Technologies]. Moscow: Yurait, p. 383.
3. Gafarova Z.R., Akchurina A.M. (2019) Tsifrovizatsiya proizvodstva na predpriyatiyakh neftegazovoy otrasli [Digitalization of Production at Oil and Gas Enterprises]. In: *Yevraziyskiy yuridicheskiy zhurnal* [Eurasian Law Journal]. № 6 (133). Pp. 408-410.
4. Evsyukov V.V., Khlynin E.V. (2019) Otsenka stoimosti kompanii v paradigme tsifrovoy ekonomiki [Company Valuation in the Digital Economy Paradigm]. In: *Izvestiya Tul'skogo gosudarstvennogo universiteta. Nauki o zemle* [Bulletin of Tula State University. Earth Sciences]. Issue 2. Pp. 376-391.
5. Kochetkov A.A., Kazantseva Ya.Yu., Chernysheva I.N. (2022) Tsifrovizatsiya proizvodstvennykh protsessov na krupnykh promyshlennyykh predpriyatiyakh [Digitalization of Production Processes at Large Industrial Enterprises]. In: *Upravleniye kachestvom* [Quality Management]. № 2. Pp. 22-29.
6. Kupriyanov D.V. (2017) Informatsionnoye i tekhnologicheskoye obespecheniye professional'noy deyatel'nosti: uchebnoye posobiye [Information and Technological Support of Professional Activities]. Moscow: Yurait, p. 255.
7. Lebedevskaya A.V., Kharkevich I.S. (2020) Tsifrovizatsiya proizvodstva na predpriyatiyakh promyshlennosti: ekonomicheskaya sushchnost' i znachenie [Digitalization of Production at Industrial Enterprises: Economic Essence and Significance]. In: *Shkola universitetskoy nauki: paradigma razvitiya* [School of University Science: Development Paradigm]. № 4 (38). Pp. 82-87.
8. Maksimov N.V., Partyka T.L., Popov I.I. (2010) Informatsionnyye tekhnologii v professional'noy deyatel'nosti: uchebnoye posobiye [Information Technologies in Professional Activity]. Moscow: Forum, p. 496.

9. Pavlov V.A. (2023) Tsifrovizatsiya proizvodstvennykh protsessov na metallurgicheskikh predpriyatiyakh rossiyskoy federatsii [Digitalization of Production Processes at Metallurgical Enterprises of the Russian Federation]. In: *Progressivnaya ekonomika* [Progressive Economy]. № 5. Pp. 64-75.
10. Sinatorov S.V. (2009) Informatsionnyye tekhnologii: uchebnoye posobiye [Information Technologies]. Moscow: Alfa-M, INFRA-M, p. 336.
11. Stateynov R.A. (2014) Informatsionno-kommunikativnyye tekhnologii v upravlenii organizatsiyey [Information and Communication Technologies in Organization Management]. In: *Dvigatel'* [Dvigatel]. № 2 (92). Pp. 50-52.
12. Trainev V.A. (2013) Novyye informatsionnyye kommunikatsionnyye tekhnologii v obrazovanii: uchebnoye posobiye [New Information and Communication Technologies in Education]. Moscow: ITK «Dashkov i K^o», p. 320.
13. Trofimov O.V., Saakyan A.G. (2023) Tsifrovizatsiya i problemy obespecheniya informatsionnoy bezopasnosti na predpriyatiyakh oboronno-promyshlennogo kompleksa rossiyskoy federatsii [Digitalization and problems of ensuring information security at enterprises of the defense-industrial complex of the Russian Federation]. In: *Kreativnaya ekonomika* [Creative Economy]. Vol. 17. № 9. Pp. 3331-3344.
14. Khlynin E.V. (2020) Issledovaniye urovnya razvitiya informatsionno-kommunikatsionnykh tekhnologiy, ispol'zuyemykh v upravlenii predpriyatiyem [Study of the level of development of information and communication technologies used in enterprise management] In: *Vektor razvitiya upravlencheskikh podkhodov v tsifrovoy ekonomike: Materialy II Vserossiyskoy nauchno-prakticheskoy konferentsii* [Vector of development of management approaches in the digital economy: Proceedings of the II All-Russian scientific and practical conference]. Kazan Innovative University named after V.G. Timiryasov. Pp. 262-268.
15. Khlynin E.V., Korovkina N.I. (2022) Informatsionno-kommunikatsionnyye tekhnologii v upravlenii osnovnymi sredstvami predpriyatiya [Information and communication technologies in the management of enterprise fixed assets]. In: *Rossiyskiy zhurnal menedzhmenta* [Russian Management Journal]. Vol. 20, № 4. Pp. 566-584.
16. Shemyakin A.V., Martynushkin A.B., Lozovaya O.V., Pashkang N.N., Terentyev V.V. (2023) Kompleksnaya tsifrovizatsiya na predpriyatiyakh avtomobil'nogo transporta: perspektivy vnedreniya [Comprehensive digitalization at automobile transport enterprises: implementation prospects]. In: *Gruzovik* [Gruzovik]. № 6. Pp. 30-34.