

НАУЧНО • ТЕХНИЧЕСКАЯ ИНФОРМАЦИЯ

Серия 2. ИНФОРМАЦИОННЫЕ ПРОЦЕССЫ И СИСТЕМЫ
ЕЖЕМЕСЯЧНЫЙ НАУЧНО-ТЕХНИЧЕСКИЙ СБОРНИК

Издается с 1961 г.

№ 1

Москва 2020

ОБЩИЙ РАЗДЕЛ

УДК [37.018.43:004.85]:008

А.Д. Урсул

Цифровизация и переход к устойчивому развитию: проблема их интеграции в образовательном контексте

Рассмотрено взаимодействие процесса цифровизации образования и развертывания образования для устойчивого развития, а также аргументирована необходимость исследования такой интеграции. Выявлены и проанализированы противоречия этих двух мегатрендов мирового образования. Исследуется вопрос: как более эффективно использовать цифровизацию для изменения содержания образования с целью перехода к устойчивому развитию

Ключевые слова: глобальная устойчивость, информатизация, информационный подход, образование для устойчивого развития, онлайн-образование, теория поколений, умное образование, устойчивое развитие, футуризация, цифровизация

ВВЕДЕНИЕ

Уже в этом веке мировое образование ожидают кардинальные трансформации, которые в значительной степени могут изменить (и даже сменить) традиционные формы и способы образования, наполнить его принципиально новым содержанием. Эти преобразования в существенной степени связаны с инфор-

матизацией и её новым этапом – цифровизацией, а также переходом к устойчивому развитию (УР), суть которого состоит в том, чтобы развитие нынешнего поколения не шло в разрез с интересами будущих поколений. Упомянутые два фундаментальных мегатренда цивилизационного развития проявляются в разной степени и масштабах. Они порождают процессы, перспективы развёртывания которых способ-

ны привести (и уже начинают приводить) как к определённым достижениям, так и к негативным последствиям, которые ещё предстоит исследовать. Формируется своего рода «образовательная ловушка» начавшегося «столкновения» между формой и содержанием образования.

Проблема информатизации и цифровизации образования занимает большое место в научной литературе, в том числе, посвященной и проблематике образования. Другая тема – образование для устойчивого развития (ОУР) – затрагивается намного реже. Это объясняется рядом обстоятельств. Прежде всего, тем, что цифровизация образования развивается гораздо быстрее и масштабнее, чем образование для устойчивого развития.

Такая ситуация обусловлена тем, что ОУР получило свой формальный старт лишь с 1992 г., а информатизация образования развивалась до этого уже несколько десятилетий. Хотя этап цифровизации по историческим масштабам времени развернулся недавно, но он явился естественным продолжением предшествующих этапов информатизации. А образование для устойчивого развития, выступая принципиально новым феноменом для мирового образования, стало формироваться и развёртываться по всему миру лишь в начале третьего тысячелетия. К этому следует добавить, что экономика активно поддерживает информатизацию, в то время как переход к устойчивому развитию воспринимается бизнесом не столь охотно, поскольку это связано с дополнительными экологическими и другими издержками, снижающими прибыль. Более быстрое развитие информатизации в любой сфере связано с тем, что информационные процессы гораздо менее «отягощены» вещественно-энергетическими составляющими, которые являются главными при переходе к устойчивому развитию, особенно в его экологическом измерении.

В совокупности проблемы процессов цифровизации в образовании и образования для устойчивого развития ранее в литературе практически не рассматривались, поскольку исследователи каждого из упомянутых направлений не обращали внимания на их взаимосвязь. Последняя не осознаётся не только в образовании, но и во многих других сферах деятельности. В настоящей статье впервые обращается внимание на исследование возможных последствий их интеграции в образование, в результате которой возникают определённые противоречия, которые далее анализируются.

Поскольку в статье поднимается проблема возможных последствий цифровизации (в основном как формы) и наполнения контента идеями устойчивого развития (как нового содержания), то литература далее обсуждается только в этих ракурсах для постановки проблемы их интеграции в образование. Поэтому основная цель статьи – показать и аргументировать необходимость более детального исследования интеграции упомянутых мегатрендов и убедить, насколько важно обеспечить их более тесную взаимосвязь. По мнению автора, проблема изучения такой интеграции чрезвычайно актуальна, поскольку существенно влияет как на видение возможных путей и перспектив мирового образования, так и на дальнейшее развитие цивилизации в целом.

ИНФОРМАЦИОННАЯ ПРИРОДА ИССЛЕДОВАТЕЛЬСКОГО ПОДХОДА

Образование по своей природе имеет социально-информационный характер и представляет целенаправленный организованный процесс передачи и усвоения человеком знаний, умений, навыков и других способов включения индивида в социальную деятельность [1]. Это двустороннее социально-культурное взаимодействие, в котором участвуют обучающие и обучаемые в их совместной информационно-коммуникативной деятельности. Благодаря информационно-цифровым технологиям образование переносится в электронную среду за пределы этого взаимодействия, что может быть положено в основу концепции образования как социально-информационного процесса, причём в этом случае появляется возможность создания более широкой концептуальной модели образования, сопрягающейся с окружающей информационной средой, особенно при погружении в глобальное интернет-пространство. Эта особенность образования обусловила применение информационного подхода в его широком понимании как одного из приоритетных в нашем исследовании.

Цифровизация видится не только как новый этап информатизации. Она предполагает использование современных методов и технологий, широко использующих идеи разнообразия, дискретности, вычислимости, программируемости, алгоритмичности. Речь идёт о развёртывании этапа информатизации, демонстрирующего плодотворность атрибутивной концепции информации, связывающей это понятие с различием и разнообразием [2, 3]. Актуальность и востребованность цифровизации также объясняется возрастанием в науке дискретных воззрений, о чём свидетельствует тот факт, что «в последнее время значительно выросла роль работ по построению дискретных моделей, замечается значительный рост исследований как по теоретическим разделам дискретной математики, так и по ее приложениям» [4, с. 480]. Но идея дискретности уже вышла за пределы математики и физики и стала приобретать всеобъемлющий характер благодаря представлению информации в ракурсе предложенной ещё У.Р. Эшби концепции разнообразия. В рамках этого подхода в настоящей статье автор применяет разработанный им ранее атрибутивный «дискретно-разнообразностный» подход к пониманию информатизации и процесса её цифровизации.

Хотя в принципе большая часть мирового образования использует науку в качестве своего предметного содержания, но, в принципе, в различных формах образования циркулирует более широкая – «культурная информация» (особенно в формах искусства, религии и т.д.). И это связано с тем, что культура, представляемая в качестве внегенетического, внеорганизменного, наиндивидуального информационного явления, это главный информационный компонент, благодаря которому появилось, существует и развивается человечество. Культура видится в качестве особого наиндивидуального информационного процесса, характеризующего сущность, природу всего социального [5]. На современном этапе речь уже идёт не только об информационной природе культуры, но и цифровой форме её хранения, накопления, переработки, о других

формах движения информации, что начинает всё больше отражаться и в образовании.

Согласно развиваемой автором социально-информационной концепции культура возникает тогда, когда появляется само человечество, выделившись из животного мира. Культурогенез оказывается началом антропосоциогенеза, представляя в нём «основное ядро» и средство социальной и социоприродной эволюции. Если в ходе биоэволюции информационные процессы концентрировались лишь в самом организме, в основном в его геноме, то накопление и преобразование информации в культурогенезе было вынесено преимущественно за его пределы, во внешнюю среду.

Культура «создала» в своём лоне образование в его стихийной и формальной формах именно для того, чтобы с его помощью она могла сохраняться и продолжать своё существование на неопределённо долгие времена, формируя при этом особенности его функционирования. В этом смысле дальнейшая самоорганизация культуры оказывается необходимым фактором обеспечения безопасности и развития всей цивилизации в целом, «вписывая» социальную ступень в глобально-универсальную эволюцию [6]. Это обстоятельство обусловило использование в статье культурно-информационного подхода, разработанного в рамках нового направления культурологии – информационной культурологии [7].

Приведенные выше средства и материалы связаны в основном с организационно-педагогическими формами, способами и цифровыми технологиями, но в гораздо меньшей степени – с контентом образования. Однако в статье речь идёт не только об информационных технологиях, организационных и педагогических способах реализации образовательного процесса, но и о его предметно-содержательной составляющей, связанной с идеями устойчивого развития. Уже было осознано, что современное естественно-стихийное развитие может привести к антропогенной катастрофе и возможной гибели человечества. Поэтому возникла идея изменить это развитие, трансформировав его в безопасную устойчивую форму для выживания и сохранения цивилизации.

В настоящее время растёт озабоченность из-за того, что модель современного мирового развития является неустойчивой и небезопасной. Мировое общество столкнулось с необходимостью перехода от модели и форм развития, ведущих к чрезмерному потреблению ресурсов, деградации экосистем и социальной несправедливости, к модели устойчивого развития, направленной на выживание, улучшение благополучия населения, проживающего на нашей планете и сохранение её биосферы. Переход к новой стратегии развития цивилизации необходим для дальнейшего существования всего человечества в целом. Вместе с тем, в плане обсуждаемых проблем речь, по сути, идёт о движении к «устойчивой культуре», которая будет передаваться, в основном, с помощью образования для устойчивого развития. Эти соображения привели к использованию материалов и методов, связанных с исследованием устойчивого развития, его отражения в образовательном процессе, что также обусловило применение ряда методов про-

гнозирования образования и исследования его возможного будущего.

Автор также использует и другие методы, включая интегративно-междисциплинарный, системный и глобальный подходы, ценностно-целевой, исторический и эволюционный способы исследования, методы концептуального моделирования и исследования будущего, а также ряд других общенаучных способов исследования.

ИНФОРМАЦИОННЫЙ ХАРАКТЕР ОБРАЗОВАНИЯ И ЕГО МЕГАТRENДЫ

Образование, несмотря на то, что оно имеет свою материально-техническую и вещественно-энергетическую составляющие, в первую очередь, – одно из важнейших информационно-коммуникативных и управленческих процессов в системе «человек-общество-природа». И именно все формы движения «образовательной информации» оказываются наиболее приоритетными по отношению к материально-энергетическим и другим «неинформационным» взаимодействиям. Информационная составляющая образования является основной его характеристикой, и это становится более очевидным при рассмотрении процессов информатизации и футуризации образования, развития инновационно-опережающих процессов. Информационная природа образования в существенной степени обуславливает активное и быстрое использование информационных технологий, существенно повышающих его социальную эффективность.

Хотя образование представляет лишь одну из составляющих культурно-цивилизационного процесса, тем не менее, оно появилось как одна из основных форм не только социализации индивида в настоящем и происходящем, но и для продолжения культуры в будущем. Культурная информация как переносится от предыдущих и существующих поколений к потомкам, так и создаётся нынешними поколениями для выживания и дальнейшего поступательного развития всего человечества. Образование выступает одним из основных векторов «движения» цивилизации в будущее и зависит не только от технологий и форм этого движения, но главным образом – от контента «образа» этого желаемого будущего.

С течением времени происходит существенное расширение информационной базы образования благодаря ускорению процесса информатизации и становлению его электронной формы, особенно на этапе цифровизации. В настоящее время лидером информационного тренда в сфере образования является его составляющая в виде так называемого «умного образования» (*smart education*) [8, 9], которое, на взгляд автора, в свою очередь, является целостно-системной характеристикой всего электронного направления в образовании. Благодаря «умному образованию» и другим информационно-коммуникативным *smart*-процессам, в значительной степени реализуется «перенос» обучения в интерактивную электронно-цифровую среду. На смену «традиционным» информационным технологиям приходят смарт-технологии, характеризующиеся набором свойств, позволяющих адаптировать то или иное устройство к потребностям пользователя в ходе его эксплуатации [9, с. 45].

Причём именно на организационно-технологической базе «умного образования» происходит становление не только дистанционных (в пространстве), но и опережающих (во времени) форм обучения, что способствует усилению информационной ориентации образования, дальнейшему развитию информационной культуры общества. *Smart*-образование будет представлять образовательную систему, обеспечивающую на основе Интернета взаимодействие с окружающей средой и процесс обучения и воспитания для приобретения необходимых знаний, навыков, умений и компетенций [9, с. 48]. Такое образование не может и не должно сводиться к технологиям и организационным формам и средствам, а обязано включать в себя и содержательную составляющую.

Заметим, что термин «*smart education*» представляется не очень удачным, поскольку использование цифровых технологий и перенос обучения в интерактивную электронную среду в настоящее время является лишь расширением возможностей и способов получения информации за пределами традиционного образования. Вместе с тем это свойство, позволяющее адаптировать объект или процесс к изменениям в окружающей среде, становится всё более востребованным. Хотя использование термина «*smart*» – в какой-то степени дань моде, поскольку речь в основном идёт об использовании информационно-коммуникативных технологий и элементов искусственного интеллекта, тем не менее, можно видеть в перспективе его развёртывания некоторую первоначальную модель будущего «ноосферного образования» (как наиболее «разумного» образования) в грядущую эпоху ноосферы. Ведь «умное» образование предполагает не только использование новых технологий (с приставкой “*smart*”), но и подразумевает более «умные» трансформации во всех интеллектуальных измерениях, в том числе, и в предметно-содержательном ракурсе.

ЦИФРОВЫЕ ТЕХНОЛОГИИ КАК НОВЫЙ ЭТАП ИНФОРМАТИЗАЦИИ ОБРАЗОВАНИЯ

Цифровые технологии в образовании быстро и масштабно развиваются благодаря тому, что имеют ряд важных позитивных особенностей, среди которых можно выделить следующие в системе высшего образования.

1. Благодаря онлайн-образованию, тем более в его главной – дистанционной – форме, человек в любой точке мира (особенно в труднодоступных регионах) может получить образование в самых различных его видах, что в перспективе обеспечивает примерно одинаково качественное образование для всех людей, независимо от географических, экономических, социокультурных факторов и ограничений. Эта особенность позволяет охватить большее число обучаемых.

2. Поскольку все люди учатся по-разному, то онлайн-образование может быть адаптировано к особенностям каждого обучающегося. Учитывается индивидуальная направленность обучения. Ритм и график выбирает сам пользователь. Нет необходимости под кого-либо подстраиваться, нет никаких ограничений на выбор курсов и программ.

3. Благодаря онлайн-образованию появляется возможность учиться у лучших преподавателей ведущих вузов, использовать различные удаленные программы и курсы от престижнейших и крупнейших образовательных организаций; можно слушать лекции высококлассных специалистов, задавать вопросы, общаться с коллегами по онлайн-обучению. Важна также возможность обратной связи для получения знаний от преподавателя в режиме онлайн при дистанционном обучении. Эти особенности ведут к повышению качества всего мирового образования.

4. Онлайн-образование позволяет существенно сократить затраты на обучение (а при индивидуальном выборе курса вне учебного заведения можно даже освоить его бесплатно, повысив при этом свою компьютерную грамотность). Этот важный фактор способствует трансформации традиционного образования в более перспективную форму «смешанного» образования.

Таким образом, онлайн-образование характеризуется актуальностью, практичностью, гибкостью, мобильностью, доступностью, «дистанционностью», удобством, эффективностью. Все это приводит к росту возможностей и средств, предоставленных новыми цифровыми технологиями, инновационными педагогическими формами и средствами. Такое обучение при быстром росте количества пользователей онлайн-курсов и программ постепенно становится частью как сегодняшнего, так и будущего образования глобализирующегося мира.

Вместе с тем у онлайн-образования имеется ряд особенностей, которые связаны с тем, что в нём не актуализируются все функции образования, выявленные педагогической наукой, а акцент смещён в сторону обучения. Онлайн-курсы, видеолекции, подкасты и иные новые технологии вытесняют из образовательного процесса непосредственный контакт преподавателя с обучающимися, уменьшают возможности общения (например, ограничена или полностью отсутствует возможность пользователя задавать все интересующие его вопросы и получать на них ответы) и, в основном, обеспечивают стандартизированную передачу заранее подготовленного материала [10]. Кроме того, рост эффективности образования за счёт цифровых технологий зачастую оценивается, главным образом, по отношению к самому образованию, тогда как его роль важно видеть в рамках всего общества в целом. По этой причине элитные университеты за рубежом не спешат полноценно включать онлайн-составляющую в своё, считающееся наиболее престижным, образование, предпочитая живое общение педагога и студента.

Онлайн-образование не является в полной мере альтернативой традиционному классическому образованию и в принципе не может его заменить, поскольку делает акцент в основном на обучении и информационное развитие личности. Лучшие результаты даёт смешанный формат [11], в котором с течением времени увеличивается его электронная составляющая. Ведь образование – это не просто обучение, это также воспитание и развитие индивида (не только в информационном ракурсе), его социально-культурная адаптация к настоящему и будущему. Электронные технологии

только тогда эффективно «впишутся» в существующее мировое образование, когда они будут способствовать более быстрой и масштабной реализации всех социальных функций образования.

Работа с электронными ресурсами и технологиями станет более эффективной, если она будет сопряжена с обсуждением тем как на практических занятиях в аудитории, так и вне рамок этих занятий в постаудиторное время (технологии «перевернутого класса» и т.п.). Практические занятия благодаря использованию электронных средств и ресурсов важны для формирования навыков работы с информацией. Вместе с тем интерактивные образовательные технологии существенно расширяют круг интеллектуальных и организационно-педагогических способов и форм, используемых в процессе обучения.

Необходимо учитывать, что при традиционной форме образования может возникнуть ситуация: на момент, когда многие научные знания начинают применяться в образовании, они оказываются устаревшими и малопригодными для борьбы с кризисными явлениями и защиты от существующих угроз и опасностей. Использование в образовательном процессе электронных средств, технологий и ресурсов снижает этот недостаток и способствует повышению эффективности обучения при условии оптимального сочетания электронно-цифровых составляющих с другими традиционными и инновационными средствами обучения.

Такой «электронный тренд» в образовании как перенос обучения из оффлайна в онлайн – своего рода «возвращение» к первоначальной форме «образования» как обучения самой жизнью и окружающей средой, но уже на электронно-цифровом уровне. Образование было присуще человечеству с самого начала его появления. Но это было обучение самой жизнью. Процессы и события окружающей среды естественным образом выполняли «образовательную функцию»: если человек делал из их появления правильные выводы, то продолжал существовать и более успешно достигать жизненных результатов. Формальное образование появилось гораздо позже – всего около двух с половиной тысяч лет тому назад.

Неформальное обучение и дальше продолжало существовать в той или иной форме на протяжении всей жизни индивида. В настоящее время «основным результатом неформального образования является получение в краткие сроки актуальных знаний и компетенций для повседневной жизни и профессиональной деятельности» [12, с. 303].

НОВЫЙ ВЕКТОР ОБРАЗОВАНИЯ: ДВИЖЕНИЕ К ГЛОБАЛЬНОЙ УСТОЙЧИВОСТИ

Устойчивое развитие – это желаемое развитие, в основе которого лежит ориентация на гармонию как в самом обществе, так и при взаимодействии с природой. Такой подход позволит в глобальном масштабе удовлетворять потребности нынешних поколений без ущерба для будущих поколений удовлетворять свои собственные потребности. Причём речь идёт не просто об экологических угрозах (хотя, прежде всего о них), а обо всех возможных опасностях для существования человечества, которые ранее не принима-

лись во внимание. Приведенная характеристика устойчивого развития имеет экзистенциальную сущность, демонстрируя, что новый вектор развития цивилизации направлен на продолжение существования не только отдельного человека, но и всего человечества в целом.

Такая смена акцентов не означает отвлечение внимания от отдельного индивида, а свидетельствует о том, что без обеспечения условий для продолжения существования всего человечества никакая его часть (в том числе и отдельная личность) не сможет полноценно жить и развиваться. Это существенный сдвиг в осознании концепции удовлетворения интересов отдельного человека по отношению ко всему человечеству, означающий видение будущего не только в эгоцентрическом масштабе и измерении, но и в перспективе всего человечества в целом. Происходит формирование принципиально новой формы гуманизма, касающейся сущности и существования человечества как особой ступени эволюции не только на нашей планете, но и в обозримой Вселенной [6].

Вот почему новая модель культурно-цивилизационного развития представляется более гуманной в глобальной перспективе. Удовлетворение потребностей будущих поколений выражает не всеми сейчас осознанную своего рода опережающую потребность всего человеческого рода, касающуюся выживания и темпорального продолжения существования на планете и за её пределами. Но пока будущие поколения из традиционного понимания образования «выпадают» – они отсутствуют и не принимают решений. Поэтому, согласно принципу темпоральной целостности, в образовательном процессе должны быть связаны все поколения – уходящие, ныне активно действующие и будущие, в том числе ещё не появившиеся. Устойчивое развитие как раз ориентирует на такую связь поколений, а это требует более корректной трактовки образования, которое могло бы реализовать «спасительную» функцию для всей цивилизации.

Именно поэтому в сознание всего населения планеты необходимо вводить знания и понимание необходимости предотвращения катастроф, а также навыки антикризисного управления, с тем, чтобы не допустить возникновения необратимых катаклизмов, губительных для всего человечества. А это в необходимых масштабах возможно в основном через образование и просвещение, но в существенно трансформированном виде [13-18]. Но знания об устойчивом развитии (УР) в образовании придётся вводить из формирующегося направления науки об устойчивом развитии, причём в его глобальном измерении [19-21].

Конечно, современное образование не может превратиться в образование для устойчивого развития в короткий промежуток времени – потребуются, как минимум, несколько поколений, с постоянно возрастающим числом лиц, принимающих ответственные решения и осознающих необходимость дальнейшего движения к глобальной устойчивости. Но в принципе ясно, что в темпоральном измерении образование для устойчивого развития (ОУР) должно сформироваться раньше и быстрее, чем само устойчивое развитие в глобальном масштабе. Ведь ОУР является приоритетным и главным механизмом перехода к устойчивому развитию, и, тем самым, образование для УР,

как развёртывающийся глобальный процесс, должно опережать становление устойчивого будущего в его «полном формате». Важно, чтобы в процессе своей эволюции образование для устойчивого развития выполняло наиболее важную функцию – активно участвовало в реализации новой цивилизационной модели (формы) развития и тем самым превратилось бы в реальное средство спасения планеты и человечества от надвигающихся масштабных катастроф для достижения глобальной устойчивости.

Всё больше становится очевидным, что ОУР оказывается не только предпосылкой для достижения устойчивого будущего, но и приоритетно-опережающим его средством. Можно сказать, что переход к УР начинается со становления образования в интересах устойчивого развития, которое уже формирует поколения, в той или иной степени начинающие осознавать необходимость активного движения в направлении глобальной устойчивости. Становление ОУР уже было апробировано при реализации программы Десятилетия ОУР, объявленной на 2005 – 2014 гг. на Генеральной Ассамблее ООН в 2002 г., а также в ходе выполнения Стратегии Европейской Экономической Комиссии ООН для образования в интересах устойчивого развития, которая была принята в 2005 г. и успешно завершена ещё в 2014 г. [15, 22].

В дальнейшем процесс организационного становления ОУР стал немного опережать процесс перехода к УР, поскольку и Всемирная конференция ЮНЕСКО по ОУР в Айти-Нагое (Япония – 2014 г.) [23] и Всемирный форум по вопросам образования в Инчхоне (Республика Корея – 2015 г.) [24] (принявшие Глобальную программу действий в интересах устойчивого развития [25]), состоялись раньше, чем Саммит по устойчивому развитию. Последний прошёл в рамках 70-й Генеральной ассамблеи ООН в 2015 г. в Нью-Йорке, когда была принята Повестка дня в области устойчивого развития до 2030 г., в которую были включены новые семнадцать глобальных Целей устойчивого развития [26]. Среди них была выделена цель: «Обеспечить всеохватное и справедливое качественное образование и поощрять возможности обучения на протяжении всей жизни для всех».

В России в июне 2015 г. в г. Ханты-Мансийске состоялась Международная конференция по образованию в интересах устойчивого развития, которая приняла Ханты-Мансийские рекомендации по реализации упомянутой Глобальной программы действий по образованию в интересах устойчивого развития [27]. Таким образом, образование для устойчивого развития видится в качестве одного из ключевых инструментов достижения Целей устойчивого развития. Наступает этап, при котором образование для устойчивого развития разворачивается уже не в отдельных странах и регионах, а по всему земному шару и начинает интегрироваться с глобальными исследованиями и глобальным образованием.

В этой связи встает вопрос о возможности организации экспертизы на готовность современных проектов образования, коммуникации, управления и т.д. к переходу к устойчивому развитию (УР-экспертиза). Речь идет об экспертизе не только процессов перехода к УР, их последствий или даже возможности реа-

лизации таких проектов, но и о самой их необходимости. Важно выделить критерии и нацеленность такой эволюционно-гуманитарной экспертизы, с тем, чтобы процесс движения к глобальной устойчивости реализовался наиболее эффективно.

ПРОТИВОРЕЧИВЫЙ ХАРАКТЕР ВЗАИМОСВЯЗИ ИССЛЕДУЕМЫХ МЕГАТRENДОВ В ОБРАЗОВАНИИ

Очевидно, что без широкого развития информатизации и особенно этапа цифровизации не будет быстрых результатов на пути в безопасное и желаемое будущее, в том числе и в области образования. Однако, в настоящий момент в исследованиях этих проблем технические вопросы организации учебного процесса часто ставятся на первый план в ущерб аспектам, связанным с методологией или содержанием smart-обучения [28].

Цифровизация ускоряет темпы и расширяет масштабы развития образования, и в перспективе уже мыслимо создание цифровых двойников в образовании. Цифровой двойник – это цифровая модель того или иного объекта (например, какого-либо фрагмента процесса образования), которая повторяет то, что реализует ее существующий прообраз, и позволяет исследовать функционирование последнего. Информационный виртуальный прототип становится возможным благодаря развитию цифровых технологий, существенно увеличивших вычислительные мощности и снизивших стоимость их использования. Эти технологии пока применяются в основном в бизнесе, но уже ставится вопрос о возможности использования цифровых двойников в образовании [29].

Предположим, что основные усилия в плане повышения эффективности образования будут направлены на использование цифровых технологий, приводящих к совершенствованию педагогических форм и способов повышения эффективности усвоения знаний. Как предполагают футурологи, это может произойти уже в ближайшие десятилетия; появляется надежда, что в какой-то мере уже существующий сейчас образовательный контент, а также контент, созданный у будущем, существенно повлияют на формирование сознания и деятельность наших потомков уже через три-четыре поколения.

В связи с вышеизложенным можно мысленно образовать такую ситуацию, когда цифровые технологии развились до такой степени, что образование стало полностью реализовать уже созданное предметное содержание. Но пока, в основном, это содержание отражает нынешнюю модель неустойчивого развития, которая ведёт человечество к глобальной катастрофе. Существенное усиление практической ориентации образования при сохранении содержания современной экономоцентрической модели цивилизации в образовании, тем самым, способно замедлить продвижение идей устойчивого развития, поскольку внедряться будут, в основном, результаты изучения неустойчивого развития. Но для скорейшего перехода к УР важно, чтобы образование всё больше использовало идеи и научные знания об УР, которые пока в нем слабо представлены.

Определение нового типа цивилизационного развития можно найти в [30, с.54]: «Устойчивое развитие – это такое развитие, которое удовлетворяет потребности настоящего времени, но не ставит под угрозу способность будущих поколений удовлетворять свои собственные потребности». В этой дефиниции, по сути, сформулирована основная цель перехода к устойчивому развитию – выживание и обеспечение существования человечества на будущие неопределённые долгие времена. В отличие от модели УР, современная модель цивилизационного развития таких целей в принципе не ставит, а её естественное стихийное продолжение чревато глобальной катастрофой. В этих двух моделях образование играет разную роль: в современной модели развития оно продолжает её поддерживать, запоздало транслируя «прошлую» культуру. В модели устойчивого развития оно должно играть опережающую и ключевую роль, поскольку именно через него будет формироваться новая форма культурно-цивилизационной эволюции.

Если в образовании превалирует информация об эконоцентрической модели, то очевидно, что переход к устойчивому развитию будет существенно затруднён, если вообще возможен в этом столетии. Для преодоления этой проблемы необходимо добиваться включения в образование идей и знаний об УР. И здесь важную, но при этом неоднозначную роль играет цифровизация образования. Если цифровизация будет «работать» в основном на традиционную модель развития, то это затруднит и замедлит переход к устойчивому развитию. Ясно, что ограничивать из-за этого информатизацию (цифровизацию) образования не целесообразно, да и в принципе невозможно. Тем более, что всё большее использование информации соответствует вектору движения к глобальной устойчивости.

Вместе с тем понятно, что необходимо осваивать знания и развивать навыки не только прошлого и нынешнего существования цивилизации, но и в большей степени – будущего, приближая его к желаемому глобально-устойчивому процессу и состоянию. Напрашивается очевидный вывод: в этой ситуации необходимо усиление взаимодействия рассматриваемых двух тенденций в образовании – цифровизации и ОУР. Интенсификация развития образования в интересах устойчивого развития, рост его эффективности в этом направлении будут происходить благодаря процессу цифровизации. Наиболее простое и достаточно очевидное решение выглядит так: в любом образовательном процессе, где в качестве контента используются знания об УР, важно в приоритетном порядке активно и эффективно применять цифровые технологии.

Простота такого решения на самом деле не столь очевидна, ведь в этом случае цифровизацию и знания об УР необходимо связывать воедино, на что способен далеко не всякий педагог. Но эту интеграцию, в первую очередь, целесообразно реализовать в такой форме образования как повышение квалификации. В идеальном случае цифровизация образования будет интенсифицировать ОУР, что приведет к необходимому ускорению перехода к УР. Такой вариант решения проблемы выглядит, скорее всего, как «идеальная цель» и не может быть реализован без дальнейших карди-

нальных трансформаций всего мирового образования. Поэтому важно осознать значение и перспективы цифровизации образования в свете принятия новой «преобразовательной» Повестки дня в области устойчивого развития до 2030 г. [26], и других выше упомянутых новых документов ООН и ЮНЕСКО по образованию для устойчивого развития, включая Глобальную программу действий по ОУР [25].

Ясно, что цифровизация должна будет внести весьма весомый вклад в развёртывание ОУР. Но если уже приняты кардинальные решения на уровне ООН и ЮНЕСКО по развёртыванию образования для УР, то и рассматриваемая здесь проблема может быть решена по мере её осознания, возможно, даже при принятии следующего варианта Целей устойчивого развития после 2030 г. Это приведёт к снижению внедрения в образование информации о нынешней форме неустойчивого цивилизационного развития, поскольку она уже не соответствует желаемому будущему.

Важно отметить, что концепция (и стратегия) УР ещё не обрела такого масштаба, при котором имело бы смысл её как можно быстрее внедрять в образование, поскольку она не достигла необходимого уровня «научной завершенности» и статуса «устоявшегося» знания для образования. Пока «устойчивый контент» лишь начал формироваться, но это уже заставляет задуматься о темпах и масштабах его распространения по образовательному пространству. Проблеме взаимосвязи цифровизации образования и ОУР необходимо посвятить специальные исследования, чтобы избежать упомянутой выше «образовательной ловушки». Вектор цифровизации в образовании должен всё больше ориентироваться на интенсификацию ОУР.

Очень часто образование рассматривается только в позитивном ракурсе и речь идёт о повышении его эффективности, притом, что последствия его тенденций не принимаются во внимание. Однако образование представляет лишь часть общества и его появление и назначение должно быть связано с позитивными процессами существования и развития цивилизации. Это, казалось бы, очевидное положение особенно актуально для человечества, которое решило изменить форму и содержание своего развития, ориентируясь на достижение глобальной устойчивости. В образовании уже начинают конкурировать нынешняя и будущая модели развития цивилизации. В связи с этим важно показывать преимущество будущей модели УР, несмотря на трудности её реализации и концептуальное несовершенство.

С современных позиций будущие поколения, если их видеть в «цифровом измерении» – это поколения альфа и пост-альфа, которые в какой-то мере будут продолжать формироваться под влиянием дальнейшего развития интернета, соцсетей, компьютеров, смартфонов, массового потребления продуктов и услуг, а также других аналогичных факторов современного общества. Вместе с тем, должны появиться поколения, которые будут понимать и активно реализовать стратегию устойчивого развития (можно пока условно назвать их УР-поколениями). Поэтому в разрабатываемой теории поколений необходимо будет

учитывать не только прогресс в электронно-цифровом измерении (на что чаще всего обращают внимание), но и в глобальном «устойчивом переходе». Будущие поколения, если их видеть в «цифровом измерении» – это пока неизвестные поколения альфа (и, тем более, – пост-альфа). Но одновременно должны появиться поколения, которые будут осознавать и осваивать решающий для выживания человечества переход к глобальной устойчивости.

Поэтому в теории поколений будет необходимо учитывать не только прогресс в методах и формах обучения в электронном ракурсе, но и в «устойчивом переходе». Также потребуются в дальнейшем развивать теорию поколений в образовании в «устойчивом направлении», оценивая, насколько изменится их сознание и готовность реализации новой стратегии цивилизации. Устойчивое развитие даже в своей упомянутой выше дефиниции как раз ориентирует на связь прошлых и существующих поколений с будущими, а это требует иного видения образования, которое могло бы реализовать «спасительную» функцию для всей цивилизации и биосферы.

Это новый стимул для разработки теории поколений и определения роли образования в выживании человечества. Все это необходимо развивать с учётом не только технологических, экономических и социокультурных факторов и знаменательных событий, которые уже произошли или происходят. Обучение будущих поколений уже в ближайшие годы важно планировать с учётом нашего общего устойчивого будущего, и такая тенденция должна занимать всё большее место в мировом образовании. А это требует развития, так называемого, опережающего образования для УР во всех его сферах и направлениях [31-33].

Автор настоящей статьи полагает, что за основу создания модели образования в будущем глобальном мире можно принять модель образования для устойчивого развития. Это объясняется тем, что УР является основой развития цивилизации, а образование становится приоритетно-ключевым механизмом перехода к УР и поэтому должно опережать становление будущего устойчивого глобального мира. При этом цифровизацию необходимо рассматривать как инструмент для более быстрого достижения глобальной устойчивости, призванный внести важный вклад в выживание цивилизации.

ЗАКЛЮЧЕНИЕ

Процессы цифровизации и наполнения образования «устойчивым содержанием» различны по масштабам и скорости их внедрения. Можно даже увидеть своего рода конкуренцию этих двух обсуждаемых мегатенденций в образовании, что ставит вопрос об оптимизации их последствий как в образовании, так и в общем развитии цивилизации. Вместе с тем эти процессы должны быть взаимосвязаны; их необходимо гармонизировать, чтобы не оказаться в образовательной и даже эволюционной ловушке. Если «цифровое ускорение» в образовании будет более быстрым, чем воплощение стратегии устойчивого развития, то вряд ли это окажется благом для будущего человечества, поскольку будет стимулировать воспроизведение и сохранение неустойчивого разви-

тия. Поэтому цифровизацию целесообразно рассматривать не саму по себе, а вместе с развертыванием образования в интересах устойчивого развития.

Однако, готовность педагогов к реализации в образовании концепции и стратегии УР пока ещё слабо осознана и явно недостаточна. Как отмечает А.П. Ермаков, хотя «идеи устойчивого развития в системе образования воспринимаются в целом положительно, однако насущной необходимостью выступают профессиональная подготовка и повышение квалификации учителей, преподавателей, воспитателей к их реализации» [34, с. 30]. Это замечание адресовать педагогам, которые занимаются не только проблемами устойчивого развития, но и вопросами, связанными с онлайн образованием.

Ясно, что это новая проблема для настоящего и будущего мирового образования, которая должна быть всесторонне исследована не только педагогами, но и учёными, в центре внимания которых – образование и устойчивое развитие. По-видимому, со временем также необходимо будет создать специальную экспертизу (своеобразный «фильтр») по вопросам использования знаний в образовании о нынешней и будущей формах цивилизационного развития, которой могли бы пользоваться как преподаватели, так и обучающиеся.

Представляется, что в соответствующие учебные дисциплины, курсы, учебно-методические материалы и т.п. нужно будет вносить контент, характерный для образования для устойчивого развития, которое всё больше будет выполнять особую миссию – формирования нового глобального сознания, ориентированного на выживание человечества и сохранение природы. Ведь образование станет выступать приоритетным и основным механизмом перехода к устойчивому развитию и тем самым должно опережать становление устойчивого будущего в его «полном формате» [33]. Эта темпоральная особенность образования теперь осознана как его футуризация, т.е. смещение акцентов на осознание, исследование и моделирование будущего, что будет способствовать становлению опережающего образования, формирующего знания и навыки будущего. Приоритетная роль образования для устойчивого развития потребует его более ускоренного и широкомасштабного развития, что возможно благодаря более тесной связи с цифровизацией.

СПИСОК ЛИТЕРАТУРЫ

1. Урсул А.Д., Урсул Т.А. Образование как информационный процесс и перспективы его футуризации // Современное образование. – 2013. – № 2. – С. 1-57. DOI: 10.7256/2306-4188.2013.2.8997
2. Урсул А.Д. Природа информации: философский очерк. 2-е изд. – Челябинск: Изд-во ЧГАКИ, 2010. – 231 с.
3. Гуревич И.М., Урсул А.Д. Информация – всеобщее свойство материи: Характеристики, оценки, ограничения. – М.: Либроком, 2012. – 312 с.
4. Тестов В.А. Интеграция дискретности и непрерывности при формировании математической картины мира обучающихся // Интеграция обра-

- зования. – 2018. – Т. 22, № 3. – С. 480–492. DOI: 10.15507/1991-9468.092.022.201803.480-492
5. Урсул А.Д. Информационная природа культуры // Научно-техническая информация. Сер. 1. – 2018. – № 6. – С. 1-6; Ursul A.D. Information nature of culture // Scientific and Technical Information Processing. – 2018. – Vol. 45, № 2. – P.100–105. DOI: 10.3103/S0147688218020107
 6. Урсул А.Д. Информационная природа эволюции и освоения мира: концептуальная гипотеза // Научно-техническая информация. Сер. 2. – 2019. – № 2. – С.1-14; Ursul A.D. Information nature of evolution and development of the world: Conceptual hypothesis // Automatic Documentation and Mathematical Linguistics. – 2019. – Vol. 53, № 1. – P. 9–15. DOI: 10.3103/S0005105519010060
 7. Колин К. К., Урсул А.Д. Культура и информация. Введение в информационную культурологию. – М.: Стратегические приоритеты, 2015. – 300 с.
 8. Тихомиров В.П., Днепровская Н.В. Смарт-образование как основная парадигма развития информационного общества // Современные информационные технологии и ИТ-образование. – 2015. – Т. 1, № 11. – С. 9-13. – URL: <http://sitito.cs.msu.ru/index.php/SITITO/information/readers> (дата обращения: 11.11.2019).
 9. Днепровская Н.В., Янковская Е.А., Шевцова И.В. Понятийные основы концепции смарт-образования // Открытое образование. – 2015. – № 6. – С.43-51. – URL: <https://cyberleninka.ru/article/n/ponyatiynye-osnovy-kontseptsii-smartobrazovaniya> (дата обращения: 11.11.2019).
 10. Останина Е.А. MOOCs как современная информационная технология в высшей школе // Alma mater (Вестник высшей школы). – 2017. – № 3. – С. 71-74. DOI: 10.20339/AM.03-17.071
 11. Абросимова Г.А. Новые технологии образования в вузе: смешанное обучение // Alma mater (Вестник высшей школы). – 2017. – № 3. – С. 65-69. DOI: 10.20339/AM.06-19.065
 12. Ефимова Г.З., Зюбан Е.В., Кичерова М.Н., Муслимова Е.О. Парадоксы неформального образования студенческой молодежи // Интеграция образования. – 2019. – Т. 23, № 2. – С. 303–321. DOI: 10.15507/1991-9468.095.023.201902.303-321
 13. Kasimov N.S., Malkhazova S.M., Romanova E.P. Environmental education for sustainable development in Russia // Journal of Geography in Higher Education. – 2005. – Vol. 29, № 1. – P. 49-59. DOI: 10.1080/03098260500030363
 14. Ильин И.В., Урсул А.Д., Урсул Т.А. Образование для устойчивого развития: глобальный контекст // Вестник Московского университета. Сер. XXVII. Глобалистика и геополитика. – 2017. – № 2. – С. 3-29. – URL: <http://fgp.msu.ru/o-fakultete/izdaniya-fakulteta/vestnik-moskovskogo-universiteta/> (дата обращения: 11.11.2019).
 15. Урсул А.Д., Урсул Т.А. Образование в интересах устойчивого развития: первые результаты, проблемы и перспективы // Социодинамика. – 2015. – № 1. – С.11-74. DOI: 10.7256/2409-7144.2015.1.14001
 16. Урсул А.Д., Урсул Т.А. Российское образование в ракурсе стратегии устойчивого развития // Экономика в промышленности. – 2018. – № 1. – С. 95-105. DOI: 10.17073/2072-1633-2018-1-95-105
 17. Ермаков Д.С. Образование для устойчивого развития в РФ // Педагогика. – 2013. – № 6. – С.44–48. – URL: <http://pedagogika-rao.ru/journals/2013/08/> (дата обращения: 11.11.2019).
 18. Урсул А.Д., Урсул Т.А. Феномен футуризации в образовании для устойчивого развития // Ценности и смыслы. – 2017. – № 6(52). – С. 8-20. – URL: <https://cyberleninka.ru/article/v/fenomen-futurizatsii-v-obrazovanii-dlya-ustoychivogo-razvitiya> (дата обращения: 11.11.2019).
 19. Ursul A.D., Ursul T.A. New goals of sustainable future // Philosophy and cosmology. – 2017. – Vol. 18. – P. 38-50. – URL: <http://ispjournal.org/j2017/> (дата обращения: 11.11.2019).
 20. Урсул А.Д. Новая глобальная революция в науке // Вопросы философии. – 2019. – № 8. – С. 104–112. DOI: 10.31857/S004287440006038-6
 21. Урсул А.Д. Становление образования глобального мира // Век глобализации. – 2019. – № 2. – С. 49-60. DOI: 10.30884/vglob/2019.02.04
 22. UNECE Strategy for education for sustainable development. – URL: <http://www.unece.org/fileadmin/DAM/env/documents/2005/cep/ac.13/cep.ac.13.2005.3.rev.1.e.pdf> (дата обращения: 11.11.2019)
 23. Aichi-Nagoya declaration on education for sustainable development. – URL: https://sustainabledevelopment.un.org/content/documents/5859Aichi-Nagoya_Declaration_EN.pdf (дата обращения: 31.10.2019).
 24. Education 2030: Incheon declaration and framework for action towards Inclusive and equitable quality education and lifelong learning for all. – URL: <http://unesdoc.unesco.org/images/0023/002338/233813M.pdf> (дата обращения: 31.10.2019).
 25. Global action programme on education for sustainable development. – URL: www.mext.go.jp/en/unesco/title04/detail04/sdetail04/_icsFiles/afieldfile/2016/10/11/1375695_01.pdf (дата обращения: 31.10.2019).
 26. Transforming our world: the 2030 Agenda for sustainable development. United Nations, 2015. – URL: <https://sustainabledevelopment.un.org/post2015> (дата обращения: 11.11.2019).
 27. Ханты-Мансийские рекомендации по реализации Глобальной программы действий по образованию в интересах устойчивого развития // Вестник Комиссии Российской Федерации по делам ЮНЕСКО. – 2015. – № 26. – С. 338–353.
 28. Днепровская Н.В. Система управления знаниями как основа смарт-обучения // Открытое образование. – 2018. – № 22(4). – С. 42-52. DOI: 10.21686/1818-4243-2018-4-42-52
 29. Ветров С.А., Конишевский Д.В. Цифровой двойник — воплощение антиутопии // Alma mater (Вестник высшей школы). – 2019. – № 5. – С. 69-72. DOI: 10.20339/AM.05-19.069

30. Report of the World Commission on environment and development: Our common future. – Oxford: Oxford University Press, 1987. – 400 p.
31. Урсул А.Д. Опережающее образование. От модернизации к футуризации. – Saarbrücken: Dictus Publishing, 2015. – 304 с.
32. Гафурова Н.В., Осипова С.И. Идеи и проблемы опережающего образования // Сибирский педагогический журнал. – 2013. – № 4. – С. 9-14. – URL: <http://sp-journal.ru/archive> (дата обращения: 0\11.11.2019).
33. Урсул А.Д., Урсул Т.А. Ключевая роль образования в достижении целей устойчивого развития // Социодинамика. – 2016. – № 4. – С. 1-18. DOI: 10.7256/2409-7144.2016.4.18218
34. Ермаков Д.С. Готовность педагогов к реализации образования для устойчивого развития // Педагогическое образование в России. – 2016. – № 2. – С. 30-36. – URL: [https:// cyberleninka.ru/article/n/gotovnost-pedagogov-k-realizatsii-obrazovaniya-dlya-ustoychivogo-razvitiya](https://cyberleninka.ru/article/n/gotovnost-pedagogov-k-realizatsii-obrazovaniya-dlya-ustoychivogo-razvitiya) (дата обращения: 11.11.2019).

Материал поступил в редакцию 11.11.19.

Сведения об авторе

УРСУЛ Аркадий Дмитриевич – доктор философских наук, профессор, заслуженный деятель науки РФ, академик Академии наук Молдавии, почётный работник высшего профессионального образования РФ, директор Центра глобальных исследований и профессор факультета глобальных процессов Московского государственного университета им. М.В. Ломоносова, Москва.
e-mail: ursul-ad@mail.ru

Основные методологические подходы к формированию и обоснованию архитектуры и протокола квантового распределенного реестра*

Рассмотрена проблема создания универсального методологического подхода к формированию и обоснованию архитектуры и протокола квантового распределенного реестра на основе квантовых коммуникаций и специализированного протокола обмена квантовыми ключами.

Ключевые слова: квантовая криптография, код аутентификации, распределенные реестры, блокчейн, протокол, консенсус, ключи, электронная подпись, обмен ключами, безопасность, шифратор

ВВЕДЕНИЕ

При разработке, создании и эксплуатации транзакционных систем, составляющих значительную часть действующих информационных систем, возникает целый ряд проблем. Это связано с интенсивной цифровизацией, высоким и постоянно растущим объемом трафика, увеличением количества включенных в сеть пользователей и агентов, генерирующих транзакции, формированием моделей и бизнес-процессов прямого взаимодействия элементов информационной системы.

Практически любая транзакция, в первую очередь, финансовая, с точки зрения её участников должна обладать следующими априорными свойствами:

- 1) идентификация отправителя / получателя транзакции;
- 2) подтверждение полномочий отправителя / получателя;
- 3) определение наличия финансовых или иных ресурсов для совершения финансовой транзакции;
- 4) определение наличия финансовых ресурсов для оплаты совершения финансовой транзакции (комиссии);
- 5) протоколирование и невозможность отказа от совершенной транзакции;
- 6) возможность обращения к третьей стороне для разрешения возможных конфликтов в рамках национального или международного правового поля;
- 7) возможность контроля совершения финансовых транзакций.

Существующие финансовые системы обладают вышеописанными свойствами, обеспечивающими безо-

пасность транзакций для их участников. При этом традиционные институты в виде банков встроены в эти системы и несут определенную и исторически сложившуюся функциональную нагрузку.

Развитие технологий распределенного реестра в определенной степени обусловлена попытками обеспечить безопасность за счет соответствующих свойств и возможностей информационных технологий. Как представляется, выбор пользователей будет осуществлен в пользу тех систем, которые смогут обеспечить заданный уровень безопасности при условии сокращения времени совершения транзакций и снижении накладных расходов.

Таким образом, у агентов или пользователей в отношении больших транзакционных систем возникают обобщенные требования:

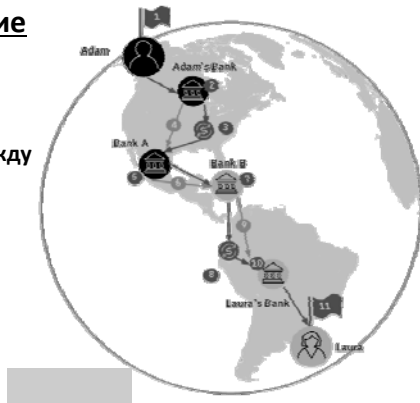
- невозможность подмены/вброса/изъятия транзакций;
- защищенная и доверенная среда передачи данных и проведения транзакций;
- выстраивание региональных, локальных замкнутых экосистем и периметров для государств, корпораций, сообществ;
- транзакции в режиме реального времени/экономически целесообразные транзакции;
- возможность передачи материальных ценностей, а не только токенов и цифровых документов, через общедоступную транспортную сеть.

В классическом виде транзакция производится посредством инфраструктуры, требующей наличия большого количества посредников и процедур, что ведет к увеличению стоимости транзакции, возможности посредников, монополистов влиять на процесс ее осуществления. Так, финансовые транзакции

* Исследование выполнено при финансовой поддержке РФФИ в рамках научного проекта № 19-37-90042

Классические

транзакции между банками как глобальными проводниками платежей



На основе распределенных реестров

транзакции между платежными агентами P2P на основе распределенных реестров

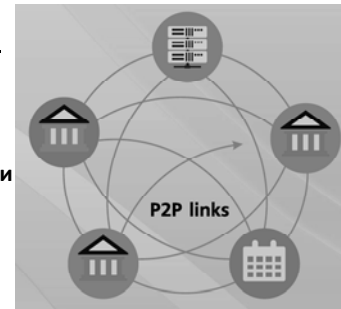


Рис. 1. Трансформация финансовых транзакций в киберфизической среде

осуществляются с помощью банков, платежных систем и других посредников, следствием чего является удорожание и возрастание времени платежей и переводов. При этом надо учитывать, что сегодня финансовая транзакция неотличима от любой другой цифровой транзакции и использует единую киберфизическую инфраструктуру с общими требованиями безопасности.

Технологии распределенных реестров позволяют организовать транзакции между цифровыми агентами на принципах прямого взаимодействия, сокращая время и стоимость транзакций за счет устранения посредников (рис. 1).

Сегодня системы распределенных реестров проектируются, по большей части, как частные сети для корпоративных целей, т. е. с ограниченным числом участников, имеющих доступ к общей системе журналирования (записи информации о происходящих с каким-то объектом или в рамках какого-то процесса событиях в журнал/файл) или организации обмена сообщениями, а также обладающих определенными правилами и инструментами организации записей, включая протоколы консенсуса, верификационные ноды (узлы или компьютеры сети), инфраструктуру. Одной из проблем в использовании частных (корпоративных распределенных реестров) является обеспечение безопасности транзакций.

Основные отличия инфраструктуры распределенных реестров (блокчейна):

- обязательная криптографическая идентификация всех участников сети (по публичному ключу или производному идентификатору);
- повсеместное использование электронной подписи; все пересылаемые сообщения шифруются и подписываются;
- для усиления защиты от скомпрометированных или злонамеренных узлов используются более сложные избыточные схемы передачи сообщений.

Другая важная особенность работы протоколов распределенных реестров – это внутренняя экономика, которая позволяет использовать в протоколах стимулы в виде вознаграждения или штрафа – в случае наличия доказательств некорректного или зло-

вредного функционирования. Это обеспечивает возможность построения открытых сетей, в которых узлы могут динамически подключаться без разрешения третьей стороны.

Протоколы распределенных реестров требуют большой пропускной способности сети, особенно для функционирования алгоритмов распределенного консенсуса. Повышение защищенности их работы напрямую связано с количеством передаваемых сообщений и может требовать $kN-kN^2-kN^3$ сообщений на итерацию (блок) в зависимости от выбранной модели, где N – число узлов, поддерживающих работу протокола, $k=1,2,\dots,n$ – параметр протокола.

Отличительной особенностью предлагаемой технологии с использованием квантовых коммуникаций является оптимизация сетевой инфраструктуры для работы протоколов распределенных реестров, и в некоторых аспектах – прямая интеграция. Эта инфраструктура позволяет создавать защищенную масштабируемую распределенную транзакционную платформу, устойчивую к большинству возможных атак, с существенно более высокой стоимостью проведения атаки.

На базе такой инфраструктуры (как закрытой, так и открытой) реализуются базовые сервисы, такие как финансовые транзакции с различными экономическими моделями и финансовыми активами, сохранение хеш-значений и временных меток данных в распределенном реестре, менеджмент профилей, заключение договоров и многое другое.

КВАНТОВЫЕ КОММУНИКАЦИИ В ТЕЛЕКОММУНИКАЦИОННЫХ СИСТЕМАХ И РАСПРЕДЕЛЕННЫХ РЕЕСТРАХ

В настоящее время происходит формирование международных стандартов технологий распределенных реестров, в рамках которых предусматривается, что обмен данными между устройствами требует верификации для демонстрации того, что транзакции не были подменены или взломаны в процессе передачи. Поэтому сенсорам «умных устройств» необходимо иметь криптографически доказанный источник сообщения, проверенный на аппаратном уровне. Такая верифика-

ция должна быть обеспечена в течение всего времени функционирования системы и распределена в пространстве (не должна зависеть от местоположения «умного устройства») [1].

Телекоммуникационная составляющая распределенных реестров – организация каналов связи на физическом и логическом уровнях – является в этом смысле как инфраструктурой для обеспечения эффективности и надежности обмена в распределенном реестре, так и потенциальным инструментом манипулирования, контроля, взлома транзакций (особенно в сетях общего пользования, не в рамках выделенных периметров) [2].

Одна из ключевых проблем для телекоммуникационной инфраструктуры и распределенных реестров – возможность создания устойчивого квантового компьютера, способного взломать любую систему распределенного реестра за счет существенно более высокой производительности по сравнению с традиционными компьютерами, что, в свою очередь, требует использования криптографических алгоритмов, устойчивых к квантовым вычислениям [3].

В связи с этим, одним из перспективных направлений в работе с данными угрозами является использование технологий квантовой рассылки ключа для обеспечения безопасности транзакций в распределенных реестрах. Перечислим некоторые направления и работы по данной тематике:

- использование квантовых ключей для цифровой подписи транзакции в ряде работ российских и иностранных исследователей [4, 5]. Данная концепция предполагает, что каждая пара нод (узлов) или агентов соединена по классическому каналу и одновременно по авторизованному квантовому каналу. Каждая пара нод может устанавливать последовательность секретных ключей, используя квантовое распределение ключей. Эти ключи в дальнейшем используются для подписи сообщений;

- улучшение протоколов консенсуса, где ноды реестра используют протокол *Proof of Infrastructure*, получая преимущества по энергозатратам на консенсус, а конечные пользователи – квантовые ключи для шифрования транзакций перед отправкой в сеть;

- квантовый биткойн, подразумевающий реализацию цифровой валюты, существующей в виде квантового состояния кубита [6], где любая транзакция влечет за собой изменение состояния кубита, а передача состояния осуществляется за счет квантовой запутанности, однако на данный момент подобная концепция (в отличие от квантового распределенного реестра) возможна лишь как математическая конструкция, которую невозможно реализовать физически в силу отсутствия необходимых технологий, – для большинства протоколов необходима реализация квантовой памяти, хранение квантовых состояний, что на сегодняшний день пока недоступно.

Квантовая рассылка ключа позволяет безопасно генерировать и передавать секретные абсолютно стойкие ключи на основе использования законов квантовой физики. Обнаружение перехвата при этом может быть выполнено за счёт использования одиночных фотонов для кодирования сигналов.

Согласно законам физики одиночный фотон нельзя незаметно измерить, разделить или скопировать.

Любое подслушивание в канале сразу обнаруживается, так как вносит в процесс передачи информации многочисленные легко обнаруживаемые ошибки [7].

Квантовые коммуникации позволят избавиться от необходимости больших вычислительных мощностей для формирования блоков, позволят закрыть информацию на центрах обработки данных и сохранить ее целостность.

Назовем важные преимущества квантовых коммуникаций:

- гарантированная защита от прослушивания в каналах связи, а также невозможность подмены данных в процессе передачи;
- безопасная передача секретного ключа в стандартных телекоммуникационных каналах, что позволяет передавать и менять новые ключи с максимальной частотой и не использовать классические средства передачи ключа, в том числе, для мобильных и автономных устройств, обеспечивая безопасность управляющих сигналов и сигналов связи;
- отсутствие необходимости создавать бронированное оптоволокно и применения специальных средств защиты телекоммуникаций для спецслужб и военных, а также корпораций с собственными сетями;
- возможность замены VPN и любых программных средств обеспечения безопасности каналов передачи за счет применения средств шифрования на физическом уровне (при перехвате злоумышленником квантовый ключ разрушается, а попытки получить доступ к информации выявляются автоматически).

ПРОТОКОЛ КВАНТОВОГО РАСПРЕДЕЛЕННОГО РЕЕСТРА

Основная идея квантового распределенного реестра (квантового блокчейна) – создавать протокол обмена информацией и ее взаимной верификации для различных алгоритмов консенсуса в системе, в которой при помощи квантового распределения ключа и симметричного шифрования обеспечивается защита от ключевых угроз, например, от прослушивания транзакций. При этом в такой системе вычислительные ноды соединены между собой квантовыми каналами связи (рис. 2).

Таким образом, мы имеем N пользователей и M нод, пользователи подключены к одной или нескольким нодам. Ноды, в свою очередь, соединены между собой по матрице связности SV размера $M \times M$, при этом элемент SV_{ij} матрицы SV равен 1, если нода i соединена с нодой j квантовым каналом связи.

Требования и положения к хранению квантовых ключей и обеспечению криптографических процедур

Очевидно, если ноды связаны квантовым каналом, то у них имеются в некоторый момент синхронизированные квантовые криптографические ключи $KNODE_{ijt}$, где i и j – номера связанных нод, а t – момент времени.

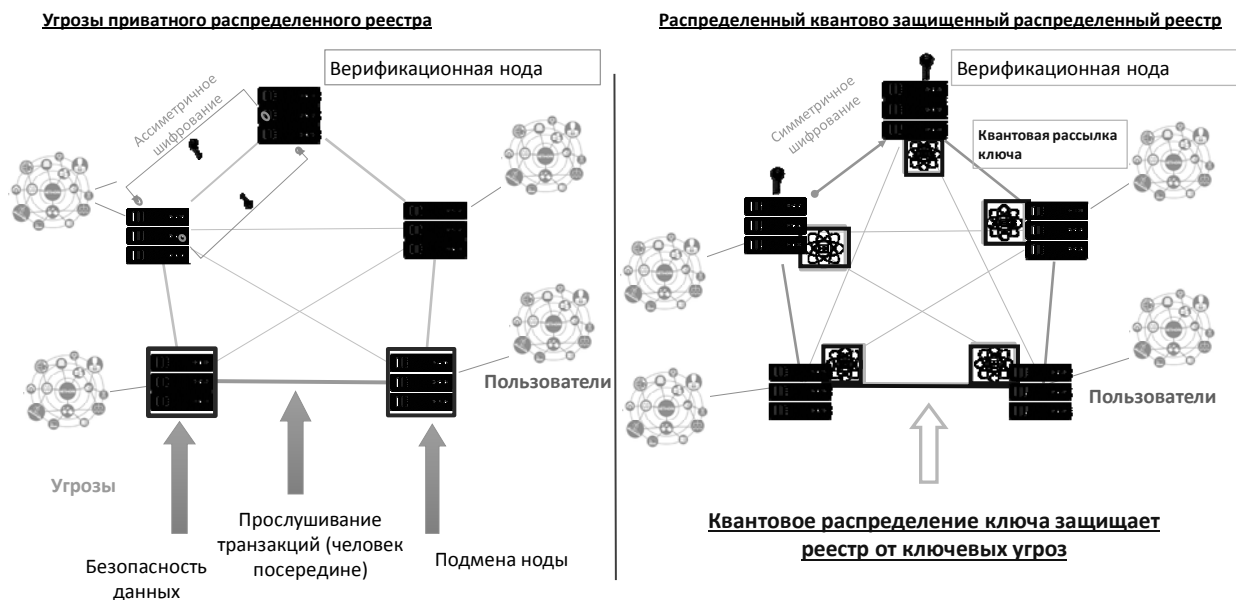


Рис. 2. Угрозы частной сети распределенного реестра и квантово защищенный реестр

Также очевидно, что для нод желателен режим накопления ключей и сохранения их в неизвлекаемой памяти квантового шифратора, который содержит вычислитель, производящий операции шифрования и расшифрования на хранимых в его памяти неизвлекаемых ключах, выработанных по квантовому протоколу. При этом на вход шифратора поступает информация для шифрования или расшифрования и номер ключа, находящегося в неизвлекаемой памяти. Тогда связь с распределенным реестром может строиться на основе симметричных алгоритмов.

Информация в ноду может поступать как от пользователя распределенного реестра, так и от другой ноды. В первом случае нода должна иметь K_{si} – сетевой ключ пользователя, на котором производится информационный обмен с распределенным реестром, либо с другими пользователями напрямую, если они подключены к одной ноду, либо через другие ноды. При этом нода может верифицировать полученную от пользователя информацию следующим образом:

1) нода m получает информацию от i -го пользователя и расшифровывает или проверяет ее при помощи кода аутентификации (КА, имитовставки) при помощи ключа K_{si} ;

2) нода m передает в другую ноду f полученную от пользователя информацию, дополняя ее КА. При этом используется механизм, согласно которому нода вырабатывает случайный ключ R_{mft} , шифрует его на $KNODE_{ijt}$ и помещает результат в звено распределенного реестра, после чего на R_{mft} вычисляет код аутентификации пользовательской информации и также помещает его в то же звено;

3) для проверки нода извлекает из звена распределенного реестра зашифрованный ключ R_{mft} , расшифровывает его на квантовом ключе внутри шифратора и проверяет на нем код аутентификации пользовательской информации;

4) в системе накапливается заверенная нодами информация, которая может быть проверена на квантовых ключах нод, хранящихся в неизвлекаемой памяти квантовых шифраторов, обслуживающих ноды, по номеру квантового ключа и может быть использована для построения произвольной модели консенсуса (по признаку прохождения информации через ноду).

Краткое описание протокола

Введем следующие обозначения:

X_i – пользователь распределенного реестра;

A_i – цифровая информация, описывающая пользователя;

K_{pi} – персональный ключ (персональная информация) пользователя;

K_{si} – сетевой ключ пользователя (также являющийся частью персональной информации пользователя), предназначенный для связи с нодой;

C_i – ключевой контейнер пользователя, представляющий собой персональную информацию пользователя (персональный или сетевой ключ), закрытый на пароле пользователя при помощи обратимой криптографической процедуры;

S_i – сетевое имя пользователя, однозначно связанное с A_i ;

$KNODE_{ijt}$ – синхронизированные квантовые криптографические ключи, где i и j – номера связанных нод, а t – момент времени;

$INFO_{ij}$ – информация i -го пользователя, сформированная на его рабочем месте, и направляемая для хранения и обработки в распределенный реестр, имеющая условный номер j ;

K_{vij} – квитанция, сообщающая о результате обработки j -го информационного блока для i -го пользователя;

V_m – запрос на извлечение информации из распределенного реестра;

$I=Im(x, k)$ – функция вычисления имитовставки от информации x на ключе k ;

$y=E(x, k)$ – функция шифрования информации x на ключе k ;

$x=D(y, k)$ – обратная операция – функция расшифрования информации y на ключе k .

Таким образом мы имеем дело с симметричными криптографическими алгоритмами, когда для шифрования и расшифрования используется один и тот же ключ.

Легко заметить, что функция вычисления имитовставки обладает возможностью как авторизации пользователя, так и контроля целостности передаваемой и хранимой информации. В связи с этим мы называем функцию вычисления и проверки имитовставки кодом аутентификации.

Полагаем, что пользователь системы имеет персональный вычислитель (ноутбук, смартфон или выделенный криптокомпьютер), подключенный при помощи каналов связи (телекоммуникационной среды) к одной из нод.

Для регистрации в системе пользователь X_i при помощи датчика случайных чисел с гарантированными статистическими свойствами создает ключи K_{pi} – персональный ключ (персональная информация) пользователя распределенного реестра и K_{si} – сетевой ключ пользователя (также являющийся частью персональной информации пользователя), предназначенный для связи с нодой и формирует контейнеры $Ci1=E(K_{pi}, Pi1)$ и $Ci2=(K_{si}, Pi2)$, где $Pi1, Pi2$ – пароли пользователей для защиты соответствующих контейнеров.

Далее пользователь формирует сетевое имя как $Si=E(C, K_{pi}*Ai)$, где $*$ – функция смешивания персональной информации и описания пользователя, C – избранная константа. После формирования сетевого имени и контейнера $Ci2$ эти данные синхронизируются между пользователем и нодой, к которой он подключен. Для подготовки данных для отправки их в распределенный реестр пользователь может применять электронную подпись на своем персональном ключе.

Однако наличие двух ключей (K_{pi} – персонального ключа i -го пользователя распределенного реестра и K_{si} – сетевого ключа пользователя) позволяют достигать свойства эквивалентности симметричного кода аутентификации (КА) электронной подписи. Для этого КА под одной и той же информацией должен быть сформирован дважды – на K_{pi} и K_{si} . Тогда оператор может проверить авторство и подлинность, но не сможет изменить содержание, поскольку оно зафиксировано пользователем и может быть проверено только им.

Таким образом, двойное обеспечение транзакции или ее части двумя КА позволит наделять систему свойствами электронной подписи, но при этом не использовать ассиметричные криптографические процедуры и не разворачивать инфраструктуру удостоверяющих центров.

Далее пользователь формирует запрос $Zij = Im([INFOij, Si, Tk], K_{si})$ и направляет его в ноду. Нода проверяет КА пользователя под запросом, тем самым

проводя как аутентификацию отправителя, так и проверку целостности данных.

В том случае, если *INFO* содержит имена отправителя и/или получателя информации Ssi и Srj , для этих имен выполняются процедуры: $y1=E(Ssi, K_{si})$ и $y2=E(Srj, K_{si})$. Благодаря этому имена отправителя и получателя становятся недоступными для нарушителя, а оператор распределенного реестра, используя процедуру расшифрования D и ключ K_{si} , имеет возможность получить реальные имена пользователей.

Далее для информации *INFO* вычисляется код аутентификации на ключах $Rmft$ и информация и код помещаются в распределенный реестр, как описано выше. Ключи должны иметь нумерацию по номеру пользователя, номерам нод, для которых они обеспечивают взаимодействие, моменту времени внутри системы и номеру записи в реестре.

При отведении на поле номера по 16 байт общий объем служебного номерного поля составит $5 \times 16 = 80$ байт, к которым присоединяется зашифрованный ключ проверки транзакции с имитовставкой для проверки правильности его расшифрования. Тогда любая транзакция реестра может быть проверена нодами по номеру поля с использованием накопленных квантовых ключей.

Существенным преимуществом этого протокола является то, что для фиксации целостности каждого элемента распределенного реестра используется отдельный ключ, что полностью снимает ключевую нагрузку на код аутентификации, вычисленный по алгоритму имитовставки.

Для создания цепочки блоков в информацию для вычисления имитовставки необходимо добавить код аутентификации предыдущего блока.

В протоколе существенно важна необходимость реализации для квантового шифратора надежного алгоритма контроля качества случайных последовательностей.

Таким образом, квантовый шифратор, защищающий обмен трафиком между нодами и взаимодействующий с распределенным реестром, должен удовлетворять требованиям:

- наличие аппаратных или аппаратно-программных датчиков случайных чисел высокого качества;
- наличие механизма контроля качества случайных последовательностей, используемых для формирования ключей, в том числе и квантовых;
- возможность накопления и хранения в неизвлекаемой памяти по меньшей мере тех квантовых ключей, которые использованы при формировании записей распределенного реестра;
- обеспечение выполнения криптографических процедур с ключами, хранящимися в неизвлекаемой памяти и входными данными, при этом никакая информация о ключе не должна выходить за пределы шифратора;
- однозначная идентификация по номеру ключей для выполнения операций;
- использование отдельного ключа для вычисления кода аутентификации каждого звена распределенного реестра.

ПРИМЕР РЕАЛИЗАЦИИ АРХИТЕКТУРЫ КВАНТОВОГО БЛОКЧЕЙНА

Рассмотрим уровни реализации приватной сети распределенного реестра в физической сети, защищенной квантовыми коммуникациями (рис. 3).

Сетевой уровень предполагает физическую передачу данных по защищенным каналам, а уровень распределенного реестра – набор протоколов, географически распределенных верификационных нод, обеспечивающих логику работы реестра. Уровень приложений обеспечивает бизнес логику, конечные пользовательские интерфейсы.

Таким образом, решение, назовем его условно системой «квантовых коммуникаций», представляет распределенный реестр, включающий набор верификационных нод, защищённых квантовыми коммуникациями, позволяющими создавать стойкую к атакам доверенную среду, предназначенную для организации транзакций в режиме реального времени и организации безопасного канала передачи данных между верификационными нодами.

При этом подсистема квантовой рассылки ключа предназначена для управления процессом генерации случайных битовых последовательностей между отправителем и получателем, между верификационными нодами.

Система «квантовых коммуникаций» выполняет следующие функции:

- предотвращение несанкционированного доступа к квантовым каналам связи между верификационными узлами путем контроля параметров квантового канала: уровня ошибок при передаче квантовых бит (*QBER*) на боковых частотах;

- формирование случайных битовых последовательностей на основе параметров квантового канала для кодирования и декодирования информации при обмене данными между верификационными узлами.

Для реализации инфраструктуры квантового защищенного распределенного реестра следует обеспечить безопасную передачу данных по каналу между центрами обработки данных (ЦОДами) – «точка-точка», между серверами внутри ЦОДа, между серверами в ЦОДах, по каналу для конечных устройств, а также накопление ключей в ЦОДе и на стороне клиента, выборку ключей конечным устройством пользователя и реализацию протоколов взаимодействия публичной и приватной сети.

Базовая схема использования квантовых ключей сервисами распределенного реестра в рамках системы «квантовых коммуникаций» представлена на рис. 4.

Работы по созданию описываемого решения осуществляются в рамках Центра компетенций технологии распределенных реестров СПбГУ, консорциума при Центре, а также партнерами в лице регионального инжинирингового центра Сейфнет Технопарка Санкт-Петербург, компании «Финдинамика». Ведется разработка прототипа решения, предназначенного для организации платежных транзакций в режиме реального времени и предоставления безопасного канала передачи данных между верификационными нодами, которое включает набор верификационных нод распределенного реестра *Stellar*, устройства рассылки квантового ключа, набор серверов, поддерживающих протоколы управления пользователями¹ и комплайнс². Архитектура реализованного прототипа показана на рис. 5.

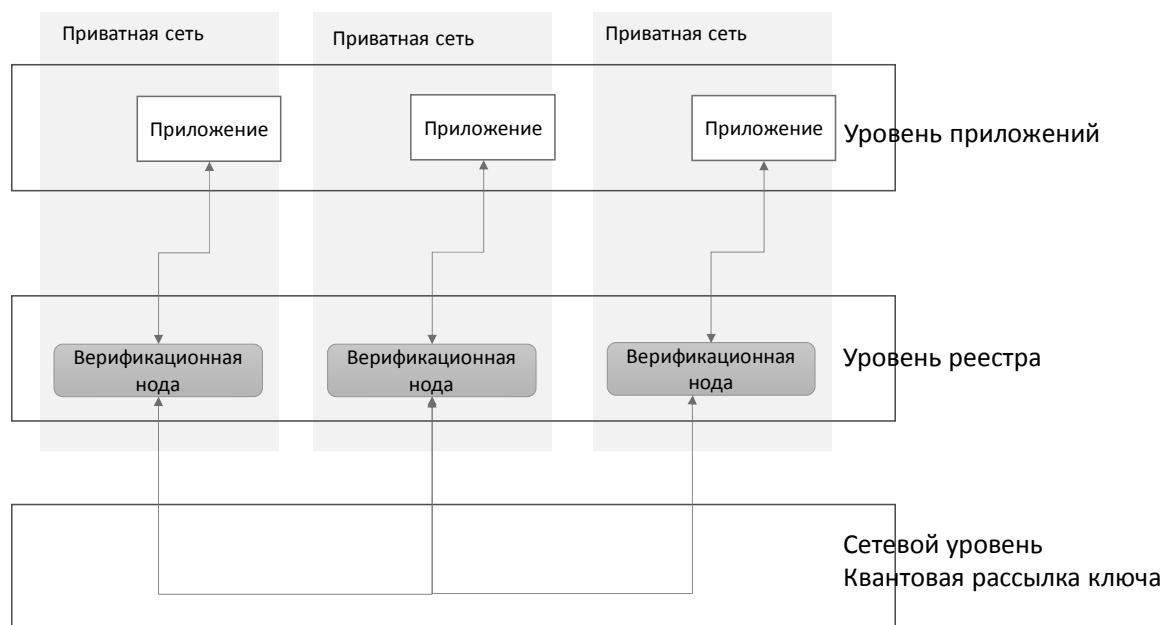


Рис. 3. Уровни реализации распределенных реестров с использованием квантовых коммуникаций

¹ Позволяет получить дополнительную информацию о данном пользователе и провести KYC (англ. «know your customer») – процедуру по идентификации, верификации и аутентификации пользователя, которая обеспечивает прозрачность совершаемых им действий и транзакций.

² Позволяет отслеживать и одобрять каждую транзакцию, связанную с выпущенным активом, а также применять набор ограничений. Используется для поддержки действий по борьбе с коррупцией и отмыванием средств, а также проверки агентов на право доступа и другие права. Это требуется, чтобы регулирующие учреждения или органы имели информацию о назначении транзакций и участниках деятельности в рамках прямого обмена данными, активами, финансами и др.

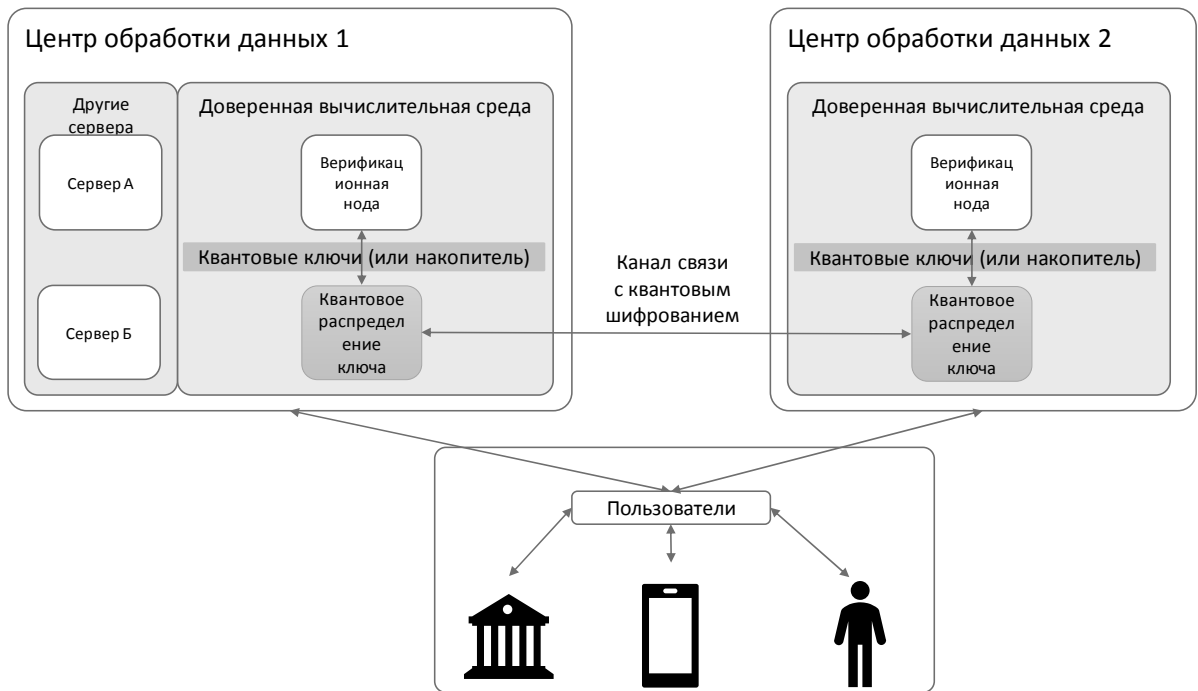


Рис. 4. Схема использования квантовых ключей сервисами распределенного реестра

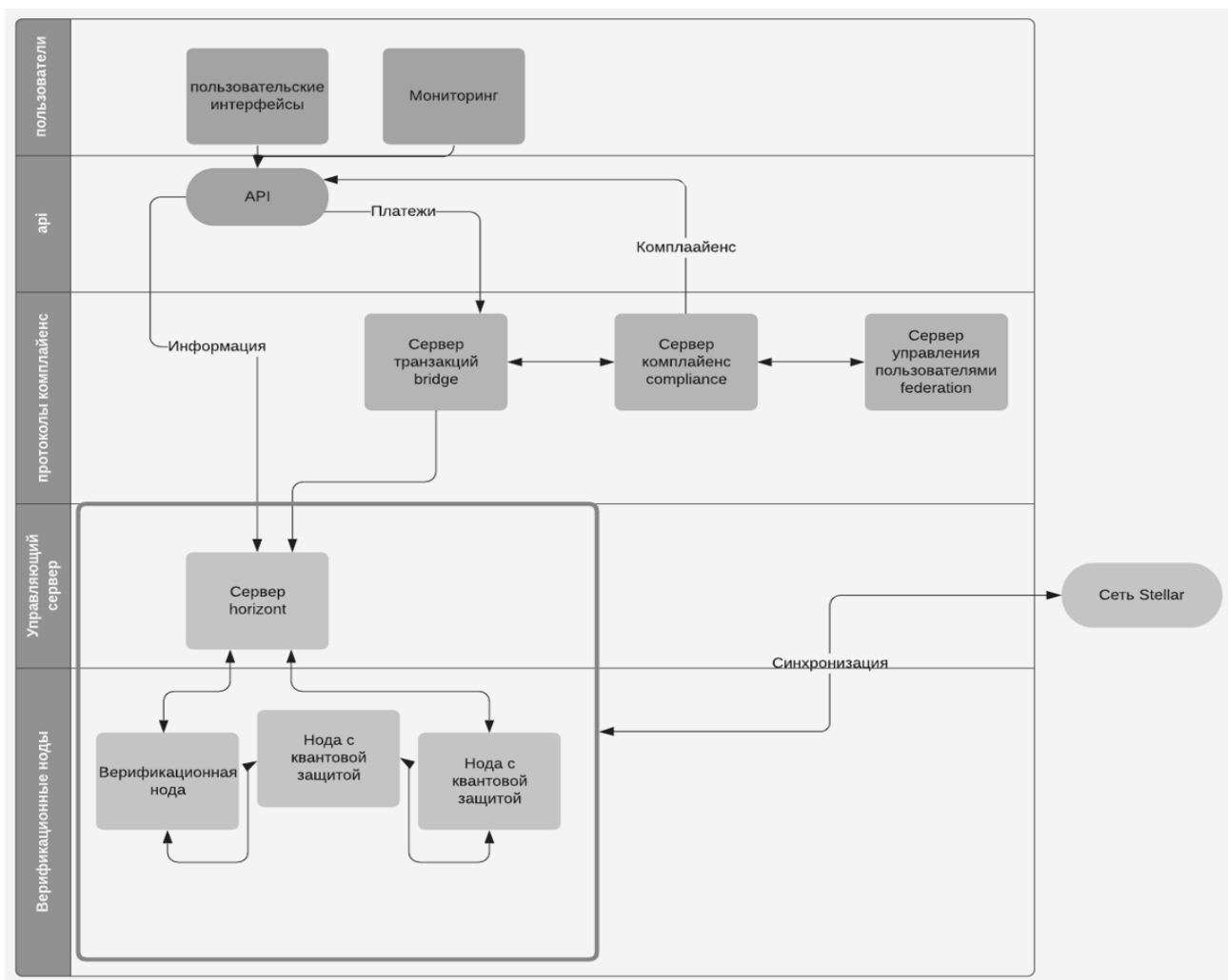


Рис. 5. Общая архитектура реализованного прототипа

ЗАКЛЮЧЕНИЕ

Сформулированные в настоящей статье методология, концепция и архитектура развертывания частных распределенных реестров, защищенных квантовыми коммуникациями, могут быть использованы для прикладных решений в области финансов, логистики, хранения цифровых активов в корпорациях и государственных организациях, а также при интеграции научно-информационных процессов в информационных системах, а базовые требования к большим транзакционным системам и средствам квантовой криптографии (квантовым шифраторам) – для формулирования уточненных требований уполномоченными государственными организациями.

СПИСОК ЛИТЕРАТУРЫ

1. Permissioned Distributed Ledger (PDL). Applicability and compliance to data processing requirements // ETSI Group reports. – 2019. – URL: <https://www.etsi.org>
2. Касперская Н.И., Кузьменко В.В., Хайретдинов Р.Н., Щербаков А.Ю. О подходах к созданию универсального доверенного распределенного реестра, обеспечивающего неразглашение данных о системе // Безопасность информационных технологий. – 2019. – Т. 26, № 2. – С. 95-108.
3. Дорожная карта развития «сквозной» цифровой технологии «Системы распределенного реестра». – 2019. – URL: <https://digital.gov.ru/uploaded/files/07102019srr.pdf>
4. Kiktenko E.O., Pozhar N.O., Anufriev M.N., Trushechkin A.S., Yunusov R.R., Kurochkin Y.V., Lvovsky A.I., Fedorov A.K. Quantum-secured blockchain // IOP Publishing: Hybrid Open Access. – 2018. – № 3. – P. 17-29.
5. Sun X., Wang Q., Kulicki P., Sopek M. A simple voting protocol on quantum blockchain // International Journal of Theoretical Physics. – 2019. – № 58. – P. 275-281.
6. Jogenfors J. Quantum bitcoin: An anonymous and distributed currency secured by the No-Cloning Theorem of quantum mechanics // Information Coding Group, Department of Electrical Engineering, Linköping University, Sweden. – 2016. – URL: <https://arxiv.org/pdf/1604.01383.pdf>.

7. Bennett C., Brassard G. Quantum cryptography: Public key distribution and coin tossing // Proceedings of IEEE International Conference on Computers, Systems and Signal Processing. – Bangalore: Institute of Electrical and Electronics Engineers, 1984. – P. 175-179.

Материал поступил в редакцию 25.10.19.

Сведения об авторах

ГРИНЯЕВ Сергей Николаевич – доктор технических наук, декан Факультета комплексной безопасности ТЭК РГУ нефти и газа (НИУ) имени И.М. Губкина, Москва
e-mail: gsn@gubkin.pro

ПРАВИКОВ Дмитрий Игоревич – кандидат технических наук, старший научный сотрудник, руководитель Научно-образовательного центра новых информационно-аналитических технологий РГУ нефти и газа (НИУ) имени И.М. Губкина, Москва.
e-mail: d_pravikov@mail.ru

РАЗГУЛЯЕВ Кирилл Александрович – разработчик Центра компетенций технологии распределенных реестров СПбГУ, системный аналитик ООО «Кванттелеком», Санкт-Петербург
e-mail: kirill.razgulyaev@gmail.com

РЯЗАНОВА Алина Александровна – зам. начальника по международной деятельности Центра развития криптовалют и цифровых финансовых активов (ЦРКЦФА) ВИНИТИ РАН, Москва.
e-mail: a.ryazanova@c3da.org

ХАН Дмитрий Вячеславович – главный разработчик Центра компетенций технологии распределенных реестров СПбГУ, учредитель ООО «Финдинамика», Санкт-Петербург.
e-mail: dkhan@findinamika.com

ЩЕРБАКОВ Андрей Юрьевич – доктор технических наук, профессор, главный научный сотрудник РАН, начальник Центра развития криптовалют и цифровых финансовых активов (ЦРКЦФА) ВИНИТИ РАН, Москва.
e-mail: x509@ras.ru

Шаблоны унифицированного языка моделирования для проектирования информационных систем

Наиболее востребованными инструментами разработки объектно-ориентированных информационных систем являются CASE-средства. Чаще всего они не поддерживают n -арных отношений ассоциации между классами. Показано, как при описании модели предметной области можно перейти от n -арных ассоциаций к бинарным, как можно уменьшить число объектов информационной системы и как учитывать ограничения, накладываемые на объекты. Ситуации, которые позволяют осуществлять такого рода преобразования, представлены в виде шаблонов проектирования.

Ключевые слова: UML, OCL, шаблоны проектирования, отношение ассоциации, n -арная ассоциация, тернарная ассоциация, кратность

ВВЕДЕНИЕ

Бесспорным лидером среди инструментов, служащих для описания структуры и функционирования информационных систем (ИС), является унифицированный язык моделирования UML¹ [1-3], возможности которого используются в большинстве объектно-ориентированных, и в частности в гибких технологиях разработки информационных систем. На этапе их проектирования наиболее востребованные средства UML – диаграммы классов, которые служат для описания модели программной системы, отражающей основные закономерности предметной области. Базовым в диаграммах классов является отношение ассоциации, которое описывает потенциально возможные отношения между объектами программной системы. В дальнейшем в процессе разработки модель программной системы в виде диаграммы классов и диаграмм других типов трансформируется в логическую модель базы данных и в код объектно-ориентированного приложения, причем значительная часть кода может генерироваться автоматически с помощью CASE-средств².

Значительную помощь при разработке модели предметной области могут оказать шаблоны проектирования [4-6]. Создавая новые шаблоны проектирования и ориентируясь на использование CASE-средств, необходимо учитывать, что, во-первых,

обычно CASE-средства не имеют адекватных механизмов представления n -арных³ отношений ассоциации [7] (их реализация в отличие от бинарных достаточно трудоемка), во-вторых, поддержка объектного языка ограничений OCL⁴ [8] обеспечивается большинством CASE-средств.

В настоящей статье будет показано, как учитывать семантику отношений ассоциации, как преобразовать тернарные ассоциации, возникающие между классами, в бинарные, как вводить дополнительные классы и бинарные отношения ассоциации с целью оптимизации модели и как с помощью объектного языка OCL учитывать ограничения, накладываемые на объекты, участвующие в отношениях ассоциации.

Рекомендации по созданию и преобразованию моделей ИС, повышающие эффективность их реализации [9-11], будут представлены в виде шаблонов проектирования.

ЗАМЕНА ТЕРНАРНОЙ АССОЦИАЦИИ НА БИНАРНУЮ И КЛАСС-АССОЦИАЦИЮ

Рассмотрим несколько примеров. Первый пример: предположим, что в диаграмме классов имеется тернарная ассоциация, т. е. ассоциация, в которой участвуют три объекта. Например, возьмем объекты, принадлежащие трем разным классам: СТУДЕНТ, ПРЕДМЕТ и ЛЕКТОР (рис. 1). Определим кратности

¹Unified Modeling Language – унифицированный язык моделирования, использующий несколько видов диаграмм для спецификации, конструирования и документирования программных систем.

²CASE-средство (Computer Aided Software Engineering) – программный инструмент, позволяющий автоматизировать процесс разработки информационных систем.

³ n -арное ($n > 2$) отношение ассоциации – это отношение, в котором участвуют n объектов классов, входящих в ассоциацию.

⁴Object Constraint Language – объектный язык ограничений. Служит для определения накладываемых на объекты ограничений, которые не могут быть описаны на UML.

для классов, участвующих в этой ассоциации: СТУДЕНТ – (1..*), ПРЕДМЕТ – (1..*), ЛЕКТОР – (1).

Кратность ассоциации по отношению к классу ЛЕКТОР равна (1), поскольку любой фиксированной паре объектов из классов СТУДЕНТ и ПРЕДМЕТ соответствует только один объект класса ЛЕКТОР. Каждый ЛЕКТОР может вести занятия по одному предмету с несколькими студентами, поэтому кратность ассоциации по отношению к классу СТУДЕНТ равна (1..*); один и тот же лектор может читать одному студенту сразу несколько курсов, поэтому кратность ассоциации по отношению к классу ПРЕДМЕТ равна (1..*).

Заменяем тернарную ассоциацию на комбинацию бинарной ассоциации и класса-ассоциации. Доказательство справедливости такой замены достаточно простое. Соединим два класса с кратностями, отличными от (1), обычным отношением бинарной ассоциации. Тогда двум любым связанным объектам этих классов будет соответствовать ровно один объект

третьего класса, который мы можем без потери общности отнести к классу-ассоциации. Таким образом, класс-ассоциация заменит третий класс тернарного отношения. Более того, в этот класс мы можем дополнительно включить и атрибуты, относящиеся первоначально к тернарной ассоциации (рис. 2).

Это положение в принципе может быть распространено и на n -арные ассоциации и представлено в форме шаблона.

Шаблон_1: Предположим, что в n -арной ассоциации имеется класс с кратностью (1). Тогда n -арную ассоциацию можно заменить на комбинацию $(n-1)$ -арной ассоциации и класса-ассоциации.

Второй пример описывает случай, когда все объекты тернарной ассоциации принадлежат одному классу ЧЕЛОВЕК: имеется в виду отношение Отец – Мать – Ребенок (рис. 3). Здесь кратности таковы: ЧЕЛОВЕК (отец) – (1), ЧЕЛОВЕК (мать) – (1), ЧЕЛОВЕК (ребенок) – (*).

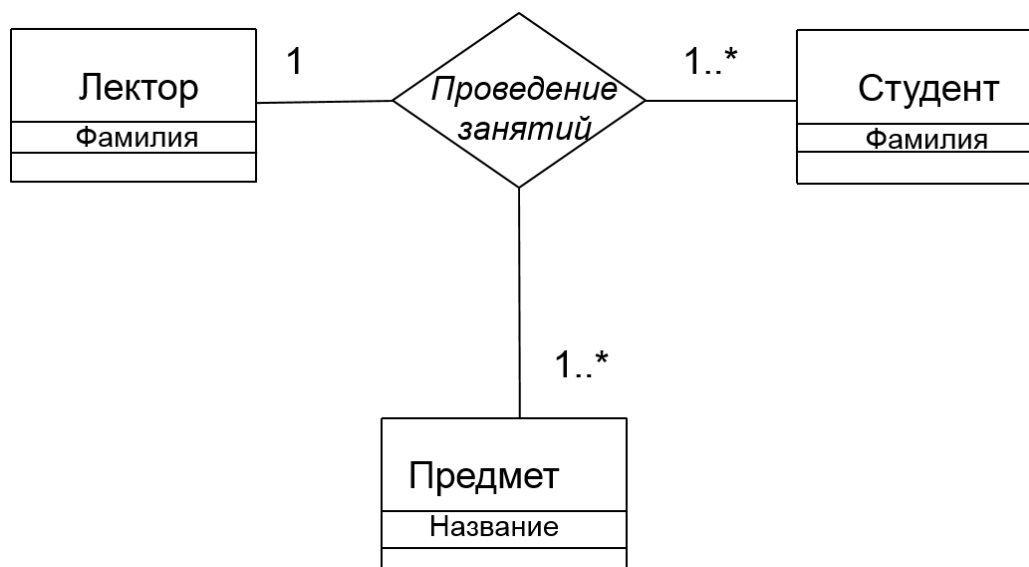


Рис. 1. Тернарная ассоциация.

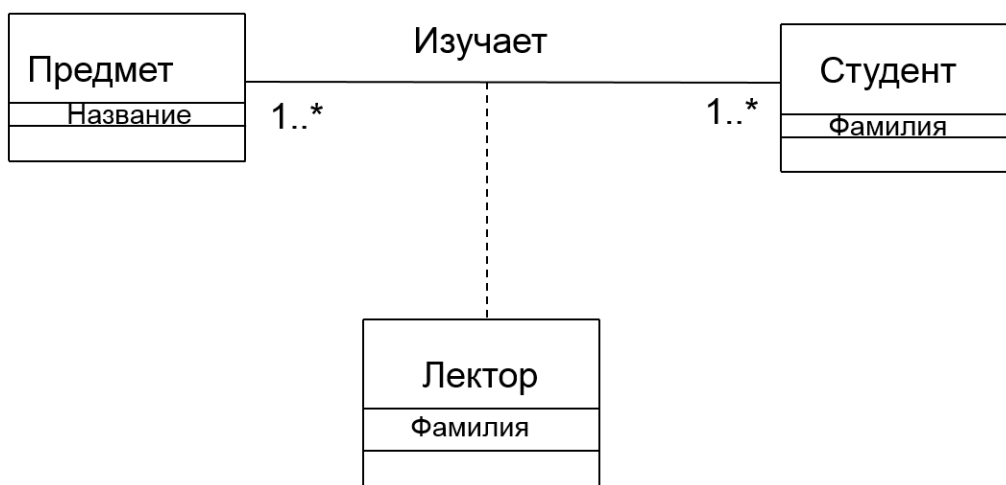


Рис. 2. Замена тернарной ассоциации на бинарную и класса-ассоциацию.

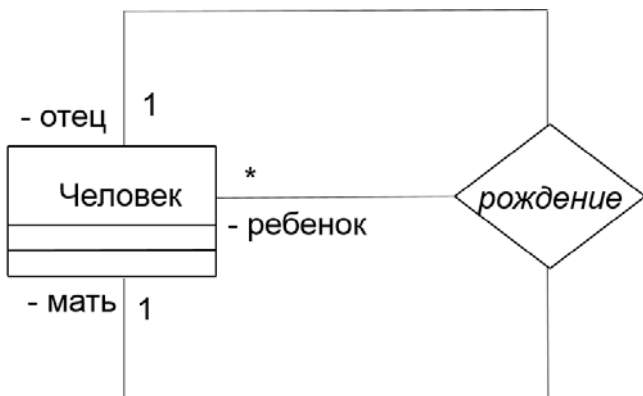


Рис. 3. Тернарная ассоциация между объектами одного класса

ВВЕДЕНИЕ ДОПОЛНИТЕЛЬНЫХ КЛАССОВ

Возвратимся к первому примеру. Для тернарной ассоциации, как и для любой другой, могут существовать относящиеся к ней атрибуты. В конкретном случае это могут быть: время начала занятия, время окончания занятия, аудитория. Попробуем выделить из множества объектов одного класса подкласс, обладающий общностью по отношению к этим атрибутам. Например, из множества студентов формируются подмножества – группы или потоки, для которых проводятся аналогичные занятия в одно и тоже время. В этом случае возникает класс ГРУППА.

Тернарная ассоциация между классами СТУДЕНТ – ПРЕДМЕТ – ЛЕКТОР трансформируется в тернарную ассоциацию ГРУППА – ПРЕДМЕТ – ЛЕКТОР и бинарную СТУДЕНТ – ГРУППА. Определим кратности для классов, участвующих в новой тернарной

ассоциации: ГРУППА – (1..*), ПРЕДМЕТ – (1..*), ЛЕКТОР – (1).

В этом случае также, воспользовавшись Шаблон_1, можно перейти к комбинации простой бинарной ассоциации и класса-ассоциации; тогда диаграмма классов примет уже другой вид (рис. 4). Преимущество такой диаграммы в том, что при реализации количество объектов – экземпляров класса-ассоциации ЛЕКТОР – будет существенно меньше.

Опираясь на изложенное выше, можно описать соответствующий шаблон проектирования следующим образом:

Шаблон_2. Предположим, что для двух или более классов существует класс-ассоциация с одним или несколькими атрибутами. Если возможно объекты одного из классов разбить на подмножества, для которых значения атрибутов класса-ассоциации будут одинаковы, то следует ввести еще один класс и связать его отношением ассоциации с кратностями (1) и (*) с первым классом.

Но все-таки избыточность в форме повторяющихся экземпляров класса-ассоциации ЛЕКТОР остается (в том случае, если лектор будет вести занятия в нескольких группах по одному предмету). Введем еще один класс-ассоциацию – РАСПИСАНИЕ. Это будет именно класс, а не атрибут, поскольку в него могут входить уже упомянутые нами атрибуты: время начала занятия, время окончания занятия, аудитория. И уже с этим новым классом свяжем обычной ассоциацией класс ЛЕКТОР. У этого нового отношения ассоциации будут следующие кратности: (1) – у класса ЛЕКТОР и (*) – у класса РАСПИСАНИЕ (рис. 5). Такой вариант позволит уменьшить количество экземпляров класса-ассоциации ЛЕКТОР. Здесь мы используем операцию, аналогичную операции нормализации из теории баз данных.

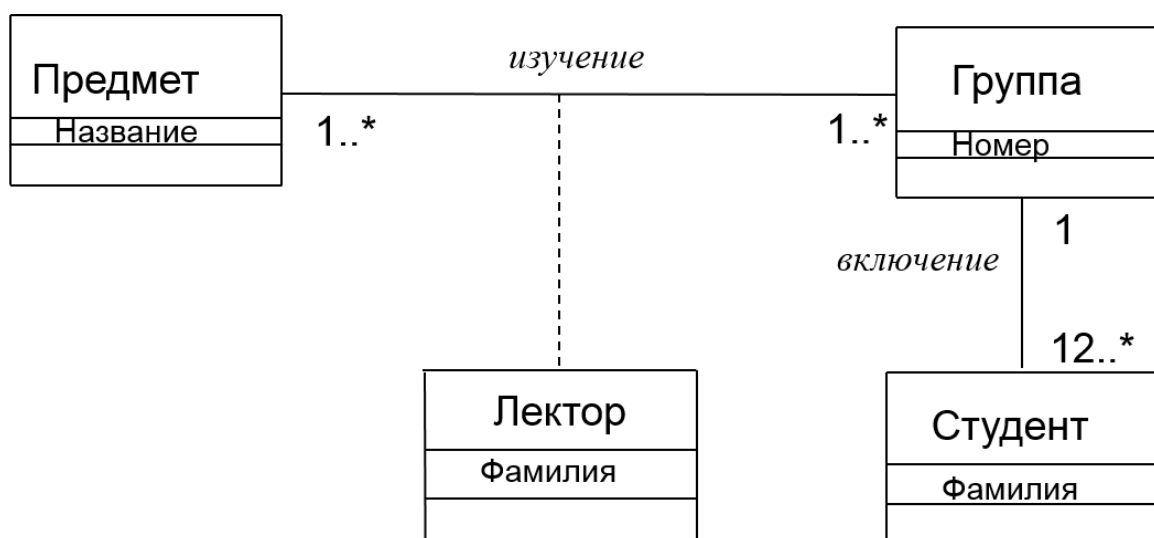


Рис. 4. Введение дополнительного класса ГРУППА

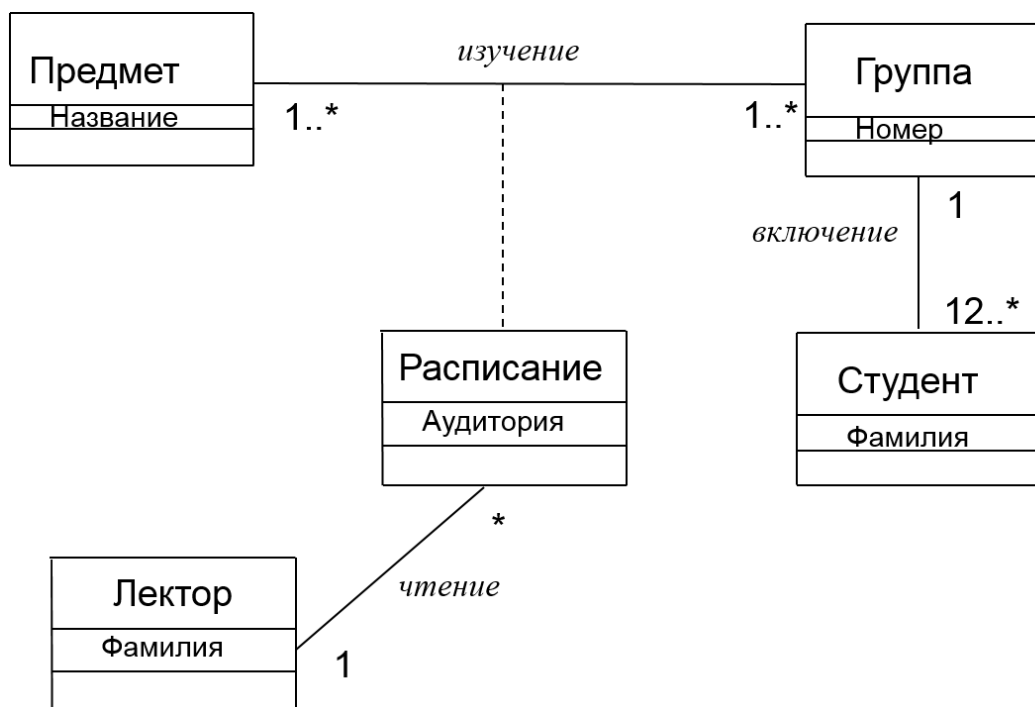


Рис. 5. Введение дополнительного класса-ассоциации – РАСПИСАНИЕ

ЗАМЕНА *n*-АРНОЙ АССОЦИАЦИИ НА БИНАРНЫЕ

Опишем еще один, достаточно часто встречающийся тип *n*-арных отношений ассоциации, которые могут возникать между объектами классов. Предположим, что с одной стороны в отношении ассоциации участвует один объект одного класса, а с другой – произвольное число объектов второго класса. То есть отношение задается набором кортежей⁵ переменной длины.

Приведем примеры таких отношений из реальных предметных областей. Пусть существуют два множества объектов, относящихся к заболеваниям, с одной стороны, и различным генотипическим признакам, с другой, из которых формируются классы: ЗАБОЛЕВАНИЕ и ГЕН_ПРИЗНАК, соответственно.

Отношения между объектами этих классов можно кратко описать так: объект класса ЗАБОЛЕВАНИЕ может быть связан с любым количеством объектов ГЕН_ПРИЗНАК, образуя кортежи разной длины. Кортежи в данном случае характеризуются еще и дополнительным атрибутом – вероятностью заболевания при наличии указанных генотипических признаков. Получается, что кортежи отношения, могут иметь, например, такой вид:

(31, ГП1), (31, ГП1, ГП2), (32, ГП2), (32, ГП3),
(32, ГП1, ГП2, ГП3),

где 31, 32 – объекты класса ЗАБОЛЕВАНИЕ;

ГП1, ГП2, ГП3 – объекты класса ГЕН_ПРИЗНАК.

Если отображать связи между объектами графически, то получится, что один объект класса ЗАБОЛЕВАНИЕ может быть связан с одним объектом ГЕН_ПРИЗНАК более одного раза. Диаграмма объектов, соответствующая описанным выше в виде кортежей отношениям, имеет вид, представленный на рис. 6.

Очевидно, что средств для описания и задания такого рода отношений, когда в отношении ассоциации участвует один объект одного класса и произвольное число объектов другого класса, в языке UML нет. Но решить проблему можно путем ввода дополнительного класса ГРУППА_ПРИЗНАКОВ. В случае возникает диаграмма классов, включающая кроме классов ЗАБОЛЕВАНИЕ, ГЕН_ПРИЗНАК и ГРУППА_ПРИЗНАКОВ еще и класс-ассоциацию между классами ЗАБОЛЕВАНИЕ и ГРУППА_ПРИЗНАКОВ для хранения дополнительных атрибутов (рис. 7).

Тогда соответствующий шаблон проектирования может быть сформулирован так:

Шаблон_3. Предположим, что в *n*-арной ассоциации участвует один объект одного класса и произвольное число объектов второго класса. В этом случае необходимо ввести новый класс для группирования объектов второго класса и связать его семантически различными отношениями бинарной ассоциации с первым и вторым классами.

⁵ Кортеж – упорядоченная последовательность элементов, в данном случае объектов.

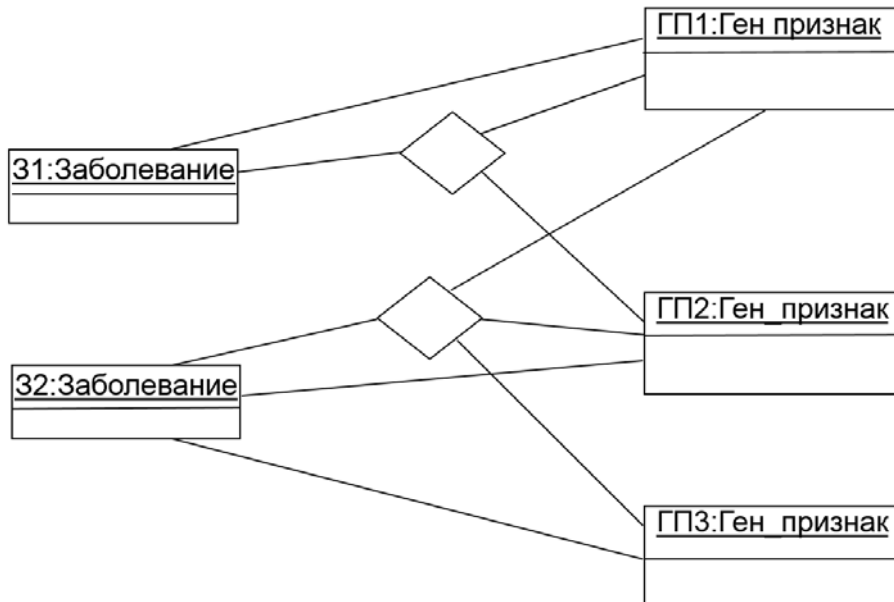


Рис. 6. Диаграмма объектов для предметной области – генетические заболевания

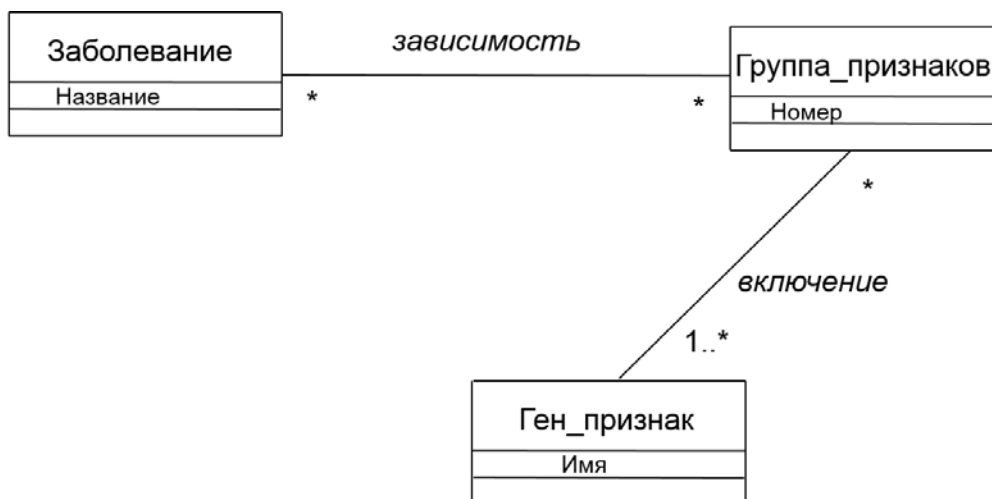


Рис. 7. Диаграмма классов для модели генетически обусловленных заболеваний

ВЛИЯНИЕ ТОЧНОГО ОПРЕДЕЛЕНИЯ РОЛИ ОТНОШЕНИЯ АССОЦИАЦИИ НА СЕМАНТИКУ ОТНОШЕНИЯ

Предположим, что предметная область содержит данные о спортивных командах (название, бюджет) и играх (результат, место проведения) между ними. Будем считать, что каждая команда по одному разу играет со всеми остальными.

Пусть m – общее число команд. Тогда каждая команда проводит $(m-1)$ матч со своими соперниками. Представим эту модель в виде диаграммы классов, которая будет включать класс КОМАНДА и отношение ассоциации ИГРА между объектами этого класса. Нас будут интересовать кратности для этого отношения. Очевидно, что кратность определяется числом игр и равна $m-1$. Причем кратность дублируется на обоих концах ассоциации. В этом случае число игр для каждой команды будет равно $m-1$, а само отношение будет симметричным (рис. 8).

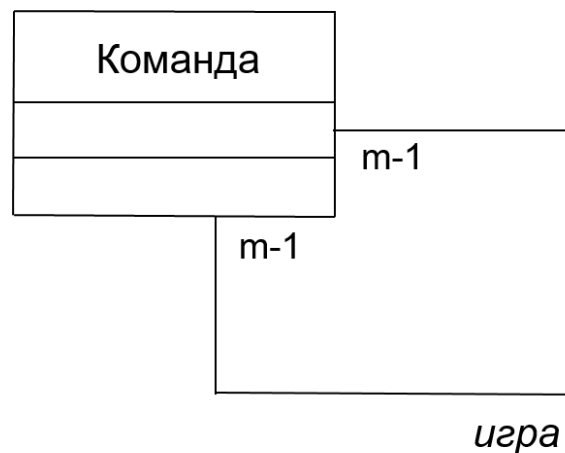


Рис. 8. Бинарное отношение ассоциации между объектами одного класса

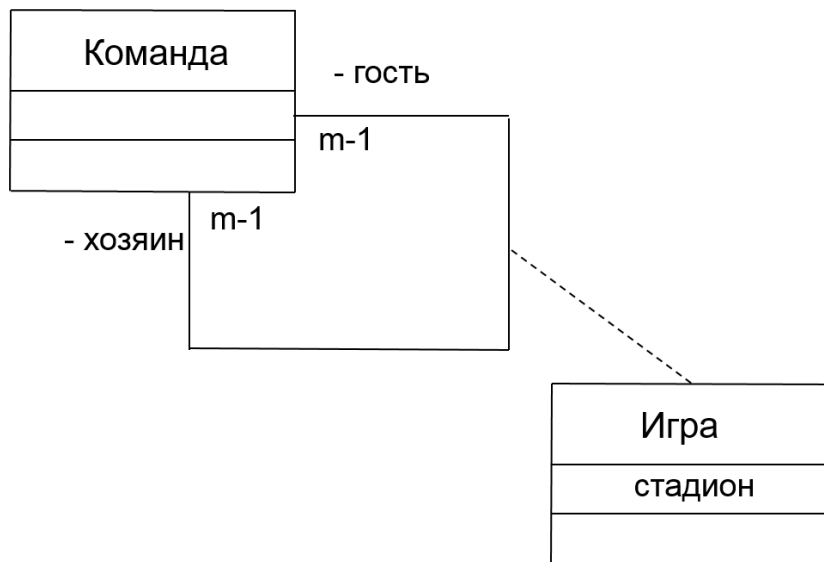


Рис. 9. Бинарная ассоциация между объектами одного класса с дополнительным классом-ассоциацией

Усложним задачу. Пусть каждая команда проводит $2m-2$ матча и по два раза встречается с другими командами: на своем и чужом полях. Прежняя модель это не описывает, поскольку кратность отношения ассоциации не может превышать число объектов класса.

Для того, чтобы описать новую ситуацию, следует отказаться от симметричности отношения и ввести роли, назвав их, например, *хозяин и гость*. Тогда каждый объект класса КОМАНДА будет участвовать уже в $2m-2$ отношениях: в половине случаев – в качестве хозяина, а в другой половине – в качестве гостя, хотя формально кратности отношения не изменились, т.е. фиксация роли позволила предать новый смысл отношению ассоциации, в котором участвуют объекты одного класса.

Для завершения формирования модели предметной области предположим, что у отношения ассоциации ИГРА имеются атрибуты: номер игры в календаре, дата встречи, стадион, число зрителей и т.п. Чтобы хранить значения этих атрибутов, необходимо ввести в модель предметной области класс-ассоциацию (рис. 9).

Обобщая изложенное, можно специфицировать шаблон 4 следующим образом:

Шаблон 4. Точное определение ролей в отношении ассоциации может изменить семантику отношения, в частности, изменить число объектов, участвующих в ассоциации.

Отметим, что отношение ассоциации всегда предусматривает упорядоченность объектов. Поясним это положение на более простом примере. Рассмотрим новое отношение ассоциации РАБОТА между классами КОМПАНИЯ и СОТРУДНИК. Определяя его, надо заранее указать, что первым в бинарной ассоциации стоит объект класса КОМПАНИЯ, а вторым – объект класса СОТРУДНИК, или наоборот. То же самое правило распространяется и на n -арные ассоциации.

Сложности возникают тогда, когда в отношении вступают объекты одного класса. Если отношение симметрично, то роли объектов в отношении одинаковы и их можно не определять. В таком случае порядок следования объектов не принципиален.

Если же отношение несимметрично, то необходимо определять роли объектов в отношении, т. е. вводить дополнительную семантическую информацию и фиксировать эти роли, устанавливая порядок следования объектов в отношении. Так при описании отношения РОДИТЕЛЬ – РЕБЕНОК роли надо указывать явно (рис. 10).

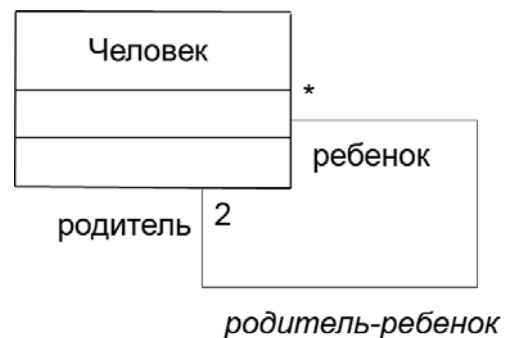


Рис. 10. Бинарная ассоциация между объектами одного класса с разными ролями объектов

ДЕКОМПОЗИЦИЯ ТЕРНАРНОЙ АССОЦИАЦИИ НА ДВЕ БИНАРНЫХ АССОЦИАЦИИ

Обратимся снова к примеру с командами. Изменим условия задачи: будем считать, что каждые две команды (всего команд m) встречаются между собой несколько раз. Тогда прежняя модель не пригодна для формализации новой ситуации. В принципе для описания предметной области в новой редакции достаточно всего одной тернарной ассоциации, включающей

классы ИГРА и дважды КОМАНДА (рис 11). Здесь n – число игр между двумя командами.

Интерес представляют значения кратностей: для команд они равны (1), а для игр – числу матчей между этими командами, в которых одна команда выступает исключительно либо в роли хозяина, либо в роли гостя.

Но нашу модель можно модифицировать и по-другому – заменив тернарную ассоциацию двумя бинарными (рис. 12). Новый класс ИГРА будет связан двумя отношениями ассоциации с классом КОМАНДА: первое отношение можно назвать ХОЗЯИН (имеется в виду хозяин поля в игре), второе – ГОСТЬ. Кратности со стороны класса КОМАНДА будут равны (1). Это однозначно определяет, какие команды участвуют в конкретной игре. Кратности со стороны класса ИГРА будут равны $(m-1) \times n/2$. Это выражение определяет общее число игр, которые каждая команда проводит в качестве гостя и хозяина соответственно.

Зададимся вопросом: эквивалентны ли модели, описываемые с помощью диаграмм классов, изображенных на рис. 11 и 12. Общее количество игр, проводимых каждой командой, и в том, и в другом случае равно $(m-1) \times n$. На своем и чужом полях также будет проведено равное число игр. Но, если в первом случае гарантируется, что каждая команда сыграет в роли хозяина со всеми другими ровно $n/2$ матчей и столько же в роли гостя, то во втором случае это условие может не выполняться.

Для того чтобы подтвердить этот факт, рассмотрим конкретный пример: три команды играют турнир в два круга. Т. е. $m=3$ и $n=2$, и каждая команда должна провести четыре матча, два из которых – в роли хозяина. Модель на рис. 12 допускает, что первая команда играет со второй оба матча дома, а с третьей оба матча в гостях, тогда как вторая команда играет с третьей оба матча дома, т. е. условие, когда каждая команда играет с другими равное число матчей в гостях и дома, не выполняется.

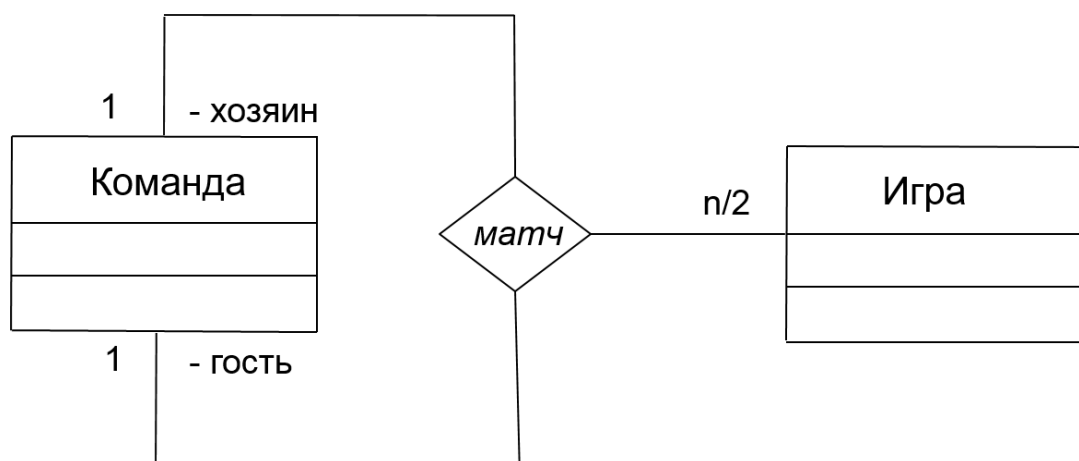


Рис. 11. Тернарная ассоциация, в которой два объекта принадлежат одному классу

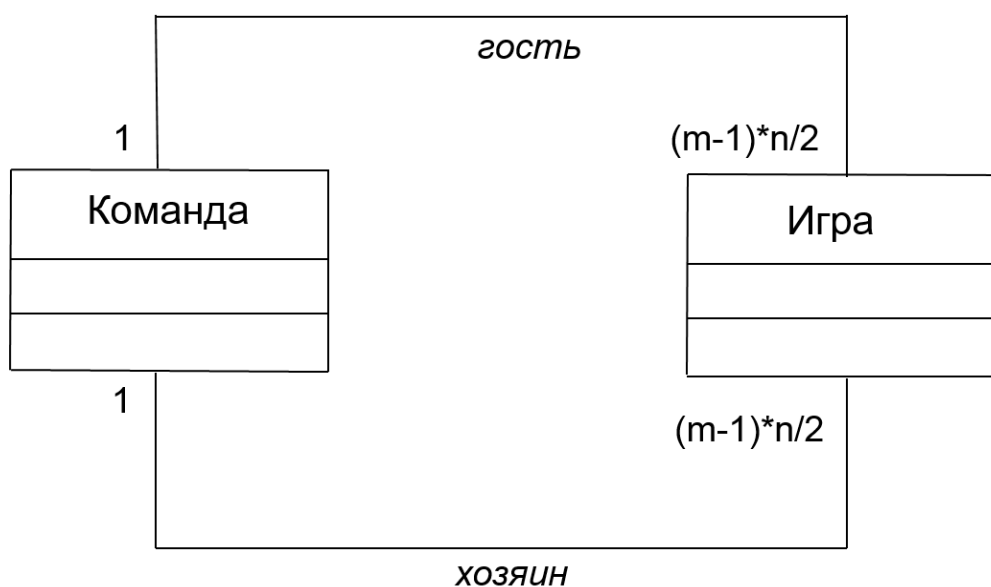


Рис. 12. Замена тернарной ассоциации двумя бинарными

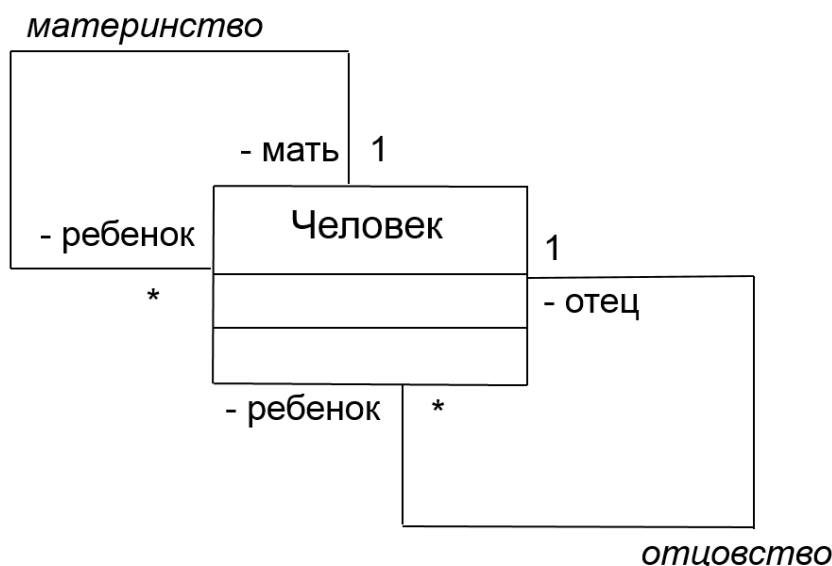


Рис. 13. Декомпозиция тернарной ассоциации между объектами одного класса

Рассмотрим более сложный случай, когда все объекты принадлежат одному классу. Самый очевидный пример представляет тернарное отношение МАТЬ – ОТЕЦ – РЕБЕНОК (рис. 3).

Эта ассоциация может быть декомпозирована на две обычных бинарных ассоциации (рис. 13). Это действительно так, поскольку по объекту ЧЕЛОВЕК в роли ребенка однозначно определяются его отец и мать.

Опираясь на написанное выше, можно представить правило декомпозиции в форме шаблона проектирования.

Шаблон_5. Тернарная ассоциация может быть декомпозирована на две бинарных ассоциации тогда, когда кратности отношения ассоциации для двух классов равны (1).

Но, если в ассоциации принимают участие объекты одного класса, то при декомпозиции необходимо учитывать семантику ролей отношения. В противном случае модели могут оказаться не полностью эквивалентными.

УЧЕТ ОГРАНИЧЕНИЙ НА ЗНАЧЕНИЯ ОБЪЕКТОВ, УЧАСТВУЮЩИХ В ОТНОШЕНИИ АССОЦИАЦИИ

Типичным является случай, когда объект не может вступать в отношение ассоциации с самим собой. Речь идет об отношении, в котором участвуют объекты одного класса. В основном это бинарные отношения, но встречаются и n-арные. С помощью стандартных средств языка UML такие ограничения описать невозможно. Тогда можно сделать следующий вывод:

Шаблон_6. Если бинарное отношение ассоциации специфицируется между объектами одного класса, то для того чтобы показать, что объект не может вступать в отношение с самим собой, необходимо использовать дополнительные ограничения.

В частности, для ограничения множества объектов, вступающих в отношение ассоциации, отлично

подходит язык OCL [9]. Он позволяет либо определить те объекты, которые могут участвовать в отношении ассоциации, либо идентифицировать объекты, которые по законам предметной области не должны этого делать.

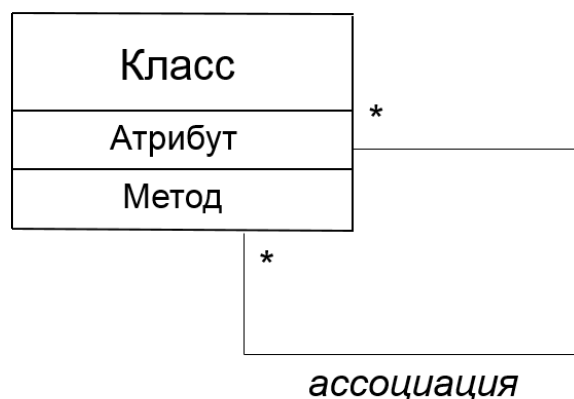


Рис. 14. Общий вид бинарной ассоциации между объектами одного класса

В общем случае (рис. 14), запрет будет выглядеть так:

self.ассоциация -> exclude (self),

где *self* представляет собой любой объект класса КЛАСС.

Чаще всего объект действительно не может вступать в бинарное отношение с самим собой, но возможны и исключения. Приведем пример. Пусть классом является ЧЕЛОВЕК, а отношением ассоциации, в котором участвуют объекты-люди, – ОТПРАВКА СООБЩЕНИЯ. Тогда вполне вероятно, что человек отправляет по электронной почте сообщение самому

себе, чтобы таким образом впоследствии получить доступ к содержимому сообщения с какого-то другого компьютера.

ЗАКЛЮЧЕНИЕ

В настоящей статье описаны шесть шаблонов проектирования, которые могут быть использованы при разработке программных систем. Эти шаблоны показывают, как учитывать роли объектов в отношениях ассоциации, как преобразовывать n -арные ассоциации в бинарные с помощью введения новых классов и отношений, и как учитывать семантические ограничения, накладываемые законами предметной области. В реальных предметных областях перечисленные выше ситуации встречаются достаточно часто. И системным аналитикам необходимо находить выходы из таких ситуаций. Применение новых шаблонов, описанных в работе, дает возможность уже на стадии проектирования, во-первых, избавиться от сложных как для моделирования, так и для реализации n -арных ассоциаций, и во-вторых, уменьшить число возникающих при проектировании программной системы ошибок и неточностей, связанных с несоответствием модели и предметной области.

СПИСОК ЛИТЕРАТУРЫ

1. Буч Г., Рамбо Д., Джекобсон А. UML. Руководство пользователя. – М.: ДМК, 2000.
2. Мацяшек Л. Анализ и проектирование информационных систем с помощью UML 2.0. – М.: Вильямс, 2016
3. Ларман К. Применение UML 2.0 и шаблонов проектирования. – М.: Вильямс, 2016
4. Gamma E., Johnson R., Helm R., Vlissides J. Design Patterns. Elements of Reusable Object-Oriented Software. – Addison-Wesley, 2001.

5. Sergievskiy M. N-ary Relations of association in class diagrams: design patterns // International Journal of Advanced Computer Science and Applications. – 2016. – Vol. 7, № 2. – P. 265-268.
6. Brown W., Malveau R., McCormick III H., Mowbray T. AntiPatterns, Refactoring software, architectures, and projects in crisis. – John Wiley & Sons, Inc, 1998.
7. Sergievskiy M., Kirpichnikova K. Optimizing UML class diagrams // ITM Web of Conferences, Volume 18, 7th Seminar on Industrial Control Systems: Analysis, Modeling and Computing (ICS 2018) Moscow, Russia, February 27-28, 2018. – URL: <https://www.itm-onferences.org/articles/itmconf/abs/2018/03/contents/contents.html>
8. Clark T., Warmer J. Object Modeling with the OCL. – Berlin: Springer, 2002.
9. Сергиевский М.В., Кирпичникова К.К. Валидация и оптимизация диаграмм классов UML // Cloud of Science. – 2018. – Т. 5. № 2 – С. 367-378.
10. Genova G., Llorens J., Martinez P. The meaning of multiplicity of n-ary associations in UML // Software System Modeling. – 2002. – № 1. – P. 86-97.
11. Olive A. Conceptual Modeling of Information Systems. – Berlin: Springer Science & Business Media, 2007.

Материал поступил в редакцию 04.11.19.

Сведения об авторе

СЕРГИЕВСКИЙ Максим Владимирович – кандидат технических наук, доцент, доцент Национального Исследовательского Ядерного Университета МИФИ, Москва.
e-mail: sermax@yandex.ru

Увеличение степени отказоустойчивости в программно-аппаратных системах сетевого управления на примере мягкого облачного хранилища

Рассматриваются методы повышения отказоустойчивости сетевых систем управления на примере системы хранения данных типа мягкое облачное хранилище. На основе моделей прогнозирующего управления предлагается новая модель системы управления, способная противостоять таким негативным сетевым эффектам, как временные задержки и потеря пакетов. Разработан инструмент для тестирования новой модели системы управления методом внесения неисправностей.

Ключевые слова: отказоустойчивость, сетевые системы, мягкое облачное хранилище, программно-аппаратный

ВВЕДЕНИЕ

С развитием компьютерных сетей новым видом систем управления стали системы сетевого управления. Большой интерес к развитию и исследованию систем данного класса обусловлен тем, что во всем мире цифровые сети географически покрывают всё большую территорию и становятся всё более доступными, поэтому они могут применяться для реализации систем управления с обратной связью без дополнительных затрат на установку сетевого оборудования. Сетевые системы управления нашли свое применение в тех областях деятельности человека, где необходимо обеспечение критического уровня безопасности, надежности и отказоустойчивости, например: авиация, программная инженерия, космические аппараты, робототехника, химические и ядерные процессы. Ошибки в управлении такими сложными системами могут привести к крупным техногенным и экономическим катастрофам.

Ввиду большой актуальности и практической значимости изучения способов построения отказоустойчивых систем и их управления было опубликовано множество трудов как российских ученых: В.А. Богатырев, А.Е. Шумский, А.Н. Жирабок, А.В. Котенок, А.В. Ушаков, так и иностранных исследователей: М. Бланк, Ц. Чжао, Дж.Ч. Лапри, Е. Дуброва, Я. Лунц.

Объектом нашего исследования является система хранения данных (СХД) типа «мягкое облачное хранилище» (МОХ), а **предметом исследования** – её сетевая система управления. **Цель исследования** – повысить степень отказоустойчивости сетевой системы управления СХД «МОХ» при негативных сетевых эффектах таких, как сетевые задержки и потеря пакетов.

ОПИСАНИЕ СИСТЕМЫ УПРАВЛЕНИЯ И ПОДХОДОВ К ОБЕСПЕЧЕНИЮ ЕЁ ОТКАЗОУСТОЙЧИВОСТИ

Рассмотрим структуру разрабатываемой нами системы, включающей объект управления и систему управления, основные причины возникновения отказов, а также используемый подход к обеспечению отказоустойчивости.

Отказоустойчивость. Использование компьютерного управления значительно упрощает применение сложных и эффективных алгоритмов управления. Отказоустойчивость становится одной из важнейших проблем при использовании этих алгоритмов [1, 2].

Отказоустойчивость – это способность управляемой системы выполнять цели управления, несмотря на возникновение отказов. При этом возможно ухудшение качества управления, что может быть допустимо. Отказоустойчивость достигается либо путем устранения отказов, либо через реконфигурацию системы или системы управления [3-5].

Одним из первых подходов к повышению отказоустойчивости компьютерной системы стало применение принципа избыточности, предложенного Джоном фон Нейманом [6] в 1950-х гг., который и сегодня широко используется при разработке различных технических систем. Наиболее эффективным методом является аппаратная избыточность, достигаемая путём резервирования аппаратных ресурсов системы. В ряде приложений отказоустойчивость путём резервирования является обязательным требованием, предъявляемым государственными надзорными органами к техническим системам.

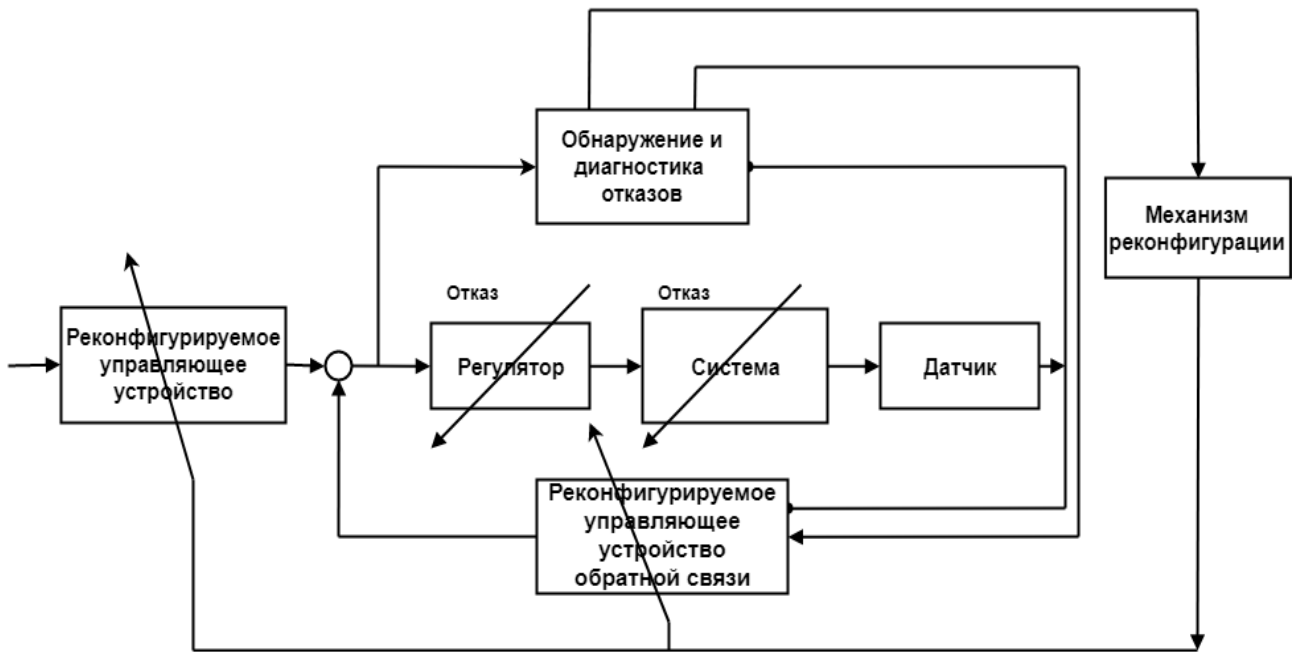


Рис. 1. Активная отказоустойчивая система

Выделим два основных типа отказоустойчивых систем – пассивные и активные (в зависимости от того, как в них реализуется избыточность).

Активные отказоустойчивые системы. В отличие от пассивных, активные отказоустойчивые системы (рис. 1) реагируют на неисправности компонентов, выстраивая управляющие воздействия таким образом, чтобы можно было поддерживать производительность, стабильность и надежность управляемой системы на заданном уровне. Этот подход основан на обнаружении и идентификации неисправностей в режиме реального времени для получения текущего состояния системы [7]. В дальнейшем эта информация используется системой управления для выполнения необходимой реконфигурации.

Временные ограничения обнаружения и идентификации неисправностей компонентов и реконфигурации системы являются критически важными критериями для активной отказоустойчивости.

Объект управления. В настоящей работе объектом управления является система хранения данных типа мягкое облачное хранилище (МОХ).

МОХ – это программно-определяемая облачная платформа для хранения данных, Любая организация, используя МОХ, может создать масштабируемые публичные облачные сервисы с надежностью и контролем инфраструктуры частного облака. Эта система хранения данных обеспечивает всестороннюю поддержку протоколов для неструктурированных данных и имеет гибкую программно-определяемую архитектуру, обеспечивающую неограниченную масштабируемость.

Графическое представление этих компонентов показывает рис. 2.

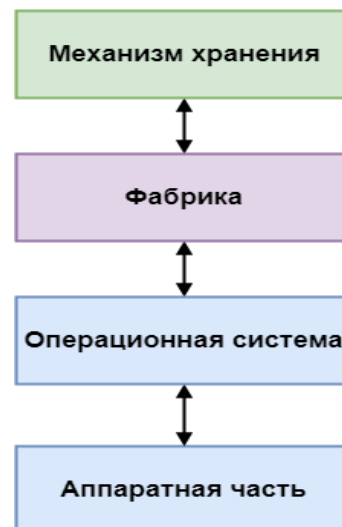


Рис. 2. Архитектура мягкого облачного хранилища

Мягкое облачное хранилище имеет специальные характеристики, которые необходимо поддерживать при решении задач управления, и как для любых других систем хранения данных, для этого хранилища характерен ряд контрольных показателей:

- вместимость – общий объем хранимой информации, которую может хранить система хранения данных. Вместимость выражается в единицах измерения количества информации, например, 256 терабайтов;

- задержка – время, необходимое для доступа к определенным данным, размещённым в системе хранения данных. Соответствующая единица измерения обычно составляет наносекунду для первичного хранения, миллисекунду – для вторичного хранения и секунду – для третичного хранения. Разделяют задержку чтения и задержку записи;

- пропускная способность – скорость, с которой информация может быть прочитана или записана в хранилище. В хранилищах данных пропускная способность обычно выражается в мегабайтах в секунду, но для некоторых случаев используют количество операций ввода/вывода в секунду. Это время, затрачиваемое системой хранения на выполнение операции ввода-вывода в секунду от начала до конца, измеряется в ОП/с. Как и в случае с задержкой, скорость чтения и скорость записи необходимо различать.

Система прогностического управления на базе внутренней модели объекта. Рассмотрим основные особенности систем прогностического управления (СПУ) для дискретных и непрерывных систем.

Непрерывная система может быть описана обыкновенным дифференциальным уравнением:

$$\dot{x}(t) = f(x(t), u(t)), \quad (1)$$

где $x(0) = x_0$, $f: \mathbb{R}^n \times \mathbb{R}^m \rightarrow \mathbb{R}^n$. Решением уравнения (1) является $x(t) = x(t, x_0, u)$ в момент времени t , вытекающее из функции управления $u: \mathbb{R} \rightarrow \mathbb{R}^m$ и удовлетворяющее начальным условиям. Множества возможных значений переменных состояния и управления обозначаются $X \subseteq \mathbb{R}^n$ и $U \subseteq \mathbb{R}^m$, соответственно. Если условия:

$$x(t, x_0, u) \in X, t \in [0, T] \quad \text{и} \quad u(t) \in [0, T] \quad (2)$$

выполнены, то функция управления u называется достижимой на интервале $[0, T]$ для x_0 , и обозначается как $u \in U(x_0, T)$. Здесь мы предполагаем существование и уникальность решения $x(\cdot, x_0, u)$ на интервале $[0, T]$ для всех $u \in U(x_0, T)$. Кроме того, управление u является достижимым для всех моментов времени на интервале $[0, T]$ относительно x_0 , т.е. $u \in U(x_0, \infty)$, если $u \in U(x_0, T)$ выполняется для любого $T > 0$.

Дискретная система может быть получена из непрерывной путём её дискретизации по времени. Например, дискретизация может быть реализована с помощью экстраполятора нулевого порядка. Если обозначить $\delta \in (0, T]$, $X \in \mathbb{R}^n$ и вектор управления $u \in \mathbb{R}^m$, то дискретную систему можно определить как:

$$\begin{aligned} x^+ &= f(x, u) = x(\delta, x, \tilde{u}), \\ \tilde{u}(t) &= u, t \in [0, \delta), \end{aligned} \quad (3)$$

где x^+ является решением дифференциального уравнения (1), полученного для $u = \text{const}$ на интервале времени δ , длящемся начиная с текущего состояния x . Тогда дискретное время k соответствует непрерывному времени $k\delta$. Таким образом, мы можем взаимодействовать с системой с непрерывным временем в режиме дискретного времени, т.е. мы можем описать дискретную систему с помощью разностного уравнения:

$$x(k+1) = f(x(k), u(k)), \quad (4)$$

где $x(0) = x_0$, $f: \mathbb{R}^n \times \mathbb{R}^m \rightarrow \mathbb{R}^n$. Решение уравнения для $(u(k))_{k \in \mathbb{N}_0}$ и начального условия x_0 в момент времени k обозначается $x_u(k, x_0)$.

Входная последовательность

$$u = (u(0), u(1), \dots, u(N-1))$$

длины N называется допустимой для $x_0 \in X$, если выполнены условия:

$$f(x_u(k, x_0), u(k), u(k)) \in X. \quad (5)$$

Это справедливо для каждого $k \in \{0, 1, \dots, N-1\}$, для которого $u \in U(x_0, N)$. Аналогичное справедливо и для непрерывных систем, где входная последовательность $(u(k))_{k \in \mathbb{N}_0}$ называется допустимой для всех моментов времени относительно x_0 , т.е. $u \in U(x_0, \infty)$, если $u \in U(x_0, N)$ выполняется для каждого $N \in \mathbb{N}$.

Рассмотрим систему с дискретным временем (4). Наша цель – обеспечить устойчивость стационарного состояния x^* системы (4) с помощью $u: \mathbb{R}^n \rightarrow \mathbb{R}^m$, минимизируя целевую функцию:

$$J_\infty(x_0, u) = \sum_{k=0}^{\infty} \ell(x_u(k, x_0), u(k)), \quad (6)$$

так, чтобы состояние и ограничения управления были удовлетворительными, т.е. $u \in U(x_0, \infty)$. Целевая функция одного шага $\ell: \mathbb{R}^n \times \mathbb{R}^m \rightarrow \mathbb{R} \geq 0$ должна быть построена в соответствии с ожидаемыми результатами и быть положительно определена по x .

Компенсация сетевых задержек и потери пакетов. В сетевых системах управления измерительная информация, полученная датчиками, и входной сигнал, вычисленный системой управления, передается через сеть связи. Как следствие, могут возникать потери пакетов и сетевые задержки.

В этой ситуации система прогностического управления может использоваться для компенсации как задержек, так и потерь пакетов, например, передавая не только первое значение вектора управляющей последовательности u , но и большие части этой последовательности. Это поможет создать резервные входные воздействия в случае сбоя следующей передачи из-за потери пакета.

Поскольку модели прогнозирующего управления предоставляют целую последовательность входных значений, необходимая последовательность легко доступна без каких-либо дополнительных вычислительных операций. Так же, поскольку система прогностического управления является методологией управления, основанной на прогнозировании, задержки в сети можно компенсировать с помощью легкодоступного алгоритма прогнозирования.

ПОСТАНОВКА ЗАДАЧИ ИССЛЕДОВАНИЯ И РАЗРАБОТКА МЕТОДОВ ЕЁ РЕШЕНИЯ

Рассмотрим дискретную систему (4), при $x(0) = x_0$.

Для формализации идеи передачи и применения управляющих последовательностей вместо отдельных значений, мы используем концепцию многошаговых законов управления с обратной связью.

Многошаговый закон управления с обратной связью может быть описан математически в виде $u_{m^*} : \mathbb{R}^n \times \{0, 1, \dots, m^* - 1\} \rightarrow \mathbb{R}^m$, ($m^* \in \mathbb{N}$) и генерирует допустимую последовательность чисел длиной m : $u_{m^*} = (u_{m^*}(x, 0), u_{m^*}(x, 1), \dots, u_{m^*}(x, m^* - 1)) \in U(x, m^*)$, зависящих от x .

Объект управления (ОУ) и система управления (СУ) взаимодействуют через коммуникационную сеть, в которой могут наблюдаться как случайные задержки в передаче данных, так и пропадание пакетов данных. Значения τ_{sc} , τ_c , τ_{ca} представляют собой задержку передачи данных между датчиками и системой управления (τ_{sc}); вычислительную задержку и задержку между СУ и частями системы (τ_c); задержку между ОУ и СУ (τ_{ca}), соответственно. Данные задержки могут моделироваться детерминистически, через определение верхних границ для наихудшего случая возможных задержек или стохастически, предполагая, что значения задержек подчиняются известному распределению.

Модельно-ориентированная компенсация сетевых эффектов. Идея метода модельно-ориентированной компенсации сетевых эффектов состоит в том, чтобы иметь математическое описание модели объекта управления на стороне системы управления и использовать данную модель для компенсации неопределенностей, вызванных неидеальной коммуникационной сетью, т.е. «внутренняя» модель объекта управления используется в системе прогностического управления для нейтрализации дестабилизирующих эффектов, вызванных задержками и пропажей пакетов.

Использование временных отметок и допущений о синхронизации важно для установления общего периода времени передачи пакета данных между СУ и ОУ. Хотя эти меры и носят ограничительный характер, они обычно используются в сетевых системах управления.

Подход, который предлагается использовать для повышения степени отказоустойчивости рассматриваемой системы управления, является детерминистическим. Это означает, что мы предполагаем знание верхних границ (для худшего случая) возможных задержек [1, 8].

Рассмотрим случай, когда присутствуют только задержки τ_{sc} . Поскольку нам заранее известна модель системы, и значение $x(k_s)$, то мы можем вычислить прогнозируемое значение $\tilde{x}(k_s + \tau_{sc})$ текущего состояния $x(k_s)$, основанного на старом измерении $x(k_s)$. Затем можно использовать прогнозируемое состояние для решения задачи оптимального управления в алгоритме СПУ.

Концепция согласованности предсказаний позволяет отделить анализ управления, например, с точки зрения устойчивости и качества, от влияния коммуникационной сети на исследуемый замкнутый контур. Предположим, что существует система управления, которая формирует допустимые последовательности $\mu_{m^*, \sigma} x(\cdot, \tilde{x}(\delta))$. Это может быть не только система, использующая СПУ, но и СУ любого другого типа.

Допустим, что система управления может стабилизировать систему независимо от того, сколько элементов каждой последовательности $\mu_{m^*, \sigma} x(\cdot, \tilde{x}(\delta))$ используются. Тогда её реализация через сеть с согласованными предсказаниями приведет к стабильной сетевой замкнутой системе. Причина этого заключается в том, что в отсутствие ошибок прогнозирования и согласованность прогнозов гарантирует совпадение прогнозируемого состояния с фактическим состоянием системы, поэтому последовательности обратной связи вычисляются на основе точной информации о состоянии системы.

Устойчивость модельно-ориентированной компенсации. В случае если одна из переданных управляющих последовательностей $\mu_{m^*, \sigma}$ не поступает или поступает слишком поздно в систему, значения управления в переданной ранее последовательности используются для обеспечения исполнительных механизмов текущей информацией [9, 10].

Поскольку временные задержки и потери пакетов варьируются в зависимости от текущей нагрузки сети, это означает, что длина $m \in \{1, 2, \dots, m^*\}$ каждой управляющей последовательности $\mu_{m^*, \sigma}$ может изменяться со временем. Это значение, теоретически, можно сделать независимым от времени, используя всегда значения $m = m^*$, однако из соображений надежности желательно всегда использовать самые последние управляющие входные данные, т.е. поддерживать m как можно меньшим.

Значит следует учитывать изменяющиеся во времени контрольные горизонты m , и поэтому необходимо найти условие, которое обеспечивает асимптотическую устойчивость замкнутого контура СПУ в этой ситуации. Для этого будем использовать функцию значения $V_N(\cdot)$, как общую функцию Ляпунова для неравенства:

$$V_N(x_{uN, m^*}(m, x) \leq V_N(x) - \alpha \sum_{k=0}^{m-1} \ell(x_{uN, m^*}(k, x), u_{N, m^*}(k, x)), \quad (7)$$

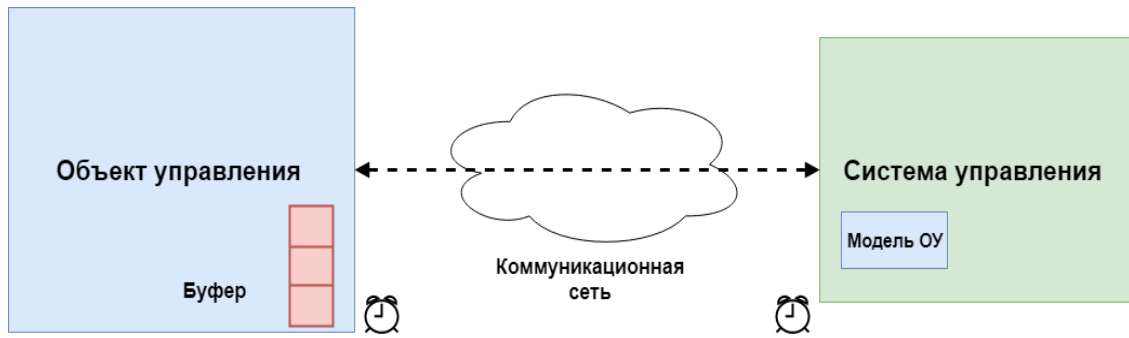


Рис. 3. Новая схема взаимодействия СУ и ОУ

где $\alpha \in (0,1]$ для каждого возможного состояния $x \in X$. Здесь $\mu_{m^*,\sigma}$ обозначает последовательность, состоящую из $m^* \in \{1,2,\dots,N\}$ вычисленных элементов $u^* \in U(x,N)$ на первом шаге алгоритма системы прогностического управления.

В дополнение к неравенству (7) зададим условия:

$$\eta_1 (\|x - x^*\|) \leq V_1(x),$$

$$V_N(x) \leq \eta_2 (\|x - x^*\|),$$

справедливые для всех $x \in X$. Тогда можно обеспечить асимптотическую устойчивость управления с помощью моделей прогнозирующего управления.

Для этого мы предполагаем, что для каждого возможного состояния $x \in X$ существует вектор управления $u \in U(x,\infty)$, а пара (C,ς) состоящая из $C \in \mathbb{R}$ и $\varsigma \in (0,1)$ удовлетворяет неравенству:

$$\ell(x_u(k,x),u(k)) \leq C\varsigma^k \quad \min_{u \in U(x,1)} \ell(x,u) = C\varsigma^k \ell^*(x).$$

Исходя из вышеизложенного, получим:

$$\alpha_{N,m} = 1 - \frac{\prod_{i=m+1}^N (\gamma_i - 1) \prod_{i=N-m+1}^N (\gamma_i - 1)}{\left(\prod_{i=m+1}^N \gamma_i - \prod_{i=m+1}^N (\gamma_i - 1) \right) \left(\prod_{i=N-m+1}^N \gamma_i - \prod_{i=N-m+1}^N (\gamma_i - 1) \right)}.$$

Внедрение предложенных решений в управление системой хранения данных «мягкое облачное хранилище»

Новая схема взаимодействия системы управления и объекта управления представлена на рис. 3. Теперь система управления посылает последовательность

управляющих значений, а не единичное значение, как это было раньше.

В объект управления был добавлен буфер, хранящий значения управления, которые будут применены в случае возникновения сетевых задержек и потери сетевых пакетов. Также система управления и объект управления были оснащены логикой работы с протоколом передачи данных, который обеспечивает передачу информации между компонентами системы вместе с временными метками.

Разработка инструмента для тестирования разработанных решений и его применение

Система управления СХД МОХ является программным обеспечением. Для тестирования такого рода ПО применяется метод «Внесения неисправностей», позволяющий улучшить тестирование программ, их отказоустойчивости и надежности путем внесения искусственных неисправностей разного рода.

Для разработки инструмента внесения этих неисправностей мы воспользовались двумя уже существующими компонентами – «Пумба» и «Куб-манки». Они являются открытым программным обеспечением и поэтому могут быть свободно использованы.

«Пумба» – популярный инструмент для генерации неисправностей, позволяющий завершать программные процессы в различных дистрибутивах *GNU/Linux* с различными кодами возврата. Также он может симулировать сетевые проблемы, такие как задержки и потери при передаче пакетов данных по сети.

«Куб-манки» позволяет удалять случайные контейнеры с запущенными приложениями, что помогает разработчикам проверять поведение их программ и создавать более надежное и отказоустойчивое программное обеспечение [1, 5, 10].

Наш инструмент будет запускать два компонента в автоматическом режиме, вносить искусственные неисправности и генерировать отчеты о результатах тестирования.

Алгоритм работы разработанного инструмента тестирования изображен на рис. 4.

Тестирование исходной системы управления. На рис. 5 изображен результат тестирования исходной системы управления. В момент времени 125.235 произошел сбой в коммуникационной сети. Исходная

СУ попыталась переконфигурировать систему, но потерпела неудачу, что привело к выходу системы из строя (временная отметка 171.536 и далее).

Тестирование новой модели системы управления. На рис. 6 изображен результат тестирования новой системы управления, использующей разработанную модель прогнозирующего управления. В момент времени 146.392 произошел аналогичный рассмот-

ренному выше сбой в работе коммуникационной сети. Однако новая модель системы управления, разработанная нами, смогла переконфигурировать систему благодаря СПУ и буферу, где хранились резервные управляющие последовательности.

После 189.392 система начала восстанавливаться и к временной отметке 209.513 вернулась к исходным характеристикам.

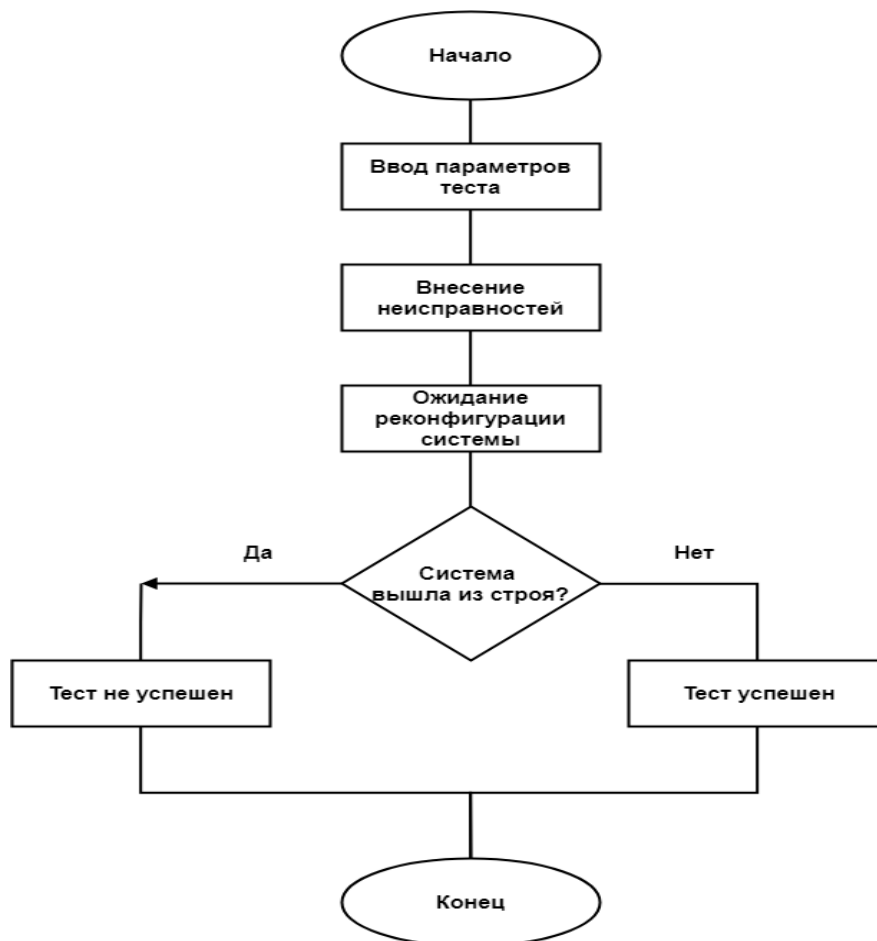


Рис. 4. Алгоритм работы инструмента тестирования

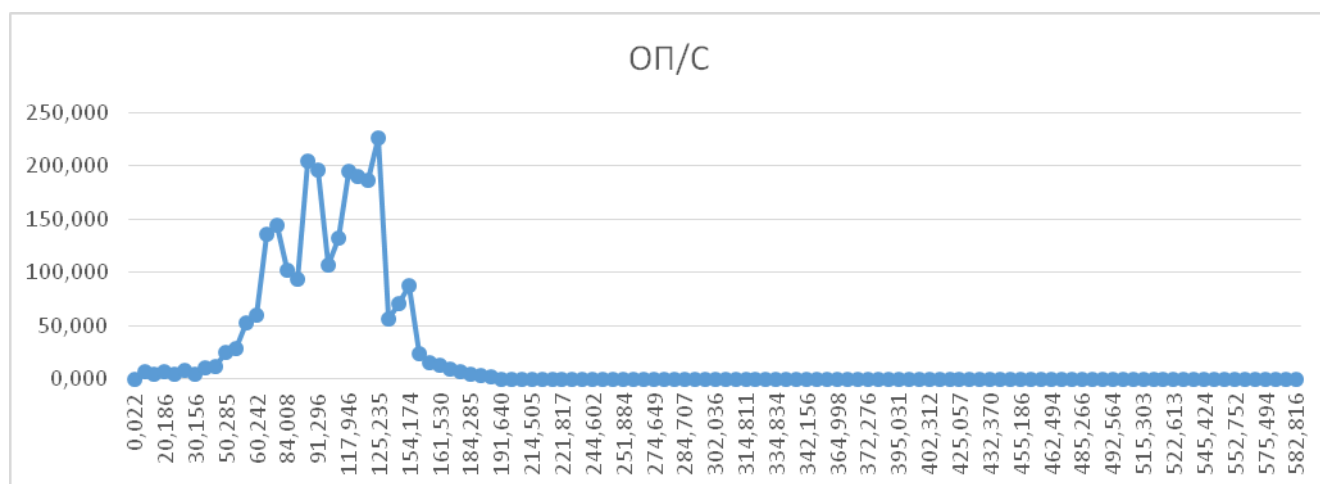


Рис. 5. Результаты работы исходной системы управления: по оси ординат отмечена текущая производительность СХД МОХ в операциях в секунду (ОП/с); по оси абсцисс – отсчеты времени

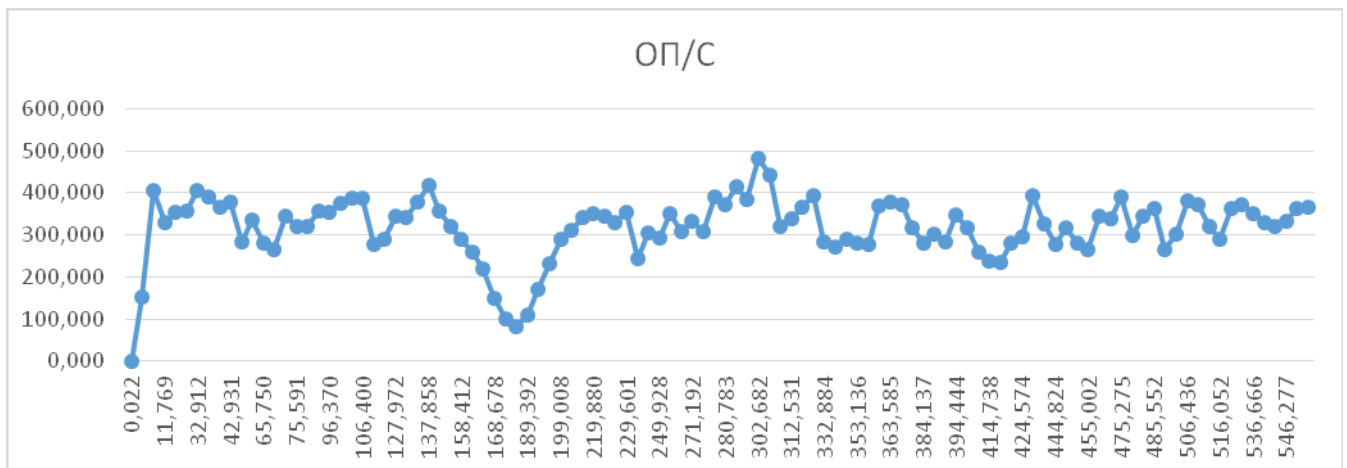


Рис. 6. Результаты работы новой модели системы управления: по оси ординат отмечена текущая производительность СХД МОХ в операциях в секунду (ОП/с); по оси абсцисс – отсчёты времени

ЗАКЛЮЧЕНИЕ

Рассмотрены методы повышения отказоустойчивости сетевых систем управления на примере системы хранения данных типа «мягкое облачное хранилище», представляющей собой программно-аппаратный комплекс. Для управления таким сложным объектом существует система управления, взаимодействующая с хранилищем через коммуникационную сеть. В таких сетях могут возникать временные задержки и потеря пакетов, что способно фатально повлиять на стабильность всей системы. В исходной версии системы управления не было механизмов борьбы с подобными сетевыми эффектами и их последствиями и, как следствие, система имела низкую отказоустойчивость.

Нами был предложен подход к обеспечению повышения степени отказоустойчивости системы хранения данных типа «мягкое облачное хранилище» в условиях неидеальной работы сети передачи данных, а также проанализированы результаты тестирования исходной системы управления и разработанной модели отказоустойчивого управления.

В соответствии с полученными результатами, можно сделать вывод, что предложенная нами модель может справляться с сетевыми задержками и потерей пакетов, в отличие от исходной. Выводы подтверждаются результатами экспериментов, которые проводились на функционирующей системе хранения данных «мягкое облачное хранилище».

СПИСОК ЛИТЕРАТУРЫ

- Zhilentov A.A., Nyrkov A.P., Chernyi S.G., Sokolov S. Simulation of In-Sensor Processes in the Sensor - Object System Type when Scanning the Elements of Underwater Communication Lines with a Probe Beam // International Review on Modelling and Simulations. – 2017. – Vol. 10, № 5. – P. 363-370
- Соколов С.С., Жилентков А.А., Черный С.Г. Обеспечение заданной степени устойчивости при управлении сложными системами с конечной точностью на примере мобильных объектов // Морская радиоэлектроника. – 2018. – № 4(66). – С. 42-45.
- Бланк М., Фрей, К. У., Краус К., Паттон Р.Дж., Старосветский М. Что такое отказоустойчивое управление // 4-й симпозиум IFAC по обнаружению неисправностей, надзору и безопасности для технических процессов: тезисы докл. Межд. конф. – Венгрия, 2000, С. 05579
- Алкасем А., Лю Х. Обзор отказоустойчивости в облачных вычислениях: концепции и практика // Исследовательский журнал прикладных наук, инженерии и технологии. – 2015. – №11. – С. 1365-1377.
- Дуброва Е. Отказоустойчивая архитектура. – 2-е изд. – NY: Springer, 2013. – 185 с.
- фон Нейман Дж. Вероятностная логика и синтез надежных организмов из ненадежного компонента // Исследования автоматов. – 1956. – №11. – С. 43-98.
- Цзян Ж., Чжао. К. Настраиваемое управление, основанное на неточной идентификации неисправностей // Труды Американской конференции по контролю. – USA, 1999. – С. 114-118.
- Гертлер Дж. Обнаружение и диагностика неисправностей в инженерных системах. - Нью-Йорк: Марсель Деккер, 1998. – 280 с.
- Джонсон Ф. Любопытство по поводу строк кода. // IT World. – URL: <https://www.itworld.com/article/2725085/curiosity-about-lines-of-code.html> (дата обращения: 27.04.2019)
- Nyrkov A.P., Zhilentov A.A., Sokolov S.S., Chernyi S.G. Hard- and Software Implementation of Emergency Prevention System for Maritime Transport // Automation and Remote Control. – 2018. – Vol. 79(1). – P. 195-202.

Материал поступил в редакцию 18.10.19.

Сведения об авторах

ЧЕРНЫЙ Сергей Григорьевич – кандидат технических наук, доцент, заведующий кафедрой электрооборудования судов и автоматизации производства Керченского государственного морского технологического университета, г. Керчь; доцент кафедры комплексного обеспечения информационной безопасности Государственного университета

морского и речного флота имени адмирала С.О. Макарова, Санкт-Петербург
e-mail: sergiiblack@gmail.com

ЖИЛЕНКОВ Антон Александрович – кандидат технических наук, доцент, заведующий кафедрой морской электроники Санкт-Петербургского государственного морского технического университета, Санкт-Петербург.
e-mail: zhilenkovanton@gmail.com

ВНИМАНИЮ ЧИТАТЕЛЕЙ!

ИЗДАНИЕ УДК

УНИВЕРСАЛЬНАЯ ДЕСЯТИЧНАЯ КЛАССИФИКАЦИЯ
АЛФАВИТНО-ПРЕДМЕТНЫЙ УКАЗАТЕЛЬ
в 2-х томах

Алфавитно-предметный указатель (АПУ) к 4-му полному изданию УДК на русском языке:

Том I содержит АПУ от буквы А до Н;

Том II содержит АПУ от буквы М до Я и указатель латинских наименований к классам УДК 56 Палеонтология, 57 Биологические науки, 58 Ботаника, 49 Зоология, 61 Медицинские науки.

АПУ содержит около 100 000 понятий, представленных в полных таблицах УДК.

При его составлении были учтены изменения, опубликованные в Выпусках № 1 – 6 «Изменения и дополнения к УДК»

Для подписки необходимо направить заявку для оформления счета по адресу:

125190, Россия, Москва, ул. Усиевича, 20, ВИНТИ РАН

Телефоны: 499 155-42-85, 499 151-78-61

E-mail: feo@viniti.ru

<http://www.udcc.ru>