

АВТОМАТИЧЕСКОЕ ЛОГИСТИЧЕСКОЕ ОПЕРИРОВАНИЕ В ДИСКРЕТНЫХ СИСТЕМАХ МАССОВОГО ОБСЛУЖИВАНИЯ

¹Кудрявцев В. И., ²Зирко О. Ф.

¹ ННФ «Адекват», Москва, Россия, vik171@yandex.ru;

² Белорусский институт системного анализа и информационного обеспечения научно-технической сферы (БелиСА), Минск, Беларусь, olzirko@yandex.ru

Автоматизация асинхронных логистических процессов с целью их оптимизации в реальном времени на транспорте, дискретном производстве и сфере услуг была и остается актуальной технической задачей. Математическое моделирование области исследования операций предоставляет ряд инструментов для этой цели, из которых следует выделить теорию расписаний и теорию массового обслуживания, которые предусматривают целостный подход к математическому моделированию неограниченно больших логистических систем. Однако в отличие от теории автоматического управления, где математическое моделирование непрерывных и частично непрерывных процессов в технических системах привело к революции в области автоматического управления, в данном случае желаемый эффект достигнут не был. В упомянутых выше теориях математическое моделирование дискретных процессов, основанных на операциях, к которым относятся и логистические процессы, нашло лишь ограниченное применение в компьютерном имитационном моделировании.

Парадигма математического моделирования в теории автоматического управления строится на основе контура автоматического управления в трех его основных разновидностях. На основе этой ключевой структуры и на взаимодействии этих структур проектируется и затем осуществляется автоматическое управление сложными техническими системами с непрерывными или частично непрерывными процессами. В отличие от этого такой универсальной структуры, которые бы распространяли методы логистического оперирования в этой структуре на неограниченно сложное сочетание ключевых структур, которые исчерпывающе полно для целей такого оперирования в реальном времени описывают соответствующие реальные процессы в рассматриваемых теориях, не выделено.

Исходя из этого, на основе подходов теории расписания и теории массового обслуживания, для целей автоматического логистического оперирования (ALO) авторами предложена ключевая структура, которую назовем ключевой системой массового обслуживания (KQS).

Ключевая структура ALO представлена в виде KQS потому, что авторами принята за основу система масштабирования логистического моделирования теории массового обслуживания, где на основе последовательного сочетания систем массового обслуживания (QS) могут быть сформированы сети массового обслуживания (QN) [1]. Элементами построения QS являются предметы обслуживания, далее Rq , образующие очередь ожидания обслуживания, а точнее очередь ожидания реализации Rq в QS, где под реализацией понимается начало обслуживания Rq в QS. Далее эту структуру ожидания обслуживания мы будем обозначать просто как очередь ожидания относительно завершающего ее обслуживающего прибора Sr . В соответствии со своим предназначением KQS как логистическая модель ключевой структуры ALO должна отображать такую структуру, в которой любая QS может рассматриваться либо как ключевая структура, включая ее упрощенные версии, либо как сочетание ключевых структур, и при этом для нее должна быть реализуема полнота всех типов логистических операций над предметами обслуживания в QS и QN кроме операций, сопровождающихся изменением логистической целостности моделируемого предмета обслуживания. Однако, поскольку в теории массового обслуживания логистические операции как таковые не рассматривались, а также для преодоления существенных ограничений моделирования реальных процессов в QS и QN, в структуры QS и QN и соответственно в KQS были внесены изменения.

Основываясь на необходимости учета в QS индивидуальных характеристик предметов обслуживания и обслуживающих приборов наподобие того, как это существует в теории расписаний, в характеристики структур QS было внесено дополнительное ограничение и соответственно добавлена новая структура QS для восстановления полноты моделирования реальных процессов с этим ограничением. Также в отличие от теории массового обслуживания, где принята поточно-дискретная система моделирования, для структур QS была предусмотрена дискретная система моделирования как это принято в теории расписаний, поэтому под QS и KQS далее будем иметь в виду их дискретные модели и соответственно тоже самое касается QN. Кроме того, для полноты отображения реальных ситуаций в очередях

ожидания и одновременного отображения в них процесса планирования логистических операций в KQS были введены новые элементы очереди ожидания кроме предметов обслуживания этой очереди.

Были выделены 3 логистические операции, которые полностью описывают процессы логистического оперирования Rq в QS и QN, за исключением логистического оперирования с изменением логистической целостности Rq. Это операция инореализации Rq из очереди ожидания; операция концентрации, то есть поступления, Rq в очередь ожидания реализации, далее просто очередь ожидания; операция дистрибуции, то есть распределения разных Rq между несколькими KQS. Операции инореализации и концентрации относятся к собственным логистическим операциям KQS, а операция дистрибуции включена в рассмотрение как логистическая операция с KQS, поскольку она востребована в сложных QS и особенно в QN. Рассмотрим сначала схему KQS с собственными логистическими операциями инореализации и концентрации, представленную на рисунке 1.

На рисунке 1 представлены две взаимосвязанные системы с очередями ожидания включающими в себя разнотипные Rq. Одна из них, помеченная на рисунке 1 как 1–2 представляет собой QS с реальной очередью ожидания обслуживания Rq только в одном обслуживающем приборе Sr, а другая, помеченная на рисунке 1 как (1–2) A, – модель QS с виртуальной очередью ожидания обслуживания Rq только в одном обслуживающем приборе SrA, осуществляющем инореализацию Rq из очереди ожидания 1–2. Ограничение систем 1–2 и (1–2) A только одним обслуживающим прибором, это одно из необходимых ограничений, которое отличает поточно-дискретную QS от дискретной модели QS. Виртуальную очередь ожидания далее будем называть очередью планирования. На рисунке 1 она отображает Rq, которые представляют предметы обслуживания реально расположенные в 1–2, но ожидающие обслуживания в (1–2) A или когда-то связанные с обслуживанием в (1–2) A. Очередь планирования обслуживания отличается от обычной очереди ожидания обслуживания тем, что она безынерционна, в ней отсутствуют тип Rq помеченный как Rq^α, а также тем, что логистические операции в ней осуществляются мгновенно и потому не требуют собственного планирования, а требуют лишь решения об осуществлении соответствующей логистической операции.

В 1–2 и (1–2) A представлены следующие статусы, то есть состояния или типы, Rq: Rq^γ – Rq запланированные к реализации в Sr; Rq^β – Rq запланированные к инореализации в SrA; Rq^α – вакансия

Rq , которая требует либо дополнительной задержки очереди для обслуживания ее в области Sr с одновременным простоем прибора Sr , либо требует учета для размещения других Rq в ограниченном пространстве очереди ожидания 1–2 и потому эта вакансия отнесена к отдельному типу предмета обслуживания Rq ; IRq^β и IRq^α – информационные следы или мнимые образы соответствующих Rq , где IRq^β – информационный след Rq^β , когда-то планировавшегося к инореализации в (1–2) A , а Rq^α – информационный след Rq^α , когда-то планировавшегося для осуществления концентрации нового Rq^γ в 1–2.

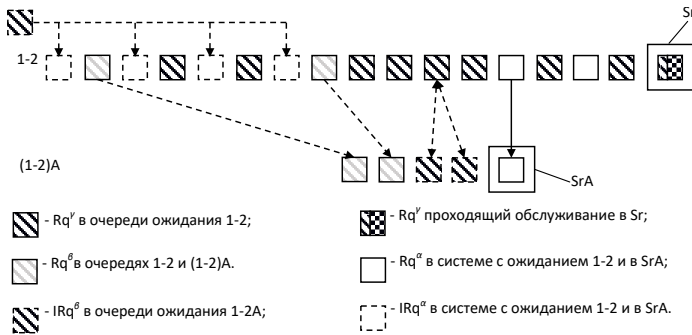


Рисунок 1 – Логистическая модель KQS для описания операций концентрации и инореализации предметов обслуживания

Операция инореализации Rq из 1–2 основывается на принятии решения о реализации этого Rq в рамках 1–2 или инореализации его в (1–2)A. Планирование логистической операции инореализации в 1–2 представляет собой отображение логистической ситуации после принятия всех решений о реализации или инореализации Rq из очереди ожидания и представляют собой последовательность Rq с различным статусом: Rq^γ , Rq^β , Rq^α . Rq в статусе Rq^β при присвоении им этого статуса одновременно зачисляются в очередь планирования (1-2)A в соответствии с траекториями обозначенными на рисунке 1 пунктирными стрелками. В зависимости от изменения логистической ситуации в очереди ожидания и новых оценок этих изменений статусы Rq в очереди ожидания могут меняться, за исключением Rq^α . Такой процесс будем называть перепланированием логистической операции. На рисунке 1 представлены два информационных следа IRq^β в очереди планирования для одного и того же Rq^γ в очереди ожидания на что указывают две пунктирные двусторонние стрелки, связываю-

щие этот Rq^γ с соответствующими IRq^β . Это означает, что данный Rq^γ дважды перепланировался в статус Rq^β и обратно в Rq^γ в результате четырех отдельных процессов перепланирования. При этом возвращение Rq в 1–2 из статуса Rq^β в статус Rq^γ является версией операции концентрации нового Rq в 1–2 и соответственно выполняется по правилам концентрации. Таким образом перепланирование операций инореализации невозможно осуществлять вне контекста обратной ей операции концентрации.

Операция концентрации Rq в статусе Rq^γ включает следующие определенные авторами версии исполнения: последовательная концентрация, когда новое Rq поступает в соответствии с основной дисциплиной очереди ожидания, то есть в нашем случае в конец очереди; позиционная концентрация, когда Rq определяется в статусе Rq^γ в конкретной позиции Rq в очереди ожидания, в нашем примере отображенном на рисунке 1 в 1–2 это соответствует изменению статуса Rq со статуса Rq^β на статус Rq^γ ; последовательно позиционная концентрация, когда вновь поступающее Rq^γ размещается либо в конец очереди в соответствии с основной дисциплиной очереди ожидания, либо в выделенные позиции этой очереди, например, в позиции занятые Rq^α ; произвольная концентрация, когда вновь поступающее в очередь ожидания Rq^γ размещается в любой произвольной позиции очереди ожидания для чего в этих позициях должны быть созданы условия для предварительного формирования в них Rq^α . На рисунке 1 показан пример произвольной концентрации, где для вновь поступающего Rq на входе в 1–2 в определенном порядке перебираются и анализируются варианты его размещения в произвольных позициях, отмеченных информационными следами IRq^α , к которым ведут пунктирные стрелки траекторий планирования и которые отражают выделение для соответствующего варианта размещения Rq^α . Как видно из модельного примера на рисунке 1 планирование операции концентрации в этом примере было остановлено на четвертом по счету варианте размещения и не завершилось созданием в ней Rq^γ , к которому бы вела соответствующая пунктирная стрелка. Это означает для вновь поступающему Rq на входе в очередь ожидания было отказано в концентрации в эту очередь.

На рисунке 2 представлена логистическая модель для описания операции дистрибуции между двумя KQS отмеченными как 1–2 и 3–4.

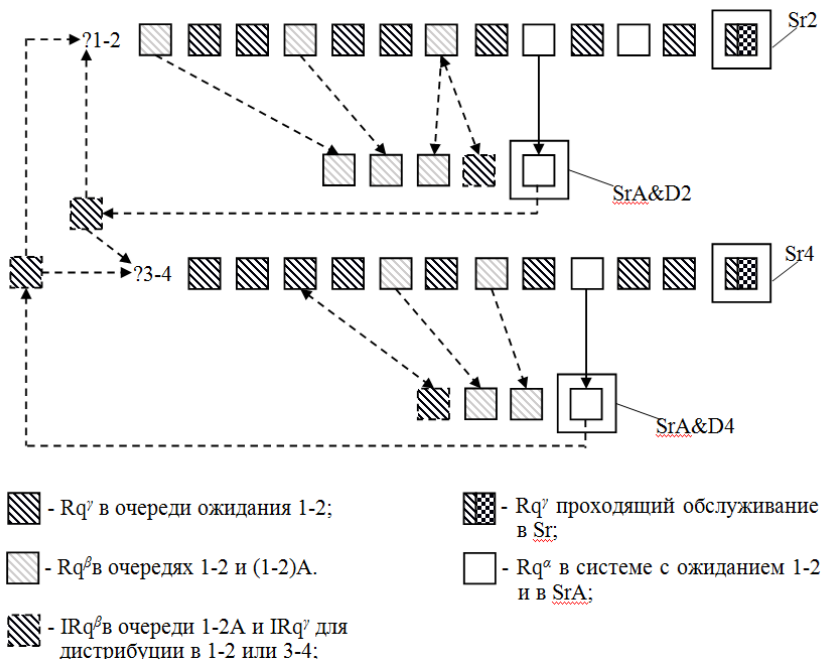


Рисунок 2 – Логистическая модель для описания операции дистрибуции

Для упрощения пояснения, операции дистрибуции, представленные на рисунке 2, осуществляются обслуживающими приборами, в которых совмещены функции инореализации из очереди ожидания и дистрибуции Rq . Эти приборы помечены как $SrA\&D2$ для 1–2 и $SrA\&D4$ для 3–4. При этом Rq , которые обслуживаются в приборах $SrA\&D$ одновременно имеют значения Rq инореализуемых из соответствующих очередей ожидания и кандидата на концентрацию в одну из них, включая очередь, из которой Rq изымается, то есть речь может идти о перестановке Rq внутри собственной очереди ожидания реализации. Выбор между очередями ожидания для концентрации в одну из них и является операцией дистрибуции, и каждая из них помечается на рисунке 2 соответствующими траекториями и знаками «?»», а назначение Rq обслуживаемого в приборах $SrA\&D2$ и $SrA\&D4$ к операции дистрибуции представлено мнимым образом IRq^γ , расположенным вне приборов $SrA\&D2$ и $SrA\&D4$ как ожидаемое завершающее обслуживание A&D действие.

Основной расчетной величиной очереди ожидания в теории массового обслуживания служит вероятность P^y реализации каждого конкретного Rq в соответствующей QS при изначальном выделенном для этого ограничении максимального времени ожидания реализации τ_{\max}^y [2]. В дискретной модели QS мы будем пользоваться расчетным значением $P^y(\Delta\tau_{\max}^y)$, где $\Delta\tau_{\max}^y$ представляет собой остаточный ресурс времени ожидания реализации Rq для логистической ситуации в QS по состоянию на конкретный момент времени t . В работе [2] авторами разработана математическая модель для расчета значений $P^y(\Delta\tau_{\max}^y)$ для каждого отдельного Rq в дискретной модели KQS. В основе планирования и перепланирования логистических операций над Rq в KQS лежит последовательность индивидуальных решений о соответствующей логистической операции относительно каждого отдельного Rq. Соответственно решение о логистической операции, где ключевой расчетной величиной является $P^y(\Delta\tau_{\max}^y)$ также должны быть значения вероятности реализации P^y , с которыми должны сравниваться расчетные значения $P^y(\Delta\tau_{\max}^y)$. Для технических производственных процессов это сравнительно новые критерии для управляющих решений, поэтому их применение должно быть рассмотрено ниже в отдельном разделе «Критерии ALO». Тогда оценка и решения об логистических операциях принимаются на основе последовательного взаимосвязанного расчета и анализа многих значений $P^y(\Delta\tau_{\max}^y)$ и сравнения их с критериями соответствующего ALO.

Рассмотрим критерии ALO.

Вероятностные оценки разнообразных процессов изучаются в рамках научного направления «Менеджмент рисков», называемом также «Риск-менеджмент», где сложились своя терминология и подходы к оценкам рисков, которые в нашем случае соотносятся с ключевой расчетной величиной $P^y(\Delta\tau_{\max}^y)$ как $(1 - P^y(\Delta\tau_{\max}^y))$. Особенностью этих оценок рисков является то, что они основаны на оценках последствий рисков, и эти последствия могут быть экономическими, экологическими, медицинскими или даже заключать в себе риск для жизни, но не техническими. Между тем до сих пор для автоматизации производственных процессов и устройств использовались исключительно технические критерии управления или оперирования по управляемой величине или управляющему воздействию. Здесь же в качестве основания для оценки рисков мы применим так называемую экспозицию риска, принятую в «Менеджменте рисков» [2] и представляющую собой произведение количественной оценки возможных последствий риска на вероятность их наступления. Наи-

более доступными и универсальными в реальном производственном процессе являются оценки экономических последствий рисков. Вследствие этого они могут быть вычислены по изменяющимся во времени технико-экономическим производственным и маркетинговым данным по самым разнообразным рискам и приведены к отдельному Rq . Исходя из этого авторы рассматривали принятие решений по логистическим операциям только на основе экономических последствий рисков.

В этом случае авторами предлагается осуществлять планирование и перепланирование операции инореализации соответственно на основе критериев $P^{\gamma\beta}$ перехода Rq из статуса Rq^γ в статус Rq^β и $P^{\beta\gamma}$ обратного перехода Rq из статуса Rq^β в статус Rq^γ в очереди ожидания 1–2 на рисунке 1. При этом $P^{\beta\gamma} > P^{\gamma\beta}$, из которых $P^{\beta\gamma}$ определяется на основе баланса экономической нейтральности индивидуального решения об инореализации, а $P^{\gamma\beta}$ отличается от значения $P^{\beta\gamma}$ на значение учитывающее точность расчета величины $P^\gamma (\Delta\tau_{\max}^\gamma)$ и гарантирующее окупаемость индивидуального решения об инореализации с вероятностью более чем 0,5. В соответствии с этим, авторами предложен порядок планирования и перепланирования, а также алгоритм принятия решения об инореализации Rq^γ в очереди ожидания на основе критерия $P^{\gamma\beta}$, однако использование только критерия $P^{\beta\gamma}$ является недостаточным для определения решения об операции обратной инореализации, возникающей при восстановлении статуса Rq^γ в очереди ожидания, поскольку а без нее описание перепланирования операции инореализации является неполным.

Операция концентрации, кроме существования возможности физического размещения нового Rq в пространстве структуры ожидания, всегда подразумевает включение поступающего в очередь ожидания Rq исключительно в статусе Rq^γ и соответственно это Rq должно проверяться на его соответствие этому статусу по критерию $P^\gamma (\Delta\tau_{\max}^\gamma) > P^{\gamma\beta}$ для вновь поступающего Rq и $P^\gamma (\Delta\tau_{\max}^\gamma) > P^{\beta\gamma}$ для Rq^γ восстанавливаемого из статуса Rq^β . Однако этого критерия недостаточно для того, чтобы концентрация Rq была признана целесообразной, поскольку размещение нового Rq^γ в очереди ожидания может привести к такой логистической ситуации в 1–2 представленного на рисунке 1, что в результате вызванного ею перепланирования 1–2 возникнет необходимость в одной или более дополнительных операций инореализации Rq из 1–2, что обесмысливает появление в ней еще одного Rq^γ в очереди ожидания. В соответствии с этим, авторами предложен порядок планирования и перепланирования, а также один

из возможных алгоритмов принятия решения о произвольной концентрации Rq^γ в очереди ожидания, включая восстановление статуса Rq^γ .

Операция дистрибуции отличается от операций инореализации и концентрации тем, что требует кроме величины экспозиции риска, преследующей цель минимизации издержек ожидания обслуживания отдельного Rq , может также преследовать цель максимизации добавленной стоимости (прибыли) в единицу времени на единицу товара, он же предмет обслуживания. Для этого авторы предложили ввести понятие экспозиции успеха, которое определили как произведение вероятности успешного логистического или/и технологического обслуживания потенциального Rq^γ на значение положительного эффекта от успеха этого обслуживания за вычетом ущерба от риска неуспеха этого обслуживания посредством соответствующей экспозиции риска для каждого из альтернативных решений дистрибуции рассматриваемого Rq^γ . Тогда дистрибуция будет основываться на выборе максимального значения из значений экспозиции успеха альтернативных решений дистрибуции. Однако предварительно должны быть выявлены доступные альтернативные решения дистрибуции, а именно KQS, которые разрешают операцию концентрации нового Rq^γ в очереди ожидания этих KQS.

Для операции инореализации ее перепланирование как это было описано выше сопровождается новым расчетом для каждого Rq^γ и Rq^β значений $P^\gamma(\Delta\tau_{\max}^\gamma)$ и сравнение их с критериями $P^{\gamma\beta}$ и $P^{\beta\gamma}$. Перепланирование инореализации и расчет значений $P^\gamma(\Delta\tau_{\max}^\gamma)$ осуществляется при каждом событии реализации очередного Rq^γ в Sr в моменты времени $t^{a,Sr}$, а также при аномально долгой длительности обслуживания отдельного Rq^γ в Sr , при которой устанавливаются временные промежутки, через которые инициируется новое перепланирование инореализации. Данный подход предполагает запуск массивованных вычислительных процессов и при этом контроль за необходимостью перепланирования системы осуществляется в моменты времени $t^{a,Sr}$ реализации Rq в Sr в рамках описанной выше системы событий, что снижает оперативность реагирования планирования инореализации на изменяющуюся логистическую ситуацию.

Для устранения этого недостатка на основе математической модели для расчета $P^\gamma(\Delta\tau_{\max}^\gamma)$, представляющей собой вероятностный прогноз события реализации рассматриваемого Rq в Sr в момент времени $t^{a,Sr}$, авторами получена математическая модель для расчета значений $\Delta\tau^{\gamma\beta}(P^{\gamma\beta})$ и $\Delta\tau^{\beta\gamma}(P^{\beta\gamma})$ для момента времени $t^{a,Sr}$ реали-

зации в Sr очередного впереди стоящего Rq перед рассматриваемым Rq , где $\Delta\tau^{\gamma\beta}$ и $\Delta\tau^{\beta\gamma}$ – пороговые значения остаточного ресурса времени ожидания Rq в заданной позиции его размещения в очереди ожидания для перехода его соответственно из статуса Rq^γ в статус Rq^β в случае если $\Delta\tau_{\max}^\gamma \leq \Delta\tau^{\gamma\beta}$ и наоборот, если $\Delta\tau_{\max}^\gamma \geq \Delta\tau^{\beta\gamma}$. При этом $\Delta\tau^{\beta\gamma} > \Delta\tau^{\gamma\beta}$.

Математические модели для расчета $\Delta\tau^{\gamma\beta}(P^{\gamma\beta})$ и $\Delta\tau^{\beta\gamma}(P^{\beta\gamma})$ являются временными прогнозами пороговых значений для принятия индивидуальных решений по реализации и инореализации Rq из очереди ожидания. Особенностью расчета $\Delta\tau^{\gamma\beta}$ и $\Delta\tau^{\beta\gamma}$ для моментов времени $t^{a,Sr}$ является то, что для каждой позиции очереди ожидания набор логистических ситуаций впереди стоящих Rq , то есть набор сочетаний количеств Rq^γ и Rq^β , ограничен и для каждой позиции значения $\Delta\tau^{\gamma\beta}$ и $\Delta\tau^{\beta\gamma}$ могут быть вычислены заранее, то есть могут быть предопределены. При этом для проведения сравнений в реальном времени значений $\Delta\tau_{\max}^\gamma$, $\Delta\tau^{\gamma\beta}$ и $\Delta\tau^{\beta\gamma}$ не обязательно дожидаться наступления событий в моменты времени $t^{a,Sr}$, а можно осуществлять такой контроль и при необходимости перепланирование очереди ожидания в любой момент времени. К такой же гибкости планирования и экономии вычислительных ресурсов может привести использование математических моделей $\Delta\tau^{\gamma\beta}(P^{\gamma\beta})$ и $\Delta\tau^{\beta\gamma}(P^{\beta\gamma})$ для осуществления операции концентрации Rq^γ в очереди ожидания.

Система поддержания адекватности математического моделирования в ALO. Непосредственный контроль адекватности ALO в реальном времени не может быть неэффективным поскольку учет отказов в реализации Rq в качестве запланированного Rq^γ вследствие исчерпания им $\Delta\tau_{\max}^\gamma$ к моменту его реализации в Sr требуют накопления статистически достоверного количества таких отказов, которые могут свидетельствовать о недопустимо высокой ошибочности ALO при выявлении в ходе экономического анализа ущерба от данного типа неадекватности. Кроме того, отказов в реализации запланированных Rq^γ может и не быть, но операция инореализации может применяться неоправданно часто, что по факту можно будет определить лишь при экономическом анализе результатов работы производственной линии с фиксацией соответствующего экономического ущерба. Механизм контроля и поддержания адекватности ALO в связи с этим должен строиться не на контроле и поддержании адекватности в реальном времени непосредственно ALO, а на контроле и поддержании адекватности математических моделей расчета $P^\gamma(\Delta\tau_{\max}^\gamma)$, $\Delta\tau^{\gamma\beta}(P^{\gamma\beta})$ и

$\Delta \tau^{\beta\gamma}(P^{\beta\gamma})$ вне зависимости от оценки ошибочности ALO на основе существующего прецедента данных в виде архивных данных Rq уже завершивших реализацию в KQS.

Для достижения этой цели в настоящее время авторами проводится работа по предварительному разрешению проблем индексации и аутентификации Rq в очередях ожиданиях и соответствующих им структурах данных, определения связанных структур данных для KQS, фильтрации и очистки этих данных с целью формирования так называемого периода занятости и непосредственная разработка методики синтеза математических моделей $P^\gamma(\Delta \tau_{\max}^\gamma)$, $\Delta \tau^{\gamma\beta}(P^{\gamma\beta})$ и $\Delta \tau^{\beta\gamma}(P^{\beta\gamma})$ на периоде занятости, а также критериев для оценки качества синтеза этих моделей и выбора из них наиболее эффективных.

Перспективы автоматического логистического оперирования в дискретных производственных системах произвольного размера по мнению авторов связаны с возможностью планирования логистических операций в рамках дискретной модели ключевой системы массового обслуживания с операциями концентрации, инореализации и дистрибуции предметов обслуживания. Обоснована и предложена система критериев для автоматического логистического оперирования нетехнической природы, которая основывается на экспозиции риска, экспозиции успеха и на параметрах точности вероятностного прогноза реализации предметов обслуживания в очереди ожидания. Для осуществления инореализации и концентрации предмета обслуживания для расчета в реальном времени могут применяться ракурсы вероятностного и временного прогнозов. В последнем случае возможно обеспечить дополнительную экономию вычислительных ресурсов и непрерывный контроль актуальности запланированных логистических операций в очереди ожидания. Для поддержания адекватности математических моделей целям автоматического логистического оперирования следует разработать специализированные структуры данных для ключевой логистической системы массового обслуживания, а также единую систему идентификации предметов обслуживания для актуальных и архивированных данных предметов их фильтрацию, очистку и формирование структур данных периода занятости для максимизации возможностей для синтеза эффективных математических моделей расчета вероятностного и временного прогнозов для предметов обслуживания с целью автоматического оперирования ими в системах массового обслуживания.

СПИСОК ЛИТЕРАТУРЫ

1. Матальцкий, М. А. Системы и сети массового обслуживания: анализ и применения / М. А. Матальцкий, О. М. Тихоненко, Е. В. Колузаева. – Гродно: ГрГУ, 2011. – 817 с.
2. Зирко, О. Ф., Кудрявцев, В. И. Риск-ориентированное системное планирование требований в очереди ожидания [Электронный ресурс]. – ГУ БелИСА. – Минск, 2020. – № Д202028. – Режим доступа: <http://www.belisa.org.by>, www.depositary.bas-net.by. – Дата доступа: 12.11.2020.
3. ГОСТ Р ИСО/МЭК16085–2007. Менеджмент риска. Применение в процессах жизненного цикла систем и программного обеспечения. – Москва: Стандартинформ, 2008. – 31 с.