

КОНЦЕПТУАЛЬНОЕ МОДЕЛИРОВАНИЕ ДЛЯ СИСТЕМНОГО ОПЕРИРОВАНИЯ В АСИНХРОННЫХ ДИСКРЕТНЫХ ПРОЦЕССАХ

О.Ф. Зирко ¹, В.И. Кудрявцев ²

¹ Белорусский институт системного анализа и информационного обеспечения научно-технической сферы (БелИСА), Минск;

² НПФ «Адекват», Москва, Россия

Существует разрыв между первоначальным предназначением математических теорий исследования операций, создаваемых для автоматизации тех или иных процессов, и их реальными возможностями в этой области. В частности, это относится к теории очередей и теории расписаний, в которых моделируются процессы так называемых дискретных производств или дискретных процессов [1, 2]. В настоящее время эти теории применяются исключительно в имитационном моделировании дискретных процессов для целей их анализа, проектирования и для обучения персонала. К дискретным процессам относятся такие производственные процессы, в которых явно выделены предметы обслуживания, над которыми осуществляются циклически повторяющиеся действия обслуживания, называемые операциями, в так называемых обслуживающих устройствах. Дискретными производственными процессами являются процессы сборки, разборки, мойка, ремонтные работы, изготовления деталей и узлов и другие.

Применение математических методов области исследования операций для дискретных процессов могло бы оптимизировать так называемые системные операции размещения предметов обслуживания в производственных системах для уменьшения простоев оборудования и увеличения производительности на больших предприятиях. Математическому решению такой задачи посвящена теория расписаний (ТР) [1], в которой при оптимизации дискретных процессов учитываются различные потребности в обслуживании различных предметов обслуживания и функциональные различия применяемого для этого оборудования. При этом масштабы производства могут быть любыми. Однако данная теория может быть применима лишь при проектировании синхронных дискретных процессов с предопределенными процессами, существующими, например, на так называемых производствах-автоматах.

Асинхронные процессы могли бы быть смоделированы и рассчитаны с использованием теории очередей (ТО) [2]. Однако методы этой теории для автоматизации производств оказалось невозможным, поскольку они изначально были нацелены лишь на общий анализ системных процессов предметов обслуживания в производственных линиях с очередями ожидания обслуживания. На основе этих методов чрезвычайно затруднена оптимизация асинхронного дискретного системного процесса в реальном времени и невозможно осуществить масштабирование такой оптимизации на большие дискретные производства. Кроме того, в отличие от ТР, в ТО речь идет исключительно об одинаковых предметах обслуживания, относительно которых осуществляется одинаковое обслуживание в обслуживающих приборах, что изначально резко сужает возможности моделирования широкого разнообразия дискретных процессов в этой теории в сравнении с ТР. Также в отличие от ТР в ТО существуют проблемы с масштабированием решений ТО на большие системы, так называемые сети массового обслуживания.

С другой стороны, для математического моделирования процессов в реальном времени существует пример успешного и широкого применения для управления в реальном времени математическая теория автоматического управления (ТАУ) [3]. Ее существенным отличием от ТР и ТО является решение задач автоматического управления в реальном времени в рамках контура автоматического управления, а также то, что она предназначена не для оперирования дискретными процессами, а для автоматического управления непрерывными

процессами изменения состояния объекта управления. Логично было бы предположить, что по аналогии с ТАУ использование концептуальной модели замкнутых контуров автоматического системного оперирования, например, замкнутого контура оперирования по соответствующей оперируемой величине, характеризующей системный дискретный процесс, также может быть успешен для целей системного оперирования.

В связи с этим было принято решение соединить в одной концептуальной модели то, в чем успешны подходы трех описанных выше математических теорий для решения задач системного оперирования.

Для чего в концептуальной модели выделили две части: концептуальную модель системного дискретного процесса и модель структуры оперирования этим дискретным процессом. В качестве базовой для моделирования дискретного процесса мы выбрали концептуальную модель очереди из теории очередей, поскольку она предназначена для моделирования дискретных процессов и поскольку в ней количество базовых конструктивных элементов, из которых строятся модели систем, больше, чем в ТР. Кроме понятий предмета обслуживания, и обслуживающего прибора, в теории очередей выделена структура ожидания обслуживания, которой нет в ТР. В связи с этим в рассматриваемой работе была поставлена цель создать универсальную элементарную системную модель с очередью ожидания обслуживания, которая была бы применима для моделирования максимально широкого набора системных операций с предметами обслуживания в реальных производственных процессах, и которая одновременно являлась бы универсальным элементарным звеном для моделирования любого сочетания дискретных производственных процессов в сложных системах. В результате анализа такой элементарной универсальной моделью была признана модель очереди в дисциплине FIFO[4] определяемой порядком обслуживания в структуре ожидания «первый вошел – первый вышел» с организацией в ней так называемых потерь предметов обслуживания.

Также следовало разработать принципы оптимизации системного оперирования в автоматическом процессе для универсальной элементарной модели дискретного процесса и в итоге разработать практически применимую для такого оперирования математическую модель для оптимизации в рамках элементарной универсальной модели максимально широкого набора системных операций. В качестве базовой структуры для моделирования системного оперирования мы выбрали замкнутый контур системного оперирования по величине, характеризующей процесс ожидания. В отличие от ТАУ [3], где выделен так называемый объект управления, а целью управления является оптимизация состояния объекта управления с использованием управляющего воздействия на управляемую величину, характеризующую состояние объекта, в системном оперировании отсутствует объект оперирования. Вместо него существует предмет оперирования в составе оперируемой структуры, для которой этот предмет является предметом обслуживания. При том, что каждый элемент оперируемой системы рассчитывается отдельно и находится в отношениях, определяемых дисциплиной, то есть диахронической последовательностью обслуживания с другими предметами обслуживания. Таким образом, при системном оперировании речь идет о системе взаимосвязанных расчетов, а целью оперирования служит оптимизация совместного обслуживания многих предметов обслуживания в системе очередей ожидания. При этом для моделирования очередей ожидания в теории очередей используется стохастическое динамическое математическое моделирование не свойственное математическим моделям в ТАУ.

Для иллюстрирования решения поставленной задачи был выбран модельный пример технологического процесса ожиданияковки заготовок после их нагрева в проходной печи. Каждая заготовка в очереди ожидания подвешивается к отдельному тельферу и перемещаясь в очереди таких же тельферов с заготовками должна успеть попасть в областьковки до тех пор, пока она не остыла ниже допустимой минимальной температуры, иначековка завершится браком. Автоматизация процессаковки, очевидно, должна быть ориентирована

на максимальное предотвращение аварийных ситуаций или тяжести их последствий, в том числе из-за нарушения условий ожиданияковки [5].

Этой задаче служит, например, игнорирование обслуживания чрезмерно остывшей заготовки и срочное своевременное извлечение ее после такого игнорирования для предотвращения аварийного останова и перезапуска всей производственной линииковки. Такое извлечение будем называть *постинореализацией* предмета обслуживания. Существенно улучшить своевременное извлечение остывшей заготовки, то есть предмета обслуживания, можно осуществляя извлечение данного предмета обслуживания с упреждением еще на стадии ожидания заготовкой своего обслуживания, что далее мы будем называть *инореализацией* предмета обслуживания, или же подготавливая заранее постинореализацию аварийного предмета обслуживания предвидя игнорирование его обслуживания, то есть заранее запретив доступ соответствующей заготовке еще только ожидающей своей очередиковки в областьковки. Такое упреждение при оперировании предметом обслуживания может быть осуществлено путем контроля соответствия остаточного ресурса времени ожидания для каждой заготовки, определяемой условиями ее охлаждения в процессе ожидания, минимально возможному времени ожидания такого обслуживания с учетом задержек, вызванных необходимостью обслуживания впереди стоящих по порядку обслуживания заготовок. Такой контроль может осуществляться независимо и в непрерывном режиме для каждой отдельной заготовки в очереди ожидания.

При обнаружении для какой-либо заготовки в очереди ожидания несоответствия остаточного ресурса времени ожидания минимально возможному времени ожидания фиксируется предаварийная ситуация для всей очереди ожиданияковки, поскольку такая ситуация вызывается грубым нарушением условий ожиданияковки для этой заготовки, которое не может не сказываться на перспективах успешного завершения ожидания и для других заготовок в очереди наковку. Очевидно, что в случае обнаружения предаварийной ситуации для заготовки она должна быть извлечена либо в результате ее инореализации, либо постинореализации. При этом на извлечение такой заготовки отводится время равное минимально возможному времени ожидания этой заготовкой ее реализации, которая будет проигнорирована, если до этого дойдет дело, в дополнение к времени, ограничивающему осуществление постинореализации без того, чтобы приостанавливать обслуживание других заготовок в очереди ожидания. Одновременно следует предотвратить поступление новых заготовок в очередь ожидания находящуюся в предаварийном состоянии и возобновить их после завершения обслуживания текущей очереди заготовок в очереди ожидания либо в момент времени, когда угроза аварийного останова и перезапуска производственной линии не будет влиять на перспективы ожидания обслуживания для нового предмета обслуживания в очереди ожидания. При частом повторении предаварийных состояний в очереди ожидания очевидно следует дополнительно ограничить максимальное количество размещаемых в ней предметов обслуживания.

При повторном обнаружении предаварийной ситуации в отношении к другому предмету обслуживания при незавершенной уже существующей предаварийной ситуации, особенно если цикл инореализации предыдущего аварийного предмета обслуживания не завершен, может быть принято решение об упреждающем предаварийном останове производственной линии. Очевидно, что аварийное и предаварийное оперирование заготовками целесообразно осуществлять в единой логике оперирования извлечения из производственной линии аварийных по условиям нарушения условий ожидания обслуживания предметов обслуживания. С этой целью аварийное извлечение предметов обслуживания при игнорировании их обслуживания может осуществляться посредством контроля температуры заготовки на входе в областьковки, например, пирометрами, а предаварийное извлечение предметов обслуживания может осуществляться в соответствии с временными ограничениями процесса ожидания обслуживания и основываться на упреждающем выявлении аварийных по условиям ожидания предметов обслуживания. Тогда такое оперирование в единой логике автоматических предаварийных и аварийных

инореализации и постинореализации предметов обслуживания будем называть *предаварийной (аварийной) инореализацией* и также обобщенно определять набор ситуаций для такой инореализации как *предаварийная (аварийная) ситуация*.

Таким образом кроме замкнутого контура автоматической инореализации по остаточному ресурсу времени ожидания отдельного предмета обслуживания и ситуационной переменной очереди, связанной с количеством предметов обслуживания, находящихся перед рассматриваемым требованием, в данной схеме автоматизации присутствует замкнутый контур для регулирования максимального количества заготовок в очереди ожидания по частоте предаварийных ситуаций и для предаварийного (аварийного) прекращения доступа новых предметов обслуживания и для последующего возобновления поступления в очередь ожидания новых предметов обслуживания основывающегося на значениях ситуационных переменных в очереди ожидания.

Очевидно, что условия системного оперирования предметами обслуживания в очереди ожидания можно улучшить, если увеличить степень упреждения предаварийной (аварийной) ситуации. Для этого мы должны обратиться к исходным условиям, определяемым при проектировании асинхронных дискретных процессов, для которых используется теория очередей и в частности для рассматриваемого модельного примера ожиданияковки. Будем называть такое проектирование риск-ориентированным проектированием или RSPt от англ. risk-based project, поскольку оно основано на экономической оценке допустимых рисков при размещении предметов обслуживания в очередь ожидания с точки зрения успешности прохождения ими процесса ожидания.

При этом существуют допустимые риски такого размещения с точки зрения экономической целесообразности, определяющие нижний допустимый предел вероятности реализации заготовки в процессковки с ограничением верхнего предела времени ожиданияковки этой заготовкой. Следовательно, на тех же основаниях экономической оценки рисков может быть определен нижний предел вероятности реализации предмета обслуживания в очереди ожидания обслуживания отличный от нуля, при котором экономически целесообразно осуществить извлечение предмета обслуживания без его обслуживания в данной производственной линии и, либо заново подготовить этот предмет к процессу ожидания этого же обслуживания, либо распорядиться им другим образом. При этом обнаружение необходимости извлечения предмета обслуживания должно быть осуществлено до того, как в очереди ожидания будет зафиксирована предаварийная ситуация, когда вероятность реализации этого предмета обслуживания в заданных временных ограничениях становится равной нулю, то есть такое извлечение должно быть осуществлено с большим упреждением, чем в случае фиксации предаварийной (аварийной) ситуации.

Если описанный выше контроль рисков для предметов обслуживания, находящихся в очереди ожидания будет возможен, то обнаружение ситуации необходимости извлечения предмета обслуживания из системы с очередью ожидания по экономическим основаниям, а не вследствие технической невозможности корректной реализации в технологическом процессе вследствие грубого нарушения условий ожидания в производственной линии, позволяет осуществлять инореализацию отдельных предметов обслуживания и благодаря этому улучшать условия ожидания реализации для других предметов обслуживания в очереди ожидания в отсутствие развертывающейся в ней предаварийной ситуации. Количество инореализуемых предметов обслуживания в одном составе предметов обслуживания в очереди ожидания по состоянию на определенный момент времени без ее аварийного останова таком случае ограничивается лишь возможностями обслуживающего прибора инореализации и количеством предметов обслуживания в этом одномоментном составе очереди. В таком случае необходимо определить последовательность извлечения инореализуемых предметов обслуживания прибором инореализации предметов обслуживания в порядке виртуальной очереди ожидания инореализации этих предметов относительно обслуживающего прибора инореализации. Формирование такой

последовательности в реальном времени будем называть соответственно риск-ориентированным системным планированием или **RSP** от англ. risk-based system planning.

Классический расчет ТО [2], который мог бы быть применен в рамках RSP, уступает расчету и определению необходимости инореализации предмета обслуживания в очереди ожидания в ходе предаварийной (аварийной) инореализации в том, что он не может быть осуществляться непрерывно и независимо для каждого предмета обслуживания в очереди ожидания. Кроме того, в отличие от расчета ТР и расчета в ходе предаварийной (аварийной) инореализации расчет ТО реализуется исключительно для одинаковых предметов обслуживания ожидающих одинакового обслуживания в одинаковых обслуживающих приборах, и, как это было доказано авторами в [4], не может быть расширен для учета индивидуальных особенностей предметов обслуживания и обслуживающих приборов. Такой расчет требует особого порядка своего применения в специально определенной системе событий, запускающей расчет в соответствующем процессе RSP. Для сохранения в будущем возможности осуществлять учет индивидуальных особенностей обслуживания и ожидания для предметов обслуживания и обслуживающих приборов в математическом расчете рассматриваемая системная модель с очередью ожидания должна включать в себя только один завершающий очередь ожидания обслуживающий прибор, что отличает ее от соответствующей системной модели в ТО.

Кроме того, расчет ТО осуществлялся относительно предмета обслуживания, который только предполагается к появлению в очереди ожидания и поэтому рассматривается как элемент входного потока в очередь ожидания [2]. По условиям же RSP в процессе инореализации речь идет исключительно о предметах обслуживания, которые уже находятся в очереди ожидания, поскольку только относительно таких предметов обслуживания может быть принято решение об их изъятии из системы с очередью ожидания. Отказ в размещении предмета обслуживания в очереди ожидания, который может быть актуален для предмета обслуживания только предполагаемого к появлению в очереди ожидания и расположенного во входном дискретном потоке, опирается на собственный отдельный контур оперирования, отличающийся от контура инореализации предметов обслуживания как по исполнительному устройству, так и в общем случае по критерию оперирования. Таким образом системная модель очереди ожидания предметов обслуживания должна рассматриваться вне концепции наличия входного дискретного потока, на чем строится системное моделирование дискретных процессов в ТО. Соответственно это требует иного формирования математической модели для расчета вероятности реализации для предметов обслуживания в очереди ожидания, чем это реализовано в ТО.

Также в ТО не учитывается изменение состава очереди ожидания в результате инореализации предметов обслуживания в соответствии с RSP инореализации. В этом случае в очереди ожидания образуются так называемые вакансии предметов обслуживания, которые могут вызывать дополнительную к рассчитываемой в классическом расчете ТО задержку обслуживания предметов обслуживания в очереди ожидания. Такая дополнительная задержка определена авторами как искусственная инерционность в очереди ожидания и это также противоречит системной модели ТО и требует учета в расчете.

Затем системная модель дискретного процесса с очередью ожидания была исследована на предмет использования. Авторами рассматривалась модель, которая при сочетании моделируемого дискретного процесса с другими дискретными процессами включала:

- a) отказы в обслуживании в системах с очередями ожидания и произвольных поступлений предметов обслуживания из других систем в разные позиции очереди;
- b) перестановки внутри одной очереди ожиданий и между несколькими такими очередями;
- c) распределения предметов обслуживания в разные системы обслуживания.

В результате анализа, универсальной элементарной системной моделью с очередью ожидания была признана система с одним завершающим ее прибором обслуживания, с произвольным поступлением в нее предметов обслуживания из других систем и досрочным

изъятием их при обнаружении экономической целесообразности извлечения из данной системы по складывающейся в реальном времени ситуации в процессе ожидания [5].

Для модельного примера это означает, что заготовки ожидающие обслуживания могут поступать в очередь на обслуживание в любую позицию (номер в диахронической последовательности) ожидания k предмета обслуживания относительно обслуживающего прибора и могут быть изъяты также из любой такой позиции. Было определено, что математическая модель расчета рисков ожидания для каждого отдельного предмета обслуживания в такой системе является универсальной и востребованной при риск-ориентированном планировании операций изъятия предметов обслуживания из очереди ожидания, отказа в обслуживании, произвольных перестановках и распределения их в разных очередях ожидания [5].

В связи с этим была поставлена задача создания описанной выше математической модели, обоснования ее корректности и доказательства практической применимости в расчетах реального времени.

С этой целью в рассматриваемой базовой системной модели относительно любого k -го предмета обслуживания в очереди ожидания в произвольный момент времени t состав очереди предметов обслуживания в позициях очереди значение которых меньше, чем k , может быть описан ситуационными переменными планирования γ_k , которое представляет собой количество предметов обслуживания предназначенных для реализации в обслуживающем приборе очереди, β_k , которое представляет собой количество предметов обслуживания предназначенных для инореализации из очереди ожидания, также ситуационной переменной α_k , которая представляет собой количество вакансий предметов обслуживания уже созданных в очереди ожидания в результате инореализаций. Кроме того, ситуационной переменной для каждого k -го предмета обслуживания в очереди ожидания является остаточное значение верхнего предела времени ожидания, названное остаточным ресурсом ожидания, $\Delta\tau_k$ [5].

В качестве расчетных моделей для рассматриваемой базовой системной модели могут быть определены следующие модели ее асинхронного дискретного процесса:

- 1) единый случайный процесс очереди ожидания с ситуационными переменными α , β и γ ;
- 2) совокупность трех случайных процессов, включая процесс ожидания реализации предметов обслуживания с переменной γ ;
- 3) процесс ожидания инореализации предметов обслуживания с переменной β и процесс ожидания обслуживания вакансий, предметов обслуживания с переменной α ;
- 4) совокупность случайного процесса планируемых реализаций и инореализаций предметов обслуживания в очереди ожидания с переменными $(\alpha+\beta)$ и γ и случайный процесс исполнения инореализации с переменной β .

При этом каждый k -ый предмет обслуживания имеет индивидуальный параметр времени появления в очереди ожидания t_k^a , для всех предметов обслуживания определен верхний предел времени ожидания τ и нижний предел вероятности реализации при нахождении их в очереди ожидания P^β . Вместо стохастических характеристик интенсивности и распределения вероятностей, в данной модели процесса очереди ожидания в качестве стохастических характеристик для расчета предложено применить статистические вероятности существования ситуационных переменных расчетной модели. Эти характеристики опираются на использование производственных данных в реальном времени с контролируемой точностью. Целевым значением расчета является вероятность реализации P_k для k -го предмета обслуживания в очереди ожидания [5].

Событиями, запускающими новый расчет, являются события в очереди ожидания, которые изменяют хотя бы одну ситуационную переменную расчетной модели, основанную на переменных системной модели α , β и γ для одного или нескольких предметов обслуживания в очереди ожидания или события при переборе анализируемых вариантов

размещения нового предмета обслуживания в очереди ожидания. Также событием, запускающим новый расчет, является превышение длительности обслуживания отдельного предмета обслуживания в приборе обслуживания очереди максимально допустимого. После запуска расчета он осуществляется для каждого предмета обслуживания в очереди ожидания в порядке возрастания значения k .

В результате необходимых преобразований была получена математическая модель [5], позволяющая оценить индивидуальные риски ожидания обслуживания каждым конкретным предметом обслуживания в очереди ожидания на основании расчетной модели с единым дискретным процессом в очереди ожидания включая инореализацию предметов обслуживания. В результате обратного восстановления исходной системной модели для рассматриваемого математического моделирования до аналогичной ей системной модели теории очередей с соответствующими ограничениями ее функционала из выведенной новой математической модели была получена известная математическая модель расчета Джейсуола, что частично подтверждает корректность математического вывода и позволяет считать полученный в исследовании метод расчета новым методом, относящимся тем не менее к развитию теории очередей [5]. Для подтверждения практической применимости расчета на основании полученной математической модели был представлен расчет модельного примера для заготовок с различными позициями в очереди ожидания и с различными значениями дополнительных переменных очереди α_k , β_k и γ_k , а также в рамках RSP инореализации представлен пример практического планирования очереди ожидания для модельного примера. Успешное математическое моделирование в рамках RSP для одной из возможных расчетных моделей позволяет надеяться на успешность такого моделирования для всех трех выявленных расчетных моделей одного и того же дискретного процесса и определить наиболее эффективный для процессов реального времени либо очертить области наиболее эффективного применения каждого из них.

Однако главной целью дальнейшего исследования найденных подходов к математическому моделированию в рамках системы с очередями ожидания является исследование возможности имплементации в новый разработанный тип расчета гибкости моделирования, достигнутые в TP, а также в ходе осуществления менее совершенного с точки зрения оперирования, но универсального процесса предаварийной (аварийной) инореализации. В TP предмет обслуживания имеет индивидуальные потребности в обслуживании, а обслуживающий прибор имеет индивидуальные характеристики набора функций обслуживания, которые он реализует и времени их выполнения. Соответственно в дополнение и в развитии этой логики предмет обслуживания также должен иметь возможность рассматриваться в индивидуальных ограничениях ожидания в очереди ожидания. Максимальный учет индивидуальных характеристик всех элементов базовой модели системы обслуживания с очередью ожидания для расчета показателей динамики обслуживания в рамках RSP позволяет максимально расширить ассортимент моделируемых дискретных процессов и точность такого моделирования.

Кроме того, в TP утверждается, что целевой функцией системного оперирования может быть некая иная функция, а не только динамические, то есть временные характеристики обслуживания, которые подлежат оптимизации для множества предметов обслуживания. Хотя убедительных примеров такой функции в TP не представлено, но потенциальная возможность выделения и расчета такой функции может существенно расширить область применения уже собственно RSP в моделируемых дискретных процессах, поскольку предполагает расширение критерия системного оперирования за счет учета качественных, а не только временных характеристик дискретных процессов.

Концептуальное моделирование с целью автоматизации системных операций для асинхронных дискретных процессов должно строиться на основе трех парадигм математического моделирования: теории очередей, теории автоматического управления и теории расписаний. Базовой системной моделью такого концептуального моделирования является инерционная система с очередью ожидания. Экономически оптимальным

системным оперированием в этой модели является оперирование в соответствии с предложенной авторами моделью риск-ориентированного системного планирования операций. Для математического расчета в рамках риск-ориентированного системного планирования в рассматриваемой базовой системной модели асинхронного дискретного процесса предложены три расчетные модели дискретного процесса, для которых определены новые ситуационные переменные. Также в расчетной модели предложено использовать статистические вероятности существования ситуационных переменных вместо стохастических характеристик дискретных потоков предметов обслуживания. Концептуальная полнота исследуемого моделирования, которая должна быть достигнута для обеспечения универсальности и гибкости моделирования производственных процессов, определяется индивидуализацией взаимодействий в системной модели на основе парадигмы теории расписаний и может быть достигнута посредством развития разработанной авторами математической модели.

Список литературы: .

1. Зак, Ю.А. Прикладные задачи теории расписаний и маршрутизации перевозок / Ю. А. Зак. - Москва : URSS, 2011. - 393 с.
2. Таранцев, А.А. Инженерные методы теории массового обслуживания / А. А. Таранцев. - 2-е изд., перераб. и доп. - Санкт-Петербург : Наука, 2007. – 169 с.
3. Ким, Д.П. Теория автоматического управления. учебник и практикум для академического бакалавриата / Д.П. Ким. — Люберцы: Юрайт, 2016. — 276 с.
4. О.Ф. Зирко, В.И. Кудрявцев. Информационная поддержка процессов дискретных производств на основе очередей требований [Электронный ресурс]. – ГУ БелИСА. – 2016. – № Д201616. – Режим доступа: <http://www.belisa.org.by>, www.depositary.bas-net.by. – Дата доступа: 11.22.2020.
5. Зирко, О.Ф., Кудрявцев, В.И. Риск-ориентированное системное планирование требований в очереди ожидания [Электронный ресурс]. – ГУ БелИСА. – Минск, 2020. – № Д202029. – Режим доступа: <http://www.belisa.org.by>, www.depositary.bas-net.by. – Дата доступа: 12.11.2020.