

УДК 519.8

doi: 10.53816/23061456_2025_3-4_52

**ПРЕДСТАВЛЕНИЕ МОДЕЛИ ПРОВЕДЕНИЯ ОПЕРАЦИИ
АППАРАТОМ ЦЕПИ МАРКОВА**

**PRESENTATION OF A MODEL OF OPERATION CONDUCTING
USING A MARKOV CHAIN APPARATUS**

*Канд. пед. наук М.И. Калинина, Ю.В. Соловьев,
канд. техн. наук В.В. Оркин*

Ph.D. M.I. Kalinina, Yu.V. Soloviev, Ph.D. V.V. Orkin

Военно-космическая академия им. А.Ф. Можайского

При моделировании систем на практике часто возникают случаи, которые требуют учета последовательного ряда негативных воздействий на рассматриваемую систему. Для проведения операций требуется создавать системы. Но для того чтобы совершенствовать системы, нужно исследовать операции. Наблюдается взаимообусловленность проблематики как при разработке систем для проведения операций, так и при проведении исследования операций в целях улучшения систем. Единство возможностей систем и способов их поведения в интересах поставленных разработчиками целей обуславливают наличие этой связи. В работе предложен подход для оценивания влияния на разрабатываемую систему негативных воздействий. Предлагается рассмотрение применения этого подхода для моделирования системы (операции) путем представления её однородной цепью Маркова.

Ключевые слова: система, операция, марковская цепь, вероятность, внутреннее состояние, структурное построение, управляющее воздействие.

When modeling systems in practice, cases often arise that require taking into account a consistent series of negative impacts on the system in question. To carry out operations, it is necessary to create systems. But in order to improve the systems, you need to investigate the operations. There is an interdependence of issues both in the development of systems for conducting operations and in conducting operations research in order to improve systems. The unity of the capabilities of the systems and the ways they behave in the interests of the goals set by the developers determine the existence of this connection. The paper proposes an approach for assessing the impact of negative impacts on the system being developed. In this article, we propose to consider the application of this approach to modeling a system (operation) by representing it as a homogeneous Markov chain.

Keywords: system, operation, Markov chain, probability, internal state, structural construction, control action.

Введение

В настоящее время при изучении дисциплины «Моделирование и проектирование систем» практически не уделяется внимание такому важному объекту изучения как «операция», значимость освоения которого день ото дня возрастает. Под операцией следует понимать совокупность взаимосогласованных действий, направленных на достижение системой вполне определенной цели [1]. Термины «система» и «операция» неразрывно связаны. Без постановки вполне определенной цели говорить об операции бессмысленно. Когда цель поставлена и возможны альтернативные варианты движения к ней, то в заданных условиях решающее значение приобретает отыскание лучшего из возможных рассматриваемых альтернативных вариантов [2].

В современных реалиях все большую актуальность приобретает создание моделей систем, направленных на оценивание последствий воздействий на них вполне определенных негативных факторов. Это повышает роль создания соответствующих моделей операций для исследования поведения разрабатываемых систем. Выбор наиболее адекватного математического аппарата из возможных для создания модели как системы, так и операции как процесса её функционирования играет ключевую роль при достижении разработчиком намеченной цели [3].

Представление модели проведения операции аппаратом цепи Маркова

Для формирования модели операции требуется сформулировать основные понятия, которые будут основой движения в этом направлении [1].

Оперирующая сторона представляет совокупность субъектов, объединенных единым руководством и целенаправленно стремящихся (в рамках данной операции) к достижению намеченной цели [4]. Как масштаб операции, так и характер участия в ней субъектов определяют возможность для них либо самостоятельно формулировать себе цель, либо получать директивы извне. Поэтому для построения модели вопрос о составе и структуре оперирующей стороны должен обсуждаться всякий раз специально. Это обстоятельство позволяет рассматривать ход той или иной операции с разных точек зрения.

Активные средства проведения операции диктуются как наличием разнородных ресурсов, так и организационными возможностями, которые может использовать оперирующая сторона для организации успешного хода операции и достижения её цели. При этом оперирующая сторона должна обладать возможностью выбирать такие средства и способностью специфическим образом влиять на развитие событий. Иначе операция станет неуправляемой, а оперирующая сторона будет пассивным наблюдателем.

Стратегии оперирующей стороны в данной операции обуславливаются возможными вариантами расхода ею собственных активных средств. Понятие «возможные» следует понимать, как «не выходящие за пределы технических, организационных, физических возможностей (ограничений)». Среди возможных находятся и оптимальные стратегии, которые являются предпочтительнее остальных по каким-либо признакам.

Действующие факторы операции — условия и обстоятельства объективного характера, которые обуславливают её особенности и оказывают непосредственное влияние на её исход. Они могут быть как определенными (точно известными) так и неопределенными (имеющими вероятностную природу) [5]. В то же время их можно разделить на имеющие контролируемый и неконтролируемый характер в отношении оперирующей стороны. Неопределенные факторы являются неконтролируемыми. Наличие контролируемых факторов позволяет иметь возможность управления ходом операции. Обстановка, в которой проводится та или иная операция, определяется составом и структурой действующих факторов.

Показатель эффективного проведения операции (критерий) — это мера требуемого (ожидаемого, достигнутого) соответствия между результатом предпринимаемых действий и целью операции. Критерий, во-первых, позволяет сравнить оценку различных стратегий операции до начала их осуществления. Во-вторых, используется на завершающем этапе операции для характеристики полученных (достигнутых) результатов. И, в-третьих, интерес представляют стратегии, позволяющие достичь максимальных (минимальных) значений критерия.

Состояние операции по отношению к рассматриваемому моменту времени t — это набор её характеристик, которые определяются в этот

момент их измеренными значениями и отражают объективно сложившуюся картину. Операция представима процессом, который существует во времени и проходит соответствующие фазы (этапы) развития. Этот процесс оканчивается получением результата, который сопоставляется с изначально заданной целью. Кроме того, проявляя себя, он обнаруживает определенные свойства и, соответственно, может подвергнуться воздействиям оперирующей стороны. Если эти проявления процесса возможно измерить и допускают по отношению к себе количественную оценку, то о них можно говорить как о варьируемых параметрах. Они формально отражают ход операции и называются фазовыми переменными. Набор фазовых переменных представляет собой фазовое пространство состояний рассматриваемой операции.

Математическая модель операции описывается формальными соотношениями, которые связывают заданный критерий эффективности с действующими факторами операции. Реализация математической модели начинается оцениванием количественного проявления рассматриваемых факторов с дальнейшим указанием групп варьируемых параметров, формально представляющих эти факторы.

Решение, которое связывается с выбранной математической моделью, представляет собой конкретную совокупность значений управляемых (контролируемых) параметров (фазовых переменных). Получение решения как такового возможно:

- различным путем;
- с различной степенью точности;
- в различных предположениях свойств неуправляемых (неконтролируемых) параметров.

Но независимо от указанных направлений оно должно рассматриваться лишь как подспорье, нуждающееся в осмыслении и сопоставлениях. Не существует ни одной формальной модели, способной дать исчерпывающие сведения о развитии реальных событий (практически всегда присутствуют неконтролируемые факторы). Но реализуемые на её основе решения позволяют оперирующей стороне:

- ориентироваться в окружающей обстановке;
- вносить полезные уточнения в модель;
- анализировать различные стратегии;

– выявлять второстепенные факторы планируемой операции.

Специалистами, исследующими операции могут быть как отдельные личности, так и коллективы научных работников, которые призваны осуществлять разработку стратегий, возможных в соответствующих операциях, математических моделей, на основе различных критериев и понятиях оптимального выбора, методах исследования моделей для сравнения конкурирующих стратегий и отыскания среди них приближенно оптимальных. Исследователь является составной частью оперирующей стороны. Его роль ограничивается подготовкой рекомендаций, следующих из исследуемой модели (или их совокупности). Окончательный выбор ему не принадлежит, но предоставляется руководящему органу, который отвечает за проведение операции и имеет дополнительное понимание относительно предполагаемых стратегий. Необходимо различать формальные решения, выработанные исследователем операций, и принципиальные (ответственные) решения, которые должны приниматься руководящими органами. Предпочтительнее, чтобы формальные решения как можно более полно были бы отражены в принципиальных решениях, поскольку важнейшим условием успеха является достаточно хорошая информированность исследователя о предстоящей операции.

Приступим к рассмотрению предлагаемого математического аппарата. Согласно [6] представим систему (операцию) последовательностью состояний. Каждое состояние рассматриваемой операции соотнесем с рядом параметров, а именно:

- $P_{(n)}$ — внутреннее состояние объектов противоборствующих сторон;
- $S_{(n)}$ — структурное построение объектов противоборствующих сторон;
- $Q_{(n)}$ — пространственное расположение объектов противоборствующих сторон;
- $W_{(n)}$ — особенности условий внешней среды, влияющие на объекты противоборствующих сторон, где n — номер этапа (шага) рассмотрения модели.

Модель, основанная на учете анализа влияния факторов внешней среды и (или) результатов проведения предыдущих этапов операции для моделирования проведения очередного этапа, формирует управляющие воздействия $U_{(n)}$, оказываю-

щие влияние на объекты противоборствующих сторон и приводящие к возможному изменению состояния системы. Указанные параметры обобщенно представим в виде соответствующих матриц. Совокупность значений матриц $\{P, S, Q, W\}$ образуют фазовое пространство состояний рассматриваемой системы (операции). От этапа к этапу фазовое пространство состояний будет динамически изменяться.

Изменение состояния системы после проведения очередного этапа операции целесообразно описать движением точки T в этом фазовом пространстве $T = U(P, S, Q, W)$ набором измеренных текущих значений, указанных матриц в рассматриваемый момент времени в зависимости от влияния:

- соответствующих управляющих воздействий U ;
- величин ранее рассмотренных параметров матриц, рассчитанных на предыдущем этапе моделирования.

Процесс изменения состояния системы на $(n + 1)$ -очередном шаге представим рядом последовательных отображений [1]:

$$\Delta P: [P_{(n)}, S_{(n)}, Q_{(n)}, W_{(n)}, U_{(n)}] \rightarrow P_{(n+1)}; \quad (1)$$

$$\Delta Q: [P_{(n+1)}, S_{(n)}, Q_{(n)}, W_{(n)}] \rightarrow Q_{(n+1)}; \quad (2)$$

$$\Delta W: [Q_{(n+1)}, W_{(n)}] \rightarrow W_{(n+1)}; \quad (3)$$

$$\Delta S: [P_{(n+1)}, S_{(n)}, Q_{(n+1)}, W_{(n+1)}, U_{(n)}] \rightarrow S_{(n+1)}; \quad (4)$$

$$\Delta U: [P_{(n+1)}, S_{(n+1)}, Q_{(n+1)}, W_{(n+1)}, U_{(n)}] \rightarrow U_{(n+1)}. \quad (5)$$

Раскроем смысл приведенных выражений (1)–(5).

Изменение внутреннего состояния системы ΔP зависит от совокупности значений матриц $\{P, S, Q, W\}$ и от управляющего воздействия $U_{(n)}$; результатом их влияния станет новое значение $P_{(n+1)}$ внутреннего состояния системы.

Изменение топологии системы ΔQ зависит от совокупности значений матриц $\{S, Q, W\}$ и от нового значения внутреннего состояния системы $P_{(n+1)}$; в итоге их влияние приводит к новому значению топологии системы $Q_{(n+1)}$.

Изменение состояния среды системы ΔW зависит от значения W и от нового значения

топологии системы $Q_{(n+1)}$, а их влияние ведет к новому значению состояния среды системы $W_{(n+1)}$.

Изменение структуры системы ΔS зависит от значений $P_{(n+1)}$, $S_{(n)}$, $Q_{(n+1)}$, $W_{(n+1)}$ и от значения управляющего воздействия $U_{(n)}$, а их влияние приводит к новому значению структуры системы $S_{(n+1)}$.

Изменение управляющего воздействия $\Delta U_{(n)}$ на систему зависит от $P_{(n+1)}$, $S_{(n+1)}$, $Q_{(n+1)}$, $W_{(n+1)}$ и от значения управляющего воздействия $U_{(n)}$, а их влияние приводит к новому значению управляющего воздействия $U_{(n+1)}$ на систему.

Таким образом, под описанием состояния системы (операции) будем понимать описание обстановки на каждом шаге процесса моделирования противоборства в операции, выраженное в конкретных значениях параметров матриц моделируемого процесса.

Для количественного оценивания нахождения моделируемой системы (операции) после соответствующего шага (воздействия) в соответствующем состоянии применим к рассмотренным положениям аппарат марковского процесса. Используем однородную марковскую цепь, то есть применим допущение, что вероятности перехода системы от состояния к состоянию от шага к шагу (от воздействия к воздействию) меняться не будут [7].

То есть, под очередным шагом будем понимать очередное сформированное воздействие на систему соответствующих управляющих воздействий U с учетом их изменений ΔU и значений указанных параметров (P, S, Q, W) с учетом их изменений ($\Delta P, \Delta S, \Delta Q, \Delta W$).

Описанное влияние и будет приводить к изменению состояния системы (как уже было показано).

Для системы S , имеющей n состояний, основным инструментом, описывающим переходы из состояния i состояния j за один шаг, является вероятность перехода P_{ij} [7]. Исходя из этих соображений, модель в общем виде может быть представлена либо матрицей переходных вероятностей, либо размеченным графом состояний. В работе для рассматриваемой модели используем размеченный граф состояний (РГС).

На РГС укажем только те переходные вероятности, которые не равны нулю и изменяют состояние системы, то есть P_{ij} при $i \neq j$.

Вероятности $P_{11}, P_{22}, \dots, P_{mm}$ на графе не указываются, так как каждая из них дополняет до «1» сумму переходных вероятностей, которые соответствуют всем стрелкам, исходящим из данного состояния.

Для задания РГС системы кратко приведем описание её состояний ($S_0 - S_8$) [6]. Здесь рассматривается пример противодействия двух систем (противоборствующих сторон) с применением воздушных воздействий (ударов).

S_0 — реализация всех видов обеспечения.

S_1 — получение разведывательной информации. В зависимости от возможности, полноты и достоверности полученных данных этапа разведки система перейдет в состояние формирования управляющих воздействий с рассчитываемой (заданной) вероятностью.

S_2 — формирование управляющих воздействий. В соответствии с планами сторон распределяются средства оказания воздействия каждого уровня подчинения исходя из оперативного построения противоборствующей стороны (каждая из сторон начинает формировать управляющие воздействия).

S_3 — реализация осуществления воздействий всеми учитываемыми уровнями подчинения:

- по результатам работы блоков 1, 2;
- целераспределение выделенных средств оказания воздействия каждого уровня по обнаруженным разведкой объектам противника;
- формирование управляющих воздействий;
- моделируются воздействия и затем рассчитывается ущерб, нанесенный конфликтующим сторонам после моделирования воздействий;
- определяются потери средств каждой из конфликтующих сторон.

S_4 — реализация работы средств уровня воздушного воздействия и противодействия воздушному воздействию:

- по результатам работы блоков 1, 2, 3;
- моделируется работа средств воздушного воздействия:

а) целераспределение средств по выделенным объектам;

б) удар средствами воздушного воздействия по назначенным объектам противника;

– моделируется работа средств противодействия воздушному воздействию:

а) целераспределение средств по выделенным объектам;

б) отражение средствами противодействия воздушному воздействию результатов воздействия средствами воздушного воздействия по назначенным объектам противника;

– рассчитывается ущерб, нанесенный конфликтующим сторонам;

– определяются потери средств противодействия воздушному воздействию каждой из конфликтующих сторон.

S_5 — реализация работы уровня средств дальнего воздействия:

– по результатам работы блока 1, 2, 3, 4 моделирование взаимных воздействий;

– расчет ущерба, нанесенного конфликтующим сторонам и определение потерь конфликтующих сторон.

S_6 — реализация работы сил и средств в зоне непосредственного соприкосновения (ЗНС):

– по результатам работы блока 1, 2, 3, 4, 5 моделируются воздействия в ЗНС.

S_7 — определение перемещения линии фронта:

– по результатам работы блока 1, 2, 3, 4, 5, 6 моделируется динамика изменения линии фронта.

S_8 — перегруппировка сил и средств конфликтующих сторон на основе анализа моделирования воздействий:

– по результатам работы блока 1, 2, 3, 4, 5, 6, 7 моделируется:

а) перегруппировка сил и средств конфликтующих сторон;

б) по необходимости использование резервов и вторых эшелонов;

– переход к блоку 1 по необходимости.

Раскроем смысл принципов, заложенных в построении модели.

На каждом этапе работы модели используются ресурсы, сформированные по результатам работы 0-го этапа модели. На состоянии каждого этапа работы модели оказывают влияние сформированные на предыдущих этапах работы модели:

а) соответствующие управляющие воздействия U ;

б) значения указанных выше параметров.

Переход к блоку 1 производится по необходимости.

На основе вышеприведенного краткого описания состояний системы $S_0 - S_8$ разработан размеченный граф состояний модели проведения операции (рисунок) [8].

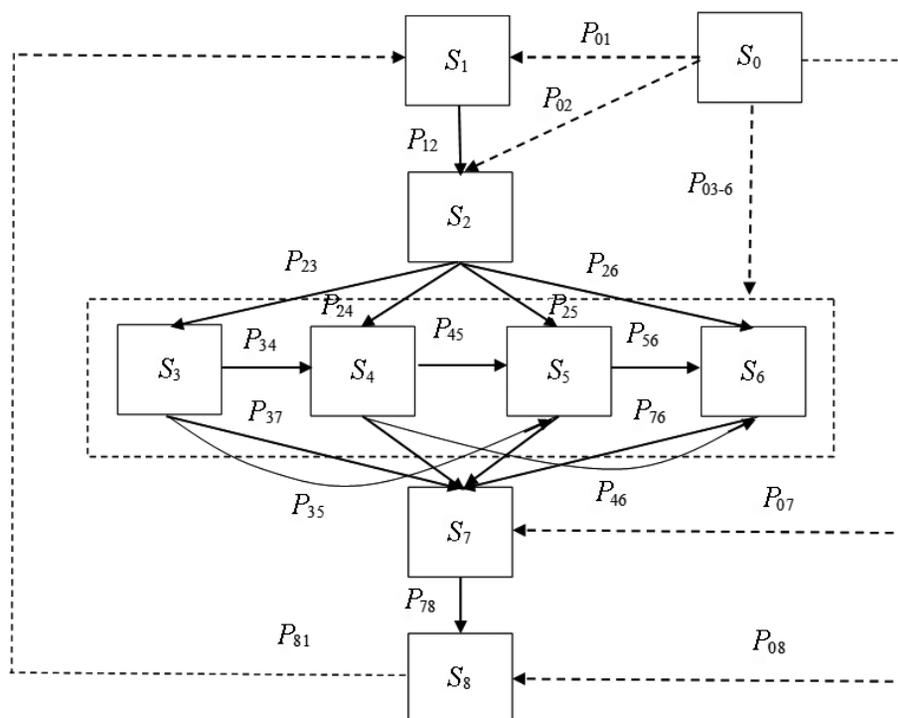


Рис. Размеченный граф состояний модели проведения операции

Алгоритм изменения состояний системы представим в виде последовательности этапов.

$S_0 [P_{7(n+1)} S_{5(n+1)} U_{4(n+1)} Q_{2(n+1)} U_{(n)}] \rightarrow [P_{(n)} S_{(n)} Q_{(n)} W_{(n)} U_{(n)}]$ — этап моделирования всех видов обеспечения.

$S_1 [P_{(n)} S_{(n)} Q_{(n)} W_{(n)} U_{(n)}] \rightarrow P_{1(n+1)}$ — этап формирования гипотезы о состоянии противоборствующей стороны.

$S_2 [P_{(n)} P_{(n+1)} S_{(n)} Q_{(n)} W_{(n)} U_{(n)}] \rightarrow U_{1(n+1)}$ — этап распределения средств воздействия.

$S_3 [P_{1(n+1)} U_{1(n+1)} S_{(n)} Q_{(n)} W_{(n)}] \rightarrow [P_{2(n+1)} U_{2(n+1)} S_{1(n+1)} W_{1(n+1)}]$ — этап моделирования воздействия и проведения расчета ущерба.

$S_4 [P_{1(n+1)} P_{2(n+1)} U_{2(n+1)} S_{1(n+1)} Q_{(n)} W_{1(n+1)}] \rightarrow P_{3(n+1)}$ — этап моделирования действий воздушного воздействия и противодействия воздушному воздействию.

$S_5 [P_{3(n+1)} U_{2(n+1)} S_{1(n+1)} Q_{(n)} W_{1(n+1)}] \rightarrow [P_{4(n+1)} U_{3(n+1)} S_{2(n+1)} W_{2(n+1)}]$ — этап моделирования работы средств дальнего воздействия.

$S_6 [P_{1(n+1)} P_{4(n+1)} U_{3(n+1)} S_{2(n+1)} Q_{(n)} W_{2(n+1)}] \rightarrow [P_{5(n+1)} S_{3(n+1)}]$ — этап моделирования воздействия в зоне непосредственного соприкосновения, расчет ущерба.

$S_7 [P_{1(n+1)} P_{5(n+1)} S_{3(n+1)} Q_{(n)} W_{2(n+1)}] \rightarrow [P_{6(n+1)} S_{4(n+1)} Q_{1(n+1)}]$ — этап моделирования перемещения линии фронта.

$S_8 [P_{1(n+1)} P_{6(n+1)} S_{4(n+1)} Q_{1(n+1)} W_{2(n+1)}] \rightarrow [P_{7(n+1)} S_{5(n+1)} U_{4(n+1)} Q_{2(n+1)}]$ — этап моделирования перегруппировки сил и средств противоборствующих сторон и ввода резервов.

Прокомментируем динамику функционирования системы (проведения операции) [6].

Оператор S_0 моделирует все виды обеспечения противоборствующих сторон, либо первоначально определяя внутреннее состояние сторон противоборства $P_{(n)}$, состояние структуры (связей) $S_{(n)}$, топологию противоборствующих сторон $Q_{(n)}$, состояние среды противоборства сторон $W_{(n)}$ и управляющие воздействия сторон $U_{(n)}$, либо на основе результата работы оператора S_8 при повторном (при необходимости) прохождении модели; на основе прохождения одной из указанных альтернатив формируется (уточняется) гипотеза о состоянии противоборствующих сторон.

Оператор S_1 моделирует действия разведки сторон, формируя гипотезу $P_{1(n+1)}$ о состоянии противоборствующих сторон.

Оператор S_2 моделирует управляющие воздействия сторон $U_{1(n+1)}$ для распределения средств поражения по соответствующим объектам противника.

Оператор S_3 моделирует процесс целераспределения и обмен воздействиями всеми средствами учитываемых уровней подчинения, формируя управляющие воздействия сторон $U_{2(n+1)}$, изменяя внутреннее состояние сторон на $P_{2(n+1)}$, состояние структур (связей) сторон на $S_{1(n+1)}$, состояние среды противоборства сторон на $W_{1(n+1)}$ и проводя расчет ущерба сторон.

Оператор S_4 моделирует действия средств воздушного воздействия и противодействия воздушному воздействию, формируя новое внутреннее состояние противоборствующих сторон $P_{3(n+1)}$.

Оператор S_5 моделирует работу средств дальнего воздействия, формируя управляющие воздействия на противоборствующие стороны $U_{3(n+1)}$, переводя противоборствующие стороны в новое внутреннее состояние $P_{4(n+1)}$, состояние связей $S_{2(n+1)}$, состояние среды противоборства сторон на $W_{2(n+1)}$.

Оператор S_6 моделирует воздействие в зоне непосредственного соприкосновения, формируя новое внутреннее состояние сторон противоборства $P_{5(n+1)}$, изменяя состояние связей на $S_{3(n+1)}$ и проводя расчет ущерба сторон.

Оператор S_7 моделирует перемещение линии фронта, формируя новое внутреннее состояние сторон противоборства $P_{6(n+1)}$, изменяя сос-

тояние связей на $S_{4(n+1)}$ и топологию противоборствующих сторон на $Q_{1(n+1)}$.

Оператор S_8 моделирует перегруппировку сил и средств противоборствующих сторон, ввод резервов, формируя новое внутреннее состояние сторон противоборства $P_{7(n+1)}$, изменяя состояние связей на $S_{4(n+1)}$ и топологию противоборствующих сторон на $Q_{2(n+1)}$.

Необходимо подчеркнуть, что в модели будут участвовать вероятности двух типов [8]:

– вероятности перехода от текущего состояния к последующему состоянию P_{ij} ;

– вероятности состояний $p_{i(k)}$, в которых окажется система после k -го шага воздействия.

Таким образом, значения вероятности 1-го типа — вероятности перехода от состояния к состоянию P_{ij} соответственно будут определяться (соотноситься с) движением точки $T = U(P, S, Q, W)$ в фазовом пространстве, представляющем собой совокупность рассчитанных текущих значений этих матриц в рассматриваемый момент времени.

Вероятности 2-го типа — вероятности состояний $p_{i(k)}$, в которых окажется система после k -го шага воздействия — будут определяться рекуррентной формулой:

$$p_{i(k)} = \sum_{j=1}^n p_{j(k-1)} P_{ij}, \quad (i = 1, 2, \dots, n),$$

где $p_{j(k-1)}$ — вероятность состояния системы после $(k-1)$ -го шага.

Таким образом, на основе предложенного математического аппарата, соответствующий коллектив исследователей операций принимает решения на использование той или иной стратегии её применения по результатам проведенного ими моделирования [9].

Выводы

В статье рассмотрен один из подходов к представлению модели проведения операции на основе использования математического аппарата марковской цепи. При этом:

1. Проведен анализ операции как последовательности состояний. При этом каждому состоянию рассматриваемой операции поставлен в соответствие ряд параметров;

2. Показана целесообразность представления системы этих параметров в виде совокуп-

ности значений соответствующих матриц этих параметров (P, S, Q, W), образующих в итоге фазовое пространство состояний рассматриваемой системы (операции);

3. Показано, что изменение состояния системы после проведения очередного этапа операции целесообразно описывать движением точки в этом фазовом пространстве $T = U(P, S, Q, W)$ — совокупностью рассчитанных текущих значений указанных матриц в рассматриваемый момент времени;

4. Детально рассмотрен процесс изменения состояния системы на очередном шаге моделирования в виде ряда последовательных отображений;

5. Показана целесообразность использования для рассматриваемой модели аппарата Марковских цепей и, в качестве первоначального инструмента анализа исходных данных для их построения, размеченного графа состояний рассматриваемой системы (операции);

6. Детально представлен алгоритм изменения состояний системы в виде рассмотренной в статье последовательности этапов;

7. Показана целесообразность использования в модели вероятностей двух типов:

– вероятности перехода текущего состояния к последующему состоянию P_{ij} ;

– вероятности состояний $p_{i(k)}$, в которых окажется система после k -го шага воздействия;

8. Приведены подходы и математический аппарат для проведения расчетов вероятностей этих типов;

9. Указано, что на основе предложенного математического аппарата соответствующий коллектив исследователей операций принимает решения на использование той или иной стратегии её применения по результатам проведенного ими моделирования.

Список источников

1. Чуев Ю.В., Мельников П.М., Петухов С.И. и др. Основы исследования операций в военной технике. М.: Советское радио, 1965. 395 с.

2. Кофман А., Крюон Р. Массовое обслуживание. Теория и приложение. М.: Мир, 1965. 303 с.

3. Клейнрок Л. Теория массового обслуживания. Пер. с англ. / Пер. И.И. Глушко; ред. В.Н. Нейман. М.: Машиностроение, 1979. 432 с.

4. Дегтярев И.Ю. Исследование операций: учеб. для вузов по спец. АСУ. М.: Высш. шк., 1986. 320 с.

5. Хэдми А. Таха. Исследование операций, 10-е изд. Пер. с англ. СПб.: Диалектика, 2019. 1056 с.

6. Федулов А.А., Федулов Ю.Г., Цыгичко В.Н. Введение в теорию статистически ненадежных решений. М.: ЛИБРОКОМ, 2017. 280 с.

7. Цыгичко В.Н. Модели в системе принятия военно-стратегических решений в СССР. М.: Империиум Пресс, 2005. 96 с.

8. Абчук В.А. Справочник по исследованию операций; под общ. ред. Ф.А. Матвейчука. М.: Воениздат, 1979. 368 с.

9. Лепешкин С.А., Гончаренко В.А., Шульгин А.А., Шарабаева Л.Ю. Моделирование и проектирование систем. Ч. 2. Проектирование систем: учеб. пособие. СПб.: ВКА им. А.Ф. Можайского, 2017. 126 с.

References

1. Chuev Yu.V., Melnikov P.M., Petukhov S.I. et al. Fundamentals of operations research in military equipment. Moscow: Soviet Radio, 1965. 395 p.

2. Kofman A., Kruon R. Mass service. Theory and application. Moscow: Mir Publishing House, 1965. 303 p.

3. Kleinrock L. Theory of queuing. Transl. from English. M.: Mashinostroenie, 1979. 432 p.

4. Degtyarev I.Yu. Operations research.: Studies for universities on special automated control systems. M.: Higher School, 1986. 320 p.

5. Hadmi A. Taha. Operations Research, 10th ed.: Translated from English. St. Petersburg: Diagnostics LLC, 2019. 1056 p.

6. Fedulov A.A., Fedulov Yu.G., Tsygichko V.N. Introduction to the theory of statistically unreliable solutions. M.: LIBROCOM, 2017. 280 p.

7. Tsygichko V.N. Models in the system of military strategic decision-making in the USSR. M.: Imperium Press, 2005. 96 p.

8. Abchuk V.A. Handbook of operations research; Under the general editorship of F.A. Matveychuk. M.: Voenizdat, 1979. 368 p.

9. Lepeshkin S.A., Goncharenko V.A., Shulgin A.A., Sharabaeva L.Y. Modeling and design of systems. Part 2. Designing systems: a textbook. St. Petersburg: Mozhaisky VKA, 2017. 126 p.