

2. Песчанский А.И. Полумарковская модель однолинейной системы обслуживания с потерями и учетом технического обслуживания ненадежного канала / А.И. Песчанский, А.И. Коваленко // Оптимизация производственных процессов: сб. науч. тр. — Севастополь, 2014. — № 15. — С. 63 – 70.
3. Корольок В.С. Процессы марковского восстановления в задачах надежности систем / В.С. Корольок, А.Ф. Турбин. — Киев: Наук. Думка, 1982. — 236 с.
4. Песчанский А.И. Стационарные характеристики однолинейной системы обслуживания с потерями и ненадежным прибором / А.И. Песчанский, А.И. Коваленко // Таврический вестник информатики и математики. — ТНУ, 2013. — №1(22). — С. 69 – 79.
5. Розен В.В. Математические модели принятия решений в экономике / В.В. Розен. — М: «Высш. шк.», 2002. — 287 с.

Peschansky A.I., Kovalenko A.I. Semi-Markov Model of Unreliable One-server Queue Loss System with Latent Failures

Semi-Markov model of one-server $GI/G/1/0$ queue with latent failures is built. Maintenance of system unreliable server is carried out in accordance with time-to-failure. Stationary reliability and economical characteristics of the system are obtained. Two-criterial optimization of maintenance periodicity is made.

Keywords: one-server queue system with unreliable server, latent failure, server maintenance, embedded Markov chain stationary distribution, stationary characteristics, two-criterial optimization.

Песчанський О.І., Коваленко А.І. Напівмарковська модель технічного обслуговування ненадійної однолінійної системи обслуговування з втратами та прихованою відмовою

Побудована напівмарковська модель однолінійної системи обслуговування $GI/G/1/0$ з прихованими відмовами. Технічне обслуговування ненадійного приладу проводиться в залежності від напрацювання на відмову. Визначені стаціонарні надійнісні та економічні характеристики системи. Виконана дво критерійна оптимізація періодичності проведення технічного обслуговування.

Ключові слова: однолінійна система обслуговування з ненадійним приладом, технічне обслуговування приладу, стаціонарний розподіл вкладеного ланцюга Маркова, стаціонарні характеристики, дво критерійна оптимізація.

УДК 004.942

Д.Ю. Воронин, канд. техн. наук

Севастопольский национальный технический университет

ул. Университетская 33, г. Севастополь, Россия, 299053

E-mail: dima@voronins.com

**ИНФОРМАЦИОННО-АНАЛИТИЧЕСКИЕ ТЕХНОЛОГИИ РАСПРЕДЕЛЕНИЯ
ВЫЧИСЛИТЕЛЬНЫХ РЕСУРСОВ КРИТИЧЕСКИХ ИНФРАСТРУКТУР В ПРОБЛЕМАХ
СЕТЕВОГО АНАЛИЗА ПРОЕКТОВ¹¹**

Рассмотрена задача принятия управленческих решений при критическом инфраструктурном взаимодействии. Предложены информационно-аналитические технологии распределения вычислительных ресурсов критических инфраструктур. Описан реализованный комплекс оптимизационных программных моделей, сформулированных в терминах сетевого анализа проектов. В качестве примера, иллюстрирующего элементы предлагаемой концепции, рассмотрена модель прямого и обратного распределения неоднородных ресурсов, реализованная при учете возможности использования наборов альтернативных компонент составного ресурса. Предложен сценарий принятия управленческих решений при критическом инфраструктурном взаимодействии.

Ключевые слова: критическое инфраструктурное взаимодействие, поддержка принятия решения, сетевой анализ проектов, информационно-аналитические технологии, эффективное управление.

Рассматривается задача принятия управленческих решений при критическом инфраструктурном взаимодействии. Все попытки рассмотреть инфраструктуру как обычную систему, состоящую из других систем, ввиду слабой конструктивности приводят к весьма ограниченным результатам. В первую очередь это происходит из-за того, что в классической теории систем элементы формируются в единую структуру в соответствии с некоторым целевым признаком, внешними и внутренними системообразующими факторами. Они могут носить экономический характер, обуславливаясь информационной и функциональной безопасностью системы и т.п. В развитых инфраструктурах появляются свои особенности:

¹¹ Работа выполнена при финансовой поддержке РФФИ (грант № 14-41-01522).

системообразующие факторы безусловно существуют, но относительные части инфраструктуры настолько самостоятельны и независимы, что употребление централизованных понятий для их описания обладает слабой конструктивностью. В классической теории систем подсистемы в системе наделены четко выраженными функциями, ориентированными на достижение целевой функции всей системы, и именно в связи с этим оценивается их полезность, необходимость, эффект, степень развития. Для инфраструктур это не так — каждая из ее компонентов имеет свой относительный характер поведения, свои цели и качество организации инфраструктуры во многом определяется коллинеарностью этих целей: насколько они приведены к общему ресурсному источнику и ориентированы на производство обобщенного продукта инфраструктурной деятельности.

Содержательное определение инфраструктуры дается в различных источниках [1 – 3]. Функционирование инфраструктуры ориентировано на достижение одной (или множества) целей. Инфраструктура состоит из совокупности систем (чаще всего разнородных), имеющих свои индивидуальные целевые функции и сформированную соответствующим образом структуру. В инфраструктуре выделяют внешние и внутренние связи, внутренние и внешние ресурсы. По сути, внутренние связи инфраструктуры описывают взаимосвязи между системами, входящими в ее состав. На вход инфраструктуры поступает поток ресурсов (чаще всего многомерный), а на выходе — соответствующая продукция. Качество функционирования инфраструктуры оценивается внешним органом в соответствии со сформулированной целевой функцией (либо множеством функций). Различают внутреннюю, внешнюю, либо смешенную задачу инфраструктурного управления. Формулировка понятия инфраструктурного управления будет сделана несколько позже.

Основные рассматриваемые виды ресурсов: материальные, энергетические, финансовые, трудовые, информационные. Ресурс может обладать важным качественным свойством — полезностью. То есть, если ресурс не обладает данным свойством, то он бесполезен и никому не нужен. Во-первых, он может быть необходим самой системе для производства продукции. Иными словами, цель любой системы, входящей в инфраструктуру, состоит в преобразовании ресурсов в продукцию. Эта продукция, если она поступает в некоторую другую систему, становится для этой системы — ресурсом, а под воздействием этого ресурса вновь производится продукт. При таких обменах система, отдающая определенный объем ресурсов, называется система-донор, а принимающая его — система-акцептор. То есть продукт системы-донора является ресурсом для системы-акцептора. Различные варианты детализации процедуры осуществления донорно-акцепторных ресурсных обменов рассматривать преждевременно, так как это оправдано только при рассмотрении конкретных задач. Донорно-акцепторный обмен между двумя системами называется комплементарным, если в нем участвуют ресурсы разных типов.

При рассмотрении дальнейших задач, для количественного описания комплементарных ресурсных обменов в системах необходимо ввести понятие универсального ресурса. Он не существует реально, какую-то роль, похожую на универсальный ресурс играют деньги — средство для организации обмена.

Под инфраструктурным взаимодействием будем понимать донорно-акцепторные ресурсные обмены (чаще всего комплементарные) между системами, входящими в инфраструктуру. Выделяют различные виды инфраструктурных взаимодействий: одно- и двунаправленные, непрерывные и дискретные (с точки зрения рассматриваемых моментов времени), а также стационарные и нестационарные. В дальнейшем будем рассматривать инфраструктурные взаимодействия при которых ресурсные обмены происходят исключительно в дискретные моменты времени.

Существуют различные способы формализации инфраструктурных взаимодействий (например, графовые или матричные), которые задают как состав инфраструктуры, так и схему взаимодействия систем в ней. При матричном описании каждый элемент матрицы задает объем условного передаваемого или принимаемого ресурса. При положительном значении этого элемента первый его индекс определяет идентификатор системы-донора, а второй индекс — идентификатор системы-акцептора. При отрицательном — с точностью до наоборот. Очевидно, что в общем случае, эта матрица является несимметричной и ее значения могут изменяться в зависимости от рассматриваемого момента времени реализации анализируемых процессов.

Каждая система, входящая в инфраструктуру, обладает важными свойствами: инертностью и требовательностью к ресурсному обеспечению. Они проявляются в различной степени в зависимости от текущего момента времени. Свойство инертности системы определяет степень влияния траектории изменения объема вырабатываемого ею универсального продукта (при предыдущих тактах функционирования) на значение текущего выработанного объема универсального продукта (так называемый "эффект памяти"). Свойство требовательности системы к ресурсному обеспечению определяет характер функциональной зависимости между объемом вырабатываемого универсального продукта и выделенным объемом универсального ресурса при инфраструктурном взаимодействии.

При решении конкретных задач появляется необходимость в сравнении как инфраструктур между собой, так и в оценке динамики развития одной и той же инфраструктуры во времени. Для этого рассмотрим

понятие потенциала инфраструктуры. Практически любая инфраструктура предназначена для переработки некоторого ресурса в продукцию на основе своей производственной мощности. В общем случае ресурс и продукция могут представлять собой многомерный поток, однако для простоты рассмотрим пока одномерный случай. Пусть на вход инфраструктуры поступает некоторый универсальный ресурс X объемом V_X , преобразующийся в универсальный продукт Y объемом V_Y . Потенциал — это скалярная характеристика, описывающая потенциальную способность, возможность инфраструктуры преобразовывать универсальный ресурс в универсальный продукт при полном ресурсном и информационном обеспечении, наилучшем варианте организации взаимодействия ее элементов, а также других наиболее благоприятных условиях ее функционирования. То есть, для любой инфраструктуры объем V_X ограничен, в силу этого и V_Y ограничен и монотонно зависит от V_X . В организованных инфраструктурах, как правило, чем больше ресурса, тем, больше и продукта. Иными словами, потенциал — это максимум V_Y при избытке V_X и использовании всех производственных мощностей инфраструктуры. Таким образом, потенциал — это константа, внутренняя способность инфраструктуры, определяемая ее производственными мощностями и более ни чем. То есть, потенциал определяется внутренней производственной мощностью инфраструктуры и не зависит от поступающего объема универсального ресурса. Примечательно, что понятие "потенциал" для инфраструктуры приобретает особое значение, так как ввиду синергического эффекта инфраструктура обладает важным системным свойством — уровень реализации ее потенциала практически всегда больше суммы уровней реализации потенциала систем, входящих в нее.

Одним из наиболее эффективных путей увеличения потенциала инфраструктуры является наращивание ее производственной мощности и развитие собственной технологической базы. Однако, задача модернизации производственных фондов инфраструктуры в данной работе не рассматривается, а решается задача увеличения уровня реализации ее потенциала путем максимизации степени использования существующих внутренних мощностей за счет оптимизации инфраструктурных взаимодействий. Ведь даже при наличии огромных производственных мощностей, но при недостатке универсального ресурса — невозможно обеспечить потенциал инфраструктуры. Более того, существуют граничные условия функционирования инфраструктуры: если объем универсального ресурса меньше, чем некоторый критический, то инфраструктура вообще ничего не производит. Если выполняются все условия эксплуатации инфраструктуры, то она будет обладать потенциалом. Иначе, при нарушении хотя бы одного из условий эксплуатации, ее потенциал становится меньше или вообще равным нулю. Если потенциал уменьшился и стал меньше некоторой фиксированной величины, то считается, что инфраструктура находится в состоянии отказа по потенциалу, который, в свою очередь, может быть различных типов: обыкновенный, постепенный, деградиционный, пороговый. Важное системное свойство инфраструктуры — критичность — проявляется при падении потенциала инфраструктуры ниже некоторого граничного значения, что неминуемо сопровождается возникновением отказа, и, если это возможно, запуском процессов восстановления ее работоспособности. В этом смысле выделяют два класса инфраструктур: восстанавливаемые (то есть обладающие возможностью возврата из состояния отказа по потенциалу в работоспособное) и критические (для которых отсутствуют процедуры восстановления, что проявляется в наличии, так называемого, поглощающего, невозвратного состояния).

Уровень реализации потенциала инфраструктуры — это относительный показатель достижения ее потенциала, представляющий собой отношение текущего потенциала инфраструктуры — в данный момент времени — к максимально возможному, которого не удалось обеспечить в силу различных причин. То есть, уровень реализации потенциала инфраструктуры характеризует изменение потенциальной ее возможности переработать ресурс в рассматриваемый момент времени. Уровень реализации потенциала инфраструктуры является динамической величиной и зависит от текущих последствий инфраструктурных взаимодействий и от текущего вида функциональных зависимостей, учитывающих: характер взаимосвязи между системами в инфраструктуре, а также такие важные свойства систем как инертность и требовательность к уровню ресурсного обеспечения, влияющие непосредственным образом на объем произведенного универсального продукта. Характер взаимосвязи между системами в инфраструктуре учитывает прирост уровня реализации потенциала инфраструктуры, полученный благодаря синергическому эффекту от объединения систем.

В большинстве случаев, достижение потенциала критической инфраструктуры (КИ) является следствием принятия оптимальных управленческих решений по организации инфраструктурного взаимодействия в ней. Принимаемое решение, по сути, описывает текущие объемы донорно-акцепторных обменов между всеми системами, входящими в инфраструктуру. Например, при матричном способе формализации инфраструктурных взаимодействий оно сводится к формированию текущих значений матрицы инфраструктурных взаимодействий. Множество допустимых решений формируется при использовании информации об объемах универсального продукта, выработанного системами к текущему моменту времени, а выбор оптимального решения происходит на основе одной из оптимизационных программных моделей.

Далее будут рассмотрены информационно-аналитические технологии распределения вычислительных ресурсов критических инфраструктур в проблемах сетевого анализа проектов.

Комплекс оптимизационных программных моделей ориентирован на дальнейшее развитие теории сетевого анализа проектов в направлении синтеза методики принятия управленческих решений при критическом инфраструктурном взаимодействии. Он состоит из оптимизационных программных моделей $\mathfrak{Z}_1 - \mathfrak{Z}_7$, которые не противоречивы и могут наращиваться для учета дополнительных архитектурных особенностей анализируемой инфраструктуры. Кроме того, они могут быть развиты с целью корректировки полученных решений в условиях изменения оперативной обстановки для использования в системах реального времени. Следует отметить, что в рамках данной статьи под программной моделью $\mathfrak{Z}_1 - \mathfrak{Z}_7$ подразумевается не способ ее реализации – в виде программных кодов, а целевая ориентация модели на разработку фундаментальных методологических основ поддержки принятия управленческих решений при стохастическом критическом инфраструктурном взаимодействии на основе интеллектуальных информационных технологий, используемых ЛПР в диалоговом режиме. Выбор оптимальной программной модели из комплекса является нетривиальной задачей, в следующем пункте рассматривается ее решение на основе метода поддержки принятия решений по выбору адекватной программной модели при использовании логико-предикатной сети.

Системное описание программной $\mathfrak{Z}_1$ -модели. Рассматривается задача распределения ресурсов в терминах сетевого анализа проектов. Имеется комплекс работ (КР), который считается выполненным тогда и тогда, когда выполнены все работы в него входящие. Для его формального описания используется граф, веса дуг которого описывают параметры соответствующих работ КР, а узлы поставлены в соответствие событиям, упорядоченным на временной оси и задающим, таким образом, отношения предшествования между работами КР. Начать выполнение определенной работы можно тогда и только тогда, когда ей выделен ресурс в необходимом объеме и выполнены все ей предшествующие работы КР. Длительность выполнения работы существенным образом зависит от объема ресурса, выделенного для ее выполнения. Соответствующие функциональные зависимости в общем случае для работ комплекса являются уникальными и подразумевают наличие ограничений, связанных с функциональными особенностями работ КР. Они выражаются в наличии минимально и максимально возможных объемов ресурса, выделяемого для каждой из этих работ. То есть, при нарушении данного ограничения работа будет выполняться либо бесконечно долго, либо дальнейшее приращение объемов выделяемого ей ресурса с точки зрения минимизации длительности ее выполнения будет индифферентно. Ресурс работе выделяется дискретно, в момент времени, соответствующей началу ее выполнения, а высвобождается в момент времени, соответствующий окончанию ее выполнения. То есть, прерывания при выполнении работ не предусмотрены.

Системное описание программной $\mathfrak{Z}_2$ -модели. Системное описание данной программной модели аналогично $\mathfrak{Z}_1$ -модели, кроме следующих особенностей. Ресурс, используемый при выполнении работ КР, не гомогенен, а представляет собой набор альтернативных компонентов составного ресурса, в котором дефицит одного компонента может быть скомпенсирован переизбытком другой. Таким образом, функциональные зависимости между длительностями выполнения работ КР и выделенными объемами составного ресурса для их выполнения должны учитывать эту особенность. То есть, одной и той же длительности выполнения рассматриваемой работы можно добиться не одним единственным вариантом выделения ей определенного объема гомогенного ресурса (как в $\mathfrak{Z}_1$ -модели), а различными сочетаниями компонентов составного ресурса, что, безусловно, существенно увеличивает количество альтернативных решений по распределению ресурса между работами КР.

Кроме того, рассмотренные в $\mathfrak{Z}_1$ -модели ограничения, выражающиеся в наличии для каждой из работ КР минимально и максимально возможных объемов составного ресурса (выделяемого для их выполнения) описываться теперь не константами, а векторами. Аналогично $\mathfrak{Z}_1$ -модели, при нарушении этих ограничений соответствующая работа будет выполняться либо бесконечно долго, либо дальнейшее приращение объемов компонентов выделяемого составного ресурса с точки зрения минимизации длительности ее выполнения будет индифферентно.

Программная $\mathfrak{Z}_2$ -модель многокомпонентного прямого распределения ресурсов.

Один и тот же вид ресурса используется всеми работами КР, однако он является не простым, а составным, то есть состоит из компонентов, предусматривающих альтернативное использование друг друга. Объем составного ресурса задан наперед (отдельно для каждого из его компонентов) и не может изменяться в течение выполнения работ, входящих в КР. Составной ресурс можно распределять между работами, входящими в КР. При этом распределение ресурса не меняется в течение выполнения всех работ, входящих в КР. Целевое назначение программной $\mathfrak{Z}_2$ -модели прямого распределения ресурсов: нахождение такого варианта принятия решений о распределении составного ресурса между работами, чтобы для фиксированного объема составного ресурса длительность выполнения заданного комплекса работ была минимальной.

Программная $\mathfrak{Z}_2$ -модель многокомпонентного обратного распределения ресурсов.

Один и тот же вид ресурса используется всеми работами КР, однако он является не простым, а составным, то есть состоит из компонентов, предусматривающих альтернативное использование друг друга. Объем составного ресурса задан наперед (отдельно для каждого из его компонентов) и не может изменяться в течение выполнения работ, входящих в КР. Составной ресурс можно распределять между работами, входящими в КР. При этом распределение ресурса не меняется в течение выполнения всех работ, входящих в КР. Целевое назначение $\mathfrak{Z}_2$ -модели обратного распределения ресурсов: нахождение такого варианта принятия решений о распределении ресурса между работами КР, чтобы длительность выполнения заданного комплекса работ была меньше директивного срока окончания выполнения КР, а объем распределяемого составного ресурса минимален.

Информационное обеспечение программной $\mathfrak{Z}_2$ -модели.

Определение 1. Под объемом составного или многокомпонентного ресурса, выделяемого для выполнения $(i-j)$ -ой работы КР, будем понимать вектор $\bar{n}_{ij} = \{K_1^{ij}, K_2^{ij}, \dots, K_h^{ij}\}$, элементы которого определяют объем каждого из выделенных компонентов ресурса для выполнения $(i-j)$ -ой работы КР, где h — число компонентов.

Известно, что $\forall ((i, j) \in A), v = \{1, 2, \dots, h\}, K_v^{ij} \in [K_v^{\min}(ij); K_v^{\max}(ij)]$.

$\bar{n}_{ij}^{\min} = \{K_1^{\min}(ij), K_2^{\min}(ij), \dots, K_h^{\min}(ij)\}$ — вектор, описывающий минимально возможный объем компонентов ресурса, выделяемый на решение $(i-j)$ -ой работы (с точки зрения ее граничных характеристик);

$\bar{N}^{\min} = \{\bar{n}_{ij}^{\min} : (i, j) \in A\}$ — множество минимально возможных объемов компонентов ресурса, которые могут быть выделены на выполнение работ КР (с точки зрения их граничных характеристик);

$\bar{n}_{ij}^{\max} = \{K_1^{\max}(ij), K_2^{\max}(ij), \dots, K_h^{\max}(ij)\}$ — вектор, описывающий максимально возможный объем компонентов ресурса, выделяемый на выполнение $(i-j)$ -ой работы (с точки зрения ее граничных характеристик);

$\bar{N}^{\max} = \{\bar{n}_{ij}^{\max} : (i, j) \in A\}$ — множество максимально возможных объемов компонентов ресурса, которые могут быть выделены на выполнение работ КР (с точки зрения их граничных характеристик);

$t(\bar{n}_{ij})$ — длительность выполнения $(i-j)$ -ой работы при выделении ей составного ресурса в объеме $\bar{n}_{ij}$, формально описывается длиной (i,j) -ой дуги графа G ;

$\bar{f}_{i,j}$ — функция, устанавливающая соответствие между $\bar{n}_{ij}$ и $t(\bar{n}_{ij})$;

$\bar{f} = \{\bar{f}_{i,j} : (i, j) \in A\}$ — множество функций $\bar{f}_{i,j}$;

$\bar{n}_{i,j}^s = \{K_1^{ij}(s), K_2^{ij}(s), \dots, K_h^{ij}(s)\}$ — объем составного ресурса, выделенного на протяжении временного интервала $[T_i^s, T_j^s]$ для выполнения (i,j) -работы при s -ом варианте решения о распределении составного ресурса;

$\bar{vr}_s \in \bar{VR}_d$ — s -ый вариант принятия решений о распределении составного ресурса $\bar{vr}_s = \{\bar{n}_{i,j}^s : (i, j) \in A\}$;

$\bar{VR}_d$ — множество допустимых вариантов принятия решений о распределении составного ресурса;

$\bar{vr}_{opt} \in \bar{VR}_d$ — оптимальный вариант принятия решений о распределении составного ресурса;

T_i^s — наиболее ранний возможный срок (НРВС) достижения i -го узла графа G при s -ом варианте принятия решения о распределении составного ресурса (i -й узел графа G считается достигнутым, если завершилось движение по самому длинному из путей L_i графа G);

$\bar{R} = \{K_1^{\text{SUM}}, K_2^{\text{SUM}}, \dots, K_h^{\text{SUM}}\}$ — суммарный объем каждого из компонентов распределяемого ресурса.

Программная $\mathfrak{Z}_2$ -модель многокомпонентного ПРР.

Исходные данные: $G, \bar{N}^{\min}, \bar{N}^{\max}, \bar{f}, \bar{R}$;

Результирующие данные: $\bar{vr}_{opt} = \arg \min_{\bar{vr}_s \in \bar{VR}_d} T_{\text{я}}^s$,

при выполнении ограничений:

1) $\forall \bar{vr}_s \in \bar{VR}_d, \forall u \in U_e, T_e^s \leq T_u^s$, где

U_e — множество номеров узлов графа G , исходящие из которых дуги инцидентны e -му узлу;

2) $\forall \bar{vr}_s \in \bar{VR}_d, \forall ((i, j) \in A), \forall \alpha = \{1, 2, 3, \dots, |\bar{R}|\}$,

$$K_{\alpha}^{\text{SUM}} \geq K_{\alpha}^{\text{ij}}(s) + \sum_{b=1}^{|W^{\text{coeu}}|} \mu_b^{\alpha}(s),$$

где $\mu_b^{\alpha}(s) \in \bar{W}_{\alpha}^{\text{coeu}}(s)$; $\bar{W}_{\alpha}^{\text{coeu}}(s) = \{ K_{\alpha}^{\text{eu}}(s) : (e, u) \in l_y, T_y^s \in [T_i^s, T_j^s] \}$, где

$\bar{W}_{\alpha}^{\text{coeu}}(s)$ — множество объемов α -ого компонента составного ресурса, выделенного при s -ом варианте принятия решений о распределении составного ресурса тем работам КР, которые выполняются параллельно с $(i-j)$ -ой работой КР.

Программная $\mathfrak{Z}_2$ -модель многокомпонентного ОРР.

Исходные данные: $G, \bar{N}^{\min}, \bar{N}^{\max}, \bar{f}, \tau$;

Результатирующие данные: $\bar{vr}_{\text{опт}} = \arg \min_{vr_s \in \bar{VR}_{\mathcal{A}}} \bar{R}^s$,

при выполнении ограничений:

1) $\forall vr_s \in \bar{VR}_{\mathcal{A}}, T_{\text{я}}^s \leq \tau$, где

τ — директивный срок окончания выполнения всех работ КР;

2) $\forall vr_s \in \bar{VR}_{\mathcal{A}}, \forall u \in U_e, T_e^s \leq T_u^s$, где

U_e — множество номеров узлов графа G , исходящие из которых дуги инцидентны e -му узлу;

3) $\forall vr_s \in \bar{VR}_{\mathcal{A}}, \forall ((i, j) \in A), \forall \alpha = \{1, 2, 3, \dots, |\bar{R}|\} K_{\alpha}^{\text{SUM}} \geq K_{\alpha}^{\text{ij}}(s) + \sum_{b=1}^{|W^{\text{coeu}}|} \mu_b^{\alpha}(s)$, где

$$\mu_b^{\alpha}(s) \in \bar{W}_{\alpha}^{\text{coeu}}(s), \bar{W}_{\alpha}^{\text{coeu}}(s) = \{ K_{\alpha}^{\text{eu}}(s) : (e, u) \in l_y, T_y^s \in [T_i^s, T_j^s] \},$$

$\bar{W}_{\alpha}^{\text{coeu}}(s)$ — множество объемов α -ого компонента составного ресурса, выделенного при s -ом варианте принятия решений о распределении составного ресурса тем работам КР, которые выполняются параллельно с $(i-j)$ -ой работой КР.

Определение 2. Под фазовым портретом $(i-j)$ -ой работы КР, будем понимать вектор $FP^{ij} = \{ fp_1^{ij}, fp_2^{ij}, \dots, fp_{|FP^{ij}|}^{ij} \}$, элементами которого являются множества

$fp_B^{ij} = \{ (\bar{n}_{i,j})_p : \forall p \ t(\bar{n}_{i,j})_p = \text{const} = t_B, p = \{1, 2, 3, \dots, |FP^{ij}|\} \}$. Элементы множеств fp_B^{ij} , $B = \{1, 2, 3, \dots, |FP^{ij}|\}$ определяют различные сочетания компонентов составного ресурса (выделяемого для выполнения $(i-j)$ -ой работы КР) и обеспечивающие одну и ту же длительность выполнения $(i-j)$ -ой работы КР. То есть, любой компонент вектора FP^{ij} соответствует допустимому множеству вариантов сочетания различных объемов многокомпонентного ресурса, которые обеспечивают одну и ту же длительность выполнения $(i-j)$ -ой работы КР.

Иллюстративно, для двухкомпонентного ресурса фазовый портрет $(i-j)$ -ой работы может быть описан множеством точек, принадлежащих семейству отрезков кривых (рис. 1), ограниченному на основании информации, содержащейся в векторах $\bar{n}_{ij}^{\min}$ и $\bar{n}_{ij}^{\max}$.

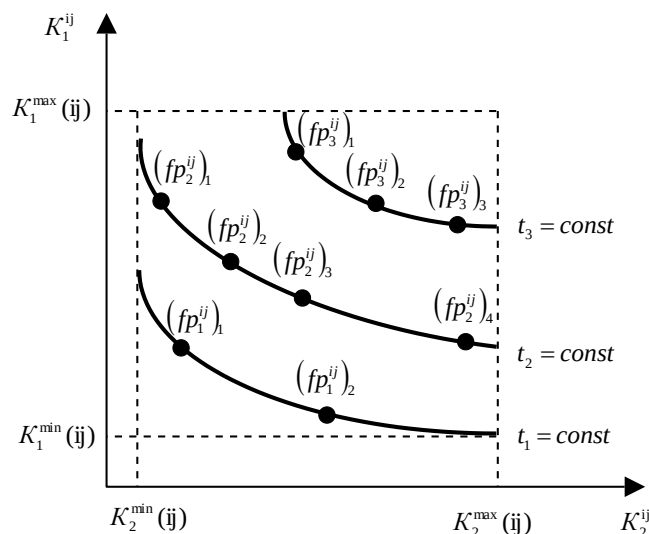


Рисунок 1 — Фазовый портрет $(i-j)$ -ой работы КР для составного двухкомпонентного ресурса.

Очевидно, что если в фазовом портрете $(i-j)$ -ой работы КР имеются элементы множества $fp_B^{ij} = \{(\bar{n}_{i,j})_p : \forall p t(\bar{n}_{ij})_p = \text{const} = t_B, p = \{1, 2, 3, \dots\}\}$ не принадлежащие одному и тому же отрезку соответствующей кривой, то значит необходимо осуществить предобработку исходных данных, выполнив процедуру сокращения фазового портрета $(i-j)$ -ой работы КР с целью изъятия неэффективных вариантов принятия решений о распределении составного ресурса.

Иллюстративно, для двухкомпонентного ресурса фазового портрета $(i-j)$ -ой работы (рис. 2), очевидно, что если $T_j^a = T_j^b = T_j^c = T_j^d = \text{const}$, то a -ый, b -ый и c -ый варианты принятия решений о распределении составного ресурса неэффективны. То есть d -ый вариант будет всегда их предпочтительнее.

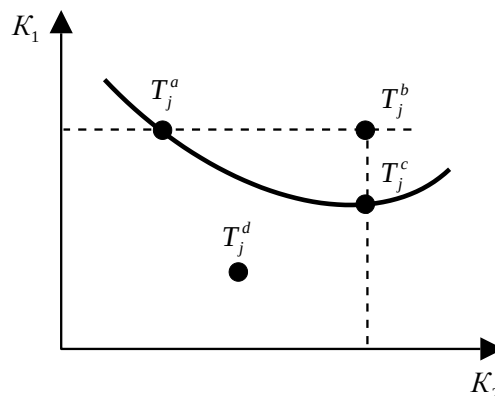


Рисунок 2 — Фазовый портрет $(i-j)$ -ой работы КР для составного двухкомпонентного ресурса при наличии неэффективных вариантов принятия решений о распределении составного ресурса.

С точки зрения анализируемого момента времени упрощенный сценарий принятия управленческих решений при критическом инфраструктурном взаимодействии имеет следующий вид:

1. Идентифицируется текущая информационная ситуация;
2. В соответствии с идентифицированной ситуацией, на основе информации о комплексе оптимизационных программных моделей, формируется множество допустимых программных моделей, ориентированных на принятие управленческих решений при критическом инфраструктурном взаимодействии;
3. Из полученного множества допустимых программных моделей ЛПР (в соответствии со своими предпочтениями) выбирает наиболее адекватную из них;
4. Исходя из объемов универсального продукта, выработанного ранее системами, формируется множество допустимых вариантов согласованного формирования текущих объемов донорно-акцепторных обменов между всеми системами, входящими в инфраструктуру;
5. В соответствии с выбранной в пункте 3 данного сценария программной моделью и сформированным в пункте 4 множеством допустимых вариантов происходит выбор оптимального варианта управления инфраструктурными взаимодействиями в КИ;
6. При учете последствий выбранного варианта управления инфраструктурным взаимодействием и рассмотренных ранее функциональных зависимостей, описывающих важные свойства систем (инертность и требовательность к ресурсному обеспечению), рассчитываются объемы универсального продукта, выработанного системами в текущий момент времени;
7. Оценивается текущий уровень реализации потенциала инфраструктуры (при учете синергического эффекта от объединения систем в инфраструктуру, а также в соответствии с текущими объемами выработанного универсального ресурса).

Данный сценарий реализуется для каждого момента времени принятия управленческих решений при критическом инфраструктурном взаимодействии. Каждое управленческое решение должно:

- 1) обеспечивать максимальный уровень реализации потенциала инфраструктуры из всех альтернативно возможных в текущий момент времени;
- 2) поддерживать формирование траектории изменения уровня реализации потенциала инфраструктуры в виде монотонно возрастающей зависимости (соответствующей различным моментам времени принятия решений);
- 3) гарантировать сохранение потенциальной возможности участия любой из систем в последующих инфраструктурных взаимодействиях в качестве системы-донора.

Библиографический список использованной литературы

1. Харченко В.С. Безопасность критических инфраструктур: математические и инженерные методы анализа и обеспечения / Под ред. Харченко В.С., Министерство образования и науки Украины, Национальный аэрокосмический университет им. Н.Е. Жуковского «ХАИ», 2011. — 641 с.
2. Скатков А.В. Информационные технологии для критических инфраструктур: моногр. / Под ред. А.В. Скаткова — Севастополь: СевНТУ, 2012. — 306 с.
3. Воронин Д.Ю., Скатков А.В., Харченко В.С. Технологии Web, Grid, Cloud для гарантоспособных ИТ-инфраструктур / Технологии Web, Grid, Cloud для гарантоспособных ИТ-инфраструктур: Монография/ Под ред. В.С. Харченко, А.В. Горбенко. — Харьков: Изд-во ХАИ, 2013. — 868 с.
4. Бушуев С.Д. Современные подходы к развитию методологий управления проектами / С.Д. Бушуев, Н.С. Бушуева // Управління проектами та розвиток виробництва: Зб.наук.пр. — Луганськ: вид-во СНУ ім. В.Даля, 2005 - №1(13). — С. 5 — 19.

Voronin D.Y. Information-analytical technology of critical infrastructure computing resources allocation in the problem of network projects analysis

The problem of managerial decision-making at critical infrastructure interaction is considered. Information-analytical technologies of resource allocation in of critical infrastructures are proposed. The realized complex of optimization program models, formulated in terms of network analysis projects, is described. As an example to illustrate the elements of the proposed concept, we consider the implemented model of direct and inverse inhomogeneous resources allocation, that takes into account the possibility of using alternative sets of composite resource components. The scenario of managerial decision-making at critical infrastructure interaction is proposed.

Key words: critical infrastructure cooperation, decision support, projects network analysis, information and analytical technologies, efficient management.

УДК.681.5.

Ю.Е. Обжерин, профессор, д-р техн. наук

Е.Г. Бойко, доцент, канд. техн. наук

Севастопольский национальный технический университет

ул. Университетская 33, г. Севастополь, Россия, 299053

e-mail: vmsevntu@mail.ru

МОДЕЛЬ КОНТРОЛЯ РАБОТОСПОСОБНОСТИ ДВУХКОМПОНЕНТНОЙ СИСТЕМЫ С ПАРАЛЛЕЛЬНЫМ СОЕДИНЕНИЕМ КОМПОНЕНТОВ¹²

На базе теории полумарковских процессов с общим фазовым пространством состояний построена математическая модель контроля скрытых отказов двухкомпонентной производственной системы с параллельным соединением компонентов. Применен метод приближенного вычисления характеристик системы, основанный на алгоритмах фазового укрупнения. Найдены приближенные стационарные характеристики надежности функционирования системы.

Ключевые слова: полумарковская модель, скрытый отказ, стационарные характеристики.

Введение. Важнейшей частью систем управления качеством продукции на машиностроительных предприятиях является технический контроль. Высокий уровень контрольно-измерительной аппаратуры и ее разнообразие не решают проблему своевременного выявления скрытых отказов производственных систем (ПС) [1], поэтому она остается **актуальной проблемой** и в настоящее время. Следует отметить, что большое число параметрических отказов относится к категории скрытых.

В данной работе под скрытым отказом понимается отказ, который может быть обнаружен только в результате проведения контроля.

Для построения моделей контроля восстанавливаемых ПС наиболее перспективным является метод, основанный на применении полумарковских процессов (ПМП) с общим фазовым пространством состояний, изложенный в работах В.С. Королюка, А.Ф. Турбина и их учеников [2, 3]. Он дает возможность находить характеристики функционирования системы, которые могут быть использованы для инженерных приложений.

Главная трудность, которая при этом возникает, состоит в размерности моделей. Эффективным средством приближенного нахождения стационарных характеристик системы в случае большой размерности моделей является метод, предложенный в [2], и имеющий общую основу с алгоритмами асимптотического фазового укрупнения [3].

¹² Работа выполнена при финансовой поддержке РФФИ (грант № 14-41-01541).