О Т З Ы В

официального оппонента

доктора технических наук, профессора, профессора кафедры «Бизнес-информатики и математического моделирования» физико-технического института

ФГАОУ ВО «Крымский федеральный университет имени В.И. Вернадского»

Бойченко Олега Валерьевича

на диссертацию Кротова Кирилла Викторовича на тему

«МАТЕМАТИЧЕСКИЕ МОДЕЛИ И МЕТОДЫ МНОГОУРОВНЕВОЙ ОПТИМИЗАЦИИ РАСПИСАНИЙ МНОГОСТАДИЙНЫХ ПРОЦЕССОВ С АДАПТАЦИЕЙ»,

представленную на соискание ученой степени доктора технических наук по специальности 05.13.18– «Математическое моделирование, численные методы и комплексы программ»

Диссертация состоит из введения, шести глав, заключения, списка сокращений и содержит 294 страницы основного текста, 3 таблицы, 59 рисунков, список литературы из 294 наименований, а также 4 приложения на 122 страницах.

1. Актуальность темы исследований

В различных областях практической деятельности возникают задачи выполнения заданий в конвейерных системах. К таким областям деятельности относятся: обработка данных; обработка деталей машин и оборудования в мелкосерийных механообрабатывающих производствах; сборка узлов и агрегатов в механосборочных производствах. Возможность конвейеризированного выполнения заданий вытекает из представления процесса реализации операций с ними в виде последовательности этапов (стадий). В соответствии с этим процесс выполнения операций в конвейерных системах, представленный в виде последовательности этапов (стадий), является многостадийным процессом. Параметрами, характеризующими многостадийные процессы выполнения заданий в конвейерных системах, являются: длительности выполнения заданий на различных приборах конвейерных систем; длительности переналадок приборов конвейерных систем на выполнение заданий разных типов.

В соответствии с введенными в рассмотрение параметрами автором в работе определены следующие их виды: единичные задания (значения указанных параметров являются различными для всех рассматриваемых заданий), наборы заданий (значения указанных параметров являются одинаковыми для всех заданий, входящих в один из наборов, и различными для заданий, входящих в разные наборы). В соответствии с введенными в рассмотрение параметрами и определенными видами заданий реализована их (заданий) типизация.

ИПТС
Вх. № 422
15.08.2022

Так как значения указанных параметров, характеризующих задания, выполняемые в конвейерных системах, являются различными для разных их (заданий) типов, тогда эффективное использование ресурсов приборов конвейерных систем и производительность самих систем зависят от порядков реализации действий с заданиями на этих приборах. Порядки (последовательности) реализации действий с заданиями на приборах конвейерных систем образуют расписания их выполнения в этих системах. Для повышения эффективности использования ресурсов приборов конвейерных систем и повышения производительности систем при выполнении заданий необходима оптимизация расписаний реализации действий с ними на приборах указанных систем.

Современное состояние развития методов математического моделирования многостадийных процессов в конвейерных системах и оптимизации расписаний многостадийных процессов выполнения заданий в конвейерных системах характеризуется не достаточной их проработанностью для реализации адаптации процессов к возмущающим воздействиям. Для реализации адаптации процессов к возмущающих воздействий в первую очередь требуется разработка методов математического моделирования влияния возмущающих воздействий разных видов на ход процессов выполнения заданий и, во вторую очередь, разработка методов перестроения расписаний выполнения заданий (формирования динамических расписаний) с учетом возмущающих воздействий. В настоящее время не решенными являются задачи математического моделирования и оптимизации динамических расписаний, учитывающих возмущающие воздействия следующих видов: 1) поступление в систему в моменты времени, превышающие моменты времени начала интерпретации сформированных расписаний, новых заданий, приоритеты которых равны или превышают приоритеты выполняющихся заданий; 2) отказы и последующие восстановление приборов конвейерных систем. Математическое моделирование влияния возмущающих воздействий разных видов на ход процессов выполнения заданий в конвейерных системах и оптимизация динамических расписаний позволяют повысить эффективность использования ресурсов приборов и производительность систем, реализовав тем самым адаптацию многостадийных процессов выполнения заданий к возмущающим воздействиям разных видов с целью снижения их влияния. Так как задачи построения статических и динамических расписаний выполнения единичных заданий в конвейерных системах являются NP-трудными, методы их решения предполагают задание ограничений на порядки выполнения заданий на приборах, на значения параметров длительностей выполнения заданий, то для их решения требуется разработка приближенных (численных) методов оптимизации решений, гарантирующих получение результатов, являющихся лучшими, чем результаты известных алгоритмов, и позволяющих снять (или ослабить) введенные ограничения. Таким образом, в работе рассматривается актуальная научная

проблема, обусловленная с одной стороны потребностями в адаптации многостадийных процессов выполнения заданий в конвейерных системах к возмущающим воздействиям разных видов с целью снижения их влияния, с другой стороны обусловленная наличием ограничений на размерность задач построения статических и динамических расписаний выполнения единичных заданий, ограничений на множество решений и на значения входных параметров, отсутствием математических моделей влияния возмущающих воздействий разных видов на ход процессов выполнения заданий в конвейерных системах.

Осуществление действий в конвейерных системах с заданиями разных типов, входящими в наборы, предусматривает их выполнение в составе пакетов, для которых формируются расписания реализации действий с ними на приборах конвейерных систем. Выполнение заданий в составе пакетов (оптимизация составов пакетов) обеспечивает повышение эффективности использования ресурсов приборов конвейерных систем, снижение времени на выполнение заданий. Под пакетом автор подразумевает совокупность заданий одного типа, выполняемых на приборах конвейерных систем без их переналадки на выполнение заданий других типов. Таким образом, при построении расписаний выполнения заданий разных типов, входящих в их наборы, возникают задачи математического моделирования многостадийных процессов выполнения пакетов заданий в конвейерных системах, оптимизации составов пакетов и расписаний их выполнения в конвейерных системах. Современные методы построения расписаний выполнения пакетов заданий в конвейерных системах характеризуются ограничениями на размерность решаемых задач, не соответствием типов систем, в которых выполняются сформированные пакеты заданий (решаются задачи оптимизации составов пакетов, выполняемых на параллельно функционирующих приборах, но не в конвейерных системах), не соответствием видов задач рассматриваемой задаче (в частности, существующие методы обеспечивают решение задач оптимизации составов пакетов с учетом заданных директивных сроков окончания выполнения заданий). Не менее важными являются особенности рассматриваемых задач математического моделирования и численной оптимизации составов пакетов заданий и расписаний их выполнения, предусматривающие формирование комплектов из результатов выполнения заданий, а также введение ограничений на ресурсы приборов конвейерных систем (в частности, ограничений на длительности интервалов времени функционирования конвейерных систем). Указанные задачи математического моделирования многостадийных процессов выполнения пакетов заданий и оптимизации расписаний выполнения пакетов в конвейерных системах в настоящее время не решены, их решение является актуальным, вызванным потребностями практических приложений (в частности, необходимостью формирования сменно-суточных заданий на обработку передаточных партий деталей в мелкосерийном механообрабатывающем производстве, формирова-

ния сменно-суточных заданий на обработку передаточных партий деталей в мелкосерийном механообрабатывающем производстве при комплектации результатов обработки с целью сборки узлов и агрегатов транспортного и технологического оборудования, формирования группы заданий на обработку данных в течение ограниченных интервалов времени функционирования конвейерных вычислительных систем).

Таким образом, в работе рассматривается актуальная научная проблема, связанная с одной стороны с ограничениями на размерность задач построения расписаний выполнения пакетов заданий в конвейерных системах, ограничениями на множества решений по составам пакетов и расписаниям их выполнения, не соответствием типов обрабатывающих систем, для которых разработаны алгоритмы оптимизации составов пакетов, типу рассматриваемых обрабатывающих систем (конвейерных систем), а с другой стороны с возрастающими практическими потребностями в эффективном использовании ресурсов приборов конвейерных систем и повышении их производительности. Эффективное использование ресурсов приборов конвейерных систем и повышение их производительности обеспечиваются формированием оптимальных составов пакетов и расписаний реализации действий с ними на приборах этих систем. Также эффективное использование ограниченного временного ресурса конвейерных систем (при задании ограничения на длительности интервалов времени их функционирования) обеспечивается оптимизацией решений по составам пакетов, составам групп пакетов, выполняемым в течение интервалов времени ограниченной длительности, расписаниям выполнениям пакетов заданий, включенных в их группы.

В работе рассматриваются способы разрешения обозначенной научной проблемы, предусматривающие представление математических моделей многостадийных процессов выполнения пакетов заданий в конвейерных системах в виде совокупности иерархически упорядоченных компонент, представление обобщенных задач оптимизации составов пакетов, составов групп пакетов и расписаний их выполнения в виде совокупности иерархически упорядоченных подзадач, для каждой из которых на соответствующих им уровнях иерархии реализуется формирование локально оптимальных решений по составам пакетов и расписаниям реализации действий с ними на приборах этих систем.

Также в работе внимание уделяется разработке комплекса программ математического моделирования многостадийных процессов выполнения единичных заданий и пакетов заданий в конвейерных системах (включая математическое моделирование влияния возмущающих воздействий на ход многостадийных процессов выполнения заданий), программ оптимизации статических и динамических расписаний выполнения заданий и многоуровневой оптимизации расписаний многостадийных процессов выполнения пакетов заданий, предусматривающей опти-

мизацию составов пакетов, составов групп пакетов и расписаний выполнения пакетов на приборах конвейерных систем (в том числе при условии формирования комплектов результатов выполнения заданий).

С учетом выше сказанного тема диссертационного исследования Кротова К.В. представляется актуальной и значимой как с теоретической, так и с практической точек зрения.

2. Обоснованность и достоверность результатов диссертации

Обоснованность и достоверность научных положений, содержащихся в диссертации, подтверждается корректным использованием методов математического моделирования, вычислительной математики и оптимизации, численных методов решения экстремальных задач.

Достоверность результатов математического моделирования многостадийных процессов выполнения единичных заданий и построения расписаний процессов выполнения заданий в конвейерных системах подтверждается сравнением их с результатами, полученными путем решения трех приборной задачи Джонсона (способ решения трех приборной задачи Джонсона), а также с результатами, полученными с использованием генетических алгоритмов и метода отжига. Достоверность результатов математического моделирования многостадийных процессов выполнения пакетов заданий в конвейерных системах и построения расписаний многостадийных процессов выполнения пакетов заданий в конвейерных системах подтверждается их сравнением с результатами, полученными для задач малой размерности методом ветвей и границ, а также полным перебором множества решений (в случае задач малой размерности). При этом точность приближения результатов, полученных с использованием рассмотренного в работе численного метода многоуровневой оптимизации расписаний выполнения пакетов заданий, к результатам, полученным полным перебором решений (для задач малой размерности), составляет от 0.88 до 0.94.

Основные положения и научные результаты диссертационной работы прошли апробацию на международных и всероссийских конференциях, научных семинарах.

3. Новизна результатов диссертации

Научная новизна полученных в диссертационной работе результатов состоит в следующем:

1. Предложена информационная модель системы построения расписаний выполнения заданий в конвейерных системах, на основе которой разработана классификация задач построения расписаний многостадийных процессов выполнения единичных заданий и пакетов заданий в конвейерных системах. Синтезированная информационная модель системы построения рас-

писаний многостадийных процессов выполнения заданий и пакетов заданий в конвейерных системах представляет собой теоретико-множественное описание ее входных данных, вида результатов функционирования системы, описание множества критериев оптимизации решений и вида ограничений. Существующая классификация задач построения расписаний выполнения заданий в конвейерных системах не позволяет представлять их в виде совокупности иерархически упорядоченных компонент. Отличием предложенной классификации от существующей является то, что математические модели многостадийных процессов выполнения заданий в конвейерных системах представляются в виде совокупности иерархически упорядоченных компонент, задачи оптимизации расписаний многостадийных процессов выполнения заданий представляются в виде совокупности иерархически упорядоченных взаимодействующих подзадач, для каждой из которых реализуется определение локально оптимальных решений на соответствующих им уровнях иерархии. Сформированная классификация задач математического моделирования и построения расписаний многостадийных процессов выполнения заданий в конвейерных системах представляет собой способы решения указанных задач.

2. Предложен метод математического моделирования влияния возмущающих воздействий разных видов на ход многостадийных процессов выполнения единичных заданий в конвейерных системах, предусмотренный статическим расписанием. На его основе сформированы математические модели влияния возмущающих воздействий разных видов на ход многостадийных процессов выполнения заданий в конвейерных системах. Эти модели положены в основу предложенного метода построения динамических расписания выполнения заданий в конвейерных системах для адаптации процессов к влиянию возмущающих воздействий разных видов.

3. Предложен метод математического моделирования многостадийных процессов выполнения пакетов заданий в конвейерных системах, предусматривающий представление моделей процессов в виде совокупности иерархически взаимосвязанных компонент. Метод математического моделирования многостадийных процессов в конвейерных системах использован при построении моделей этих процессов для различных задач, решаемых автором в работе: 1) задачи построения расписаний выполнения пакетов заданий в конвейерных системах; 2) задачи построения расписаний выполнения пакетов заданий в конвейерных системах при условии формирования комплектов результатов; 3) задачи построения расписаний выполнения пакетов заданий в конвейерных системах при ограничении на длительности интервалов времени их функционирования; 4) задачи построения расписаний выполнения пакетов заданий в конвейерных системах при ограничении на длительности интервалов времени их функционирования и условии формирования комплектов результатов. На основе синтезированных моделей многостадий-

ных процессов предложены математические модели иерархических игр, представляющие собой способы оптимизации решений на уровнях иерархии;

4. Разработан численный метод оптимизации статических расписаний выполнения единичных заданий в конвейерных системах, а также метод построения динамических расписаний, позволяющий осуществлять адаптацию многостадийных процессов к возмущающим воздействиям разных видов и уменьшить влияние возмущающих воздействий на ход процессов выполнения заданий в конвейерных системах. Использование предложенного метода построения динамических расписаний позволяет от 5 до 40 % сократить простои приборов при реализации динамического расписания по сравнению со статическим, в котором порядок заданий не меняется при фиксации возмущающего воздействия на ход процессов выполнения заданий;

5. Разработан метод построения расписаний выполнения пакетов заданий в конвейерных системах, предусматривающий представление обобщенной задачи в виде совокупности иерархически взаимосвязанных подзадач, для каждой из которой определяются локально оптимальные решения на соответствующих им уровнях иерархии. Использование предложенного метода позволяет: значительно увеличить размерность решаемых задач, устранить ограничения на значения их входных параметров; получить решения задач, учитывающие особенности многостадийных процессов выполнения пакетов заданий в конвейерных системах, связанные с формированием комплектов результатов и введением ограничения на длительности интервалов времени функционирования конвейерных систем; обеспечить значительное повышение эффективности использования ресурсов приборов конвейерных систем и их (систем) производительности.

6. Разработан метод оптимизации составов пакетов заданий, позволяющий формировать локально оптимальные решения на верхнем уровне в иерархической игре построения расписаний процессов их выполнения в конвейерных системах, а также разработан метод оптимизации расписаний выполнения пакетов заданий в конвейерных системах. Использование разработанного метода локальной оптимизации составов пакетов заданий позволяет до 40% снизить интервал времени выполнения заданий в конвейерных системах по сравнению с фиксированными пакетами, в состав которых включены все задания из их наборов (то есть до 40% повысить производительность конвейерных систем при выполнении заданий в пакетах, составы которых оптимизированы с использованием предложенного метода, по сравнению с фиксированными пакетами заданий).

7. Разработан метод распределения результатов выполнения пакетов заданий в конвейерных системах по комплектам и метод вычисления моментов времени окончания формирования комплектов, обеспечивающие оптимизацию составов пакетов и расписаний их выполнения в конвейерных системах при формирования комплектов результатов. Использование предложен-

ного метода распределения результатов выполнения заданий по комплектам и определения моментов времени окончания формирования комплектов позволяет до 30% снизить среднее время формирования комплектов результатов и до 35% снизить суммарное запаздывание с формированием комплектов относительно заданных для них директивных сроков.

8. Разработан метод оптимизации составов групп пакетов заданий, выполняемых в течение ограниченных интервалов времени функционирования конвейерных систем (в том числе учитывающий формирование комплектов результатов), который позволяет оптимизировать составов пакетов заданий, составов групп пакетов заданий, выполняемых в течение интервалов времени ограниченной длительности, расписаний выполнения пакетов заданий из групп в конвейерных системах. Использование предложенного метода обеспечивает решение задач двух видов: 1) оптимизации составов групп пакетов заданий, выполняемых в течение ограниченных интервалов времени функционирования конвейерных систем; 2) оптимизации составов групп пакетов заданий, выполняемых в течение ограниченных интервалов времени функционирования конвейерных систем при условии формирования комплектов результатов. Применение указанного метода для оптимизации решений в первой задаче позволяет на 25-30% сократить простои приборов в течение введенных интервалов времени. Применение указанного метода для оптимизации решений во второй задаче позволяет до 50% увеличить количество комплектов, сформированных из результатов выполнения заданий, входящих в пакеты, включенные в группы.

9. Развит предметно-ориентированный подход к проектированию программных систем, что позволило реализовать адаптивную процедуру управления решением задач. Применение адаптивной процедуры управления решением позволяет обеспечить структурную гибкость комплекса программ, то есть формирование комплекса сервисов, позволяющих решать рассматриваемые задачи. С использованием комплекса программ получены результаты исследований, доказывающие эффективность применения математических моделей процессов выполнения заданий и пакетов заданий в конвейерных системах, математических моделей иерархических игр для оптимизации решений, методов оптимизации статических и динамических расписаний выполнения единичных заданий в конвейерных системах, оптимизации решений по составам пакетов заданий, составам групп пакетов заданий и расписаниям выполнения пакетов заданий в конвейерных системах.

4. Научная и практическая ценность результатов работы

Результатами, обладающими научной и практической значимостью являются: 1) метод математического моделирования влияния возмущающих воздействий разных видов на многостадийные процессы выполнения заданий в конвейерных системах; 2) метод математического мо-

делирования многостадийных процессов выполнения пакетов заданий в конвейерных системах, предусматривающий представление моделей этих процессов в виде совокупности иерархически упорядоченных компонент; 3) метод построения динамических расписаний многостадийных процессов выполнения единичных заданий в конвейерных системах, использование которого позволяет снизить простои их приборов по сравнению со статическим расписанием, в котором порядок выполнения заданий на приборах не изменяется при фиксации возмущающих воздействий; 4) метод построения расписаний выполнения пакетов заданий в конвейерных системах, предусматривающий представление обобщенной задачи в виде совокупности иерархически упорядоченных подзадач, для каждой из которых осуществляется оптимизация решений на соответствующих уровням иерархии; 5) методы оптимизации решений по составам пакетов заданий, составам групп пакетов заданий, выполняемых в течение временных интервалов функционирования систем ограниченной длительности, расписаниям выполнения пакетов заданий на приборах конвейерных систем (в том числе, при учете формирования комплектов из результатов выполнения заданий, входящих в пакеты).

Методы математического моделирования влияния возмущающих воздействий на ход многостадийных процессов выполнения заданий в конвейерных системах и построения динамических расписаний выполнения заданий в конвейерных системах позволяют выполнить адаптацию этих процессов к воздействиям разных видов, уменьшив при этом простои приборов и увеличив производительность систем при реализации действий с заданиями. Метод математического моделирования многостадийных процессов выполнения пакетов заданий в конвейерных системах и метод многоуровневой оптимизации расписаний процессов выполнения пакетов заданий в конвейерных системах позволяют сформировать модели иерархических игр для оптимизации решений по составам пакетов, составам групп пакетов и расписаниям выполнения пакетов на приборах систем. Полученные в работе методы оптимизации составов пакетов заданий, составов групп пакетов заданий и расписаний выполнения пакетов заданий на приборах конвейерных систем позволяют формировать решения, обеспечивающие более эффективное использование ресурсов приборов и повышение производительности функционирования систем, увеличение количества выполненных заданий в течение ограниченных интервалов времени, увеличение количества комплектов, формируемым к заданным для них директивным срокам, увеличение количества комплектов, формируемых из результатов выполнения заданий, входящих в пакеты, включенные в их группы.

Методы математического моделирования многостадийных процессов выполнения заданий в конвейерных системах и методов оптимизации расписаний выполнения заданий в конвейерных системах используются для построения алгоритмов программного обеспечения, входящего

в комплекс программ, осуществляющий планирование реализации этих процессов в конвейерных системах. Разработанный комплекс программ использован для решения следующих практических задач: 1) построения расписаний выполнения заданий и пакетов заданий на обработку данных дистанционного зондирования Земли с целью идентификации наличия негативных природных явлений и техногенных воздействий на окружающую среду на земной поверхности, определения их характеристик и условий распространения, 2) построения расписаний многостадийных процессов обработки передаточных партий деталей транспортного и технологического оборудования с целью их восстановления на специализированных предприятиях. Наряду с планированием выполнения заданий (пакетов заданий) в конвейерных системах полученные методы математического моделирования и построения расписаний могут быть использованы для оценки производительности систем при выборе обрабатывающего оборудования, а также при определении необходимого оборудования конвейерных систем, обеспечивающих требуемую производительность обработки. Для программ, входящих в состав комплекса, получены следующие свидетельства на их регистрацию: 1) свидетельство на государственную регистрацию программы для ЭВМ №2021619004, дата регистрации 03.06.21; 2) свидетельство на государственную регистрацию программы для ЭВМ №2021619098, дата регистрации 04.06.21; 3) свидетельство на государственную регистрацию программы для ЭВМ №2021667167, дата регистрации 26.10.21.

Результаты диссертационной работы внедрены в АО «КБ Радиосвязи» (г. Севастополь) при решении задач построения расписаний установления радиосвязи; в ООО «Севастопольэнерго» (г.Севастополь) для решения задач планирования ремонта оборудования; в ФГУП «13-й судоремонтный завод Черноморского флота» МО РФ для решения задач планирования процессов в мелко серийном механообрабатывающем производстве; в ООО «Центр разработки программного обеспечения 1С:Рарус» (г.Севастополь) для решения задач оптимизации выполнения складских операций.

5. Соответствие диссертации и автореферата требованиям ВАК

Ознакомившись с диссертацией, авторефератом и публикациями автора, считаю, что тема диссертационной работы Кротова К.В. и ее содержание соответствуют специальности 05.13.18– «Математическое моделирование, численные методы и комплексы программ». По своей тематической направленности представленная работа соответствует следующим пунктам паспорта специальности 05.13.18 – «Математическое моделирование, численные методы и комплексы программ»:

Пункту 1. Разработка новых математических методов моделирования объектов и явлений;

Пункту 3. Разработка, обоснование и тестирование эффективных вычислительных методов с применением современных компьютерных технологий.

Пункту 4. Реализация эффективных численных методов и алгоритмов в виде комплексов проблемно-ориентированных программ для проведения вычислительного эксперимента.

Пункту 5. Комплексные исследования научных и технических проблем с применением современной технологии математического моделирования и вычислительного эксперимента.

По результатам исследования опубликовано 38 работ, в том числе 18 статей, из них 10 из перечня ВАК ведущих рецензируемых научных журналов и изданий, 6 статей в изданиях, включенных в перечень Scopus, 2 статьи в региональных изданиях из перечня РИНЦ, 17 докладов в различных сборниках трудов международных и всероссийских конференций, 3 свидетельства на государственную регистрацию программ для ЭВМ.

Результаты диссертации соответствуют заявленной в ней цели, а разработка методов математического моделирования и оптимизации (в том числе, многоуровневой оптимизации) расписаний многостадийных процессов выполнения заданий и пакетов заданий позволяет решить поставленные в диссертации задачи, обеспечивающие достижение цели.

Диссертация и автореферат соответствуют требованиям ВАК РФ. Автореферат и опубликованные работ достаточно полно отражают основное содержание диссертации, характеризуют результаты проведенных исследований.

6. Замечания по диссертационной работе

В качестве замечаний можно отметить следующее:

1. На стр. 62 указано, что реализация иерархического подхода к оптимизации расписаний выполнения пакетов заданий в конвейерных системах возможна с использованием теории иерархических игр. Однако обоснование возможности применения теории иерархических игр для реализации многоуровневой оптимизации расписаний процессов выполнения пакетов заданий и описание способа совместного определения оптимальных решений на уровнях иерархии приведено только в Главе 4 на стр. 125,126;

2. Из текста работы (Глава 4) не понятно, является ли формирование пакетов заданий необходимым условием для обеспечения эффективного использования ресурсов приборов конвейерных систем;

3. Рассуждения, выполненные автором в разделах 3.3., 3.4, 3.5 для построения математических моделей влияния возмущающих воздействий различных видов на ход многостадийных процессов выполнения единичных заданий в конвейерных системах достаточно подробны. Некоторые моменты в них можно было бы опустить без ущерба для понимания сути материала;

4. На стр. 135, 136 приведена модель иерархической игры для оптимизации решений по составам пакетов заданий и расписаниям их выполнения на приборах конвейерных систем. Модель включает ограничения на множества решений по составам пакетов заданий и расписаний выполнения пакетов заданий в конвейерных системах. В тоже время, на стр. 140 автором приводятся ограничения на множество решений по составам пакетов заданий, основывающиеся на способе формирование решений. Однако выражения, представленные на стр. 140, больше соответствуют ограничениям на значения переменных, входящих в решения, чем ограничениям на множество решений;

5. На стр. 163, 164 приведено сравнение точности приближения значений критерия оптимальности решений по составам пакетов заданий, полученных с использованием рассмотренного в работе приближенного метода, алгоритма метода ветвей и границ (также разработанного автором) к значениям критерия оптимальности, соответствующих решениям, полученным при реализации полного перебора множества решений. Однако не указывается, что сравнение выполняется только для задач малой размерности;

6. На стр. 254 для разработки комплекса программ с использованием предметно-ориентированного проектирования введены понятия «естественного языка» и «ограниченного контекста». Утверждается, что на основе пересечения «ограниченных контекстов» разных предметных подобластей определяются их объекты, которые будут использованы при решении различных задач математического моделирования процессов выполнения заданий и оптимизации расписаний выполнения заданий в конвейерных системах. Желательно указать объекты, которые входят в эти пересечения и как они совместно используются при решении различных задач моделирования и построения расписаний;

7. На стр. 257 указано, что за счет анализа пересечений «ограниченных контекстов» разных предметных подобластей достигается структурная гибкость разработанного комплекса программ. В работе явно не указано, каким образом будет обеспечиваться структурная гибкость разработанного комплекса программ.

Несмотря на указанные недостатки, работа Кротова К. В. оставляет достаточно хорошее впечатление. Она выполнена на высоком уровне, что подтверждает квалификацию автора. Работа имеет законченный вид и ее материал изложен доступным для понимания языком.

7. **Заключение**

Результаты диссертационной работы, полученные Кротовым К.В., обеспечивают решение научной проблемы, имеющей важное практическое и хозяйственное значение. Работа содержит ряд новых научно обоснованных технологических решений, внедрение которых вносит значительный вклад в развитие различных сфер практической деятельности в стране. Уровень диссертационной работы и полученных новых научных результатов полностью соответствуют требованиям пп. 9 - 14 Положения «О порядке присуждения ученых степеней» утвержденного Правительством Российской Федерации от 24.09.2013 г. № 842, предъявляемых к диссертациям на соискание ученой степени доктора технических наук по специальности 05.13.18 – Математическое моделирование, численные методы и комплексы программ.

В соответствии со сказанным, автору диссертационной работы Кротову Кириллу Викторовичу может быть присуждена ученая степень доктора технических наук по специальности 05.13.18 – Математическое моделирование, численные методы и комплексы программ.

Согласен на включение своих персональных данных в документы, связанные с работой диссертационного совета и их дальнейшую обработку.

Официальный оппонент
доктор технических наук,
профессор, профессор кафедры
«Бизнес-информатики и математического моделирования» физико-технического института
ФГАОУ ВО «Крымский федеральный университет им. В.И. Вернадского»
09. 08. 2022

О.В. Бойченко

295007, Республика Крым, г. Симферополь, проспект Академика Вернадского, 4
Телефон: +7(978) 097-37-42, e-mail: bolek61@mail.ru

С отзывом ознакомлен
16.08.2022 /Кротов К.В./

Сведения об официальном оппоненте
по диссертационной работе Кротова Кирилла Викторовича на тему
«Математические модели и методы многоуровневой оптимизации расписаний многостадийных процессов с адаптацией»
представленной на соискание ученой степени доктора технических наук
по специальности 05.13.18 — Математическое моделирование, численные методы и комплексы программ.

Фамилия Имя Отчество оппонента	Бойченко Олег Валериевич
Шифр и наименование специальностей, по которым защищена диссертация	05.25.05 – информационные системы и процессы; 05.13.06 – автоматизация и управление технологическими процессами и производствами (по отраслям)
Ученая степень и отрасль науки	Доктор технических наук
Ученое звание	профессор
Полное наименование организации, являющейся основным местом работы оппонента	Федеральное государственное автономное образовательное учреждение высшего образования «Крымский федеральный университет имени В.И. Вернадского»
Сокращенное наименование организации в соответствии с уставом	ФГАОУ ВО «КФУ им. В.И. Вернадского»
Ведомственная принадлежность организации	федеральная
Структурное подразделение	Кафедра бизнес-информатики, Физико-технический институт
Почтовый индекс, адрес	295007, Проспект Академика Вернадского, 4, г. Симферополь, республика Крым
Веб-сайт	https://cfuv.ru/
Телефон	+79780973742
Адрес электронной почты	bolek61@mail.ru
Список основных публикаций в рецензируемых научных изданиях, монографии за последние 5 лет по теме диссертации (не более 15 публикаций)	1. Бойченко О.В. Отказоустойчивость экономических компьютерных систем управления/ О.В. Бойченко, Е.С. Тупота // Ученые записки КФУ им. В.И. Вернадского (Экономика и управление). - Симферополь, 2017. – Т3 (69). - №4. – С. 61-65; 2. Цифровая экономика: информационные технологии и модели: монография / под научной редакцией д.э.н., д.п.н., профессора Апатовой Н.В. Серия «Цифровая экономика». – Симферополь: ИП Зуева Т.В., 2018. – 306 с.; 3. Бойченко О.В., Гавриков И.В. Система

	обнаружения вторжений на базе искусственного интеллекта // Свидетельство о государственной регистрации программы для ЭВМ / дата поступления заявки 16.04.2018, рег. №. 2018613787 / дата регистрации 01.06.2018, рег. № 2018616488. – М., 2018; 4. Бойченко О.В., Чачиев В.Р. АИС «Биометрическая идентификация на базе изображений лиц» // Свидетельство о государственной регистрации программы для ЭВМ / дата поступления заявки 16.04.2018, рег. №. 2018613786 / дата регистрации 06.16.2018, рег. 2018616814. – М., 2018; 5. Бойченко О.В. Методологии проектирования программных средств в решении задач идентификации данных / О.В. Бойченко// Информация и космос. – С-ПБ, 2018. – №4. – С. 61-65; 6. Бойченко О.В. Модели оценки качества информации / О.В. Бойченко, Н.В. Апатова, С.В. Малков // Информация и космос. – С-ПБ, 2018. – №1. – С. 86-91; 7. Бойченко О.В. Оптимизация распределенной системы управления на основе ситуационных центров / О.В. Бойченко // Известия волгоградского технического университета. - Волгоград, 2018. – №10(220). – С. 95-99; 8. Бойченко О.В. Проблемы несанкционированных операций с использованием платежных карт / О.В. Бойченко, Д.О. Васильева // Экономика строительства и природопользования. - Симферополь, 2019. – Т1 (70). – С. 40-48; 9. Бойченко О.В. Информационная безопасность цифровизации экономики Республики Крым / О.В. Бойченко, А.В. Гунько // Ученые записки КФУ им. В.И. Вернадского (Экономика и управление). - Симферополь, 2019. – Т5 (71). - №2. – С. 17-25; 10. Boychenko O. V. Potential Applications of Smart Contract Technology in Corporate Business Processes / Boychenko O. V., Gavrikov I. V. // Distributed Computer and Communication Networks. DCCN 2019. Communications in Computer and Information Science. - 2019. - pp. 612-624. 11. Бойченко О.В. Системы обнаружения вторжений в комплексе информационной безопасности банков / О.В. Бойченко, И.В. Гавриков // Информация и космос. – С-ПБ, 2019. – №1. – С. 72-76; 12. Бойченко О.В. Расширение традиционных методов исследования чувствительности моделей организационно-технических систем к изменению независимых факторов / О.В. Бойченко, К.А.

	Черногорова // Информация и космос. – С-ПБ, 2019. – №3. – С. 85-88; 13. Бойченко О.В. Финансово-экономическая безопасность кредитной организации ПАО «Сбербанк» / О.В. Бойченко, Т.Н. Сигачева // Ученые записки КФУ им. В.И. Вернадского (Экономика и управление). - Симферополь, 2020. – Т6 (72). - №1. – С. 22-32; 14. Boychenko, O.V. Assessing password protection effectiveness using markov processes / Boychenko, O.V., Gavrikov, I.V.// CEUR Workshop Proceedingsthis link is disabled, 2021, 2914, стр. 284–290. 15. Boychenko, O.V. Fuzzy set theory in determining learning process effectiveness/ Boychenko, O.V., Gaponov, A.I., Smirnova, O.Yu., Gavrikov, I.V. // CEUR Workshop Proceedingsthis link is disabled, 2021, 2834, стр. 444–451.
Являетесь ли Вы работником ФБГНУ "Институт природно-технических систем" или ФГАОУ ВО "Севастопольский государственный университет" (в том числе по совместительству)?	Не являюсь
Являетесь ли Вы работником (в том числе по совместительству) организации, где работает соискатель ученой степени или его научный руководитель?	Не являюсь
Являетесь ли Вы работником (в том числе по совместительству) организаций, где ведутся научно-исследовательские работы, по которым соискатель ученой степени является руководителем или работником организации-заказчика или исполнителем (соисполнителем)?	Не являюсь
Являетесь ли Вы членом Высшей аттестационной комиссией при Министерстве образования науки Российской Федерации?	Не являюсь
Являетесь ли Вы членом экспертных советов Высшей аттестационной комиссией при Министерстве образования науки Российской Федерации?	Не являюсь
Являетесь ли Вы членом диссертационного совета,	Не являюсь

принявшего диссертацию к защите?	
Являетесь ли Вы соавтором соискателя степени по опубликованным работам по теме диссертационного исследования?	Не являюсь

Доктор техн. наук, профессор,
профессор кафедры бизнес-информатики и
математического моделирования
ФГАОУ ВО «Крымский федеральный
университет им. В.И. Вернадского» ____ ___ / Бойченко О.В./

Верно

Подпись Бойченко О.В. подтверждаю
Ученый секретарь
Крымского федерального университета
им. В.И. Вернадского
Л.М. Митрофанова
20 г.

«11» мая 2022 г.