

# ИНЖЕНЕРНАЯ ГЕОМЕТРИЯ И КОМПЬЮТЕРНАЯ ГРАФИКА

УДК 378.1:514.18

**Н. В. КАЙГОРОДЦЕВА  
К. Л. ПАНЧУК**

Омский государственный  
технический университет

## **АНАЛИЗ ГЕОМЕТРО-ГРАФИЧЕСКОЙ СОСТАВЛЯЮЩЕЙ ОБРАЗОВАТЕЛЬНЫХ СТАНДАРТОВ БАКАЛАВРИАТА ТРЕТЬЕГО ПОКОЛЕНИЯ**

Проведен анализ геометро-графической составляющей ФГОС ВПО третьего поколения для бакалавриата, указаны обнаруженные грубейшие ошибки, предложены пути их исправления и приведены некоторые рекомендации относительно геометро-графических дисциплин.

**Ключевые слова:** начертательная геометрия, компьютерная графика, образовательные стандарты.

Перед российским высшим профессиональным образованием поставлена задача эффективного внедрения Федеральных государственных образовательных стандартов высшего профессионального образования (ФГОС ВПО) третьего поколения. Успешное решение этой задачи позволит обеспечить включение российского высшего образования в Болонский процесс, который ориентирован на повышение международного престижа и конкурентоспособности европейской системы высшего образования на основе создания единого образовательного пространства.

Эффективность внедрения ФГОС ВПО во многом зависит от четкого понимания содержания этих стандартов теми, кто будет их внедрять. Авторами статьи проведен некоторый анализ содержания ФГОС ВПО в части, касающейся геометро-графической подготовки бакалавров. Анализ обнаруживает явную некомпетентность составителей этих стандартов в области геометро-графических дисциплин, поскольку в структуре ООП бакалавриата содержатся множественные неточности в формулировках понятий и содержания. При этом для многих направлений бака-

лавриата в наполнении стандартов перечислены темы и разделы дисциплин, которые не упомянуты в перечне дисциплин структуры ООП, подлежащих изучению.

Например, дисциплина «Начертательная геометрия» не указана в образовательных стандартах направлений 072500.62 «Дизайн» [1], 162300.62 «Техническая эксплуатация летательных аппаратов и двигателей» [2], 261700.62 «Технология полиграфического и упаковочного производства» [3], 262200.62 «Конструирование изделий легкой промышленности» [4], а в содержательной части структуры ООП сказано, что выпускники должны знать: «основы начертательной геометрии». Аналогичная ситуация в стандарте направления 270900.62 «Градостроительство» [5], где указывается, что студенты должны знать «методы начертательной геометрии». Для направлений: 201000.62 «Биотехнические системы и технологии» [6], 210100.62 «Электроника и нанoeлектроника» [7], 210400.62 «Радиотехника» [8], 211000.62 «Конструирование и технология электронных средств» [9], 220400.62 «Управление в технических системах» [10], 222900.62 «Нанотехнологии и микросистемная техника» [11] студенты после завершения обучения должны знать «элементы начертательной геометрии». После окончания бакалавриата по специальностям 240100.62 «Химическая технология» [12] и 241000.62 «Энерго- и ресурсосберегающие процессы в химической технологии, нефтехимии и биотехнологии» [13] выпускники должны знать «способы отображения пространственных форм на плоскости», что и находится в компетенции начертательной геометрии, о которой в стандарте не упоминается. В стандарте направления 280100.62 «Природообустройство и водопользование» [14] при отсутствии начертательной геометрии в списке дисциплин, подлежащих изучению в профессиональном цикле, перечислено, что выпускники должны знать: «способы задания точки, прямой, плоскости на комплексном чертеже, способы преобразования чертежа; построение кривых линий, поверхности, аксонометрических проекций, проекций с числовыми отметками». Выпускники направления 140600.62 «Высокотехнологические плазменные и энергетические установки» должны «владеть методами проецирования, преобразованием проекций и изображений» [15], направления 152200.62 «Наноинженерия» — «владеть навыками изображения пространственных объектов...» [16], а «графическими способами решения метрических задач пространственных объектов на чертежах, методами проецирования и изображения пространственных форм на плоскости проекций», т.е. теоретическими основами и навыками решения задач начертательной геометрии, должны владеть выпускники направления 270800.62 «Строительство» [17], но начертательная геометрия в арсенале дисциплин, подлежащих изучению, отсутствует.

На фоне вышеуказанных грубых несоответствий резонно возникает вопрос: «Как выпускники могут нарабатывать навыки, изучить основы, методы, способы и даже элементы начертательной геометрии, если сама учебная дисциплина исключена из государственного образовательного стандарта?».

Подобная ситуация складывается в стандартах направлений 140600.62 «Высокотехнологические плазменные и энергетические установки» [15] и 221000.62 «Мехатроника и робототехника» [18], где в содержательной части структуры ООП говорится, что выпускники должны знать «многомерную евклидову геометрию», но о дисциплине «Многомерная

геометрия» или «Начертательная геометрия» речи не идет. При этом стандарт направления 221000.62 в базовой части профессионального цикла указывает на необходимость знания выпускниками конструкторской документации: «оформление чертежей, элементы геометрии деталей, изображение проекции деталей, сборочный чертеж изделий; ...» [18]. Но как узнать о «геометрии» и «проекции» (пусть даже «проекция» в единственном числе), если для изучения предусмотрены только инженерная и компьютерная графика, а дисциплина «Начертательная геометрия», как теоретическая основа отсутствует. Очевидно, необходимо было «элементы геометрии деталей» заменить на «конструктивные элементы деталей», а «изображение проекции деталей» на «построение изображений деталей» или «чертежей деталей».

Напрашивается вывод: если нет дисциплины, так и не должно быть понятий и определений этой дисциплины, а если уж выпускники должны знать теоретические положения какой-то науки, тогда соответствующая дисциплина должна присутствовать в перечне дисциплин, подлежащих изучению.

Представление дисциплины «Инженерная графика» в структуре ООП бакалавриата так же не без грубых погрешностей. В стандарте направления 150100.62 «Материаловедение и технологии материалов» она отсутствует, однако в профессиональном цикле в базовой части сказано, что студенты должны знать: «— элементы технического черчения» и уметь: «— читать и выполнять чертежи деталей и элементов конструкций» [19]. Выпускники направления 261400.62 «Технология художественной обработки материалов» в соответствии стандарту должны знать «основополагающие требования к конструкторской документации» [20], но при этом в перечне дисциплин, подлежащих изучению, нет инженерной графики, призванной обучать требованиям единой системы конструкторской документации (ЕСКД).

Аналогичные замечания относятся и к отсутствию в содержании стандарта других дисциплин геометро-графического профиля. Например, для направления 072500.62 «Дизайн» [1], где подлежат изучению «теория теней; основы перспективы», предусматривается изучать только дисциплину «Технический рисунок», а для направления 262200.62 «Конструирование изделий легкой промышленности» [4], где указывается на необходимость владения «практическими навыками при выполнении технического рисунка по ортогональным проекциям и перспективным изображениям» в перечне дисциплин указана только инженерная графика, которая, как известно, отвечает за грамотность конструкторской разработки, составления и оформления конструкторско-технологической документации.

Анализ содержательной стороны геометро-графической составляющей федеральных государственных образовательных стандартов третьего поколения приводит к мысли о предоставлении возможности высшим учебным заведениям самостоятельно производить корректировку перечня дисциплин, подлежащих изучению в данном случае на бакалавриате (пока выполнен анализ только стандартов бакалавриата). Если все же стандарт остается документом, подлежащим строгому выполнению, то возникает ситуация противоречия: дисциплины нет, а ее теоретический материал, обрисованный в общих искаженных понятиях и формулировках, необходимо донести до студентов.

Конечно, здесь может быть указано на наличие вариативной части стандарта, где вузы на свое

усмотрение могут дополнительно вводить необходимые для изучения студентами учебные дисциплины, но тогда почему указанные темы, разделы и теоретические положения находятся в стандартах не в вариативной части, а в базовой?

На вывод о некорректности изложения требований стандартов третьего поколения в области геометро-графической подготовки бакалавров наводит еще и наличие не малого числа ошибок, которые сложно назвать опечатками или оплошностями, так как в них ярко продемонстрирована системная геометро-графическая некомпетентность составителей стандартов. Авторы статьи берут смелость предположить о существовании подобной ситуации и в других дисциплинах стандартов третьего поколения.

В базовой (общепрофессиональной) части профессионального цикла к изучению студентами направления 151900.62 «Конструкторско-технологическое обеспечение машиностроительных производств» предлагаются «методы построения эскизов, чертежей и технических рисунков стандартных деталей, разъемных и неразъемных соединений» [21]. А как быть с нестандартными — оригинальными — деталями? На чем основывается потребность будущих конструкторов и технологов машиностроительных производств в таком подробном знакомстве со стандартными деталями, которые имеют справочные размеры, занесены в электронные библиотеки систем автоматизированного проектирования и поэтому не требуют специального вычерчивания. Разве не достаточно будет знаний о том, что существуют стандартные изделия, которые имеют справочные размеры в целях взаимозаменяемости и унификации производства и другие общие сведения? Последующий анализ этого же стандарта показывает, что выпускники после завершения изучения дисциплин геометро-графического профиля должны уметь, на жаргоне составителей стандарта, «**снимать** эскизы». Всегда эскизы строились, создавались или выполнялись, но не снимались, как мерки с человека или предмета.

Еще одна трактовка создания (построения, выполнения) эскиза является словосочетание «**изготовить** эскиз (чертеж)», которое встречается в стандартах направлений 240100.62 «Химическая технология» [12] и 240700.62 «Биотехнология» [22]. Но для стандарта 240100.62 уточняется: «использовать средства компьютерной графики для изготовления чертежей» [12]. Здесь можно понимать «изготовить», как «распечатать, откопировать», а как же насчет создания чертежей средствами компьютерной графики?

Далее в стандарте направления 151900.62 «Конструкторско-технологическое обеспечение машиностроительных производств» в перечне навыков, которыми должен владеть выпускник, идет, скорее всего, опечатка (должно быть «проектная документация»), но сочетание «проектная **деформация**» имеет свое определенное значение и может быть истолковано напрямую. Поэтому фраза: «владеть: навыками оформления проектной и конструкторской **деформации** в соответствии с требованиями ЕСКД» [21] является не однозначной, а федеральный государственный стандарт все-таки является документом, подлежащим однозначному пониманию и безоговорочному исполнению.

В стандарте направления 152200.62 «Наноинженерия», где в базовой (общепрофессиональной) части в разделе перечисления умений сказано: «..., **пользоваться** чертежами узлов оригинальных изделий,...» [16]. Это как понимать — «пользоваться»? Как опер-

точной бумагой? Почему же не «читать чертежи», что является общепонятным и общепринятым? Почему только чертежами оригинальных изделий? И почему только узлов?

Эта же некорректность содержится в стандарте направления 190100.62 «Наземные транспортно-технологические комплексы», но и в разделе умений указывается на то, что выпускники должны уметь «... **использовать** конструкторскую и технологическую документацию **в объеме, достаточном для решения эксплуатационных задач**» [23]. В этом пространном описании умения отсутствует какая-либо конкретика для практического применения.

Также в перечне навыков подлежащих овладению будущими специалистами по наноинженерии (направление 152200.62) говорится, что они должны владеть: «Навыками ..., изображения сборочных единиц, сборочного чертежа изделия, ...» [16]. Сборочный чертеж — это документ, содержащий изображение сборочной единицы, почему же идет перечисление через запятую? Получается, что студенты должны владеть навыками по изображению документа, а не по созданию документа, содержащего изображение сборочного изделия?

Еще одним владением бакалавров направления 152200.62 должны стать «навыки изображения пространственных объектов на плоских чертежах» [16]. А что бывают не плоские — объемные — чертежи? Здесь в некоторое оправдание составителей стандарта можно сказать, что появление в программах САПР функции 3D моделирования привело к возникновению в некоторых руководствах и обучающих курсах по изучению той или иной автоматизированной графической системы, словосочетания «плоский чертеж», которое ставится в противопоставление 3D графике. Стоит уточнить: здесь речь идет о 2D и 3D изображениях, получаемых на экране компьютера, но никак не о плоских и объемных чертежах, так как по своему определению чертеж — это документ, содержащий изображение изделия, и не важно, в бумажной или электронной форме.

«Плоский чертеж» и навык «изображения ..., сборочного чертежа» упоминаются и в стандартах направлений 161700.62 «Баллистика и гидроаэродинамика» [24] и 280700.62 «Техносферная безопасность» [25]. Вышеприведенные множественные грубые ошибки в стандартах направлений бакалавриата не могут быть, на наш взгляд, квалифицированы случайными опечатками или оговорками.

Далее хотелось бы привести не поддающиеся никакому анализу и смыслу ляпы (грубые ошибки, промахи), встречающиеся в Федеральных государственных образовательных стандартах.

Стандарт направления 240700.62 «Биотехнология», профессиональный цикл, базовая (общепрофессиональная) часть, раздел «Уметь»: «— читать чертеж, изготовить эскиз, технической документации» [22]. Что означает «уметь технической документации»?

Направление 261100.62 «Технология и проектирование текстильных изделий», профессиональный цикл, базовая (общепрофессиональная) часть, раздел «Уметь»: «оформлять графический и текстовый конструкторский документации» [26]. Совершенно нет согласования по числу, падежу и роду. Как понимать данное указание стандарта?

Стандарт направления 270800.62 «Строительство», математический и естественнонаучный цикл, базовая часть, раздел «Знать»: «основные законы геометрического формирования, построения и взаимного пересечения моделей плоскости и пространства, ...»

составления конструкторской документации и деталей» [17]. Каков смысл, заложенный в «геометрическом формировании»? Формировании чего? Можно предположить, что здесь должно быть «геометрическое формообразование» или «геометрическое моделирование», но тогда, почему так и не указать? Второе — как могут взаимно пересекаться модели плоскости и пространства? Абсурд и полная некомпетентность. Или может, здесь заложен какой-то иной, «глубинный» смысл? В-третьих — «составление конструкторской документации» понятно, но что предполагается под «составлением деталей»? Здесь же, в этом же стандарте подготовки профессионально грамотных строителей, указывается на необходимость «уметь воспринимать оптимальное соотношение частей и целого на основе графических моделей, практически реализуемых в виде чертежей конкретных пространственных объектов». Данная фраза сложна не только для чтения, но и для понимания, а тем более для выполнения.

Выпускники направления 072500.62 «Дизайн» [1] должны знать «способы трансформации поверхности». Однако о какой конкретно поверхности идет речь и о какой трансформации, а тем более о способах трансформации? Кроме того, выпускники должны уметь «вести компоновку и трехмерное проектирование средств транспорта». Не ясно, компоновку чего следует уметь делать. По логике построения текста получается, что «компоновку средств транспорта»!

Выпускники направления 280100.62 «Природообустройство и водопользование» по стандарту должны уметь «пользоваться пространственно-графической информацией» [14]. И никаких уточнений, по поводу какой пространственно-графической информацией, в каких целях и объемах и, главное, что значит «пользоваться» в данном случае?

После проведенного анализа возникает впечатление, что государственный документ, являющийся законом, обязывающий к его строгому выполнению, после составления проверен не был и, главное, что очевидно, в его разработке или корректировке специалисты и профессионалы в геометро-графических дисциплинах участия не принимали.

Отдельного разговора при анализе стандартов (в данном случае бакалавриата) в части геометро-графического образования требует дисциплина «Компьютерная графика». Сегодня, в эпоху информационных технологий и компьютерных систем уже нет смысла выделять компьютерную графику, как отдельную для изучения дисциплину, так как по своей сути автоматизированные системы проектирования, изучением которых занимается компьютерная графика, являются лишь инструментом для создания, выполнения, построения чертежей и другой технической документации.

Можно только выделить компьютерную графику, как дисциплину, занимающуюся созданием виртуальных объектов, их анимацией, созданием видеороликов для направлений дизайнерского характера или как дисциплину, использующую компьютерные программы и средства для математических расчетов. Называть такие дисциплины можно «Технологии мультимедиа», как в стандарте направления 270900.62 «Градостроительство» [5], чтобы не было двоякого толкования содержания компьютерной графики, как технической и как дизайнерской дисциплины. А для математических, экономических и других целей дисциплина может быть названа, например, «Компьютерные технологии».

Если проводить анализ содержания компьютерной графики, занимающейся изучением систем автоматизированного проектирования (САПР), то ее не стоит выделять в отдельную дисциплину, так как компьютерные средства создания чертежей основательно вошли в нашу жизнь и уже ни одно предприятие или производство не выполняет чертежи и даже эскизы «вручную».

Системы автоматизированного проектирования должны стать таким же инструментом в руках будущих конструкторов, технологов, строителей, архитекторов и других технических специалистов, как ранее были кульман, карандаш и циркуль. Конечно, способность «держат карандаш» не должна быть предана забвению, так как специалист с инженерным образованием не должен зависеть от наличия или отсутствия компьютера, он должен уметь и на листе бумаги отразить свою мысль. Навыки «ручного» выполнения чертежей могут быть отработаны, например, при решении задач по начертательной геометрии, при создании учебных эскизов.

Выдвижение компьютерной графики, занимающейся изучением САПР, в один ряд с дисциплинами фундаментального характера (например, с математикой, физикой, химией, начертательной геометрией), поднимает ее на уровень дисциплин, имеющих теоретическую базу, постулаты и положения. Но компьютерная графика в том виде, в каком она предусмотрена образовательными стандартами ВПО третьего поколения, представляет собой лишь изучение функциональных возможностей той или иной автоматизированной системы при создании с ее помощью технической документации, то есть приобретение некоторых специализированных навыков. Поэтому компьютерная графика должна гармонично «влииться» в начертательную геометрию, инженерную графику, другие геометро-графические дисциплины в виде нового, прогрессивного, удобного инструмента создания чертежей и другой конструкторской документации.

К такому же выводу пришли и составители некоторых стандартов, так как в графе «Учебные циклы и проектируемые результаты их освоения» о самой компьютерной графике, о ее средствах, технологиях, о компьютерном моделировании и/или обеспечении, о графических пакетах программ упоминается, при этом в графе «Примерный перечень дисциплин для разработки примерных программ, а также учебников и учебных пособий» о компьютерной графике или чем-то подобном речи не идет.

В современном информационно-технологичном мире знание, умение и навыки выпускника высшего учебного заведения относительно компьютерной графики должны уже стать нормой, как ранее — карандаш, кульман, циркуль были неотъемлемым инструментом в руках специалиста, поэтому в стандартах третьего поколения уже можно не говорить о «представлении технического решения средствами компьютерной графики», о необходимости «владения средствами компьютерной графики», о знании «средств современной компьютерной графики», о «владении графическими пакетами программ», о «навыках работы с современными системами компьютерного проектирования (CAD-системами)» и т.д. Каждый выпускник вуза должен уметь работать в CAD-системе и желательно не в одной, чтобы быть конкурентоспособным на рынке труда.

Подводя итог, хочется сказать, что ФГОСы ВПО третьего поколения требуют большой, серьезной корректировки. Очевидна необходимость работы

над ними специалистов соответствующих научных областей, в целях конкретизации содержательной составляющей, дополнения (изменения) перечня дисциплин, подлежащих изучению (в данном случае на бакалавриате) и, главное, исправления содержащихся в стандартах грубейших ошибок и неточностей.

#### Библиографический список

1. Федеральный государственный образовательный стандарт высшего профессионального образования по направлению подготовки 072500 Дизайн (квалификация (степень) «бакалавр») [Электронный ресурс]. — Режим доступа: [http://www.edu.ru/db-mon/mo/Data/d\\_09/prm780-1.pdf](http://www.edu.ru/db-mon/mo/Data/d_09/prm780-1.pdf) (дата обращения: 07.12.2011).

2. Федеральный государственный образовательный стандарт высшего профессионального образования по направлению подготовки 162300 Техническая эксплуатация летательных аппаратов и двигателей (квалификация (степень) «бакалавр») [Электронный ресурс]. — Режим доступа: [http://www.edu.ru/db-mon/mo/Data/d\\_10/prm2006-1.pdf](http://www.edu.ru/db-mon/mo/Data/d_10/prm2006-1.pdf) (дата обращения: 07.12.2011).

3. Федеральный государственный образовательный стандарт высшего профессионального образования по направлению подготовки 261700 Технология полиграфического и упаковочного производства (квалификация (степень) «бакалавр») [Электронный ресурс]. — Режим доступа: [http://www.edu.ru/db-mon/mo/Data/d\\_10/prm20-1.pdf](http://www.edu.ru/db-mon/mo/Data/d_10/prm20-1.pdf) (дата обращения: 07.12.2011).

4. Федеральный государственный образовательный стандарт высшего профессионального образования по направлению подготовки 262200 Конструирование изделий легкой промышленности (квалификация (степень) «бакалавр») [Электронный ресурс]. — Режим доступа: [http://www.edu.ru/db-mon/mo/Data/d\\_10/prm852-1.pdf](http://www.edu.ru/db-mon/mo/Data/d_10/prm852-1.pdf) (дата обращения: 07.12.2011).

5. Федеральный государственный образовательный стандарт высшего профессионального образования по направлению подготовки 270900 Градостроительство (квалификация (степень) «бакалавр») [Электронный ресурс]. — Режим доступа: [http://www.edu.ru/db-mon/mo/Data/d\\_11/prm42-1.pdf](http://www.edu.ru/db-mon/mo/Data/d_11/prm42-1.pdf) (дата обращения: 07.12.2011).

6. Федеральный государственный образовательный стандарт высшего профессионального образования по направлению подготовки 201000 Биотехнические системы и технологии (квалификация (степень) «бакалавр») [Электронный ресурс]. — Режим доступа: [http://www.edu.ru/db-mon/mo/Data/d\\_09/prm806-1.pdf](http://www.edu.ru/db-mon/mo/Data/d_09/prm806-1.pdf) (дата обращения: 07.12.2011).

7. Федеральный государственный образовательный стандарт высшего профессионального образования по направлению подготовки 210100 Электроника и нанoeлектроника (квалификация (степень) «бакалавр») [Электронный ресурс]. — Режим доступа: [http://www.edu.ru/db-mon/mo/Data/d\\_09/prm743-1.pdf](http://www.edu.ru/db-mon/mo/Data/d_09/prm743-1.pdf) (дата обращения: 07.12.2011).

8. Федеральный государственный образовательный стандарт высшего профессионального образования по направлению подготовки 210400 Радиотехника (квалификация (степень) «бакалавр») [Электронный ресурс]. — Режим доступа: [http://www.edu.ru/db-mon/mo/Data/d\\_09/prm814-1.pdf](http://www.edu.ru/db-mon/mo/Data/d_09/prm814-1.pdf) (дата обращения: 07.12.2011).

9. Федеральный государственный образовательный стандарт высшего профессионального образования по направлению подготовки 211000 Конструирование и технология электронных средств (квалификация (степень) «бакалавр») [Электронный ресурс]. — Режим доступа: [http://www.edu.ru/db-mon/mo/Data/d\\_09/prm789-1.pdf](http://www.edu.ru/db-mon/mo/Data/d_09/prm789-1.pdf) (дата обращения: 07.12.2011).

10. Федеральный государственный образовательный стандарт высшего профессионального образования по направлению подготовки 220400 Управление в технических системах

(квалификация (степень) «бакалавр») [Электронный ресурс]. — Режим доступа: [http://www.edu.ru/db-mon/mo/Data/d\\_09/prm813-1.pdf](http://www.edu.ru/db-mon/mo/Data/d_09/prm813-1.pdf) (дата обращения: 07.12.2011).

11. Федеральный государственный образовательный стандарт высшего профессионального образования по направлению подготовки 222900 Нанотехнологии и микросистемная техника (квалификация (степень) «бакалавр») [Электронный ресурс]. — Режим доступа: [http://www.edu.ru/db-mon/mo/Data/d\\_09/prm802-1.pdf](http://www.edu.ru/db-mon/mo/Data/d_09/prm802-1.pdf) (дата обращения: 07.12.2011).

12. Федеральный государственный образовательный стандарт высшего профессионального образования по направлению подготовки 240100 Химическая технология (квалификация (степень) «бакалавр») [Электронный ресурс]. — Режим доступа: [http://www.edu.ru/db-mon/mo/Data/d\\_09/prm807-1.pdf](http://www.edu.ru/db-mon/mo/Data/d_09/prm807-1.pdf) (дата обращения: 07.12.2011).

13. Федеральный государственный образовательный стандарт высшего профессионального образования по направлению подготовки 241000 Энерго- и ресурсосберегающие процессы в химической технологии, нефтехимии и биотехнологии (квалификация (степень) «бакалавр») [Электронный ресурс]. — Режим доступа: [http://www.edu.ru/db-mon/mo/Data/d\\_11/prm79-1.pdf](http://www.edu.ru/db-mon/mo/Data/d_11/prm79-1.pdf) (дата обращения: 07.12.2011).

14. Федеральный государственный образовательный стандарт высшего профессионального образования по направлению подготовки 280100 Природообустройство и водопользование (квалификация (степень) «бакалавр») [Электронный ресурс]. — Режим доступа: [http://www.edu.ru/db-mon/mo/Data/d\\_09/prm776-1.pdf](http://www.edu.ru/db-mon/mo/Data/d_09/prm776-1.pdf) (дата обращения: 07.12.2011).

15. Федеральный государственный образовательный стандарт высшего профессионального образования по направлению подготовки 140600 Высокотехнологические плазменные и энергетические установки (квалификация (степень) «бакалавр») [Электронный ресурс]. — Режим доступа: [http://www.edu.ru/db-mon/mo/Data/d\\_10/prm2014-1.pdf](http://www.edu.ru/db-mon/mo/Data/d_10/prm2014-1.pdf) (дата обращения: 07.12.2011).

16. Федеральный государственный образовательный стандарт высшего профессионального образования по направлению подготовки 152200 Наноинженерия (квалификация (степень) «бакалавр») [Электронный ресурс]. — Режим доступа: [http://www.edu.ru/db-mon/mo/Data/d\\_10/prm1158-1.pdf](http://www.edu.ru/db-mon/mo/Data/d_10/prm1158-1.pdf) (дата обращения: 07.12.2011).

17. Федеральный государственный образовательный стандарт высшего профессионального образования по направлению подготовки 270800 Строительство (квалификация (степень) «бакалавр») [Электронный ресурс]. — Режим доступа: [http://www.edu.ru/db-mon/mo/Data/d\\_10/prm54-1.pdf](http://www.edu.ru/db-mon/mo/Data/d_10/prm54-1.pdf) (дата обращения: 07.12.2011).

18. Федеральный государственный образовательный стандарт высшего профессионального образования по направлению подготовки 221000 Мехатроника и робототехника (квалификация (степень) «бакалавр») [Электронный ресурс]. — Режим доступа: [http://www.edu.ru/db-mon/mo/Data/d\\_09/prm545-1.pdf](http://www.edu.ru/db-mon/mo/Data/d_09/prm545-1.pdf) (дата обращения: 07.12.2011).

19. Федеральный государственный образовательный стандарт высшего профессионального образования по направлению подготовки 150100 Материаловедение и технологии материалов (квалификация (степень) «бакалавр») [Электронный ресурс]. — Режим доступа: [http://www.edu.ru/db-mon/mo/Data/d\\_10/prm66-1.pdf](http://www.edu.ru/db-mon/mo/Data/d_10/prm66-1.pdf) (дата обращения: 07.12.2011).

20. Федеральный государственный образовательный стандарт высшего профессионального образования по направлению подготовки 261400 Технология художественной обработки материалов (квалификация (степень) «бакалавр») [Электронный ресурс]. — Режим доступа: [http://www.edu.ru/db-mon/mo/Data/d\\_09/prm744-1.pdf](http://www.edu.ru/db-mon/mo/Data/d_09/prm744-1.pdf) (дата обращения: 07.12.2011).

21. Федеральный государственный образовательный стандарт высшего профессионального образования по направлению подготовки 151900 Конструкторско-технологическое обеспечение машиностроительных производств (квалификация (степень) «бакалавр») [Электронный ресурс]. — Режим доступа:

[http://www.edu.ru/db-mon/mo/Data/d\\_09/prm827-1.pdf](http://www.edu.ru/db-mon/mo/Data/d_09/prm827-1.pdf) (дата обращения: 07.12.2011).

22. Федеральный государственный образовательный стандарт высшего профессионального образования по направлению подготовки 190100 Наземные транспортно-технологические комплексы (квалификация (степень) «бакалавр») [Электронный ресурс]. — Режим доступа: [http://www.edu.ru/db-mon/mo/Data/d\\_09/prm546-1.pdf](http://www.edu.ru/db-mon/mo/Data/d_09/prm546-1.pdf) (дата обращения: 07.12.2011).

23. Федеральный государственный образовательный стандарт высшего профессионального образования по направлению подготовки 161700 Баллистика и гидроаэродинамика (квалификация (степень) «бакалавр») [Электронный ресурс]. — Режим доступа: [http://www.edu.ru/db-mon/mo/Data/d\\_09/prm779-1.pdf](http://www.edu.ru/db-mon/mo/Data/d_09/prm779-1.pdf) (дата обращения: 07.12.2011).

24. Федеральный государственный образовательный стандарт высшего профессионального образования по направлению подготовки 280700 Техносферная безопасность (квалификация (степень) «бакалавр») [Электронный ресурс]. — Режим доступа: [http://www.edu.ru/db-mon/mo/Data/d\\_09/prm723-1.pdf](http://www.edu.ru/db-mon/mo/Data/d_09/prm723-1.pdf) (дата обращения: 07.12.2011).

25. Федеральный государственный образовательный стандарт высшего профессионального образования по направлению подготовки 240700 Биотехнология (квалификация (степень)

«бакалавр») [Электронный ресурс]. — Режим доступа: [http://www.edu.ru/db-mon/mo/Data/d\\_09/prm816-1.pdf](http://www.edu.ru/db-mon/mo/Data/d_09/prm816-1.pdf) (дата обращения: 07.12.2011).

26. Федеральный государственный образовательный стандарт высшего профессионального образования по направлению подготовки 261100 Технология и проектирование текстильных изделий (квалификация (степень) «бакалавр») [Электронный ресурс]. — Режим доступа: [http://www.edu.ru/db-mon/mo/Data/d\\_09/prm730-1.pdf](http://www.edu.ru/db-mon/mo/Data/d_09/prm730-1.pdf) (дата обращения: 07.12.2011).

**КАЙГОРОДЦЕВА Наталья Викторовна**, кандидат педагогических наук, доцент (Россия), доцент кафедры «Начертательная геометрия, инженерная и компьютерная графика».

**ПАНЧУК Константин Леонидович**, доктор технических наук, доцент (Россия), заведующий кафедрой «Начертательная геометрия, инженерная и компьютерная графика».

Адрес для переписки: [Kaygorodtceva@pisem.net](mailto:Kaygorodtceva@pisem.net)

Статья поступила в редакцию 07.12.2011 г.

© Н. В. Кайгородцева, К. Л. Панчук

УДК 515.2

**В. Я. ВОЛКОВ**  
**К. А. КУСПЕКОВ**

Сибирская государственная  
автомобильно-дорожная академия,  
г. Омск

Казахский национальный технический  
университет им. К. И. Сатпаева,  
г. Алматы, Республика Казахстан

## ПОСТРОЕНИЕ ТОПОЛОГИИ КРАТЧАЙШЕГО ДЕРЕВА МИНИМАЛЬНОГО ВЕСА ДЛЯ ПЯТИ ТОЧЕК ПЛОСКОСТИ С ЕВКЛИДОВОЙ МЕТРИКОЙ

В статье рассматривается методика построения кратчайших связывающих линий для множества из пяти точек весовыми коэффициентами. Приводятся различные топологии для этого дерева.

**Ключевые слова:** кратчайшее дерево, кратчайшие линии, вес точки.

При решении различных инженерных задач, например автомобильных дорог, нефтепроводов, водопроводов, должны быть положены следующие требования:

- сеть должна охватывать все пункты, источники, всех потребителей;
- иметь суммарную минимальную длину;
- иметь возможно меньшую строительную стоимость.

Наиболее оптимального и графически наглядного метода проектирования можно достичь, используя кратчайшие связывающие линии, соединяющие заданное множество точек плоскости. При этом различные пункты, источники и узлы моделируются

точками, а различные линейные сооружения, соединяющие эти пункты и узлы, — линиями. Возникает следующая математическая задача: дано дискретное, конечное множество точек, требуется построить связывающую данное множество точек линию, удовлетворяющую наперед заданные условия, и найти точки, оптимизирующие решения задачи.

Пусть на плоскости задано множество точек  $M_1, M_2, \dots, M_m$ , которые необходимо связать линией кратчайшей длины. Связывающий линии точку  $M_i$  с точкой  $M_j$  представляет собой отрезок прямой, так как геодезической линией плоскости служит прямая. Поэтому кратчайшая линия, связывающая заданное множество точек, состоит из совокупности прямых.

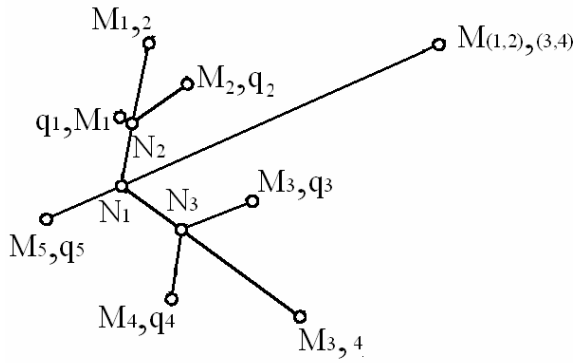


Рис. 1. Топология 1 МД для пяти точек при равных значениях  $q$

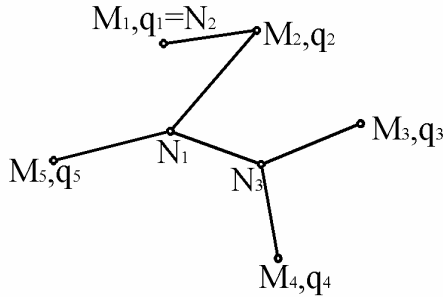


Рис. 2. Топология 2 МД для пяти точек при  $q_1 \geq q_2 + q_3 + q_4 + q_5$

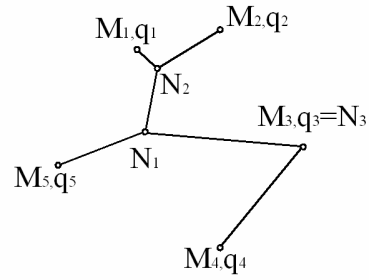


Рис. 3. Топология 3 МД для пяти точек при  $q_3 \geq q_1 + q_2 + q_4 + q_5$

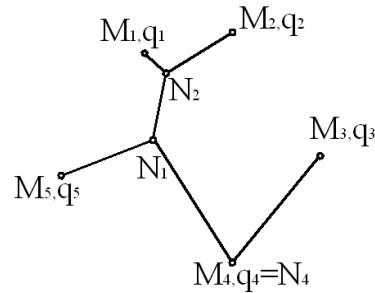


Рис. 4. Топология 4 МД для пяти точек при  $q_1 \geq q_2 + q_3 + q_4 + q_5$

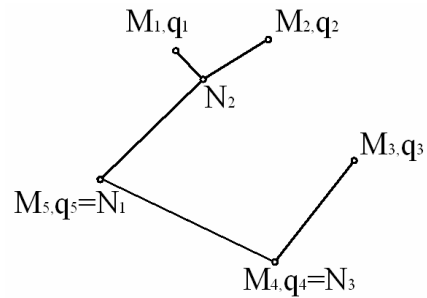


Рис. 5. Топология 5 МД для пяти точек при  $q_5 = q_1 \geq q_2 + q_3$

Каждая точка является концом, по крайней мере, одного отрезка, каждый отрезок связывает две точки; линия кратчайшей длины не имеет замкнутых участков. Очевидно, конфигурация кратчайшей связывающей линии представляет собой дерево [1]. Дерево — это граф, который не имеет петель и замкнутых контуров. Геометрическую задачу на построение линии, проходящей через заданное множество и дополнительно вводимых точек, называют проблемой Штейнера.

Пусть на плоскости дано множество точек  $M_1, M_2, \dots, M_m$ , в каждой из которых сопоставлена некоторая положительная величина  $q_i, i = 1, 2, \dots, m$ ,  $q_i$  назовем весом точки.

Требуется определить число  $n$ , то есть количество дополнительно вводимых точек  $N$  и построить дерево минимального веса с вершинами в точках  $M_1, M_2, \dots, M_m$  и  $N_1, N_2, \dots, N_n$ . Величина  $q_i |M_i N_i|$  называется весом ветвей  $|M_i N_i|$ , а весом дерева — сумма весов всех ветвей дерева. Дерево, удовлетворяющее условиям сформулированной задачи, назовем минимальным (МД) [1]. Весовые коэффициенты  $q_i$  интерпретируются как удельные и эксплуатационные расходы сети.

Пусть заданы конечное множество точек  $M_1, M_2, M_3, M_4$  и  $M_5$ . Вес каждой точки обозначим  $q_1, q_2, q_3, q_4$  и  $q_5$ .

Рассмотрим построение топологии кратчайшего дерева для пяти точек плоскости с различными значениями весового коэффициента  $q_i$ .

Построение проведем в два этапа: на первом этапе применим шаговый алгоритм [2] и построим топологию кратчайшего дерева при значении  $q_1 = q_2 = q_3 = q_4 = q_5$ . На втором этапе определяем оптимальные конфигурации топологии при различных значениях  $q_i$ . Пусть заданные точки с весами  $M_1, q_1; M_2, q_2; M_3, q_3; M_4, q_4$  и  $M_5, q_5$  занимают положение, показанное на рис. 1.

1-й шаг. Вычисляем расстояние между заданными точками по формуле:

$$d(M_1, M_2) = \sqrt{(x_1 - x_2)^2 + (y_1 - y_2)^2}$$

оказалось, что наименьшим расстоянием обладают точки  $M_1, q_1$  и  $M_2, q_2$ . Если бы несколько пар точек обладали одинаковыми расстояниями, то выбирается любая из этих пар. Строим равносторонний треугольник на отрезке  $|M_1 M_2|$  и определим эквивалентную точку  $M_{1,2}$ , представляющую вершину этого треугольника.

2-й шаг. Сравниваем расстояние между оставшимися точками  $M_3, q_3, M_4, q_4$  и фрагментом  $M_1 - M_2$ . Минимальным расстоянием обладает пара, состоящая из точек  $M_3, q_3$  и  $M_4, q_4$ . Построив равносторонний треугольник на сторонах  $M_3, q_3$  и  $M_4, q_4$  определим эквивалентную точку  $M_{3,4}$ .

3-й шаг. Сравниваем и вычисляем расстояние между точкой  $M_5, q_5$  и фрагментами  $M_1, q_1 - M_2, q_2$  и  $M_3, q_3 - M_4, q_4$ . Наименьшим расстоянием обладают фрагменты  $M_1, q_1 - M_2, q_2$  и  $M_3, q_3 - M_4, q_4$ . Строим равносторонний треугольник на отрезке  $|M_{1,2} M_{3,4}|$ , и вершина этого треугольника определяет положение точки  $M_{(1,2), (3,4)}$  эквивалентную точкам  $M_{1,2}$  и  $M_{3,4}$ .

4-й шаг. Соединяем точки  $M_3, q_5$  и  $M_{(1'2), (3'4)}$ . Прямая, проведенная через точку  $M_3, q_3$  под углом  $60^\circ$  к  $M_5, q_5$   $M_{(1'2), (3'4)}$  пересекает ее в точке  $N_1$ . Проведем прямую из точки  $M_4, q_4$  под углом  $60^\circ$  к  $N_1, M_{3'4}$  и находим точку  $M_3$ . Аналогично определяем точку  $N_2$ .

Таким образом, суммарная минимальная длина дерева  $MD_5$  равна:

$$L = q(|M_1N_2| + |M_2N_2| + |N_2N_1| + |M_3N_3| + |M_4N_3| + |N_1N_3| + |M_5N_1|)$$

При реальном проектировании инженерных сетей значения коэффициента  $q$  фактически бывает разными. Поэтому построим топологию кратчайшего дерева для этих точек при различных значениях  $q$ . Пусть  $q_1 \geq q_2 + q_3 + q_4 + q_5$ . В [1] исследовано построение кратчайшего дерева для трех точек  $M_1, M_2$  и  $M_3$  с весами  $q_1, q_2, q_3$ . При значении  $q_1 \geq q_2 + q_3$  точка Штейнера совпадает с точкой  $M_1, q_1$ . При  $q_2 \geq q_1 + q_3$  получаем  $N = M_2, q_2$ . При  $q_3 \geq q_1 + q_2$  точка  $N$  совпадает с точкой  $M_3, q_3$ . В построенной топологии (рис.1) точки  $M_1, q_1; M_2, q_2$ ; точки Штейнера  $N_1$  и  $N_2$  рассмотрим как отдельное подмножество и в точку  $N_1$  сопоставим мнимый вес  $q^1$ , при  $q_1 \geq q_2 + q^1$  для построения кратчайшего дерева для точек  $M_1, M_2, N_1$  применим выше приведенную методику построения для трех точек. Тогда точка  $M_1, q_1$  совпадет с точкой Штейнера  $N_2$ , то есть  $M_1, q_1 = N_2$  (рис. 2).

При  $q_3 \geq q_1 + q_2 + q_4 + q_5$ , в этом случае топология 1 трансформируется в топологию 3, (рис. 3).  $M_3, q_3$  совпадает с точкой  $N_3$ , то есть  $M_3, q_3 = N_3$ .

Пусть  $q_4 \geq q_1 + q_2 + q_3 + q_5$ , тогда  $M_3, q_4 = N_4$  (рис. 4).

Пусть  $q_5 = q_4 \geq q_1 + q_2 + q_3$ , тогда  $M_4, q_4 = N_3, M_5, q_5 = N_5$  и получим топологию 5 (рис. 5).

Таким образом, при различных значениях коэффициента  $q$  меняется конфигурация искомого топологии кратчайшего дерева. Используя возможности компьютерной технологии, можно получить различные варианты топологии моделируемой сети, отвечающие наперед заданным требованиям.

#### Библиографический список

1. Есмуханов, Ж. М. Графический алгоритм обобщенной проблемы Я. Штейнера / Ж. М. Есмуханов // Прикладная геометрия и инженерная графика. – Алма-Ата : КазГПИ, 1974. – Вып. I. – С. 19–23.
2. Куспеков, К. А. Геометрические методы определения оптимальной конфигурации сетей автомобильных дорог / К. А. Куспеков // Инженерное образование и наука в XXI веке : тр. Межд. конф., посвящ. 70-летию КазНТУ имени К. И. Сатпаева. В 2 т. Т. 2. Индустриально-инновационное развитие эко-номики. – Алматы : КазНТУ, 2004. – С. 155–160.

**ВОЛКОВ Владимир Яковлевич**, доктор технических наук, профессор (Россия), заведующий кафедрой «Начертательная геометрия, инженерная и машинная графика» Сибирской государственной автомобильно-дорожной академии, г. Омск.

**КУСПЕКОВ Кайырбек Амиргазылы**, кандидат технических наук, доцент (Казахстан), заведующий кафедрой «Начертательная геометрия и графика» Казахского национального технического университета им. К. И. Сатпаева, г. Алматы.

Адрес для переписки: [kuspekov\\_k@mail.ru](mailto:kuspekov_k@mail.ru).

Статья поступила в редакцию 15.03.2011 г.

© В. Я. Волков, К. А. Куспеков

## Книжная полка

**Чекмарев, А. А. Начертательная геометрия и черчение : учебник для бакалавров / А. А. Чекмарев. – 4-е изд., испр. и доп. – М. : Юрайт, 2012. – 471 с. – Гриф МО РФ. – ISBN 978-5-9916-1764-2.**

В учебнике изложены основы начертательной геометрии в непосредственной связи с основами технического рисунка и черчения; основы машиностроительного черчения, правила выполнения схем; даны элементы строительного и топографического черчения; основы использования персональных электронных вычислительных машин для решения графических задач. Соответствует Федеральному государственному образовательному стандарту высшего профессионального образования третьего поколения. Для студентов педагогических и машиностроительных вузов, педагогических училищ, а также для учителей математики и черчения.

**Полежаев, Ю. О. Инженерная графика : учеб. пособие для студ. учреждений ВПО / Ю. О. Полежаев. – М. : Academia, 2011. – 416 с. – Гриф УМО вузов России. – ISBN 978-5-7695-7992-9.**

Учебник создан в соответствии с требованиями Федерального государственного образовательного стандарта по направлению подготовки «Строительство» (квалификация «бакалавр»). Изложены основы проекционных и геометрических построений на чертежах, которые являются важнейшей формой документации в архитектурно-строительном проектировании. Приведены необходимые сведения, нормы и правила для производства и стандартизованного графического оформления инженерно-строительных чертежей различных марок, рассмотрены примеры их чтения. Также даны сведения о техническом рисунке как составной части графики строительных чертежей. Для студентов учреждений высшего профессионального образования.



## АЛГОРИТМ ПОСТРОЕНИЯ ОПТИМАЛЬНОЙ КОНФИГУРАЦИИ ГАЗОРАСПРЕДЕЛИТЕЛЬНОЙ СЕТИ НА ПЛОСКОСТИ С ОРТОГОНАЛЬНОЙ МЕТРИКОЙ

В статье рассматривается задача построения оптимальной топологии минимального дерева для трех и пяти точек плоскости с ортогональной метрикой, моделирующих конфигурацию газораспределительных сетей.

**Ключевые слова:** кратчайшее дерево, вес точки, кратчайшие связывающие линии.

Одним из этапов оптимального проектирования газораспределительной сети является выбор ее наиболее выгоднейшей трассировки или конфигурации. В основу данной задачи должны быть положены следующие требования [1, 2]:

- сеть должна охватывать всех потребителей;
- иметь возможно меньшую строительную стоимость;
- бесперебойно функционировать при нормальной работе и при возможных авариях на отдельных участках.

В практике проектирования выбор трассировки производится на основе приведенных требований, опыта проектировщика с учетом реальных условий города. Надежное снабжение потребителей газом обеспечивается путем кольцевания газовой сети. При этом сравнивают несколько вариантов трассировки, из которых выбирается наиболее экономичный.

Вопросы трассировки магистральных газопроводов принципиально отличается от постановки аналогичной задачи для городской сети, магистральные газопроводы не представляют собой сложные замкнутые сети, а прокладываются в незаселенной местности и поэтому при их решении ищется минимум стоимостных затрат по доставке газа с определенного пункта добычи в определенный пункт потребления.

Городские же газопроводы представляют собой сложную многокольцевую сеть, прокладываемую в условиях городской застройки при многочисленных пунктах потребления. Поэтому методы трассировки, разработанные для магистральных газопроводов малоприменимы к городским газовым сетям.

Так как городские газопроводы прокладываются в зоне жилых и промышленных районов, поиск оптимальной трассы рекомендуется проводить путем сопоставления заданного набора допустимых вариантов конфигурации с учетом ограничений по условиям прокладки на данной местности. В результате получается так называемая избыточная схема газопроводов, включающая все реально возможные проектные варианты прокладки сети.

В этом случае длина каждого участка газопроводов является величиной постоянной, и минимизируемый функционал имеет вид [1]:

$$F(Q_1, \dots, Q_n, h_1, \dots, h_n) = \sum_{i=1}^n a l_i + \sum_{i=1}^n x_i Q_i^{\alpha \beta m} h_i^{-\alpha m}, \quad (1)$$

где  $x_i$  — экономическая характеристика  $i$ -го участка сети газопроводов  
 $Q$  — расход газа;  
 $\alpha \beta m$  — показатели степени, отражающие режим течения газа;  
 $h$  — перепад давления;  
 $l$  — длина участка;

$a$  — стоимость строительства работ.

$$x_i = bc^m l_i^{\alpha m},$$

$F$  — непрерывная функция по совокупности переменных, задана на замкнутом ограниченном множестве и следовательно можно найти ее минимум.

В заданной разветвленной сети потоки определены однозначно и переменными функционалами (1) являются перепады на участках  $h$ . В этом случае  $F$  всегда имеет минимум. Таким образом, задача нахождения минимума функционала сводится к выбору оптимальной разветвленной сети для заданных потребителей и источников газа.

Очевидно, конфигурация газораспределительных сетей представляет собой дерево.

Дерево — это граф, который не имеет петель и замкнутых контуров. Геометрическую задачу на построение линии, проходящей через заданное множество и дополнительно вводимых точек, называют проблемой Штейнера [3]. Аналогично этой проблеме на плоскости с ортогональной метрикой, в зависимости от взаимного расположения точек, различают различные виды соединения. Доказано, что задача Штейнера на плоскости с ортогональной метрикой является частным случаем задачи Штейнера на графе [4], и расстояние между точками  $M_1(x_1, y_1)$  и  $M_2(x_2, y_2)$  будет равно:

$$d(M_1, M_2) = |x_1 - x_2| + |y_1 - y_2|. \quad (2)$$

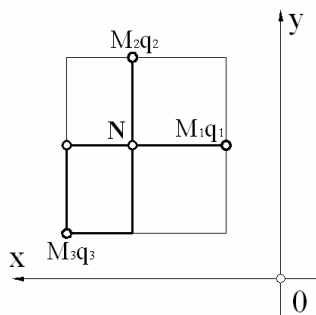


Рис. 1. Трехлучевое дерево для трех точек при  $q_1=q_2=q_3$

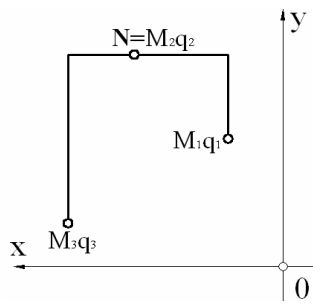


Рис. 4. Магистральное дерево для трех точек при  $q_3 \geq q_1 + q_2$

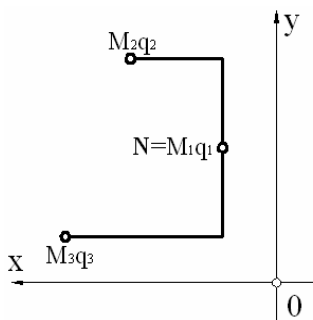


Рис. 2. Магистральное дерево для трех точек при  $q_1 \geq q_2 + q_3$

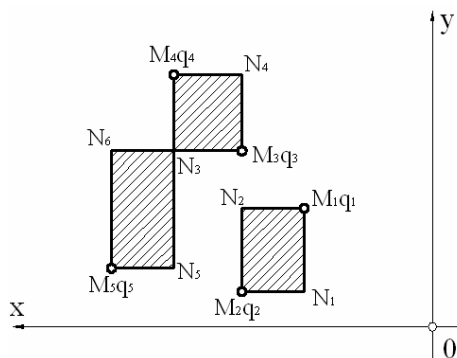


Рис. 5. Минимальное дерево для пяти точек

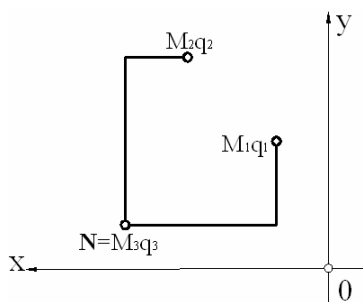


Рис. 3. Магистральное дерево для трех точек при  $q_2 \geq q_1 + q_3$

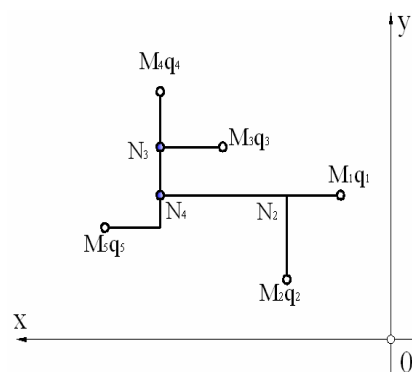


Рис. 6. Конечное построение дерева для пяти точек

Действительно, эта формула обладает всеми свойствами функции расстояния, а именно:

- 1)  $d(M_1, M_2) \geq 0$  — положительность;
- 2)  $d(M_1, M_2) = d(M_2, M_1)$  — симметричность;
- 3)  $d(M_1, M_2) = 0$  — невырожденность;
- 4)  $d(M_1, M_2) \geq d(M_1, M_3) + d(M_3, M_2)$  — функция удовлетворяет неравенство треугольника.

Рассмотрим топологию минимального дерева (МД) для трех точек плоскости  $M_1, M_2$  и  $M_3$  с весовыми коэффициентами  $q_1 = q_2 = q_3$  (рис. 1) [5].

Проведем через заданные точки прямые, параллельные осям  $OX$  и  $OY$ , получим трехлучевое соединение и узловую точку  $N$  (точка Штейнера), оптимизирующее решение задачи. Суммарная длина с точкой  $M_1$  (рис. 2).

$MD_3 : L = q_1|M_1N| + q_2|M_2N| + q_3|M_3N|$ . Если  $q_1 \geq q_2 + q_3$ , то точка  $N$  совпадает. Если  $q_2 \geq q_1 + q_3$  и  $q_3 \geq q_1 + q_2$ , то  $N = M_2$  (рис. 3) и  $N = M_3$  (рис. 4), то есть получаем разные топологии  $MD_3$ . Сравнивая суммарную длину  $L$  для полученных четырех топо-

логий, выявляем, что минимальное дерево получается при случае  $q_1 = q_2 = q_3$ .

Рассмотрим построения кратчайшей связывающей линии для пяти точек плоскости. Пусть заданы точки  $M_1, M_2, M_3, M_4$  и  $M_5$  с весовыми коэффициентами  $q_1, q_2, q_3, q_4$  и  $q_5$  (рис. 5). Исходя из принципа наименьшего удлинения строим следующие топологии  $MD_3$ , пусть  $q_1 = q_2 = q_3 = q_4 = q_5$ .

Шаг 1. Вычисляем расстояния между заданными точками по формуле (1).

Шаг 2. Выбираем пару точек, имеющих кратчайшее расстояние. Такой парой является точки  $M_1$  и  $M_2$ , которые могут быть соединены между собой кратчайшей линией  $M_1N_1M_2$  или  $M_1N_2M_2$  (рис. 6). Заштрихованная часть является зоной подвижности сети для двух точек. Получим фрагмент  $M_1 = M_2$ .

Шаг 3. Соединяем точки  $M_3$  и  $M_4$  ломаной линией  $M_3N_3N_4$  или  $M_3N_4M_4$ . Получим фрагмент  $M_3 = M_4$ .

Шаг 4. Сравниваем расстояния между фрагментами  $M_1 = M_2, M_3 = M_4$  и точкой  $M_5$ . Ближайшими

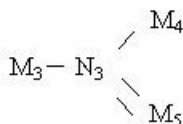


Рис. 7. Структурная схема для трех точек

соседями оказались фрагмент  $M_3 = M_4$  и точка  $M_5$ , которая находится в магистральной зоне. Поэтому она соединяется с  $M_5$  с ближайшей вершиной  $N_3$  через точку поворота  $N_5$  или  $N_6$ . После этого точка  $N_3$  становится точкой Штейнера и изменяется зона подвижности, получим следующую структурную схему (рис.7).

Шаг 5. Объединяем два фрагмента, полученные на шаге 2 и 4. На рис. 6 показана конечная топология построения для  $MD_5$ . В этом случае возможны и другие равнозначные варианты соединения заданных точек.

Таким образом, полученные топологии минимальных деревьев методом наименьшего удлинения позволяют получить несколько вариантов минимальных деревьев одной и той же длины, определяемых зоной подвижности. Это обстоятельство позволяет наряду с протяженностью связывающих линий при реальном проектировании газораспределительных сетей различного назначения так же учитывать и другие факторы, влияющие на общую стоимость сети.

## Книжная полка

**Королев, Ю. И. Инженерная графика : учебник для вузов / Ю. И. Королев, С. Ю. Устюжанина. – СПб. : Питер, 2011. – 464 с. – ISBN 978-5-459-00513-4.**

Инженерная графика изучает установленные правила разработки и оформления конструкторской документации и является практическим приложением теории изображений. Данный учебник является составной частью учебно-методического комплекта по графическим дисциплинам и соответствует требованиям государственных образовательных стандартов по подготовке бакалавров, магистров и дипломированных специалистов по курсу инженерной графики в технических вузах. Кроме рассмотрения общих понятий и установленных правил оформления графической информации в учебнике приведены прикладные задачи геометрических построений, использованы понятия параметризации при выборе и нанесении размеров, сделан полезный обзор прикладного характера по соединениям составных частей изделий и на примерах рассмотрены задачи чтения и разработки чертежей изделий с использованием элементов конструирования. Учебник дополнен приложением, в котором предлагаются задания по разработке сборочных чертежей изделий с разъемными и неразъемными соединениями, а также необходимый справочный материал. Допущено Научно-методическим советом по начертательной геометрии, инженерной и компьютерной графике при Министерстве образования и науки Российской Федерации в качестве учебника для студентов высших учебных заведений инженерно-технических специальностей.

**Осипов, В. К. Справочник по черчению : учебное пособие для СПО / В. К. Осипов, А. А. Чекмаев. – 6-е изд., стер. – М. : Academia, 2011. – 336 с. – Гриф МО РФ. – ISBN 978-5-7695-7742-0.**

В справочнике приведены данные по типовым геометрическим построениям, нормативные материалы по оформлению чертежей машин и приборов, их конструктивных элементов, стандартных крепежных и соединительных деталей, конструкционным материалам. Для студентов образовательных учреждений среднего профессионального образования.

**Бродский, А. М. Черчение (металлообработка) : учебник для НПО / А. М. Бродский, Э. М. Фазлулин, В. А. Халдинов. – 8-е изд., стер. – М. : Academia, 2011. – 400 с. – Гриф МО РФ. – ISBN 978-5-7695-8173-1.**

Приведены приемы наиболее часто встречающихся геометрических построений, основные положения начертательной геометрии, общие правила выполнения чертежей, правила выполнения чертежей некоторых машиностроительных деталей и их соединений, различных схем, а также основы машинной графики. Для учащихся учреждений начального профессионального образования.

## Библиографический список

1. Баясанов, Д. Б. Моделирование и проектирование распределительных систем газоснабжения / Д. Б. Баясанов, Ф. И. Стратан. – Кишинев : Штиинца, 1987. – 123 с.
2. Куспеков, К. А. Моделирование газораспределительных сетей кратчайшими связывающими линиями с ортогональной метрикой / К. А. Куспеков // Проблемы и перспективы развития нефтяной промышленности Казахстана : матер. Межд. науч.-пр. конф. 14–15 декабря 2005 г. – Алматы : КазНТУ, 2005. – С. 274–276.
3. Есмуханов, Ж. М. Оптимальное решение одной многоэкстремальной задачи / Ж. М. Есмуханов // Вестник АН Каз. ССР. – Алма-Ата, 1971. – № 1. – С. 66–68.
4. Hanan, M. On Steiner's problem with rectilinear distance / M. Hanan // SIAM. J. Appl. Math. – 1966. – Vol. 14. – № 2. – P. 203–216.
5. Куспеков, К. А. Моделирование инженерных сетей кратчайшими связывающими линиями / К. А. Куспеков // Вестник Национальной академии наук Республики Казахстан. – 2010. – № 3. – С. 98–100.

**КУСПЕКОВ Кайырбек Амиргазыулы**, кандидат технических наук, доцент (Казахстан), заведующий кафедрой «Начертательная геометрия и графика». Адрес для переписки: [kuspekov\\_k@mail.ru](mailto:kuspekov_k@mail.ru).

Статья поступила в редакцию 15.03.2011 г.

© К. А. Куспеков

## АЛГОРИТМЫ КОНСТРУИРОВАНИЯ ГРАФИЧЕСКИХ ОПТИМИЗАЦИОННЫХ МОДЕЛЕЙ МНОГОФАКТОРНЫХ ПРОЦЕССОВ

В статье изложены перспективы применения методов многомерной геометрии для решения задач оптимизации многофакторных процессов. Рассмотрены алгоритмы определения на чертеже Радищева оптимальной области, позволяющие получать результаты решений прикладных задач в виде графических оптимизационных моделей и при этом наглядно оценивать исследуемый процесс, оперативно устанавливать оптимальные режимы, параметры, прогнозировать характеристики исследуемых процессов. Построены графические оптимизационные модели конкретных технологических процессов.

**Ключевые слова:** многомерная начертательная геометрия, многомерное пространство, моделирование, оптимизация, графическая модель, многофакторный процесс.

Задачи, которые возникают на практике в процессах различного рода, невозможно решать традиционными аналитическими методами математического моделирования, так как число переменных величин, отображающих соответствующие многомерные функциональные зависимости, превышает размерность пространства, в котором протекают эти процессы.

Многомерная начертательная геометрия имеет возможность рассматривать многомерные объекты в качестве геометрических моделей многих переменных, что и позволяет ей наглядно представить такие процессы в виде графических моделей, из которых с помощью современной компьютерной техники возможно оперативно устанавливать оптимальные режимы, параметры, составы и характеристики исследуемых процессов.

В начертательной геометрии существуют различные способы представления многомерного пространства и построения чертежей многомерных объектов на основе проекционного аппарата. Вместе с тем, по мере увеличения размерности моделируемого пространства, конструктивный метод становится менее наглядным, и все обоснования проводятся формализованными методами исчислительной геометрии. Наиболее удобной для решения задач оптимизации различной степени сложности принято считать модель многомерного пространства — чертеж Радищева [1]. Данная модель позволяет формализовать полученные на ее основе модели конкретных систем и процессов, что дает возможность автоматизировать построение чертежей.

Совершенствованию, развитию и применению чертежа Радищева в области исследования много-

факторных процессов посвящены работы В. Н. Первиковой, Н. Ф. Четверухина, В. Я. Волкова, В. Ю. Юркова и других [2–6]. Их анализ показывает, что методы многомерной геометрии на основе чертежа Радищева успешно применяются к моделированию многофакторных многокомпонентных систем в физико-химическом анализе, при этом для исследования свойств многокомпонентных систем используются методы исчислительной геометрии и методы теории параметризации.

Однако, несмотря на множество разработок в данном направлении, остается актуальным вопрос о достоверности решения задач на указанной модели (чертеж Радищева), отсутствуют алгоритмы решения задач оптимизации многофакторных процессов и программное обеспечение для автоматизации построения чертежей геометрических оптимизационных моделей.

С целью создания оптимизационных моделей многофакторных процессов авторами исследованы варианты задания элементов на чертеже Радищева и выполнен формализованный анализ решения позиционных задач, что позволило разработать конструктивные модели поверхностей и гиперповерхностей различного вида для моделирования многофакторных процессов и алгоритмы построения области пересечения гиперповерхности с гиперплоскостью уровня.

На базе сформулированных в работе [7] теоретических основ алгоритм построения области пересечения гиперповерхности с гиперплоскостью уровня реализуется следующим образом: гиперповерхность описывает зависимость оптимизирующих факторов от компонентов системы (факторы, параметры тех-

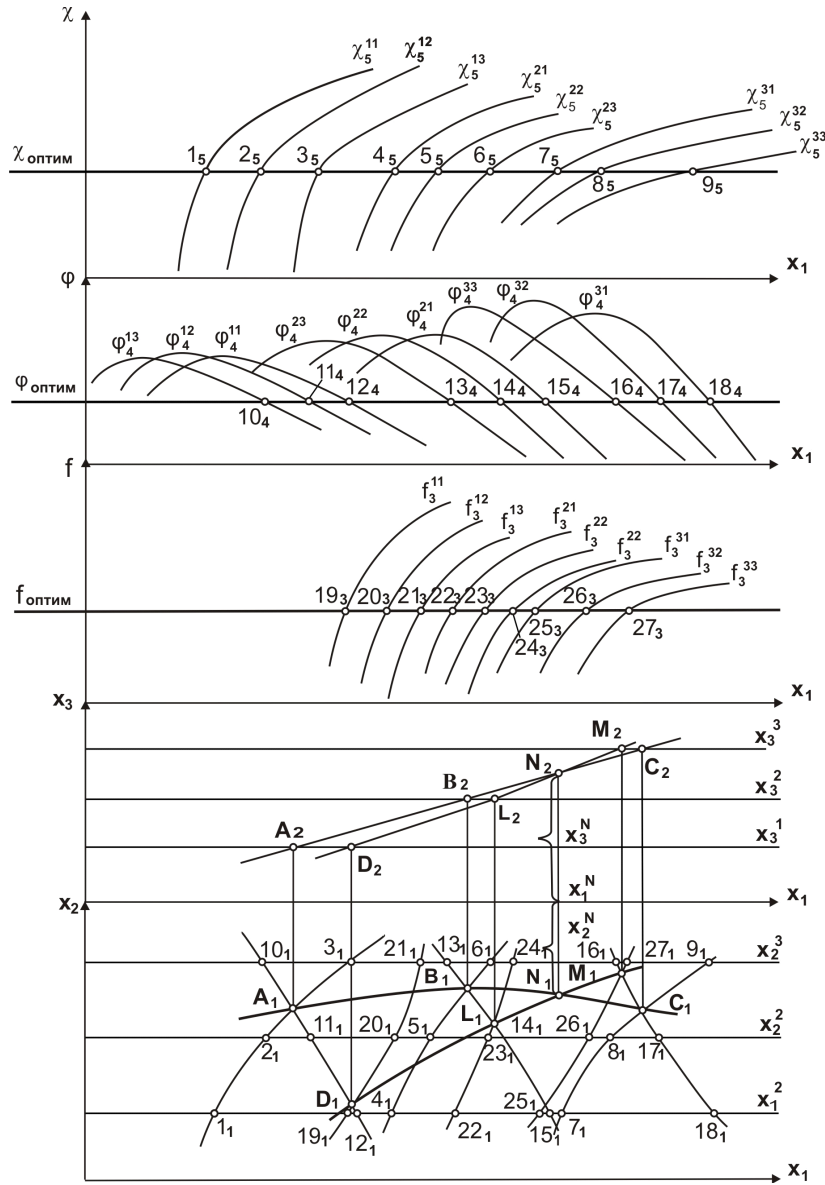


Рис. 1. Схема алгоритма

нологического процесса), а гиперплоскость уровня задает требуемое значение оптимизирующего фактора.

Алгоритм определения области оптимизации трех компонентов в зависимости от значений трех оптимизирующих факторов покажем на примере трехкомпонентной системы  $(x_1, x_2, x_3)$  с тремя оптимизирующими факторами  $\varphi, \chi, f$  (рис. 1).

Гиперповерхности оптимизирующих факторов  $\varphi, \chi, f$  заданы семействами 1-поверхностей двойного уровня  $\chi_1(\chi^{11}, \chi^{12}, \chi^{13}), \chi_2(\chi^{21}, \chi^{22}, \chi^{23}), \chi_3(\chi^{31}, \chi^{32}, \chi^{33}); \varphi_1(\varphi^{11}, \varphi^{12}, \varphi^{13}), \varphi_2(\varphi^{21}, \varphi^{22}, \varphi^{23}), \varphi_3(\varphi^{31}, \varphi^{32}, \varphi^{33}); f_1(f^{11}, f^{12}, f^{13}), f_2(f^{21}, f^{22}, f^{23}), f_3(f^{31}, f^{32}, f^{33})$  соответственно; оптимальные значения факторов  $\chi_{оптим}, \varphi_{оптим}$  и  $f_{оптим}$  заданы гиперплоскостями уровня. В данном случае областью оптимизации будет являться 0-плоскость, так как число компонентов равно числу оптимизирующих факторов. Определение области оптимизации произведем по следующему алгоритму.

1. Рассматривая расслоение гиперповерхностей оптимизирующих факторов, следует принять один из компонентов постоянной величиной —  $x_3^1$ , при этом компоненты  $x_1$  и  $x_2$  варьируются; если принять,

что компонент  $x_2$  изменяется дискретно, принимая три значения  $x_2^1, x_2^2, x_2^3$ , то, варьируя компонент  $x_1$ , получим 2-поверхности  $\chi^{11}, \chi^{12}, \chi^{13}; \varphi^{11}, \varphi^{12}, \varphi^{13}; f^{11}, f^{12}, f^{13}$  оптимизации трех факторов для каждого значения компонента  $x_2$ .

2. Зададим оптимальные значения факторов  $\chi_{оптим}, \varphi_{оптим}$  и  $f_{оптим}$ , которые геометрически представляют гиперплоскости уровня, и получим 1-поверхности пересечения 2-поверхностей с заданными гиперплоскостями уровня — 1 2 3 ( $1_5, 2_5, 3_5; 1_1, 2_1, 3_1$ ), 10 11 12 ( $10_4, 11_4, 12_4; 10_1, 11_1, 12_1$ ) и 19 20 21 ( $19_3, 20_3, 21_3; 19_1, 20_1, 21_1$ ).

3. Определим 0-плоскость A ( $A_1, A_2$ ) пересечения 1-поверхностей 1 2 3 ( $1, 2, 3$ ), и 10 11 12 ( $10, 11, 12$ ), и 0-плоскость D ( $D_1, D_2$ ) пересечения 1-поверхностей 10 11 12 ( $10, 11, 12$ ) и 19 20 21 ( $19, 20, 21$ ).

4. Присваивая компоненту  $x_3$  значения  $x_3^2$  и  $x_3^3$ , аналогичным образом получим 0-плоскости B ( $B_1, B_2$ ), L ( $L_1, L_2$ ) и 0-плоскости C ( $C_1, C_2$ ), M ( $M_1, M_2$ ) соответственно.

5. Дискретное число полученных 0-плоскостей A ( $A_1, A_2$ ), B ( $B_1, B_2$ ) и C ( $C_1, C_2$ ) образует 1-поверхность ABC ( $A_1B_1C_1, A_2B_2C_2$ ), которая определяет область оптимизации компонентов  $x_1, x_2, x_3$  в зависимости

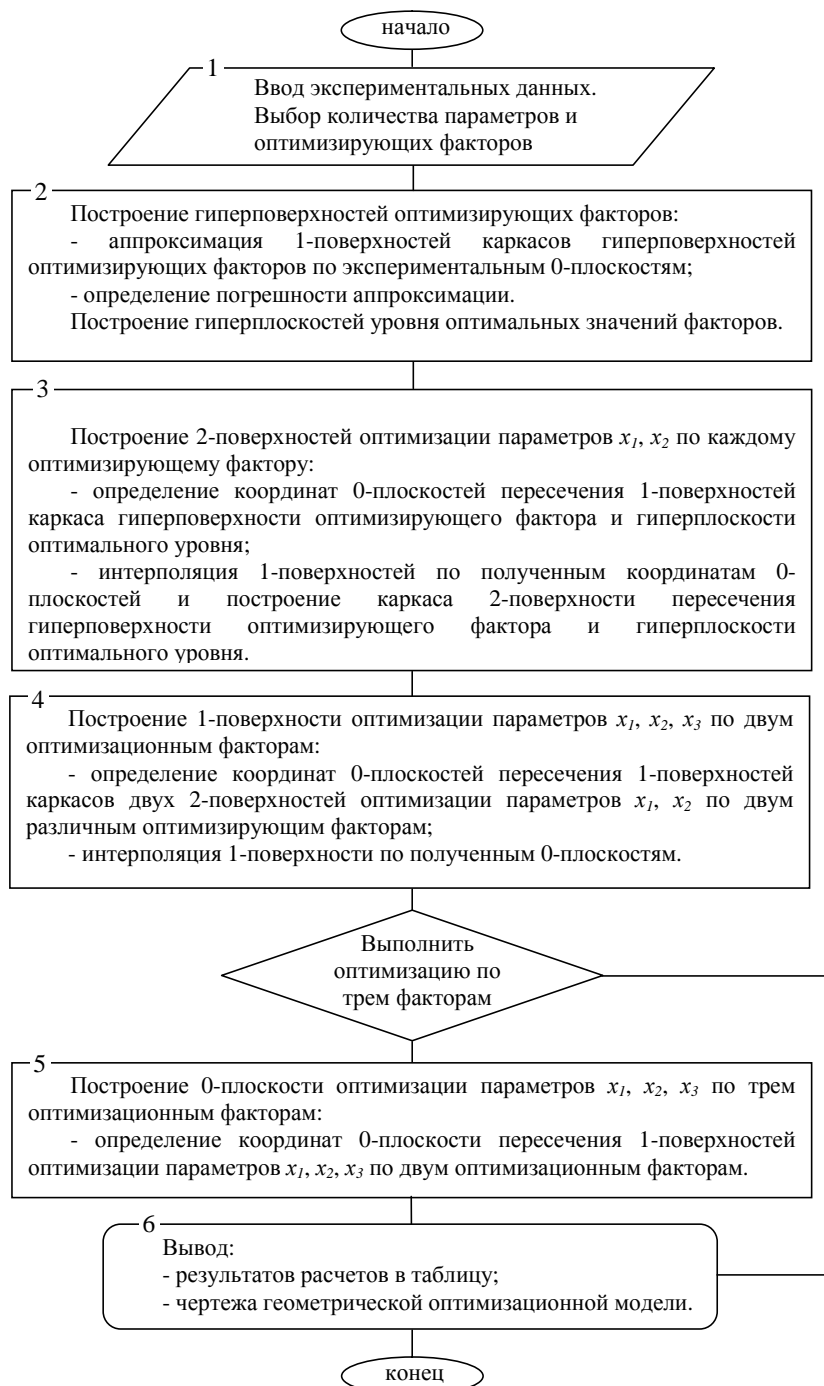


Рис. 2. Блок-схема компьютерной программы «Оптимизация процесса»

от значений оптимизирующих факторов  $\chi_{\text{оптим}}$  и  $\varphi_{\text{оптим}}$ . Дискретное число полученных 0-плоскостей  $D, L$  и  $M$  образует 1-поверхность  $DLM (D_1L_1M_1, D_2L_2M_2)$ , которая определяет область оптимизации компонентов  $x_1, x_2, x_3$  в зависимости от значений оптимизирующих факторов  $\varphi_{\text{оптим}}$  и  $f_{\text{оптим}}$ .

6. Пересечение 1-поверхностей  $ABC (A_1B_1C_1, A_2B_2C_2)$  и  $DLM (D_1L_1M_1, D_2L_2M_2)$  определяет искомую 0-плоскость  $N (N_1, N_2)$ , которая является областью оптимизации компонентов  $x_1, x_2, x_3$  в зависимости от значений оптимизирующих факторов  $\chi_{\text{оптим}}, \varphi_{\text{оптим}}$  и  $f_{\text{оптим}}$ . Координаты  $x_1^N, x_2^N, x_3^N$  0-плоскости  $N (N_1, N_2)$  определяют комбинацию значений компонентов, при которых  $\chi = \chi_{\text{оптим}}, \varphi = \varphi_{\text{оптим}}$  и  $f = f_{\text{оптим}}$ .

Разработанные алгоритмы применимы при различном числе компонентов (технологических параметров) и оптимизирующих факторов, количество

и тех, и других может увеличиваться в зависимости от требований прикладной задачи.

Действие сформулированных алгоритмов рассмотрено при построении оптимизационных моделей конкретных технологических процессов:

— в рамках совершенствования строительства и эксплуатации автомобильных дорог в условиях Сибири разработана графическая модель, позволяющая анализировать свойства дорожно-строительных материалов с целью выбора их с факторами, обеспечивающими требуемые свойства. С учетом требований прикладной задачи предложен алгоритм определения области пересечения гиперповерхности с гиперплоскостью уровня, где гиперповерхность реализуется как геометрическая область, описывающая зависимость факторов системы от целевых функций, а гиперплоскость уровня — как требуемые (заданные)

значения целевых функций. Вышеуказанный алгоритм можно использовать при назначении составов смесей из грунта, укрепленного другими вяжущими материалами, а также при назначении составов цемента- и асфальтобетона, что доказывает его универсальность и расширяет область применения чертежа Радищева;

— для решения прикладных задач швейного производства, в частности, оптимизации процессов соединения деталей швейных изделий, разработаны алгоритмы определения области оптимизации значений основных параметров режимов соединения в зависимости от значений оптимизирующих факторов (показателей качества). С учетом требований прикладных задач сформулированы алгоритмы определения оптимальной области трех параметров процесса для двух и трех оптимизирующих факторов. При этом количество оптимизирующих факторов не ограничивается тремя, так же как и количество параметров процесса [8].

По результатам теоретических и экспериментальных исследований свойств соединений, выполненных на текстильных термопластичных материалах методом лазерной сварки, построены графические оптимизационные модели, апробация которых показала, что установленные по чертежам значения основных параметров режимов процесса обеспечивают получение заданной прочности сварных швов.

Этим подтверждается практическая пригодность алгоритмов определения оптимизирующей области значений параметров в зависимости от значений оптимизирующих факторов, разработанных на основе чертежа Радищева.

Универсальность вышеуказанных алгоритмов показана на примере ниточного способа соединения деталей швейных изделий.

Графические оптимизационные модели позволяют, варьируя значения основных параметров процессов, выбирать режимы, обеспечивающие требуемые свойства шва, и могут быть использованы в качестве операционных карт выбора оптимальных режимов технологических процессов соединения деталей швейных изделий.

Для автоматизации процесса построения графических оптимизационных моделей создана компьютерная программа «Оптимизация процессов», позволяющая строить чертежи оптимизационных моделей и подбирать оптимальные значения основных параметров в зависимости от заданных значений нескольких оптимизирующих факторов [9].

На рис. 2 представлена блок-схема программы, реализующая алгоритмы определения оптимизирующих областей параметров в зависимости от значений оптимизирующих факторов.

Отметим, что рассмотренные в работе алгоритмы определения оптимальной области значений параметров процесса для нескольких оптимизирующих факторов, а также компьютерная программа «Оптимизация процессов» могут быть применимы и к другим технологическим задачам швейного производства.

Таким образом, исследование многофакторных, многокомпонентных систем методами начертательной геометрии является перспективной научной областью, а теоретические и практические результаты данной работы могут способствовать дальнейшему ее развитию.

#### Библиографический список

1. Радищев, В. П. О применении геометрии четырёх изменений к построению равновесных физико-химических диаграмм / В. П. Радищев // Изв. СФХА. — М., 1947. — Т. 15. — С. 129–134.
2. Первикова, В. Н. Чертежи поверхностей n-мерного пространства и их инженерные приложения / В. Н. Первикова, А. А. Решетникова, Д. М. Коробова. // Науч. труды МАИ. — М., 1973. — Вып. 271. — С. 19–25.
3. Начертательная геометрия / Н. Ф. Четверухин [и др.] ; под ред. Четверухина Н. Ф. — М. : Высшая школа, 1963. — 420 с.
4. Четверухин, Н. Ф. Проективная геометрия / Н. Ф. Четверухин. — М. : Учпедгиз, 1969. — 368 с.
5. Волков, В. Я. Теория параметризации и моделирования геометрических объектов многомерных пространств и её приложения : автореф. дис. ... д-ра техн. наук : 05.01.01 / В. Я. Волков. — М., 1983. — 27 с.
6. Юрков, В. Ю. Конструктивные отображения многомерных пространств в моделировании эмпирических многофакторных объектов : автореф. дис. ... канд. техн. наук : 05.01.01 / В. Ю. Юрков. — Омск, 1987. — 174 с.
7. Волков, В. Я. Графические оптимизационные модели многофакторных процессов : монография / В. Я. Волков, М. А. Чижик. — Омск : Омский государственный институт сервиса, 2009. — 101 с.
8. Чижик, М. А. Графические оптимизационные модели многофакторных процессов : монография / М. А. Чижик. — Омск : ОГИС, 2009. — 101 с.
9. Устинова, О. В. Оптимизация процессов : программный продукт / О. В. Устинова, В. Я. Волков, М. А. Чижик. — Отраслевой фонд алгоритмов и программ; дата регистрации 31.01.2006 ; Св-во об отраслевой регистрации разработки № 5615, дата выдачи 10.02.2006. — М., 2006. — 5 с.

**ЧИЖИК Маргарита Анатольевна**, кандидат технических наук, профессор (Россия), профессор, кафедра «Конструирование швейных изделий» Омского государственного института сервиса.

**ЯКОВЕНКО Кирилл Сергеевич**, аспирант кафедры «Компьютерные технологии и сети» Омского государственного университета им. Ф. М. Достоевского.

**ВОЛКОВ Владимир Яковлевич**, доктор технических наук, профессор (Россия), заведующий кафедрой «Начертательная геометрия, инженерная и компьютерная графика» Сибирской государственной автомобильно-дорожной академии.

Адрес для переписки: [margarita-chizhik@rambler.ru](mailto:margarita-chizhik@rambler.ru)

Статья поступила в редакцию 23.11.2011 г.

© М. А. Чижик, К. С. Яковенко, В. Я. Волков