

ТРУДЫ
ВСЕСОЮЗНОГО НАУЧНО-ИССЛЕДОВАТЕЛЬСКОГО
ИНСТИТУТА ТРАНСПОРТНОГО СТРОИТЕЛЬСТВА
И ИНСТИТУТА КИБЕРНЕТИКИ АКАДЕМИИ НАУК УССР

ВЫПУСК 51

ПРИМЕНЕНИЕ
ЭЛЕКТРОННЫХ ЦИФРОВЫХ
ВЫЧИСЛИТЕЛЬНЫХ МАШИН
ПРИ ПРОЕКТИРОВАНИИ
ЖЕЛЕЗНЫХ ДОРОГ

ИЗДАТЕЛЬСТВО
«ТРАНСПОРТ»
МОСКВА 1964

ПРЕДИСЛОВИЕ

Всесоюзный научно-исследовательский институт транспортного строительства и Институт кибернетики АН УССР провели исследование по выявлению возможностей применения электронных вычислительных машин в области транспортного проектирования.

Эти исследования подтвердили, что большинство задач в области изысканий и проектирования железных и автомобильных дорог, а также многие другие инженерные задачи, требующие трудоемких вычислений, могут быть эффективно решены на электронных цифровых вычислительных машинах (ЭЦВМ). При этом представляется возможным осуществить комплексную автоматизацию основных работ, выполняемых при трассировании и проектировании, и на ее основе значительно сократить затраты на сооружение дорог и ускорить процесс проектирования.

Освещение основных результатов указанных исследований по внедрению математических методов и высокопроизводительных ЭЦВМ в практику проектирования железнодорожных линий и составляет содержание настоящего сборника.

Сборник начинается статьей академика АН УССР В. М. Глушкова «Об использовании электронных цифровых вычислительных машин для решения задач оптимального проектирования», в которой сформулированы принципиальные положения о возможностях ЭЦВМ и их практическом использовании. Автор доходчиво показывает, какое резкое повышение производительности труда будет достигнуто при применении ЭЦВМ в различных областях исследований, в том числе при решении вопросов проектирования железных дорог. В заключение статьи дается схема прохождения задачи от ее постановки до получения практического результата.

В статье канд. техн. наук В. Н. Ляховского освещены результаты исследований по применению ЭЦВМ для решения различного рода задач в области проектирования сооружений железнодорожного транспорта. Статья иллюстрирована примерами решения на ЭЦВМ некоторых весьма трудоемких задач по проектированию железных дорог.

Канд. физико-математических наук В. С. Михалевич и инж. Н. З. Шор излагают математические основы решения задачи выбора оптимального очертания продольного профиля и описывают метод последовательного анализа (перебора) вариантов при нахождении оптимального положения проектной линии. Сформулированный

В статье принцип оптимальности является общим для большого класса многовариантных задач, и, пользуясь им, можно достаточно просто конструировать алгоритмы решения конкретных задач данного типа.

В последующих трех статьях изложены основные положения алгоритмов решения на ЭЦВМ комплексных задач по оптимальному проектированию профиля и трассы железных дорог. Статья канд. техн. наук Р. В. Зайцева, инженеров М. В. Вдовиченко, А. М. Кизя и А. Н. Сибирко посвящена выбору наиболее выгодного положения проектной линии продольного профиля при неизменном плане линии. В статье канд. техн. наук В. Н. Ляховского, инженеров Н. Е. Коновалова и В. П. Гуленко описаны основные элементы алгоритма нахождения наиболее выгодного положения плана и профиля при отделке исходной трассы. В статье канд. техн. наук Ю. К. Полосина излагаются особенности ускоренного проектирования железных дорог с использованием ЭЦВМ.

Основные положения алгоритмов решения задач, входящих в варьирование при выборе наиболее выгодного положения профиля, изложены в заключительных статьях сборника. В работе инженеров В. И. Быкова и К. М. Берестовенко рассматривается производство тяговых расчетов и определение эксплуатационных расходов по передвижению поездов. Труд инженеров Н. Е. Коновалова, А. Н. Сибирко и А. М. Кизя посвящен решению задачи определения объемов земляного полотна. Методы расчета поверхностного стока для определения отверстий малых искусственных сооружений сообщаются в статье инж. Н. Н. Чегодаева.

Сборник трудов подготовлен к печати Отделением изысканий и проектирования железных дорог ЦНИИС и Отделом экономической кибернетики Института кибернетики под общей редакцией канд. техн. наук В. Н. Ляховского и канд. физико-математических наук В. С. Михалевича.

Замечания и предложения по настоящей работе просьба направлять по адресам:

Москва, И-329, ул. Калинина, 2, Всесоюзный научно-исследовательский институт транспортного строительства;

Киев, 28, Лысогорская, 4, Институт кибернетики АН УССР.

*Зам. директора Всесоюзного
научно-исследовательского
института транспортного
строительства
канд. техн. наук
А. А. Смольянинов*

*Директор Института
кибернетики АН УССР
академик АН УССР
В. М. Глушков*

ОБ ИСПОЛЬЗОВАНИИ ЭЛЕКТРОННЫХ ЦИФРОВЫХ ВЫЧИСЛИТЕЛЬНЫХ МАШИН ДЛЯ РЕШЕНИЯ ЗАДАЧ ОПТИМАЛЬНОГО ПРОЕКТИРОВАНИЯ

В решении сложных инженерных задач вообще и задач оптимального проектирования и расчетов железных и автомобильных дорог в частности большая роль принадлежит электронным цифровым вычислительным машинам (ЭЦВМ). Эта роль обусловливается тем, что современные универсальные электронные цифровые машины принципиально отличаются от всех остальных средств автоматизации вычислительных процессов.

Если прежние автоматические вычислительные устройства рассчитывались на решение лишь какого-нибудь определенного класса задач, то ЭЦВМ обладают возможностью решения задач любого типа.

Такая возможность обеспечивается особенностями набора операций, которые могут выполняться современными ЭЦВМ. Наряду с арифметическими имеются операции, которые определяют направление дальнейших действий в зависимости от уже полученных результатов. Такие операции носят обычно название операций управления. Они как раз и обеспечивают то удивительное свойство современных ЭЦВМ, которое называется алгоритмической полнотой системы операций, обозначающей принципиальную возможность представить любое задание на переработку информации в виде законченной последовательности таких операций.

Необходимо лишь, чтобы были известны и точно сформулированы правила переработки информации в соответствии с имеющимся заданием. Что же касается природы самих правил, то она может быть любой. Вовсе не обязательно, чтобы правила переработки информации были выражены в виде математических формул. Правила перевода с одного языка на другой, правила шахматной игры и другие нематематические (точнее — не чисто математические) правила также могут быть выражены через операции ЭЦВМ.

Можно считать достоверно доказанным, что не только все известные к настоящему времени системы точно сформулированных правил переработки информации, но и любые системы таких правил, которые можно сформулировать при современном состоянии развития науки, могут быть выражены через операции современных ЭЦВМ.

То обстоятельство, что ЭЦВМ оперирует информацией, заданной в виде чисел, также по существу не ограничивает их принципиальных возможностей, поскольку информацию любой природы можно либо точно, либо с любой заданной степенью точности представить в виде конечного множества чисел. Например, в случае лексической информации достаточно для этой цели просто занумеровать буквы алфавита и использовать вместо букв их номера.

Наряду со всем сказанным нужно заметить, что ограничения на переработку информации в современных ЭЦВМ все же имеются, но они носят не принципиальный (качественный), а лишь количественный характер. Так, ограниченность объема запоминающих устройств приводит к тому, что машина не может вместить в себя всю необходимую информацию при решении слишком сложных задач. Ограниченность быстродействия машин делает практически невозможным решение задач с очень большим количеством элементарных операций.

Вместе с тем не следует забывать, что уже существующие ЭЦВМ могут решать задачи, во много раз более сложные, чем проблемы, ранее считавшиеся пределом человеческих возможностей. Такой резкий скачок обеспечивается главным образом за счет огромного быстродействия современных ЭЦВМ. Так, например, машина «Киев» Института кибернетики АН УССР выполняет свыше 10 000 арифметических операций над многозначными числами за 1 сек. В то же время человек, снабженный автоматическим клавишным арифмометром, в лучшем случае способен выполнить в среднем лишь одну операцию за 20 сек.

Резкое повышение производительности труда, даваемое ЭЦВМ прежде всего в расчетных работах, обуславливает их исключительную важную роль в развитии науки и техники. Эта роль состоит не только в том, что сокращаются затраты человеческого труда на производство расчетов. Главное заключается в том, что благодаря ЭЦВМ могут решаться такие задачи, которые раньше были совершенно недоступны человеку. В частности, в задачах проектирования и планирования становится возможным перейти от выбора лучшего из нескольких вариантов к выбору лучшего из всех возможных вариантов плана.

Подобное планирование и проектирование, называемые обычно оптимальными, приносят огромный экономический эффект, совершенно не сравнимый с тем преимуществом, которое дало бы простое уменьшение (за счет использования ЭЦВМ) штатов проектных и планирующих организаций при сохранении прежнего качества планирования. Например, опытные расчеты по нахождению оптимального профиля железных дорог, выполненные Вычислительным центром АН УССР (ныне Институт кибернетики) совместно с ЦНИИСом, показывают, что за счет оптимального проектирования можно в ряде случаев снизить затраты лишь на одни земляные работы в размере 3—4 млн. руб. на каждые 1 000 км вновь сооружаемых железнодорожных линий.

В связи с этим представляется целесообразным при внедрении ЭЦВМ в проектные и расчетные работы идти по пути резкого увеличения требований к качеству проектирования. При этом, разумеется, труд проектировщиков поднимается на качественно новую ступень, их работа приобретает еще более высокий творческий характер. От выполнения отдельных частных проектов проектировщики должны перейти к составлению общих схем проектирования с учетом возможностей ЭЦВМ.

В чем состоит сущность работы по составлению общих схем проектирования? Необходимо, накладывая те или иные ограничения на постановку конкретной задачи, сформулировать правила ее решения настолько точно и ясно, чтобы любой человек со средним образованием, не имеющий специальной подготовки, мог, пользуясь лишь этими правилами и не вникая в суть дела, выполнить (и при этом хорошо) требуемое проектирование.

Очень часто приходится сталкиваться с мнением специалистов, что составить общую схему проектирования по их специальности невозможно, поскольку им при проектировании приходится учитывать большое количество факторов, которые трудно описать. Иногда дополнительно ссылаются на интуицию проектировщика, на роль опыта и т. п. Практика показывает, однако, что такой скептицизм ни на чем не основан.

В настоящее время уже описаны точно общие схемы планирования и проектирования во многих областях.

Ведется работа по точному описанию столь сложных процессов, как поиски доказательств новых теорем в ряде областей математики. Пользуясь такими описаниями, человек, не знающий данной области математики, может успешно находить и доказывать новые теоремы.

Разумеется, составление точных общих схем, описывающих ту или иную область человеческой деятельности, потребует преодоления немалых трудностей. Однако переход к составлению точных общих схем для решения большинства инженерных задач, в том числе и задач проектирования железных или автомобильных дорог, сегодня уже вполне реален. Об этом красноречиво говорит положительный опыт применения ЭЦВМ для решения таких сложных задач, как выбор наивыгоднейшего положения проектной линии продольного профиля железных дорог, производство тяговых расчетов, подсчет объемов земляных работ и др.

Переход от решения частных задач к точному описанию общих схем проектирования нельзя понимать как простое уточнение уже существующих теорий проектирования, поскольку они были рассчитаны на возможности человека и не учитывали специфики ЭЦВМ.

Учет специфики электронно-вычислительной техники требует, как правило, коренной переработки существующих схем проектирования. Эта переработка производится прежде всего в направлении перебора гораздо большего числа вариантов возможного решения,

чем это было раньше. Однако увеличение возможностей перебора, даваемое машинами, хотя и весьма значительное, тем не менее ограничено известными пределами. Как правило, простой перебор всех возможных вариантов оказывается недоступным и машине. Поэтому разработка машинных схем проектирования должна проходить в тесном контакте с математиками, знакомыми с приемами, которые позволяют за счет отбрасывания заведомо негодных вариантов резко сократить перебор.

Эффект, получаемый в результате применения подобных приемов, подчас бывает весьма разительным. Так, при решении задачи оптимального проектирования продольного профиля железнодорожной линии протяжением в несколько километров методом простого перебора всех вариантов быстродействующей ЭЦВМ «Киев» потребовалось бы 10^{40} веков. При использовании же разработанного в Институте кибернетики АН УССР метода последовательного анализа вариантов время решения этой задачи на той же машине сокращается до 1 ч. Заметим попутно, что опытному проектировщику для нахождения оптимального варианта по той же самой методике потребовалось бы несколько лет.

В настоящее время математиками разработан ряд общих схем направленного перебора, применимых для большого круга инженерных задач. Речь идет о схемах линейного и динамического программирования, методах наискорейшего спуска, методе последовательного анализа вариантов.

Схема линейного программирования применяется в случае, когда ограничения вариантов и критерий качества планирования выражаются в виде линейных функций параметров, определяющих варианты плана. К такого рода схеме приводится, например, решение задач об оптимальном планировании перевозок, ввиду чего подобные задачи носят наименование транспортных.

Схема динамического программирования охватывает разнообразные задачи оптимального управления и планирования. Значительное внимание разработке методов численного решения задач по схеме динамического программирования уделяется в Институте кибернетики. Обобщение этих методов привело к созданию метода последовательного анализа вариантов, применимого, в частности, для решения задач оптимального профилирования и трассирования железных дорог, нахождения оптимальных трасс и параметров трубопроводов, линий электропередачи, определения оптимальных вариантов размещения промышленности и т. п.

Следует также отметить интересные новые методы нелокального поиска («овражный метод» и др.), применяемые для целей оптимизации в различных задачах.

Использование общих схем направленного перебора позволяет значительно сократить сроки работ по составлению точных схем оптимального планирования и проектирования, рассчитанных на применение ЭЦВМ.

Отметим теперь кратко основные этапы, которые необходимо пройти задаче машинного проектирования от ее постановки до конкретного внедрения в практику реального проектирования.

Первым этапом является построение и точное описание общей схемы проектирования. На этом этапе необходима работа самых квалифицированных специалистов данной области при участии и помощи со стороны достаточно подготовленных математиков. Работа по этому этапу не заканчивается после составления первой общей схемы машинного проектирования. Вслед за первой схемой необходимо разрабатывать вторую, учитывающую большее число факторов, за ней третью и т. д.

На втором этапе общая схема проектирования переводится на язык той или иной конкретной ЭЦВМ, или, как принято выражаться, программируется для данной машины. Эта работа выполняется обычно специально обученными математиками — программистами. Составленная программа с помощью особых устройств (перфораторов) переносится на перфокарты или на перфоленту и вводится в машину. В процессе решения опытных задач производится отладка программы и устранение возможных ошибок.

На третьем этапе отлаженная программа передается для решения практических задач проектирования в качестве стандартной. Наряду со стандартной программой в машину вводится исходная информация о данной конкретной задаче. Вид расположения и способ кодирования этой информации заранее предусматриваются в стандартной программе (хотя сами числа, составляющие исходную информацию для различных частных задач, разумеется, различны).

Вычислительная машина перерабатывает исходную информацию в соответствии с введенной стандартной программой и печатает на бумажной ленте выходную информацию о найденном оптимальном варианте решения задачи. Обычно выходной информацией служит ряд числовых параметров, вполне определяющих оптимальный вариант. Форма, расположение и способ кодирования выходной информации также предусматриваются в стандартной программе.

Следует подчеркнуть, что при использовании универсальной ЭЦВМ одна и та же машина без каких-либо ее переделок быстро перестраивается на решение любой задачи проектирования, для которой имеется стандартная программа.

Необходимо отметить также, что, как показывает опыт, при наличии достаточного объема задач проектирования целесообразно создавать специализированный вычислительный центр для решения задач проектирования лишь в той или иной конкретной области (например, в области проектирования железных дорог).

При этом, несмотря на большую стоимость современных больших ЭЦВМ и на сравнительную сложность их эксплуатации (требуется штаб из 10—15 инженеров и техников), эффективность их настолько высока, что, как правило, затраты на организацию вычислительного центра, включая эксплуатационные расходы, оку-

паются за несколько месяцев, а иногда даже и недель с момента начала решения задач оптимального проектирования. Разумеется, здесь окупаемость надо понимать как соответствующее уменьшение необходимых ассигнований на строительство по новым проектам.

Институт кибернетики совместно с ЦНИИСом проводит работы по нахождению общих схем и составлению стандартных программ для машинного решения ряда задач, возникающих при оптимальном проектировании железных дорог.

Первоначально были составлены опытные алгоритмы и программы оптимального проектирования железных дорог и проведены соответствующие расчеты для определения степени эффективности машинного проектирования по сравнению с существующими методами проектирования вручную.

Следующим этапом было составление стандартной программы нахождения наивыгоднейшего положения проектной линии продольного профиля и ряда подпрограмм, необходимых для решения общей задачи. Использование стандартной программы обеспечивает значительно большую точность расчетов по сравнению с проектированием «вручную».

Проведенные исследования показывают реальность задачи комплексной автоматизации процесса проектирования железных дорог и резкого повышения качества проектирования. Для решения этой задачи необходимо привлечь высококвалифицированных специалистов — изыскателей и проектировщиков. Нужно уже сейчас думать об автоматизации сбора и ввода в машину первичных данных для проектирования и в первую очередь информации о местности, в которой предполагается прокладка новой дороги. Для ввода в машинную память данных о местности непосредственно с карты необходимо разработать читающий автомат. Большой интерес представляет также задача использования методов радионивелирования с самолета в сочетании со сконструированной в Институте кибернетики установкой для съема и записи (в цифровом виде) на магнитную ленту информации, получаемой от различных источников.

СОДЕРЖАНИЕ

	Стр.
Предисловие	3
В. М. Глушков. Об использовании электронных цифровых вычислительных машин для решения задач оптимального проектирования	5
В. Н. Ляховский. Результаты исследований применения электронных цифровых вычислительных машин в транспортном проектировании	11
В. С. Михалевич, Н. З. Шор. Математические основы решения задачи выбора оптимального очертания продольного профиля	22
Р. В. Зайцев, М. В. Вдовиченко, А. М. Кизь, А. Н. Сибирко. Выбор наиболее выгодного положения проектной линии продольного профиля	29
В. Н. Ляховский, Н. Е. Коновалов, В. П. Гуленко. Отделка трассы по цифровой модели местности	40
Ю. К. Полосин. Применение ЭЦВМ для ускоренного проектирования железных дорог	54
В. И. Быков, К. М. Берестовенко. Производство тяговых расчетов и определение эксплуатационных расходов по передвижению поездов	60
Н. Е. Коновалов, А. Н. Сибирко, А. М. Кизь. Подсчет объемов земляного полотна	73
Н. Н. Чегодаев. Расчет поверхностного стока для определения отверстий малых искусственных сооружений	88
