

КАЗАНСКИЙ ФЕДЕРАЛЬНЫЙ УНИВЕРСИТЕТ

А.А. НИКОЛАЕВ, Н.В. ИСМАГИЛОВ

**АВТОМАТИЗИРОВАННЫЕ МЕТОДЫ
ОБРАБОТКИ ГИДРОМЕТЕОРОЛОГИЧЕСКОЙ
ИНФОРМАЦИИ**

Учебно-методическое пособие

Казань – 2019

УДК 551.5
ББК 26.23
Н63

Рекомендовано к изданию
Учебно-методической комиссией ИЭиП
(протокол № 8 от 20 ноября 2019 года)

Рецензенты:

кандидат географических наук, доцент **К.М. Шанталинский**;
кандидат географических наук, доцент **В.В. Гурьянов**

Николаев А.А.

Н63 Автоматизированные методы обработки гидрометеорологической информации / Исмагилов Н.В., Николаев А.А. – Казань: КФУ, 2019. – 59 с.

Издание содержит информацию, необходимую студентам для выполнения практических работ по курсу «Автоматизированные методы обработки гидрометеорологической информации»

УДК 551.5
ББК 26.23

© **Исмагилов Н.В., Николаев А.А., 2019**
© **Казанский университет, 2019**

Оглавление

1.ИНФОРМАЦИЯ И ФОРМЫ ЕЕ ПРЕДСТАВЛЕНИЯ.....	4
1.1. Информационные процессы и технологии	4
1.2. Свойства алгоритмов.....	7
1.3. Способы описания алгоритмов.	13
1.4. Этапы подготовки и решения задач.....	20
2. МЕТЕОРОЛОГИЧЕСКАЯ ИНФОРМАЦИЯ	32
2.1. Требования к гидрометеорологической информации	34
2.2. Виды гидрометеорологической продукции.....	35
2.3. Потребители гидрометеорологической информации:.....	37
3. ПРАКТИЧЕСКИЕ ЗАДАНИЯ	39
3.1. Элементы астрономии, используемые в метеорологии	39
3.2. Предварительные сведения об основных метеорологических величинах.....	41
3.3. Основы статики атмосферы	47
3.4. Лучистая энергия в атмосфере и на земной поверхности.....	50
3.5. Основы динамики атмосферы.....	55
Литература	58

1.ИНФОРМАЦИЯ И ФОРМЫ ЕЕ ПРЕДСТАВЛЕНИЯ

Понятие *информации* является основополагающим понятием информатики. Любая деятельность человека представляет собой процесс сбора и переработки информации, принятия на ее основе решения и их выполнения. С появлением современных средств вычислительной техники информация стала выступать в качестве одного из важнейших ресурсов научно-технического прогресса.

Информация содержится в человеческой речи, текстах книг, журналов и газет, сообщениях радио и телевидения, показаниях приборов и т.д. Человек воспринимает информацию с помощью органов чувств, хранит и перерабатывает ее с помощью мозга и центральной нервной системы. Передаваемая информация обычно касается каких-то предметов или нас самих и связана с событиями, происходящими в окружающем нас мире.

В рамках науки информация является первичным и неопределяемым понятием. Оно предполагает наличие материального носителя информации, источника информации, передатчика информации, приемника и канала связи между источником и приемником. Понятие информации используется во всех сферах: науке, технике, культуре, социологии и повседневной жизни. Конкретное толкование элементов, связанных с понятием информации, зависит от метода конкретной науки, цели исследования или просто от наших представлений.

1.1. Информационные процессы и технологии

Информационные процессы (сбор, обработка и передача информации) всегда играли важную роль в науке, технике и жизни общества. В ходе эволюции человечества просматривается устойчивая тенденция к автоматизации этих процессов, хотя их внутреннее содержание по существу осталось неизменным.

Сбор информации — это деятельность субъекта, в ходе которой он получает сведения об интересующем его объекте. Сбор информации может производиться или человеком, или с помощью технических средств и систем — аппаратно. Например, пользователь может получить информацию о движении поездов или самолетов сам, изучив расписание, или же от другого человека непосредственно, либо через какие-то документы, составленные этим человеком, или с помощью технических средств. Задача сбора информации не может быть решена в отрыве от других задач, — в частности, задачи обмена информацией (передачи).

Обмен информацией — это процесс, в ходе которого источник информации ее передает, а получатель — принимает. В результате обмена информацией между источником и получателем устанавливается своеобразный «информационный баланс», при котором в идеальном случае получатель будет располагать той же информацией, что и источник.

Обмен информации производится с помощью сигналов, являющихся ее материальным носителем. Источниками информации могут быть любые объекты реального мира, обладающие определенными свойствами и способностями.

Хранение информации — это процесс поддержания исходной информации в виде, обеспечивающем выдачу данных по запросам конечных пользователей в установленные сроки.

Обработка информации — это упорядоченный процесс ее преобразования в соответствии с алгоритмом решения задачи.

После решения задачи обработки информации результат должен быть выдан конечным пользователям в требуемом виде. Эта операция реализуется в ходе решения задачи **выдачи** информации. Выдача информации, как правило, производится с помощью внешних устройств ЭВМ в виде текстов, таблиц, графиков и пр.

Информационная техника представляет собой материальную основу информационной технологии, с помощью которой осуществляется сбор, хранение, передача и обработка информации.

Технология — это совокупность знаний о способах и средствах проведения производственных процессов, при которых происходит качественное изменение обрабатываемых объектов.

Технологиям управляемых процессов свойственны упорядоченность и организованность, которые противопоставляются стихийным процессам. Исторически термин «технология» возник в сфере материального производства. Информационную технологию в данном контексте можно считать технологией использования программно-аппаратных средств вычислительной техники в данной предметной области.

Информационная технология — это совокупность методов, производственных процессов и программно-технических средств, объединенных в технологическую цепочку, обеспечивающую сбор, обработку, хранение, распространение и отображение информации с целью снижения трудоемкости процессов использования информационного ресурса, а также повышения их надежности и оперативности.

Информационные технологии характеризуются следующими основными свойствами:

- предметом (объектом) обработки (процесса) являются **данные**;
- целью процесса является получение **информации**;
- средствами осуществления процесса являются программные, аппаратные и программно-аппаратные **вычислительные комплексы**;
- процессы обработки данных разделяются на **операции** в соответствии с данной предметной областью;
- выбор управляющих воздействий на процессы должен осуществляться **лицами, принимающими решение**;

- критериями оптимизации процесса являются **своевременность доставки** информации пользователю, ее **надежность, достоверность, полнота.**

1.2. Свойства алгоритмов

Слово "Алгоритм" происходит от algorithmi - латинского написания имени аль-Хорезми, под которым в средневековой Европе знали величайшего математика из Хорезма (город в современном Узбекистане) Мухаммеда бен Мусу, жившего в 783-850 гг. В своей книге "Об индийском счете" он сформулировал правила записи натуральных чисел с помощью арабских цифр и правила действий над ними столбиком.

В дальнейшем алгоритмом стали называть **точное предписание, определяющее последовательность действий, обеспечивающую получение требуемого результата из исходных данных.** Алгоритм может быть предназначен для выполнения его человеком или автоматическим устройством. Создание алгоритма, пусть даже самого простого, - процесс творческий. Он доступен исключительно живым существам, а долгое время считалось, что только человеку. Другое дело - реализация уже имеющегося алгоритма. Ее можно поручить субъекту или объекту, который не обязан вникать в существо дела, а возможно, и не способен его понять.

Такой субъект или объект принято называть **формальным исполнителем.** Примером формального исполнителя может служить стиральная машина-автомат, которая неукоснительно исполняет предписанные ей действия, даже если вы забыли положить в нее порошок. Человек тоже может выступать в роли формального исполнителя, но в первую очередь формальными исполнителями являются различные автоматические устройства, и компьютер в том числе. **Каждый алгоритм создается в расчете на вполне конкретного исполнителя.** Те действия, которые может совершать исполнитель, называются его **допустимыми**

действиями. Совокупность допустимых действий образует **систему команд исполнителя.** Алгоритм должен содержать только те действия, которые допустимы для данного исполнителя.

Объекты, над которыми исполнитель может совершать действия, образуют так называемую **среду исполнителя.** Для алгоритмов, встречающихся в математике, средой того или иного исполнителя могут быть числа разной природы - натуральные, действительные и т.п., буквы, буквенные выражения, уравнения, тождества и т.п.

Алгоритм — это точное предписание, которое определяет процесс, ведущий от исходных данных к требуемому конечному результату. Алгоритмами, например, являются правила сложения, умножения, решения алгебраических уравнений, умножения матриц и т.п.

Применительно к ЭВМ алгоритм определяет вычислительный процесс, начинающийся с обработки некоторой совокупности возможных исходных данных и направленный на получение определенных этими исходными данными результатов. Термин **вычислительный процесс** распространяется и на обработку других видов информации, например, символьной, графической или звуковой.

Если вычислительный процесс заканчивается получением результатов, то говорят, что соответствующий алгоритм применим к рассматриваемой совокупности исходных данных. В противном случае говорят, что алгоритм неприменим к совокупности исходных данных. Любой применимый алгоритм обладает следующими **основными свойствами:**

Результативность означает возможность получения результата после выполнения конечного количества операций.

Определенность состоит в совпадении получаемых результатов независимо от пользователя и применяемых технических средств.

Массовость заключается в возможности применения алгоритма к целому классу однотипных задач, различающихся конкретными значениями исходных данных.

Дискретность (прерывность, раздельность) - алгоритм должен представлять процесс решения задачи как последовательное выполнение простых (или ранее определенных) шагов. Каждое действие, предусмотренное алгоритмом, исполняется только после того, как закончилось исполнение предыдущего.

На основании этих свойств иногда дается определение алгоритма, например:

“Алгоритм – это последовательность математических, логических или вместе взятых операций, отличающихся детерминированностью, массовостью, направленностью и приводящая к решению всех задач данного класса за конечное число шагов.”

Для задания алгоритма необходимо описать следующие его элементы:

- набор объектов, составляющих совокупность возможных исходных данных, промежуточных и конечных результатов;
- правило начала;
- правило непосредственной переработки информации (описание последовательности действий);
- правило окончания;
- правило извлечения результатов.

Алгоритм всегда рассчитан на конкретного исполнителя. В нашем случае таким исполнителем является ЭВМ. Для обеспечения возможности реализации на ЭВМ алгоритм должен быть описан на языке, понятном компьютеру, то есть на языке программирования.

Таким образом, можно дать следующее определение программы.

Программа для ЭВМ представляет собой описание алгоритма и данных на некотором языке программирования, предназначенное для последующего автоматического выполнения

Решение поставленных практикой задач математическими методами основано на абстрагировании – мы выделяем ряд существенных признаков, характерных для некоторого круга явлений, и строим на основании этих

признаков математическую модель, отбрасывая несущественные признаки каждого конкретного явления. В этом смысле любая математическая модель обладает свойством массовости. Если в рамках построенной модели мы решаем задачу и решение представляем в виде алгоритма, то решение будет “массовым” благодаря природе математических методов, а не благодаря “массовости” алгоритма.

Алгоритм – искусственная конструкция, которую мы сооружаем для достижения своих целей. Чтобы алгоритм выполнил свое предназначение, его необходимо строить по определенным правилам.

Первое правило – при построении алгоритма прежде всего необходимо задать множество объектов, с которыми будет работать алгоритм. Формализованное (закодированное) представление этих объектов носит название данных. Алгоритм приступает к работе с некоторым набором данных, которые называются входными, и в результате своей работы выдает данные, которые называются выходными. Таким образом, алгоритм преобразует входные данные в выходные.

Это правило позволяет сразу отделить алгоритмы от “методов” и “способов”. Пока мы не имеем формализованных входных данных, мы не можем построить алгоритм.

Второе правило – для работы алгоритма требуется память. В памяти размещаются входные данные, с которыми алгоритм начинает работать, промежуточные данные и выходные данные, которые являются результатом работы алгоритма. Память является дискретной, т.е. состоящей из отдельных ячеек. Поименованная ячейка памяти носит название переменной. В теории алгоритмов размеры памяти не ограничиваются, т. е. считается, что мы можем предоставить алгоритму любой необходимый для работы объем памяти.

Третье правило – дискретность. Алгоритм строится из отдельных шагов (действий, операций, команд). Множество шагов, из которых составлен алгоритм, конечно.

Четвертое правило – детерминированность. После каждого шага необходимо указывать, какой шаг выполняется следующим, либо давать команду остановки.

Пятое правило – сходимость (результативность). Алгоритм должен завершать работу после конечного числа шагов. При этом необходимо указать, что считать результатом работы алгоритма.

Любая работа на компьютере – это есть обработка информации. Работу компьютера можно схематически изобразить следующим образом:

Компьютер преобразует информацию по определенным правилам. Эти правила (операции, команды) заранее занесены в память компьютера. В совокупности эти правила преобразования информации называются алгоритмом. Данные, которые поступают в компьютер, называются входными данными. Результат работы компьютера – выходные данные. Таким образом, алгоритм преобразует входные данные в выходные:

Трактовка работы алгоритма как преобразования входных данных в выходные естественным образом подводит нас к рассмотрению понятия “постановка задачи”. Для того, чтобы составить алгоритм решения задачи, необходимо из условия выделить те величины, которые будут входными данными и четко сформулировать, какие именно величины требуется найти. Другими словами, условие задачи требуется сформулировать в виде “Дано ... Требуется” – это и есть постановка задачи.

Виды алгоритмов как логико-математических средств отражают указанные компоненты человеческой деятельности и тенденции, а сами алгоритмы в зависимости от цели, начальных условий задачи, путей ее решения, определения действий исполнителя подразделяются следующим образом:

Механические алгоритмы, или иначе детерминированные, жесткие (например алгоритм работы машины, двигателя и т.п.);

Гибкие алгоритмы, например стохастические, т.е. вероятностные и эвристические.

Механический алгоритм задает определенные действия, обозначая их в единственной и достоверной последовательности, обеспечивая тем самым однозначный требуемый или искомый результат, если выполняются те условия процесса, задачи, для которых разработан алгоритм.

Вероятностный (стохастический) алгоритм дает программу решения задачи несколькими путями или способами, приводящими к вероятному достижению результата.

Эвристический алгоритм (от греческого слова “эврика”) – это такой алгоритм, в котором достижение конечного результата программы действий однозначно не предопределено, так же как не обозначена вся последовательность действий, не выявлены все действия исполнителя. К эвристическим алгоритмам относят, например, инструкции и предписания. В этих алгоритмах используются универсальные логические процедуры и способы принятия решений, основанные на аналогиях, ассоциациях и прошлом опыте решения схожих задач.

Линейный алгоритм – набор команд (указаний), выполняемых последовательно во времени друг за другом.

Разветвляющийся алгоритм – алгоритм, содержащий хотя бы одно условие, в результате проверки которого ЭВМ обеспечивает переход на один из двух возможных шагов.

Циклический алгоритм – алгоритм, предусматривающий многократное повторение одного и того же действия (одних и тех же операций) над новыми исходными данными. К циклическим алгоритмам сводится большинство методов вычислений, перебора вариантов.

Цикл программы – последовательность команд (серия, тело цикла), которая может выполняться многократно (для новых исходных данных) до удовлетворения некоторого условия.

Структурная (блок-, граф-) схема алгоритма – графическое изображение алгоритма в виде схемы связанных между собой с помощью стрелок (линий перехода) блоков – графических символов, каждый из

которых соответствует одному шагу алгоритма. Внутри блока дается описание соответствующего действия.

Графическое изображение алгоритма широко используется перед программированием задачи вследствие его наглядности, т.к. зрительное восприятие обычно облегчает процесс написания программы, ее корректировки при возможных ошибках, осмысливание процесса обработки информации.

Принцип программирования “сверху вниз” требует, чтобы блок-схема поэтапно конкретизировалась и каждый блок “расписывался” до элементарных операций. Но такой подход можно осуществить при решении несложных задач. При решении сколько-нибудь серьезной задачи блок-схема “расползется” до такой степени, что ее невозможно будет охватить одним взглядом.

Блок-схемы алгоритмов удобно использовать для объяснения работы уже готового алгоритма, при этом в качестве блоков берутся действительно блоки алгоритма, работа которых не требует пояснений. Блок-схема алгоритма должна служить для упрощения изображения алгоритма, а не для усложнения.

1.3. Способы описания алгоритмов.

Порядок выполнения алгоритма:

- Действия в алгоритме выполняются в порядке их записи
- Нельзя менять местами никакие два действия алгоритма
- Нельзя не закончив одного действия переходить к следующему

Для записи алгоритмов используются специальные языки:

- Естественный язык (словесная запись)
- Формулы
- Псевдокод

- Структурограммы
- Синтаксические диаграммы
- Графический (язык блок-схем)

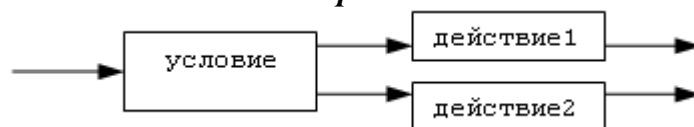
Естественный язык:

если условие то действие1 иначе действие2

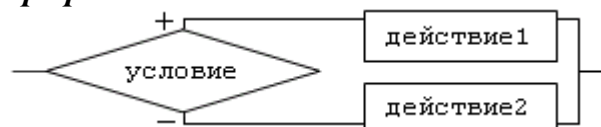
Структурограмма:



Синтаксическая диаграмма:

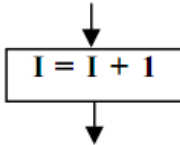
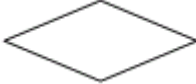
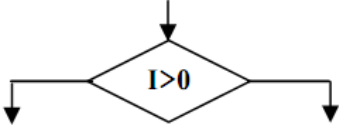

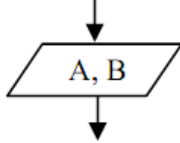

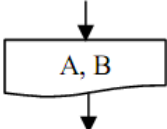

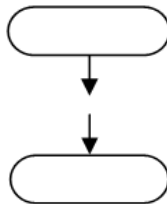
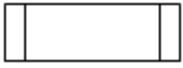

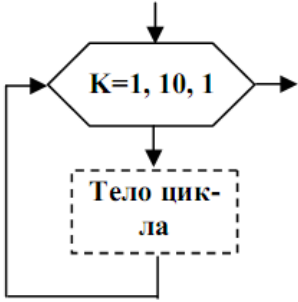





Графический язык:



Структурная (блок-, граф-) схема алгоритма – графическое изображение алгоритма в виде схемы связанных между собой с помощью стрелок (линий перехода) блоков – графических символов, каждый из которых соответствует одному шагу алгоритма. Внутри блока дается описание соответствующего действия.

Название	Символ (рисунок)		Выполняемая функция (пояснение)
1. Блок вычислений			Выполняет вычислительное действие или группу действий

			
2. Логический блок			Выбор направления выполнения алгоритма в зависимости от условия
3. Блоки ввода/вывода			Ввод или вывод данных вне зависимости от физического носителя
			Вывод данных на печатающее устройство
4. Начало/конец (вход/выход)			Начало или конец программы, вход или выход в подпрограмму
5. Предопределенный процесс			Вычисления по стандартной или пользовательской подпрограмме
6. Блок модификации			Выполнение действий, изменяющих пункты алгоритма
7. Соединитель			Указание связи между прерванными линиями в пределах одной страницы

8. Межстраничный соединитель		Указание связи между частями схемы, расположенной на разных страницах
------------------------------	---	---

Графическое изображение алгоритма широко используется перед программированием задачи вследствие его наглядности, т.к. зрительное восприятие обычно облегчает процесс написания программы, ее корректировки при возможных ошибках, осмысливание процесса обработки информации.

Принцип программирования «сверху вниз» требует, чтобы блок-схема поэтапно конкретизировалась и каждый блок «расписывался» до элементарных операций. Но такой подход можно осуществить при решении несложных задач. При решении сколько-нибудь серьезной задачи блок-схема «расползется» до такой степени, что ее невозможно будет охватить одним взглядом.

Блок-схемы алгоритмов удобно использовать для объяснения работы уже готового алгоритма, при этом в качестве блоков берутся действительно блоки алгоритма, работа которых не требует пояснений. Блок-схема алгоритма должна служить для упрощения изображения алгоритма, а не для усложнения.

Блок-схема выстраивается в одном направлении либо сверху вниз, либо слева направо. Все повороты соединительных линий выполняются под углом 90 градусов

Одним из свойств алгоритма является **дискретность** — возможность расчленения процесса вычислений, предписанных алгоритмом, на отдельные этапы, возможность выделения участков программы с определенной структурой. Можно выделить и наглядно представить графически три простейшие структуры:

- последовательность двух или более операций;
- выбор направления;

- повторение.

Любой вычислительный процесс может быть представлен как комбинация этих элементарных алгоритмических структур. Соответственно, вычислительные процессы, выполняемые на ЭВМ по заданной программе, можно разделить на три основных вида:

- линейные;
- ветвящиеся;
- циклические.

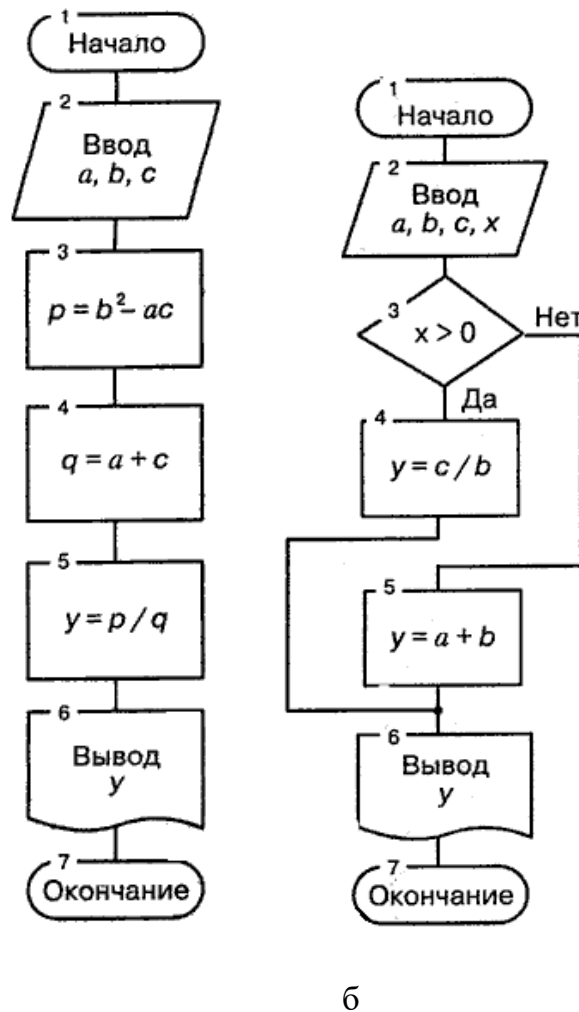


Рис.1. Примеры алгоритмов: а) линейный алгоритм; б) ветвящийся алгоритм

Линейным принято называть вычислительный процесс, в котором операции выполняются последовательно, в порядке их записи. Каждая операция является самостоятельной, независимой от каких-либо условий. На

схеме блоки, отображающие эти операции, располагаются в линейной последовательности.

Линейные вычислительные процессы имеют место, например, при вычислении арифметических выражений, когда имеются конкретные числовые данные и над ними выполняются соответствующие условию задачи действия. На рис. 1, а показан пример линейного алгоритма, определяющего процесс вычисления арифметического выражения

$$y=(b^2-ac):(a+c).$$

Вычислительный процесс называется *ветвящимся*, если для его реализации предусмотрено несколько направлений (ветвей). Каждое отдельное направление процесса обработки данных является отдельной ветвью вычислений. Ветвление в программе — это выбор одной из нескольких последовательностей команд при выполнении программы. Выбор направления зависит от заранее определенного признака, который может относиться к исходным данным, к промежуточным или конечным результатам. Признак характеризует свойство данных и имеет два или более значений.

Ветвящийся процесс, включающий в себя две ветви, называется *простым*, более двух ветвей — *сложным*. Сложный ветвящийся процесс можно представить с помощью простых ветвящихся процессов.

Направление ветвления выбирается логической проверкой, в результате которой возможны два ответа: «да» — условие выполнено и «нет» — условие не выполнено.

Следует иметь в виду, что, хотя на схеме алгоритма должны быть показаны все возможные направления вычислений в зависимости от выполнения определенного условия (или условий), при однократном прохождении программы процесс реализуется только по одной ветви, а остальные исключаются. Любая ветвь, по которой осуществляются вычисления, должна приводить к завершению вычислительного процесса.

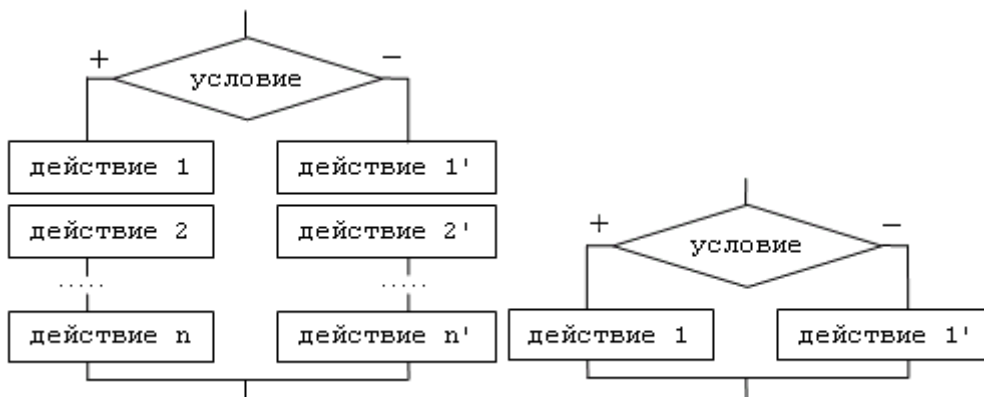
На рис. 1,б показан пример алгоритма с разветвлением для вычисления следующего выражения:

$$Y = (a+b), \text{ если } X < 0;$$

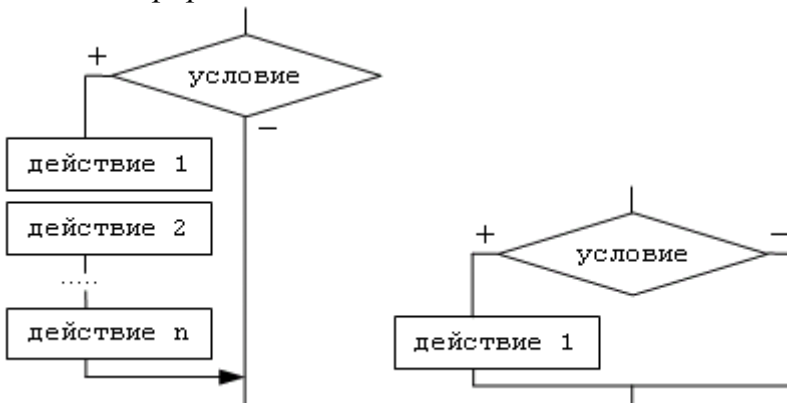
$$c/b, \text{ если } X > 0.$$

Алгоритмическая конструкция ветвления – запись ветвления выполняется в двух формах: полной и неполной.

Полная форма:



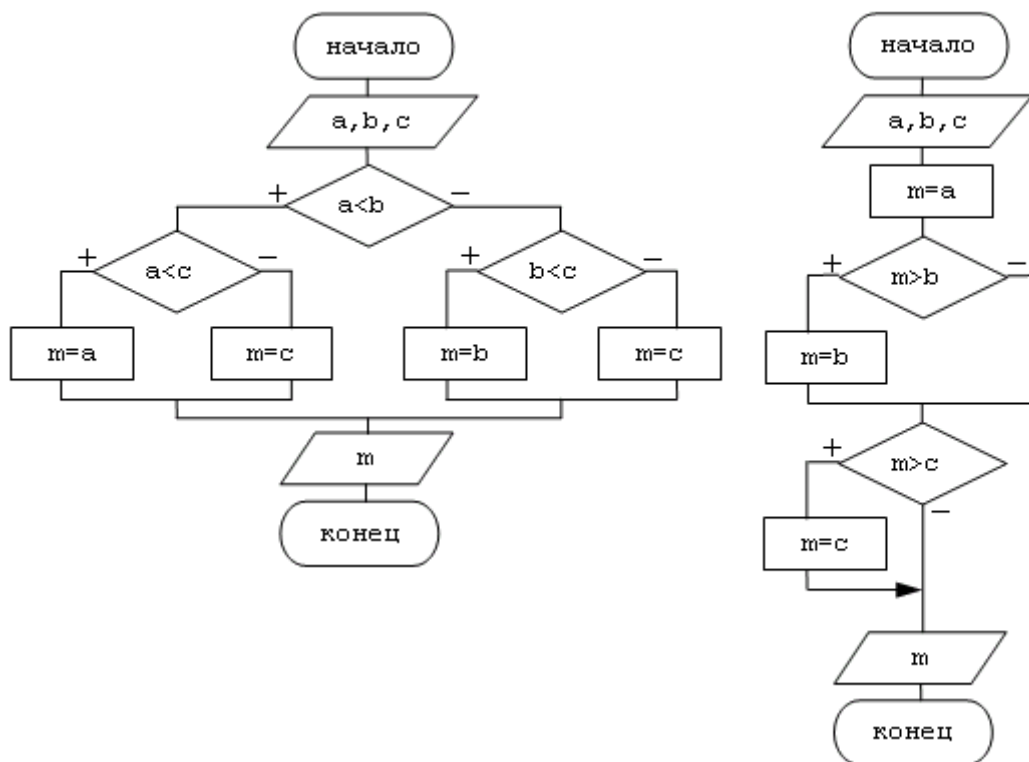
Неполная форма:



Пример: найти наименьшее из трех чисел.

1 вариант решения:

2 вариант решения:



1.4. Этапы подготовки и решения задач

В процессе подготовки и решения на ПК научно-инженерных задач можно выделить следующие *этапы*:

- **Постановка задачи**
 - Формулировка и анализ физической задачи
 - Составление математической модели
 - Составление алгоритма задачи
- **Создание программы**
 - Составление текста программы
 - Ввод текста программы в компьютер
 - Синтаксическая отладка программы
 - Тестирование и семантическая отладка
 - Документирование программы
- **Запуск готовой программы и анализ полученных результатов**
 - Отладка программы;

- Решение задачи на ПК и анализ результатов.

Перечисленные этапы связаны друг с другом. Например, анализ результатов может показать необходимость внесения изменений в программу; алгоритм или даже в постановку задачи.

Постановка задачи. На данном этапе формулируется цель решения задачи и подробно описывается ее содержание. Анализируются характер и сущность всех величин, используемых в задаче, и определяются условия, при которых она решается. Корректность постановки задачи является важным моментом, так как от нее в значительной степени зависят другие этапы.

Математическое описание задачи. Настоящий этап характеризуется математической формализацией задачи, при которой существующие соотношения между величинами, определяющими результат, выражаются посредством математических формул. Так формируется математическая модель явления с определенной точностью, допущениями и ограничениями. При этом в зависимости от специфики решаемой задачи могут быть использованы различные разделы математики и других дисциплин.

Математическая модель должна удовлетворять, по крайней мере, двум требованиям: реалистичности и реализуемости. Под *реалистичностью* понимается правильное отражение моделью наиболее существенных *черт* исследуемого явления.

Формулировка и анализ физической задачи. *Формулировка задачи* – это само её объявление, её постановка.

Но просто формулировка ничем не поможет программистам. Для этого и существует второй подэтап – это анализ задачи.

Анализ задачи – это подробный просмотр задачи с определением и выявлением входной и выходной информации. (*Входная информация по задаче* — это данные, поступающие на вход задачи и используемые для её решения. *Выходная информация* – это результат.)

После проведения анализа поставленной задачи программисту более или менее понятно, с какими проблемами ему придется столкнуться.

Составление математической модели. Для более четкого понимания рассмотрим определения математической модели:

«Математическая модель - система уравнений и концепций, используемых для описания и прогнозирования данного феномена или поведения объекта.»

Математические модели находят как практическое, так и теоретическое применение (иногда одновременно). Практические задачи, в которых используются математические модели, включают создание новых материалов, предсказание погоды, проверку прочности мостов, самолетов и тому подобного» - это определение используется в физике, химии и математической биологии.

Математическая модель в программировании – это система математических соотношений, приближенно отражающий сформулированную задачу. И она позволяет осуществить предварительный выбор оптимальных вариантов решений по определенным критериям.

Создание математической модели не занимает много времени, т.к. задача подробно разобрана по предыдущему пункту.

Реализуемость достигается разумной абстракцией, отвлечением от второстепенных деталей, чтобы свести задачу к проблеме с известным решением. Условием реализуемости является возможность практического выполнения необходимых вычислений за отведенное время при доступных затратах требуемых ресурсов.

Выбор и обоснование метода решения. Модель решения задачи с учетом ее особенностей должна быть доведена до решения при помощи конкретных методов решения. Само по себе математическое описание задачи в большинстве случаев трудно перевести на язык машины. Выбор и использование метода решения задачи позволяет привести решение задачи к конкретным машинным операциям. При обосновании выбора метода необходимо учитывать различные факторы и условия, в том числе точность

вычислений, время решения задачи на ПК, требуемый объем памяти и другие.

Одну и ту же задачу можно решить различными методами, при этом в рамках каждого метода можно составить различные алгоритмы.

Алгоритмизация вычислительного процесса. На данном этапе составляется алгоритм решения задачи согласно действиям, задаваемым выбранным методом решения. Процесс обработки данных разбивается на отдельные относительно самостоятельные блоки, и устанавливается последовательность выполнения блоков. Разрабатывается блок-схема алгоритма.

Составление алгоритма задачи

У алгоритма есть два обязательных условия:

1) Алгоритм должен быть представлен в форме, понятной человеку, который его разрабатывает.

2) Алгоритм должен быть представлен в форме, понятной тому объекту (в том числе и человеку), который будет выполнять описанные в алгоритме действия.

Составление программы. При составлении программы алгоритм решения задачи переводится на конкретный язык программирования. Для программирования обычно используются языки высокого уровня, поэтому составленная программа требует перевода ее на машинный язык. После такого перевода выполняется уже соответствующая машинная программа.

Это, наверное, самый сложный из этапов, требующий наибольшего внимания. По сути, составление текста программы – это запись алгоритма задачи при помощи одного из языков программирования. Чтобы этот текст был понятен пользователю и составителю, используются комментарии.

Отладка программы. Отладка заключается в поиске и устранении синтаксических и логических ошибок в программе.

В ходе синтаксического контроля программы транслятором выявляются конструкции и сочетания символов, недопустимые с точки зрения правил их

построения или написания, принятых в данном языке. Сообщения об ошибках выдаются программисту, при этом вид и форма выдачи подобных сообщений зависят от вида языка и версии используемого транслятора.

После устранения синтаксических ошибок проверяется логика работы программы в процессе ее выполнения с конкретными исходными данными. Для этого используются специальные методы, например, в программе выбираются контрольные точки, для которых вручную рассчитываются промежуточные результаты. Эти результаты сверяются со значениями, получаемыми ПК в данных точках при выполнении отлаживаемой программы. Кроме того, для поиска ошибок могут быть использованы отладчики, выполняющие специальные действия на этапе отладки, например, удаление, замена или вставка отдельных операторов или целых фрагментов программы, вывод или изменение значений заданных переменных.

Решение задачи на ПК и анализ результатов. После отладки программы ее можно использовать для решения прикладной задачи. При этом обычно выполняется многократное решение задачи на ПК для различных наборов исходных данных. Получаемые результаты интерпретируются и анализируются специалистом или пользователем, поставившим задачу.

Синтаксическая отладка программы. *Отладка программы* — это специальный этап в разработке программы, состоящий в выявлении и устранении программных ошибок, факт существования которых уже установлен.

Синтаксическая отладка – поиск синтаксических ошибок в тексте программы. Обнаружив ошибку, транслятор выводит сообщение, указывая на место ошибки в программе и ее характер. Получив такое сообщение, программист должен исправить ошибку и снова повторить трансляцию. Так продолжается до тех пор, пока не будут исправлены все синтаксические ошибки.

Если вы сталкиваетесь с синтаксической ошибкой, то чаще всего вы можете решить проблему с помощью справочной системы, из которой можно получить дополнительную информацию об ошибке, и исправить эту ошибку, уделив дополнительное внимание точному синтаксису используемых вами функций, объектов, методов и свойств.

Тестирование и семантическая отладка. Тестирование – это динамический контроль программы, т.е. проверка правильности программы при ее выполнении на компьютере. На этот этап приходится около 50% общей стоимости разработки программного обеспечения.

Основные принципы организации тестирования:

1. необходимой частью каждого теста должно являться описание ожидаемых результатов работы программы, чтобы можно было быстро выяснить наличие или отсутствие ошибки в ней;

2. следует по возможности избегать тестирования программы ее автором, т.к. кроме уже указанной объективной сложности тестирования для программистов здесь присутствует и тот фактор, что обнаружение недостатков в своей деятельности противоречит человеческой психологии (однако отладка программы эффективнее всего выполняется именно автором программы);

3. по тем же соображениям организация - разработчик программного обеспечения не должна “единолично ” его тестировать (должны существовать организации, специализирующиеся на тестировании программных средств);

4. должны являться правилом доскональное изучение результатов каждого теста, чтобы не пропустить малозаметную на поверхностный взгляд ошибку в программе;

5. необходимо тщательно подбирать тест не только для правильных (предусмотренных) входных данных, но и для неправильных (непредусмотренных);

6. при анализе результатов каждого теста необходимо проверять, не делает ли программа того, что она не должна делать;

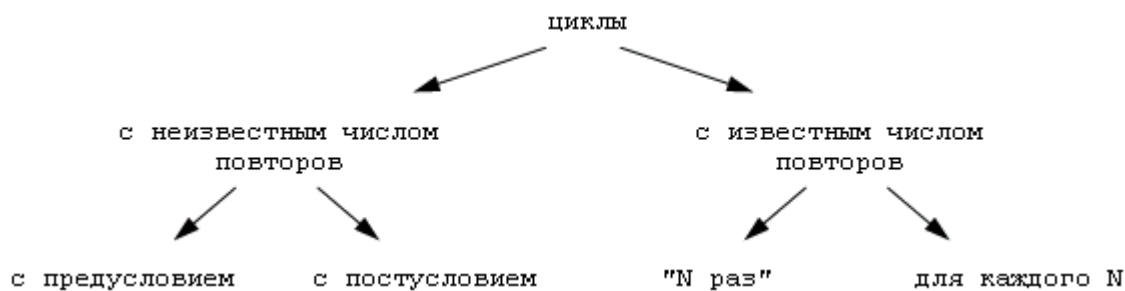
7. следует сохранять использованные тесты (для повышения эффективности повторного тестирования программы после ее модификации или установки у заказчика);

8. тестирования не должно планироваться исходя из предположения, что в программе не будут обнаружены ошибки (в частности, следует выделять для тестирования достаточные временные и материальные ресурсы);

9. следует учитывать так называемый “принцип скопления ошибок” : вероятность наличия не обнаруженных ошибок в некоторой части программы прямо пропорциональна числу ошибок, уже обнаруженных в этой части;

10. следует всегда помнить, что тестирование - творческий процесс, а не относиться к нему как к рутинному занятию.

Циклическими называются программы, содержащие циклы. **Цикл** — это многократно повторяемый участок программы.



В организации цикла можно выделить следующие **этапы**:

- подготовка (инициализация) цикла (**И**);
- выполнение вычислений цикла (тело цикла) (**Т**);
- модификация параметров (**М**);
- проверка условия окончания цикла (**У**).

Порядок выполнения этих этапов, например, **Т** и **М**, может изменяться. В зависимости от расположения проверки условия окончания цикла различают циклы с нижним и верхним окончаниями (рис. 2). Для цикла с

нижним окончанием (рис. 2, а) тело цикла выполняется как минимум один раз, так как сначала производятся вычисления, а затем проверяется условие выхода из цикла. В случае цикла с верхним окончанием (рис. 2, б) тело цикла может не выполниться ни разу в случае, если сразу соблюдается условие выхода.

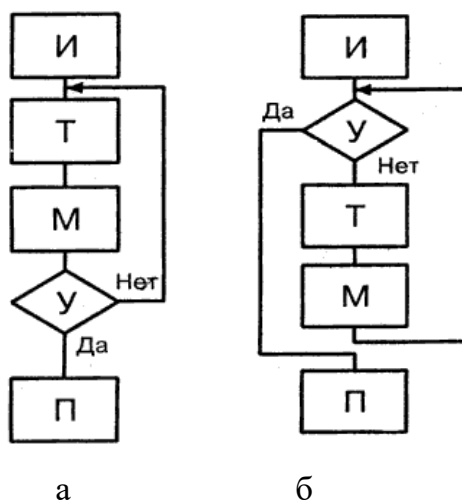


Рис.2. Примеры циклических алгоритмов

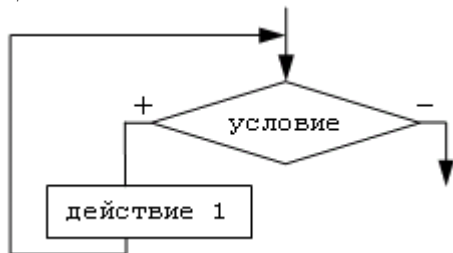
Цикл называется **детерминированным**, если число повторений тела цикла заранее известно или определено. Цикл называется **итерационным**, если число повторений тела цикла заранее неизвестно, а зависит от значений параметров (некоторых переменных), участвующих в вычислениях.

На рис. 3 показан пример циклического алгоритма вычисления суммы десяти чисел.



Рис. 3 Алгоритм нахождения суммы 10-ти чисел

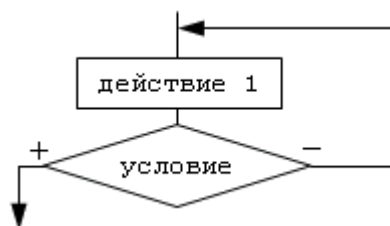
Цикл «пока»:



Выполнение цикла «пока» начинается с проверки условия, поэтому такую разновидность циклов называют циклы с предусловием. Переход к выполнению действия осуществляется только в том случае, если условие выполняется, в противном случае происходит выход из цикла. Можно сказать, что условие цикла «пока» - это условие входа в цикл. В частном случае может оказаться, что действие не выполнялось ни разу. Условие цикла необходимо подобрать так, чтобы действия, выполняемые в цикле привели к нарушению его истинности, иначе произойдет заикливание.

Заикливание - бесконечное повторение выполняемых действий.

Цикл «до»:



Исполнение цикла начинается с выполнения действия. Таким образом тело цикла будет реализовано хотя бы один раз. После этого происходит проверка условия. Поэтому цикл «до» называют циклом с постусловием. Если условие не выполняется, то происходит возврат к выполнению действий. Если условие истинно, то осуществляется выход из цикла. Таким образом, условие цикла «до» - это условие выхода. Для предотвращения заикливания необходимо предусмотреть действия, приводящие к истинности условия.

Цикл с параметром, или цикл со счетчиком, или арифметический цикл - это цикл с заранее известным числом повторов.



В блоке модификации указывается закон изменения переменной параметра.

X₀ - начальное значение параметра

h - шаг

X_n - последнее значение параметра

Для создания циклов с параметром необходимо использовать правила:

- параметр цикла, его начальное и конечное значения и шаг должны быть одного типа
- запрещено изменять в теле цикла значения начальное, текущее и конечное для параметра
- запрещено входить в цикл минуя блок модификации

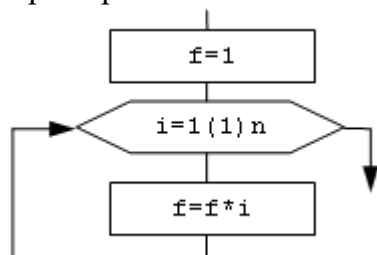
- если начальное значение больше конечного, то шаг - число отрицательное
- после выхода из цикла значение переменной параметра неопределенно и не может использоваться в дальнейших вычислениях
- из цикла можно выйти, не закончив его, тогда переменная параметр сохраняет свое последнее значение

Использование циклов с параметром для обработки массивов.

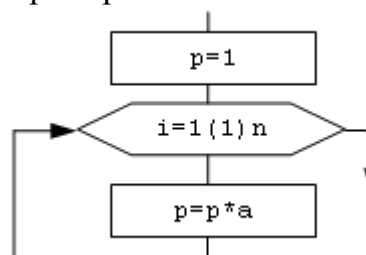
Массив - упорядоченная структура, предназначенная для хранения однотипных данных. Упорядочение элементов в массиве происходит по их индексам. **Индекс** - порядковый номер элемента. Массив задается именем (заглавные латинские буквы), типом данных и размерностью. **Размерность** - максимально возможное количество элементов в массиве. В один момент времени можно обратиться только к одному элементу массива. Для этого указывается имя массива и в скобках индекс элемента. Массивы делятся на одномерные (линейные) и двумерные.

Прообразом в математике для одномерного массива является вектор. Для двумерного - матрица.

Пример: вычислить $n!$



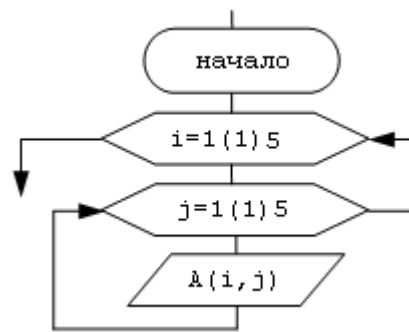
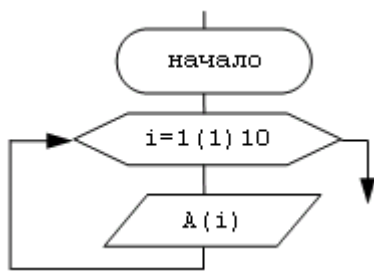
Пример: вычислить a^n



Пример: ввести элементы массива:

а) одномерного, размерности 10

б) двумерного, 5x5



2. МЕТЕОРОЛОГИЧЕСКАЯ ИНФОРМАЦИЯ

В основе информационного обеспечения потребителей лежит технология, состоящая из четырех основных систем: получения, сбора обработки информации и доведения продукции до потребителей. Система получения гидрометеорологической и гелиогеофизической информации и информации о загрязнении окружающей среды Росгидромета подразделяется на наземную и космическую подсистемы.

Наземная подсистема получения данных включает:

- Центры по гидрометеорологии и мониторингу окружающей среды,
- Гидрометеорологические центры,
- Гидрометеорологические обсерватории,
- Гидрометеорологические бюро,
- Авиационные метеорологические центры,
- Сотни авиаметеорологических станций,
- Тысячи гидрометеорологических станций и постов,
- Более сотни аэрологических станций, действующие станции в Антарктиде,
- Ионосферно-магнитные, озонотрические и радиотрические станции,
- Станции контроля загрязнения атмосферного воздуха.

Плотность пунктов метеорологических наблюдений в России составляет 1 пункт на 9.4 тыс. кв. км (в 1992 г. – на 8.8 тыс. кв. км), что явно недостаточно. Для сравнения, в США 1 пункт приходится на 0.9 тыс. кв. км, в Китае – на 2.6 тыс. кв. км, во Франции – на 3.6 тыс. кв. км.

Приземных метеорологических станций в количественном отношении значительно больше, чем аэрологических. Лишь 10% станций зондируют атмосферу до высот 30-40 км, 1% – до 100 км (с помощью метеорологических ракет). Из этих станций 10 % аэрологических станций

половина расположена между 30 и 50 °с.ш. Между 10 °ю.ш. и 10 °с.ш., где расположено 35% площади планеты, находится лишь 5% аэрологических станций. Часть станций относят к опорным. Как правило, это длиннорядные репрезентативные (от франц. *representatif* – показательный) станции. Они передают информацию в международном масштабе, образуя международную метеорологическую сеть (около 8000 станций).

Каждая метеорологическая станция (а их на Земном шаре насчитывается около 10 тыс. опорных, 40 тыс. обычных и 140 тыс. метеорологических постов) имеет пятизначный индексный номер, включающий номер "Большого Района" и собственно номер станции в его пределах. Границами Больших районов служат параллели и меридианы, либо государственные границы.

Метеорологическая станция должна располагаться в месте, удовлетворяющем требованиям в отношении рельефа местности, близости зданий и населённых пунктов. Метеорологическая станция оборудуется стандартной для данной сети аппаратурой, с помощью которой производятся наблюдения в установленные сроки и в определённой последовательности. Типы метеорологических приборов, правила их установки, порядок наблюдений, особенности их обработки предусмотрены специальными наставлениями и руководствами.

В России метеорологические станции делятся на 3 разряда. Метеорологические станции 1 разряда, кроме круглосуточных наблюдений за погодой и обработки информации, осуществляют техническое руководство работой прикреплённых к ним метеорологических станций 2 и 3 разрядов и метеорологических постов. Кроме этого, на метеорологические станции 1 разряда возложено гидрометеорологическое обслуживание заинтересованных организаций.

В обязанности метеорологических станций 2 разряда входят круглосуточные наблюдения за погодой и передача информации.

Метеорологические станции 3 разряда производят наблюдения по сокращённой программе и в меньшее число сроков.

Полученная гидрометеорологическая информация и информация о загрязнении окружающей среды поступает в центры её обработки и анализа – в Гидрометеорологический Центр России, региональные метеорологические центры, другие специализированные центры. Данные анализа и расчётов распространяются по каналам связи в гидрометеорологические центры и центры по гидрометеорологии и мониторингу окружающей среды (УГМС), где на основе этих данных готовится конечная продукция (общего пользования и специализированная).

2.1. Требования к гидрометеорологической информации

Информация о погоде, с которой работают метеорологи, может быть первичной и вторичной. Первичная информация – это информация о текущей и прошедшей погоде, получаемая непосредственно в результате метеорологических наблюдений. Вторичная информация – информация о погоде в виде сводок, синоптических карт, аэрологических диаграмм, карт облачности и др.

Первичная информация должна отвечать следующим требованиям: глобальность, трёхмерность, комплексность, синхронность, регулярность и оперативность.

•**Глобальность.** Метеорологическая информация должна поступать в прогностические центры с прилегающих территорий, соизмеримых с размерами океанов и континентов, что определяется масштабностью и довольно быстрой перестройкой атмосферных процессов.

•**Трёхмерность.** Данные должны характеризовать состояние атмосферы как у Земли, так и на различных уровнях атмосферы.

•**Комплексность.** В состав наблюдений должен входить комплекс наблюдений за погодой – давление, температура и влажность воздуха, ветер,

осадки, явления погоды. Это определяется необходимостью выявления закономерностей развития атмосферных процессов.

•**Синхронность и регулярность.** Станции должны быть оснащены необходимым минимумом стандартных поверенных приборов. Наблюдения должны быть проведены по однотипной программе и в единые физические моменты времени – в установленные сроки, что позволяет производить объективный их анализ, а также сбор и распространение метеорологической информации.

•**Оперативность.** Для оптимального использования информации в прогностической практике, она должна поступать потребителю в минимально допустимые сроки. Поэтому метеорологические подразделения должны быть оснащены совершенными средствами связи для немедленной передачи результатов наблюдений.

•**Репрезентативность** станции является важным требованием (наблюдения на станции должны быть характерными для данного района).

Метеорологические наблюдения включают измерения числовых значений метеорологических элементов и их колебаний, а также оценки качественных характеристик атмосферных явлений. Наблюдения непосредственно проводятся над такими элементами погоды, как атмосферное давление, температура и влажность воздуха, направление и скорость ветра, шквалы, смерчи, пыльные и песчаные бури, облачность (по количеству и формам), количество и вид выпадающих осадков, метели, грозы, видимость и явления её ухудшающие – мгла, дымка, туман и др., продолжительность солнечного сияния, температура и состояние почвы, высота и состояние снежного покрова и др.

2.2. Виды гидрометеорологической продукции

К гидрометеорологической продукции относятся:

•Фактическая гидрометеорологическая и гелиогеофизическая информация, информация о загрязнении окружающей среды.

•Метеорологические прогнозы (стихийных явлений гидрометеорологических явлений; температуры воздуха, осадков, облачности, явлений погоды, направления и скорости ветра у Земли).

•Речные гидрологические прогнозы (уровня и расхода воды на реках, даты наступления ледовых явлений, водности рек и др.).

•Морские гидрологические прогнозы (ледовых условий, волнения, опасных явлений и др.).

•Агрометеорологические прогнозы (состояния озимых культур после перезимовки, запасов продуктивной влаги в метровом слое к началу весны, урожайности и др.).

•Авиационные прогнозы (погоды по аэродрому, особых явлений погоды и струйных течений для полета на больших и малых высотах, направления и скорости ветра на больших и малых высотах и др.).

•Гелиогеофизические прогнозы (вспышек на Солнце, геомагнитных бурь, уровня загрязнения околоземного космического пространства и др.).

•Режимно-справочная информация: режимно-справочные банки данных, включающих метеорологическую, аэрологическую, гидрологическую, океанографическую, морскую аэрометеорологическую, агрометеорологическую, синоптическую, актинометрическую, радиолокационную и др. виды информации; Государственный водный кадастр (систематизированный фонд данных о водных ресурсах, режиме, качестве и использовании вод, кадастр лавин).

•Продукция специализированных служб, к которым относятся служба предупреждения цунами (с тремя региональными центрами – во Владивостоке, Южно-Сахалинске и Петропавловске-Камчатском), противолавинная служба, гелиогеофизическая служба, служба мониторинга загрязнения окружающей среды.

2.3. Потребители гидрометеорологической информации:

- Население через средства массовой информации;
- Федеральные органы законодательной и исполнительной власти;
- Вооружённые силы;
- Гражданская авиация;
- Органы предупреждения и ликвидации чрезвычайных ситуаций;
- Транспорт (морской и речной железнодорожный и автомобильный);
- Сельское хозяйство;
- Топливо-энергетический комплекс;
- Строительство;
- Органы природно-ресурсного комплекса;
- Коммунальное хозяйство и другие структуры различных форм собственности.

Потребители обеспечиваются данными регулярных наблюдений на станциях и постах, всеми видами прогнозов, в том числе, предупреждениями о стихийных явлениях и экстремально высоком загрязнении окружающей Среды, многолетними гидрометеорологическими данными, оценками последствий изменения климата для отраслей экономики, данными гидрометеорологической экспертизы проектно-изыскательских работ.

Основой гидрометеорологического обеспечения различных потребителей являются данные наблюдений за различными элементами и явлениями погоды в атмосфере.

Гидрометеорологические данные получают из всех доступных районов Земли и всеми возможными способами – с наземных и морских метеорологических станций и постов, с помощью самолётов, шаров-пилотов и шаров-зондов, радиозондов, метеорологических ракет и искусственных спутников Земли. На каждой метеорологической станции в строго определённые сроки метеорологи-наблюдатели измеряют температуру, влажность воздуха, атмосферное давление, скорость и направление ветра,

определяют вид и количество осадков, фиксируют наличие метеорологических явлений, форму и количество облаков, оценивают высоту их нижней границы, горизонтальную дальность видимости.

3. ПРАКТИЧЕСКИЕ ЗАДАНИЯ

3.1. Элементы астрономии, используемые в метеорологии

Истинное солнечное время определяется по фактически наблюдаемому неравномерному движению центра диска Солнца. В астрономии оно отсчитывается от истинного полдня (астрономический счет) и обозначается τ . Истинный полдень - момент времени, когда солнце находится точно на юге, т.е., на меридиане данного места. В метеорологии для него принят гражданский счет от предыдущей полночи и вычисляется по формуле

$$\tau_{\odot} = \tau + 12 \text{ час } 00 \text{ мин} , \quad (1.1)$$

при этом τ принимается условно равным 0 ч. 00 мин.

Среднее солнечное время (местное) определяется по равномерному движению центра диска воображаемого среднего Солнца. В астрономии оно также отсчитывается от полдня и обозначается переменной t_m . В метеорологии оно отсчитывается от предыдущей полночи и обозначается переменной τ_m и находится из соотношения

$$\tau_m = \tau_{\odot} + \Delta\tau , \quad (1.2)$$

где $\Delta\tau$ - уравнение времени.

Значения τ_m , τ_{\odot} и τ округляют до минут.

Поясное время - среднее солнечное время на основном меридиане часового пояса. На любой долготе λ

$$\tau_{п} = \tau_m - \Delta\lambda , \quad (1.3)$$

где $\Delta\lambda$ - разность между заданной долготой и долготой основного меридиана ($\lambda_{ом}$),

$$\Delta\lambda = \lambda - \lambda_{\text{ом}}, \quad (1.4)$$

выраженная в единицах времени ($15^\circ=1$ час, $1^\circ=4$ мин, $1'=4$ сек).

Склонение δ - угол между плоскостью небесного экватора и направлением на солнце, отсчитываемый по кругу склонения. К северу от экватора δ считается положительным, к югу - отрицательным. Для любого момента суток принимается склонение, относящееся к истинному полдню этих суток. Полуденные склонения для определенной даты мало изменяются от года к году, поэтому при решении задач можно использовать затабулированные значения δ [1,2,4].

Часовой угол τ - угол между плоскостью меридиана и кругом склонения солнца, отсчитываемый от юга к западу (от 0 до 180°) или к востоку (от 0 до -180°). Он представляет собой истинное солнечное время по астрономическому счету, выраженное в угловой мере (1 час= 15° , 1 мин= $15'$).

Высота солнца h_{\odot} - угол между плоскостью горизонта и направлением на светило. На широте φ в момент τ истинного солнечного времени она находится из соотношения

$$\sin h_{\odot} = \sin\varphi \sin\delta + \cos\varphi \cos\delta \cos\tau, \quad (1.5)$$

где δ - склонение в истинный полдень данных суток. В истинный полдень любого дня

$$h_{\odot} = 90 - \varphi + \delta. \quad (1.6)$$

Время восхода и захода, азимуты солнца. Истинное солнечное время (по астрономическому счету) в момент восхода ($-\tau_0$) и захода ($+\tau_0$) определяется из соотношения:

$$\cos \tau_0 = - \operatorname{tg}\varphi \operatorname{tg}\delta. \quad (1.7)$$

Отсюда τ_0 находят в угловых единицах и переводят в единицы времени ($1^\circ=4$ мин, $1'=4$ сек). Затем, используя соотношение (1.1), переходят к истинному солнечному времени по гражданскому счету. Длина интервала между моментами восхода и захода представляет собой продолжительность дня.

Азимут солнца ψ_\odot в любой момент отсчитывается от юга к западу (от 0 до 180°) или от юга к востоку (от 0 до -180°) и находится из соотношения:

$$\sin \psi_\odot = (\cos \delta \sin \tau) / \cos h_\odot . \quad (1.8)$$

При расчетах по этой формуле нужно из двух возможных выбрать азимут, находящийся в той же четверти, что и часовой угол.

Задание 1

Разработать алгоритм и написать программу для расчета на ПК высоты Солнца (h_\odot) в Казани ($\varphi = 55^\circ 47'$, $\lambda = 49^\circ 8'$) в последовательные моменты поясного и среднесолнечного времени в течении суток определенного дня (22.06 и 22.12), принимая во внимание следующие условия:

$$22.06: \Delta\tau = 2', \delta = 23.4$$

$$22.12: \Delta\tau = -2', \delta = -23.4$$

$$PI = 3.14159265$$

Определить время восхода и захода солнца. Результаты вычислений представить в табличном виде.

3.2. Предварительные сведения об основных метеорологических величинах

Температура воздуха характеризует его тепловое состояние. Она используется при сравнении этого состояния в разных точках атмосферы и в разные моменты. Температура выражается в градусах Международной

практической температурной шкалы МПТШ (°C) и в градусах термодинамической температурной шкалы ТТШ (°K). До недавнего времени, а в ряде стран и ныне, ее выражают также в градусах шкалы Реомюра (°R), шкалы Фаренгейта (°F) и Ренкина (°Re). В метеорологии температуру измеряют и вычисляют с точностью до десятых долей градуса. При теоретических расчетах ее чаще выражают в Кельвинах с той же точностью.

Таблица 1.

	°K	°C	°R	°F	°Re
Температура плавления чистого льда при нормальном давлении	273.15	0.0	0.0	32.0	491.67
Температура кипения воды при нормальном давлении	373.15	100.0	80.0	212.0	671.67

Задание 2

Написать программу, позволяющую переводить значение температуры из одной единицы измерения в другую. (Должен быть обеспечен сервис выбора).

Изменение температуры в каждой из шкал происходит линейно следовательно связь между ними так же линейная. Линейная связь предполагает существование прямой, которую можно задать с помощью двух точек. Это точка плавления и точка кипения. Уравнение прямой проходящей через 2 точки записывается так:

$$\frac{y - y_1}{y_2 - y_1} = \frac{x - x_1}{x_2 - x_1} \quad (2.1)$$

Пусть x - температура в известной шкале, y - температура в искомой шкале, тогда из (2.1) можно записать:

$$y = \frac{x - x_1}{x_2 - x_1}(y_2 - y_1) + y_1, \quad (2.2)$$

где x_1, x_2 - температура кипения воды и плавления льда для шкалы по которой было произведено измерение, а y_1, y_2 - температура кипения воды и плавления льда по шкале, в которую требуется перевести.

Контрольные вопросы.

1. В какой температурной шкале градус “крупнее”, а в какой “мельче”?
2. Может ли одна и та же температура в одной температурной шкале быть положительным числом, а в другой - отрицательным? Показать на примере.

Влажность воздуха. Водяной пар - это переменная составная часть атмосферы. Содержание водяного пара в атмосфере оценивается с помощью характеристик влажности воздуха, или гигрометрических величин, к которым относятся: давление водяного пара, абсолютная и относительная влажность, массовая доля водяного пара, отношение смеси, точка росы и дефициты давления и точки росы.

Парциальное давление водяного пара e (давление водяного пара или давление пара). При данной температуре давление водяного пара не может превышать некоторое предельное значение E , называемое давлением насыщения или давлением насыщенного водяного пара. Давление насыщения зависит от температуры (оно увеличивается с увеличением температуры). Единицы измерения гПа, при $t \geq 7 \text{ }^\circ\text{C}$ требуемая точность определения E - десятые доли, при ниже $t < 7 \text{ }^\circ\text{C}$ - сотые доли гПа. Для вычисления гигрометрических характеристик при отрицательных температурах величины E рассчитываются из условий равновесия водяного пара над плоской поверхностью льда (E_L).

Абсолютная влажность a - масса водяного пара в граммах в 1 м^3 влажного воздуха ($\text{г}/\text{м}^3$).

$$a = \frac{0.8e}{1 + \alpha t} , \quad (2.4)$$

где e - задается в гПа, α - объемный коэффициент теплового расширения газов ($\alpha = 3.66 \cdot 10^{-3} (\text{°C})^{-1} = 1/273.5$).

Точность a до десятых долей.

Относительная влажность f - отношение фактического давления водяного пара e к давлению насыщения E над плоской поверхностью чистой воды, выраженное в процентах:

$$f = \frac{e}{E} 100\% . \quad (2.5)$$

Массовая доля водяного пара s - количество водяного пара в граммах в 1 г влажного воздуха.

$$s = \frac{0.622e}{p - 0.378e} \approx 0.622 \frac{e}{p} . \quad (2.6)$$

где s - в долях единицы (либо в промилле (‰), если величину S помножить на 1000), e - парциальное давление, p - давление воздуха.

Массовое отношение водяного пара или отношение смеси r - отношение массы водяного пара в определенном объеме воздуха к массе сухого воздуха в том же объеме. Отношение смеси численно равно количеству водяного пара, приходящемуся на 1 г сухого воздуха.

$$r = 0.622 \frac{e}{p - e} . \quad (2.7)$$

Дефицит насыщения d - разность между давлением насыщения E при данной температуре и фактическим давлением водяного пара e :

$$d = E - e. \quad (2.8)$$

Точка росы τ - температура, при которой содержащийся в воздухе водяной пар при постоянных общем атмосферном давлении и массовой доле S становится насыщенным (по отношению к плоской поверхности воды). При данной температуре воздуха точка росы в зависимости от фактического давления водяного пара может принимать самые различные значения.

Психрометрическая формула. Насыщающая упругость водяного пара над водой (E_w) задается выражением

$$\begin{aligned} \lg E_w = & 10.79574 \cdot \left(1 - \frac{T_1}{T}\right) - 5.028 \cdot \lg \frac{T}{T_1} + 1.50475 \cdot 10^{-4} \cdot \left[1 - 10^{-8.2969 \left(\frac{T}{T_1} - 1\right)}\right] + \\ & + 0.42873 \cdot 10^{-3} \cdot \left[10^{4.76955 \left(1 - \frac{T_1}{T}\right)} - 1\right] + 0.78614. \end{aligned} \quad (2.9)$$

а насыщающая упругость пара над льдом (E_i) - выражением [4]

$$\lg E_i = -9.09685 \cdot \left(\frac{T_1}{T} - 1\right) - 3.56654 \cdot \lg \frac{T_1}{T} + 0.87682 \cdot \left(1 - \frac{T}{T_1}\right) + 0.78614. \quad (2.10)$$

Здесь $T_1 = 273.16$ °К ($t_1 = 0.01$ °С) - температура равновесия между водой, льдом и водяным паром (тройная точка воды); T - температура в градусах термодинамической температурной шкалы ($T = 273.15 + t$).

Упругость водяного пара, находится по формуле

$$e = E_w' - A_p(t - t')(1 + 0.00115 t'), \quad (2.11)$$

когда на батисте смоченного термометра отмечается вода, и в виде:

$$e = E_i' - 0.88229 A_p(t - t'), \quad (2.12)$$

когда на батисте смоченного термометра наблюдается лед.

В формулах (2.11) и (2.12) E_w' и E_i' - насыщающие упругости водяного

пара над плоской поверхностью чистых воды и льда при температуре смоченного термометра, рассчитанные по формулам (2.9) и (2.10) соответственно, с заменой $T = T' = 273.15 + t'$ А - психрометрический коэффициент, принятый равным $7.947 \cdot 10^{-4} \text{ } ^\circ\text{C}^{-1}$; p - давление воздуха.

Дополнительный член $(1 + 0.00115 t')$ в формуле (2.11) учитывает зависимость скрытой теплоты парообразования от температуры, а коэффициент 0.88229 в формуле (2.12) - отличие удельной теплоты сублимации от удельной теплоты конденсации.

Относительная влажность и дефицит упругости водяного пара вычисляются по отношению к воде.

Задание 3

Написать программу для расчета на ПК парциального давления водяного пара e , давления насыщения E , при известных показаниях сухого и смоченного термометров t и t' и атмосферном давлении p , с использованием психрометрических формул (2.9, 2.10). (Варианты исходных данных в таблице 2). Вычислить относительную влажность f , дефицит насыщения d , абсолютную влажность a , массовую долю s и массовое отношение r .

Возможно ли (при наличии достаточного числа ядер конденсации) образование тумана в воздухе при понижении температуры воздуха на 14°C ?

Таблица 2.

$t^\circ\text{C}$	$t'^\circ\text{C}$	p гПа	$t^\circ\text{C}$	$t'^\circ\text{C}$	p гПа
19.4	12.7	1026.7	16.4	9.8	1024.1
18.5	11.8	1017.8	12.3	6.1	1022.7
17.4	10.7	1028.9	17.6	11.2	1023.4
16.5	10.9	1018.3	16.2	10.8	1024.3
17.6	9.8	1022.4	21.3	17.5	1037.2
18.9	11.7	1016.7	18.2	11.1	1031.1

26.3	19.2	1018.9	16.4	10.1	1017.7
22.4	14.7	1024.7	19.7	11.8	1021.1
20.1	12.3	1017.3	13.9	6.1	1026.0

Контрольные вопросы

1. В каких пределах могут меняться e , d , f ? Могут ли они быть отрицательными? Какие предельные значения данных характеристик чаще встречаются в природе - верхние или нижние?
2. При какой температуре воздуха (высокой или низкой) одинаковое ее понижение приводит к более значительному уменьшению E ? Какие следствия этого факта наблюдаются в природе?
3. Можно ли, зная только относительную влажность, определить массу водяного пара (a) содержащегося в воздухе? Где абсолютная влажность больше: в тропических пустынях ($t = 45^{\circ}\text{C}$, $f = 2\%$) или в полярных районах ($t = -45^{\circ}\text{C}$, $f = 100\%$)

3.3. Основы статики атмосферы

Состояние каждого из атмосферных газов характеризуется значениями трех величин: температуры, давления и плотности (или удельного объема). Эти величины всегда связаны между собой некоторым уравнением, которое носит названия уравнения состояния газа.

Уравнение состояния сухого воздуха в метеорологии обычно записывается в виде:

$$\rho_c = \frac{p_c}{R_c T}, \quad (3.1)$$

где ρ_c - плотность сухого воздуха, p_c - атмосферное давление (Па), T - температура ($^{\circ}\text{K}$), R_c - удельная газовая постоянная сухого воздуха ($R_c =$

287.05 Дж/(кг К)). Значения ρ_c принято выражать в кг/м³ с точностью до тысячных.

Уравнение состояния водяного пара записывается в виде

$$\rho_{\Pi} = \frac{e}{R_n T} . \quad (3.2)$$

Здесь R_{Π} - удельная газовая постоянная водяного пара ($R_n = 461.51$ Дж/(кг К))

$$R_{\Pi} = 1.608 R_C , R_C = 0,622 R_{\Pi}$$

Уравнение вида

$$\rho_{\%} = \frac{p}{R_C T (1 + 0.608s)} \quad (3.3)$$

называется **уравнением состояния влажного воздуха**. Здесь $\rho_{вл}$ - плотность влажного воздуха, p - атмосферное давление (Па), T - температура (°К), R_C - удельная газовая постоянная сухого воздуха.

В метеорологии множитель $(1+0.608s)$ относят обычно к температуре и вводят при этом понятие **виртуальной температуры**.

Виртуальная температура воздуха (T_V) определяется по формуле:

$$T_V = T(1 + 0.608s) = T + 0.608Ts = T + \Delta T_V , \quad (3.4)$$

где T - температура воздуха (К), s - массовая доля водяного пара в долях единицы. Величина ΔT_V называется виртуальным добавком:

$$\Delta T_V = 0.608Ts \approx 0.378Te/p . \quad (3.5)$$

С учетом (3.4) уравнение состояния влажного воздуха принимает вид:

$$\rho_{вл} = \frac{p}{R_C T_V} . \quad (3.6)$$

Из сравнения уравнений состояний для плотности сухого и влажного

воздуха следует, что при одинаковых T и p , ρ_C всегда больше $\rho_{вл}$.

Вертикальный градиент давления G есть вектор скорости изменения давления с высотой, направленный в сторону его уменьшения. В метеорологии обычно выражается в гПа на 100 м (с точностью до десятых). Из основного уравнения статики при нормальном значении ускорения свободного падения получаем

$$G = 3.42 \frac{p}{T}, \quad (3.7)$$

где p задается в гПа, а T - в К.

Барическая ступень h выражается в м/гПа с точностью до десятых и вычисляется по формуле

$$h = \frac{100}{G} \quad (3.8)$$

или используя уравнение состояния влажного воздуха по формуле

$$h = \frac{1}{\rho g} = \frac{R_C T_V}{gp} = \frac{R_C 273(1 + \alpha t_V)}{gp} = \frac{7995}{p} (1 + \alpha t_V), \quad (3.9)$$

где α - объемный коэффициент теплового расширения газов ($\alpha = 1/273$).

Задание 4

Разработать алгоритм и составить программу для расчета плотности сухого и влажного воздуха ρ_C и $\rho_{вл}$, виртуальной температуры, барического градиента и барической ступени по известным значениям атмосферного давления P : 1013.0, 1000.0, 800.0, 600.0, 400.0 гПа. При каждом (фиксированном) значении P температура воздуха изменяется в пределах от -30 до 30° (через 10 °С), а относительная влажность воздуха при фиксированном значении T изменяется в пределах от 0 до 100 % через 20 %.

Контрольные вопросы

1. Дать физическое объяснение: почему при одинаковых давлении и температуре плотность влажного воздуха меньше, чем сухого?
2. Летом или зимой, днем или ночью, в сухом или влажном воздухе давление быстрее уменьшается с высотой? В какой воздушной массе (теплой или холодной) толщина слоя воздуха между изобарическими поверхностями 1000 и 800 гПа больше?

3.4. Лучистая энергия в атмосфере и на земной поверхности.

Приход солнечной радиации на земную поверхность. Прямая радиация на перпендикулярную (S) и горизонтальную (S') поверхность измеряется непосредственно или вычисляется соответственно по формулам (4.1) и (4.2).

$$S = S_0 P^m, \quad (4.1)$$

$$S' = S \sinh_{\odot}, \quad (4.2)$$

где S_0 - поток прямой солнечной радиации на верхней границе атмосферы, P - интегральный коэффициент прозрачности, h_{\odot} - высота Солнца, m - оптическая масса атмосферы (при $h_{\odot} > 30^{\circ}$ $m = 1/\sinh_{\odot}$).

Энергетическая освещенность прямой солнечной радиацией поверхности, наклоненной под углом α к горизонту и ориентированной в любую сторону (S_H), составляет

$$S_H = S[\sinh_{\odot} \cos\alpha + \cosh_{\odot} \sin\alpha \cos(\psi_{\odot} - \psi_{\Pi})], \quad (4.3)$$

где ψ_{\odot} - азимут Солнца, ψ_{Π} - азимут поверхности. Значения ψ_{\odot} и ψ_{Π} отсчитываются от юга к северу через запад (от 0 до 180°) или через восток (от 0 до -180°). При таком отсчете ψ_{Π} есть угол между направлением на юг и горизонтальной проекцией нормали к поверхности.

Задание 5

Вычислить прямую радиацию на перпендикулярную и горизонтальную поверхности в полдень 21 июня и 22 декабря на широтах северного полушария, кратных 15° (начиная с 0° с.ш.), если коэффициент прозрачности всюду равен 0.700. Результат вычисления представить графически. (S_0 - принять равным величине солнечной постоянной).

Задание 6

Разработать алгоритм вычисления прямой солнечной радиации на горизонтальную поверхность, а также на склоны крутизной $30, 60$ и 90° , обращенные на север, юг, восток и запад и реализовать его на ПЭВМ. При высоте Солнца $52^\circ 29'$ и азимуте ($-20^\circ 00'$) прямая радиация на перпендикулярную поверхность составляет 0.82 кВт/м^2 . Вычислить прямую радиацию на горизонтальную поверхность, Варианты исходных данных приведены в табл. 3

Таблица 3

h_\odot	ψ_\odot	$S, \text{ кВт/м}^2$	h_\odot	ψ_\odot	$S, \text{ кВт/м}^2$
$25^\circ 01'$	$12^\circ 59'$	0.22	$26^\circ 45'$	$-96^\circ 15'$	0.24
35 59	-150 01	0.42	36 17	132 43	0.44
45 03	48 47	0.62	46 43	-60 17	0.64
27 57	-144 03	0.26	28 19	168 41	0.28
37 05	84 55	0.46	38 41	-24 19	0.48
47 55	-108 05	0.66	48 21	36 39	0.68
29 07	120 53	0.30	30 39	-156 21	0.32
39 53	-72 07	0.50	40 23	72 37	0.52
49 09	156 51	0.70	50 37	-120 23	0.72

31 51	-36 09	0.34	32 25	108 35	0.36
41 11	24 49	0.54	42 35	-84 25	0.56
51 49	-156 11	0.74	52 27	144 33	0.76
33 13	60 47	0.38	34 33	-48 27	0.40
43 47	-132 13	0.58	44 29	150 31	0.60
53 15	96 45	0.78	54 31	-12 29	0.80

Контрольные вопросы

1. Почему прямая радиация на горизонтальную поверхность изменяется с широтой больше, чем прямая радиация на перпендикулярную поверхность?
2. Чем отличается широтное изменение каждой величины 21 июня от ее изменения 22 декабря?

Излучение подстилающей поверхности. Энергетическая светимость подстилающей поверхности измеряется непосредственно или вычисляется по формуле

$$E_c = \varepsilon \sigma T_0^4, \quad (4.4)$$

где ε - коэффициент теплового излучения (коэффициент серости); σ - постоянная Стефана -Больцмана ($\sigma = 5.67032 \cdot 10^{-8}$ Вт/(м²К⁴)), T_0 - температура подстилающей поверхности (К).

По В. Л. Гаевскому, значения ε для некоторых видов подстилающей поверхности составляют:

<i>Вид подстилающей поверхности</i>	<i>Вид подстилающей поверхности</i>
<i>Песок сухой</i> 0.949	<i>Торф сырой</i> 0.983
<i>Песок влажный</i> 0.962	<i>Трава густая</i> 0.986

<i>Почва сухая</i>	<i>0.954</i>	<i>Трава редкая</i>	<i>0.975</i>
<i>Почва влажная</i>	<i>0.968</i>	<i>Снег чистый</i>	<i>0.986</i>
<i>Торф сухой</i>	<i>0.970</i>	<i>Вода</i>	<i>0.960</i>

Эти же значения ε характеризуют поглощательные свойства подстилающей поверхности по отношению к падающей на него длинноволновой радиации.

Встречное излучение атмосферы. Энергетическая освещенность подстилающей поверхности встречным излучением при ясном небе измеряется непосредственно или вычисляется, например, по формуле Брента

$$E_A = \sigma T_A^4 (D + G\sqrt{e}), \quad (4.5)$$

где T_A - температура воздуха (К) на высоте 2 м над земной поверхностью, e - парциальное давление водяного пара (гПа) на той же высоте, D и G - постоянные ($D = 0.61$; $G = 0.05$).

Эффективное излучение и длинноволновый радиационный баланс подстилающей поверхности. Эффективное излучение подстилающей поверхности определяется соотношением

$$E_{\text{Э}} = E_C - \varepsilon E_A. \quad (4.6)$$

Эффективное излучение, взятое со знаком минус, представляет собой длинноволновый радиационный баланс (B_D) подстилающей поверхности

$$B_D = \varepsilon E_A - E_C. \quad (4.7)$$

При подстановке (4.4) и (4.5) в (4.6) получается полная формула эффективного излучения

$$E_{\text{Э}} = \varepsilon [\sigma T_0^4 - \sigma T_A^4 (D + G\sqrt{e})] \quad (4.8)$$

Эффективное излучение при наличии облачности может быть

представлено в виде

$$E_{\text{Э,0}} = E_{\text{Э,я}}(1 - Cn), \quad (4.9)$$

где $E_{\text{Э,я}}$ - эффективное излучение при ясном небе, n - количество облаков в баллах, C - эмпирический облачный коэффициент ($C_{\text{ср}} = 0.076$). Коэффициент C различается для облаков разных ярусов, поэтому более точным является соотношение

$$E_{\text{Э,0}} = E_{\text{Э,я}}(1 - C_{\text{Н}}n_{\text{Н}} - C_{\text{С}}n_{\text{С}} - C_{\text{В}}n_{\text{В}}), \quad (4.10)$$

где $n_{\text{Н}}$, $n_{\text{С}}$ и $n_{\text{В}}$ - количество облаков нижнего, среднего и верхнего ярусов в баллах, $C_{\text{Н}}$, $C_{\text{С}}$ и $C_{\text{В}}$ - соответствующие облачные коэффициенты (0.076, 0.052, 0.022).

Радиационный баланс подстилающей поверхности, называемый также «остаточной радиацией», характеризуется соотношением

$$R = B_{\text{К}} + B_{\text{Д}} = (S' + D)(1 - A) - E_{\text{Э}}. \quad (4.11)$$

Здесь величина $B_{\text{К}} = (S' + D)(1 - A)$ представляет собой коротковолновый радиационный баланс, D - рассеянная радиация, A - альбедо подстилающей поверхности.

Задание 7

Составить алгоритм и программу для вычисления радиационного баланса поверхности моря и соседнего с ним сухого песчаного пляжа, если прямая радиация на обе поверхности равна 0.56 кВт/м^2 , рассеянная радиация - 0.14 кВт/м^2 , альбедо песка - 30%, альбедо моря - 10%, температура подстилающей поверхности песка и моря соответственно равны 50 и 25 °С, температура воздуха над обеими поверхностями равна 30 °С, парциальное давление водяного пара над песком и над морем равны соответственно 16.0 и 25.0 гПа. Расчеты произвести для ясного неба и облачности различного количества и разного яруса.

3.5. Основы динамики атмосферы

Геострофический и градиентный ветер. Скорость геострофического ветра вычисляется по формуле

$$U_{\Gamma} = \frac{4.8}{\sin \varphi} \frac{\rho_0}{\rho} G_x . \quad (5.1)$$

Здесь ρ_0 - плотность воздуха при нормальных условиях (1.292 кг/м³), ρ - плотность воздуха при данных условиях, G_x - горизонтальная составляющая барического градиента (гПа/111 км).

Скорость градиентного ветра в циклоне и антициклоне с круговыми изобарами рассчитывается по формулам (5.2) и (5.3) соответственно

$$U_{\text{Ц}} = -\omega R \sin \varphi + \sqrt{\omega^2 R^2 \sin^2 \varphi + \Gamma R} , \quad (5.2)$$

$$U_{\text{А}} = \omega R \sin \varphi - \sqrt{\omega^2 R^2 \sin^2 \varphi - \Gamma R} , \quad (5.3)$$

где R - расстояние от центра циклона (антициклона), Γ - горизонтальная составляющая силы барического градиента, определяется соотношением $\Gamma = 7 \cdot 10^{-4} \frac{\rho_0}{\rho} G_x$, ω - угловая скорость вращения Земли ($\omega = 7.27 \cdot 10^{-5}$ (с⁻¹)), φ - географическая широта.

Наличие трения в пограничном слое атмосферы (слое трения) вызывает уменьшение скорости ветра по сравнению с градиентным и отклоняет ветер от изобар; при этом направление ветра приближается к направлению градиентной силы. Угол α между направлением ветра и градиентной силой определяется из соотношения

$$\operatorname{tg} \alpha = \frac{2\omega \sin \varphi}{K} \quad (5.4)$$

где K - коэффициент внешнего трения.

С учетом трения скорость ветра при прямолинейных изобарах выражается формулой

$$U = \frac{\Gamma}{\sqrt{(2\omega \sin \varphi)^2 + K^2}} \quad (5.5)$$

Задание 8

Разработать алгоритм и составить программу для вычисления скорости градиентного ветра в циклоне и в антициклоне на широте 60° и на высоте, где плотность воздуха равна $0,800 \text{ кг/м}^3$, если радиус кривизны траектории движения воздуха равен 200 км , а горизонтальная составляющая барического градиента $0,62 \text{ гПа/111 км}$. Результаты сравнить между собой и со значениями скорости геострофического ветра.

Задание 9

Разработать алгоритм и составить программу для вычисления скорости ветра вблизи земной поверхности на широте 30° , если при прямолинейных изобарах горизонтальная составляющая барического градиента равна 1.0 гПа/111 км , а коэффициент внешнего трения в данной местности составляет $1.0 \cdot 10^{-4} \text{ с}^{-1}$. Результат сравнить со скоростью геострофического ветра при тех же условиях. Плотность воздуха у земной поверхности считать близкой к нормальной.

Контрольные вопросы

1. Почему при одном и том же значении горизонтального градиента давления а) скорость геострофического ветра в циклоне меньше, чем при прямолинейных изобарах; б) скорость градиентного ветра в антициклоне

больше, чем при прямолинейных изобарах или в циклоне?

2. Как влияет сила трения на скорость ветра вблизи земной поверхности?

Литература

1. Бройдо А.Г. Задачник по общей метеорологии. Часть 1. - Л.: Гидрометеиздат, 1970, 224 с.
2. Задачник по общей метеорологии./Под ред. В.Г.Морачевского. - Л.: Гидрометеиздат, 1984, 312 с.
3. Гарнаев А. Ю. Самоучитель VBA - Санкт-Петербург [и др.]: БХВ-Петербург, 2001 - 503с.
4. Бычков М.И. Основы программирования на VBA для Microsoft Excel - Новосибирск: Новосибирский государственный технический университет (НГТУ), 2010 - 99с. - URL: <http://znanium.com/go.php?id=549331>
5. Комолова Н.В. и др. Программирование на VBA в Excel 2016: Самоучитель - СПб: Издательство "БХВ-Петербург", 2017 - 432с. - URL: <http://znanium.com/go.php?id=978484>
6. Матвеев Л.Т. Курс общей метеорологии. Физика атмосферы. - Л.: Гидрометеиздат, 1984, 752 с.
7. Хабутдинов Ю.Г. Учение об атмосфере. Учебное пособие/ Ю.Г.Хабутдинов, К.М.Шанталинский, А.А.Николаев. – Казань: Казан.гос.ун-т, 2010. –245 с.
8. Психрометрические таблицы. -Л.: Гидрометеиздат, 1972, 234 с.

Учебное издание

НИКОЛАЕВ Александр Анатольевич
ИСМАГИЛОВ Наиль Вагизович

**ВЫПОЛНЕНИЕ И ЗАЩИТА КУРСОВЫХ
И ВЫПУСКНЫХ КВАЛИФИКАЦИОННЫХ РАБОТ**

Учебно-методическое пособие