

Запобігання та ліквідація надзвичайних ситуацій

УДК 504.064.36

doi: 10.26906/SUNZ.2018.2.101

С.М. Андреев, А.С. Нечаусов

Национальный аэрокосмический университет имени Н.Е. Жуковского «ХАИ», Харьков

АЛГОРИТМ АВТОМАТИЗИРОВАННОГО ОПРЕДЕЛЕНИЯ КЛАССА СТАБИЛЬНОСТИ АТМОСФЕРЫ ДЛЯ ТЕКУЩИХ МЕТЕОУСЛОВИЙ

Рассмотрен программный блок определения класса стабильности атмосферы, разработанный в качестве одной из функциональных составляющих геоинформационной системы, обеспечивающей мониторинг фактического состояния загрязнения атмосферного воздуха. Предложена программная реализация одной из задач снабжения существующих математических моделей для расчета концентрации загрязняющих веществ в атмосфере необходимыми метеорологическими данными с последующей их адаптацией в режиме реального времени. Предложен подход для сбора и хранения результатов работы программы на удаленных серверах в автоматическом режиме.

Ключевые слова: информационные технологии, экологический мониторинг, определение класса стабильности атмосферы, загрязнение атмосферы.

Введение

Для характеристики уровня загрязнения атмосферы той или иной территории за продолжительный период времени используют фоновую концентрацию отдельных загрязняющих веществ (ЗВ) и обобщенный показатель – индекс загрязнения атмосферы, рассчитываемый как сумма значений концентраций ведущих загрязнителей, нормированных на значения их предельно допустимых концентраций [1]. С целью обеспечения мониторинга фактического состояния загрязнения воздушного бассейна, прогноза уровня атмотехногенных выпадений ЗВ и разработки рекомендаций для улучшения состояния окружающей среды необходима информационная технология контроля загрязнения воздуха.

Она должна решать следующие задачи:

- расчет концентрации ЗВ от стационарных источников в приземном слое атмосферы для заданных пространственных координат;
- визуализация результатов расчетов в виде зон загрязнения по уровням концентрации веществ;
- представление зон загрязнения по уровням вредного воздействия с учетом суммарного влияния ряда химических веществ от различных источников;
- возможность получения результатов расчетов модели в режиме реального времени с учетом текущих метеорологических показателей, запрашиваемых из существующих web-ресурсов;
- реализация возможности учета рельефа местности для построения уточненной модели загрязнения атмосферы;
- возможность формирования банка статистических данных для выявления закономерностей и

принятия управленческих решений по улучшению экологической ситуации в конкретном регионе;

- осуществление как краткосрочных, так и долгосрочных прогнозов по экологической обстановке (на основе сформированного банка данных), а также моделирование возможных техногенных ситуаций с оценкой вероятных последствий (техногенных рисков) [2, 3].

Решение поставленных задач связано с оценкой концентрации ЗВ на основе моделей атмосферного переноса. Расчеты и картографирование приземных концентраций ЗВ позволят создавать оптимизационные эколого-экономические модели, в частности, для идентификации регионов, где атмотехногенные выпадения превышают величины критических нагрузок. Эта информация позволит определить регионы, в которых необходимо провести в той или иной степени сокращение выбросов ЗВ, чтобы обеспечить снижение региональных превышений критических нагрузок и уменьшить вероятность проявления экологического риска.

При расчете распространения выбросов необходимо учитывать расположение источников, их высоту и диаметр, а также объемы выбросов. В зависимости от специализации предприятия меняются высоты труб и химический состав выбрасываемой газо-воздушной смеси (ГВС), поэтому ареалы атмосферного загрязнения имеют сложную структуру.

Воздействие загрязняющих веществ (ЗВ) на окружающую среду зависит от их физических и химических свойств, свойств продуктов деструкции и концентрации тех и других в выбросах и окружающей среде. Время жизни загрязнителя в атмосфере – важнейший параметр, определяющий масштабы его

распространения Исходя из этого выбросы ЗВ или сами загрязнители делятся на три типа:

- выбросы веществ с большим временем жизни в атмосфере (годы или месяцы), способные распространяться в окружающей среде в глобальном масштабе независимо от места их выброса (углекислый газ, фреоны, радионуклиды с периодом полураспада от одного месяца и больше);

- выбросы веществ с ограниченным (обычно до нескольких суток) временем жизни в атмосфере, приводящие к загрязнению крупного региона, за пределами которого концентрация загрязнителя быстро падает, однако в следовых количествах может наблюдаться повсеместно (оксиды серы и азота, пестициды, тяжелые металлы);

- выбросы веществ с малым временем жизни в атмосфере (грубодисперсные аэрозоли, сероводород и др.), приводящие к загрязнению в локальном масштабе (на сравнительно небольшой территории).

Поведение ЗВ после попадания их в атмосферу, определяются многими факторами и, прежде всего, природными: метеорологической ситуацией, особенностями микрорельефа, наличием массивов зеленых насаждений. Ветры увеличивают скорость рассеяния и перемешивания, а воздушные потоки, направленные от земли, выносят загрязнения в верхние слои атмосферы. Однако могут возникнуть такие условия, при которых атмосферные слои остаются стабильными (инверсия температуры, антициклон). В результате ЗВ остаются вблизи поверхности земли, накапливаясь в больших количествах, опасных для человека и окружающей среды. Перечисленные факторы в значительной степени определяют распространение ЗВ вокруг источника загрязнения и перенос их на различные расстояния. Учет радиуса возможного распространения ЗВ особенно важен при определении размеров санитарно-защитной зоны предприятия, выборе места для строительства жилых кварталов и т. п. [4, 5].

Таким образом, в виду тенденций к развитию промышленности в больших городах, требуются системы контроля экологических рисков, сопутствующих техногенным производствам. Мониторинг выбросов и экологических рисков предусматривает работу с большими объемами данных, а их обработка вручную уже не представляется возможной и целесообразной, поэтому проблема создания автоматизированных технологий мониторинга состояния атмосферы в автоматическом режиме и сопутствующих им вспомогательных программных модулей сегодня является чрезвычайно актуальной и востребованной.

Целью работы является разработка программного модуля геоинформационной системы мониторинга воздуха для определения класса стабильности атмосферы по метеоданным в режиме реального времени.

1. Описание алгоритма программы

Данная программа предложена в качестве модуля информационной технологии мониторинга атмосферы в условиях экологической нестабильности техноэкосистем. Однако она может быть применена и к другим системам моделирования распространения ЗВ в атмосфере. Весь процесс эмиссии вредных веществ из источника выбросов может быть математически представлена видом распределений концентрации ЗВ вдоль трех координатных осей X, Y и Z (рис. 1). Программа «ОКСА-01» позволяет каждый час в автоматическом режиме определять входные параметры для математической модели, описывающей характер распределения по оси Z и по оси Y и сохранять их в архив данных для задач статистического анализа.

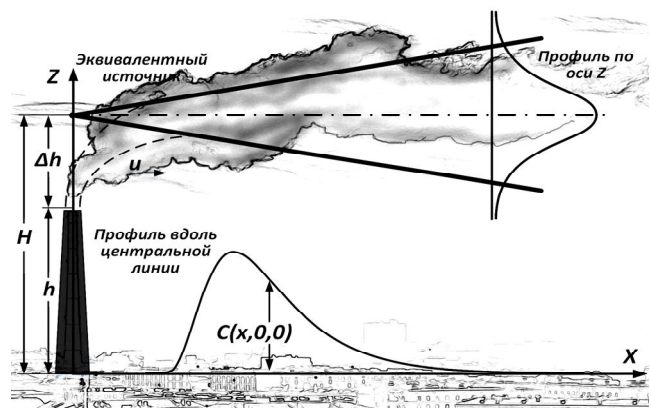


Рис. 1. Вид распределений концентрации ЗВ вдоль осей X и Z

Для оценки значений СКО σ_z , σ_y характеризующих рассеяние ЗВ в вертикальной плоскости и в направлении, перпендикулярном оси факела, как правило, используют эмпирические формулы:

$$\sigma_y(x, k_A) = a(k_A) \cdot x^{b(k_A)}, \quad (1)$$

$$\sigma_z(x, k_A) = c(k_A) \cdot x^{d(k_A)} \quad (2)$$

где $x \in [10^2 \dots 10^4]$, k_A – класс устойчивости атмосферы А...F (табл. 1).

Таблица 1
Классы устойчивости атмосферы

Скорость ветра, м/с	Классы устойчивости атмосферы				
	Дневное время. Уровень солнечного освещения			Ночное время. Облачность	
	Сильный	Средний	Слабый	>50%	<50%
< 2	A	A – B	B	E	F
2 – 3	A – B	B	C	E	F
3 – 5	B	B – C	C	D	E
> 5	C	C – D	D	D	D

Класс устойчивости атмосферы характеризует способность атмосферы рассеивать загрязнители. Обычно различают 6 классов стабильности атмосферы А...F [6].

Класс А соответствует наибольшей неустойчивости (очень конвективная атмосфера – ясное небо, высота солнца над горизонтом более 60°, слабый ветер).

Класс В соответствует умеренно нестабильным условиям.

Класс С соответствует незначительно нестабильным условиям.

Класс D соответствует нейтральным условиям.

Класс E соответствует незначительно стабильным условиям.

Класс F соответствует наибольшей устойчивости (большой отрицательный градиент температуры при слабой механической турбулентности – безветренные, ясные ночи, когда земля охлаждается, излучая тепло и возникает толстый инверсионный слой).

При определении класса устойчивости атмосферы k_A учитывают скорость ветра, время суток, солнечное освещение в местности и степень облачного покрытия [7, 8].

Значения коэффициентов $a(k_A)$, $b(k_A)$, $c(k_A)$, $d(k_A)$ (1), (2) определяют в зависимости от класса устойчивости атмосферы (табл. 2).

В литературных источниках они указаны для $z = 0,1$ м и $h < 20$ м.

Таким образом, была предложена следующая модель определения класса устойчивости атмосферы (рис. 2).

Таблица 2

Параметры расчета σ_y , σ_z

Класс устойчивости		a	b	c	d
Очень нестабильный	A	0,527	0,865	0,28	0,90
Нестабильный	B	0,371	0,866	0,23	0,85
Слабонестабильный	C	0,209	0,897	0,22	0,80
Нейтральный	D	0,128	0,905	0,20	0,76
Стабильный	E	0,098	0,902	0,15	0,73
Очень стабильный	F	0,065	0,902	0,12	0,67

Основой для разработки стала таблица классов устойчивости атмосферы по Пасквиллу и онлайн сервис «Google погода».

Скрипт программы каждый час формирует запрос в метеослужбу, на выходе формируется таблица с необходимыми данными о метеоусловиях (скорость ветра, направление ветра, температура, характеристика типа облачности/осадков, время восхода/заката солнца), а также дата, время и идентификационный номер замера. На основе этих данных проводится определение класса стабильности атмосферы и находятся численные значения коэффициентов a, b, c, d.

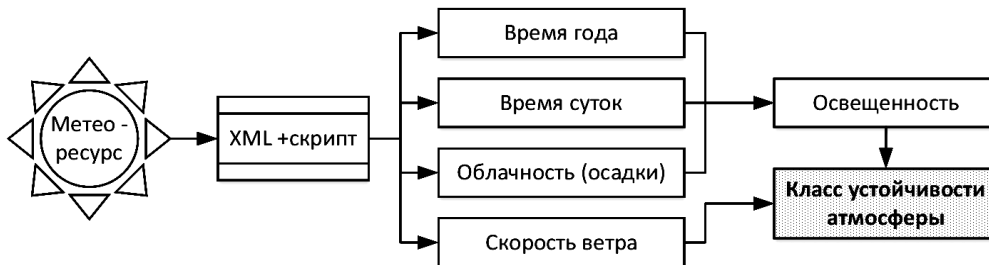


Рис. 2. Обобщенная модель определения класса устойчивости атмосферы

Полученные результаты записываются в базу данных в виде таблицы (рис. 3).

Процесс определения класса устойчивости атмосферы условно можно разбить на 2 этапа: этап группировки (рис. 4) и этап расчета классов устойчивости атмосферы (рис. 5).

2. Назначение и условия применения

Программа «ОКСА-01» предназначена для автоматической записи данных полученных из метеослужбы «Google» через заданные интервалы времени,

10724	3	nw	-3	пасмурно	05:36	17:48	2016-03-20 09:00:02	В-С	0.29	0.8815	0.225	0.825
10725	4	sw	-2	пасмурно	05:36	17:48	2016-03-20 10:00:02	В-С	0.29	0.8815	0.225	0.825
10726	8	sw	-2	снег	05:36	17:48	2016-03-20 11:00:02	С	0.209	0.897	0.22	0.8
10727	8	sw	-2	снег	05:36	17:48	2016-03-20 12:00:03	С	0.209	0.897	0.22	0.8
10728	4	sw	-2	пасмурно, небольшой снег	05:36	17:48	2016-03-20 15:00:02	В	0.371	0.866	0.23	0.85
10729	2	se	-3	ясно	05:34	17:50	2016-03-21 10:00:02	А-В	0.449	0.8655	0.255	0.875
10730	3	s	-1	ясно	05:34	17:50	2016-03-21 11:00:01	В	0.371	0.866	0.23	0.85

Рис. 3. Фрагмент результирующей таблицы программы «ОКСА-01»

а также для автоматического определения по этим данным класса стабильности атмосферы и количественных коэффициентов воздействия погодных условий на характер распространения примесей в атмосфере.

Программа является частью технологии мониторинга атмосферы и должна работать удаленно на web-сервере. Соответственно, для корректной работы программы необходим сервер с поддержкой PHP, MySQL и выходом в интернет. Программа способна работать в штатном режиме с момента размещения ее на сервере, формируя интерактивную таблицу данных с момента первого обращения (открытия в браузере).

С момента запуска программа будет собирать данные каждый час, обрабатывать их и сохранять полученные результаты в базе данных.

Запуск программы осуществляется переходом через браузер в директорию с исполняемым файлом на сервере в соответствии с доменным именем сайта `./Index.php`.

В открывшемся окне браузера будет отображена интерактивная таблица, которая продолжит накопление данных и после закрытия браузера, рабо-

тая непосредственно на сервере и сохраняя выборку статистических данных в базу данных (рис. 4).

Алгоритм этапа расчета классов устойчивости атмосферы в программе «ОКСА-01» представлен на рис. 5.

В соответствии с рис. 2 программа отображается в виде интерактивной таблицы, которая отражает информацию о метеоданных, временные характеристики, а также результаты определения класса устойчивости атмосферы в соответствии с табл. 1 и 2.

Столбцы результирующей таблицы (рис. 3) слева-направо:

- идентификатор измерения,
- скорость ветра (м/с),
- направление ветра (n – северный; s – южный; w – западный; e – восточный),
- температура воздуха,
- характеристика облачности/тип осадков,
- время восхода солнца,
- время заката солнца,
- время получения данных,
- класс стабильности атмосферы,
- значение коэффициентов a-d при текущих метеоусловиях.

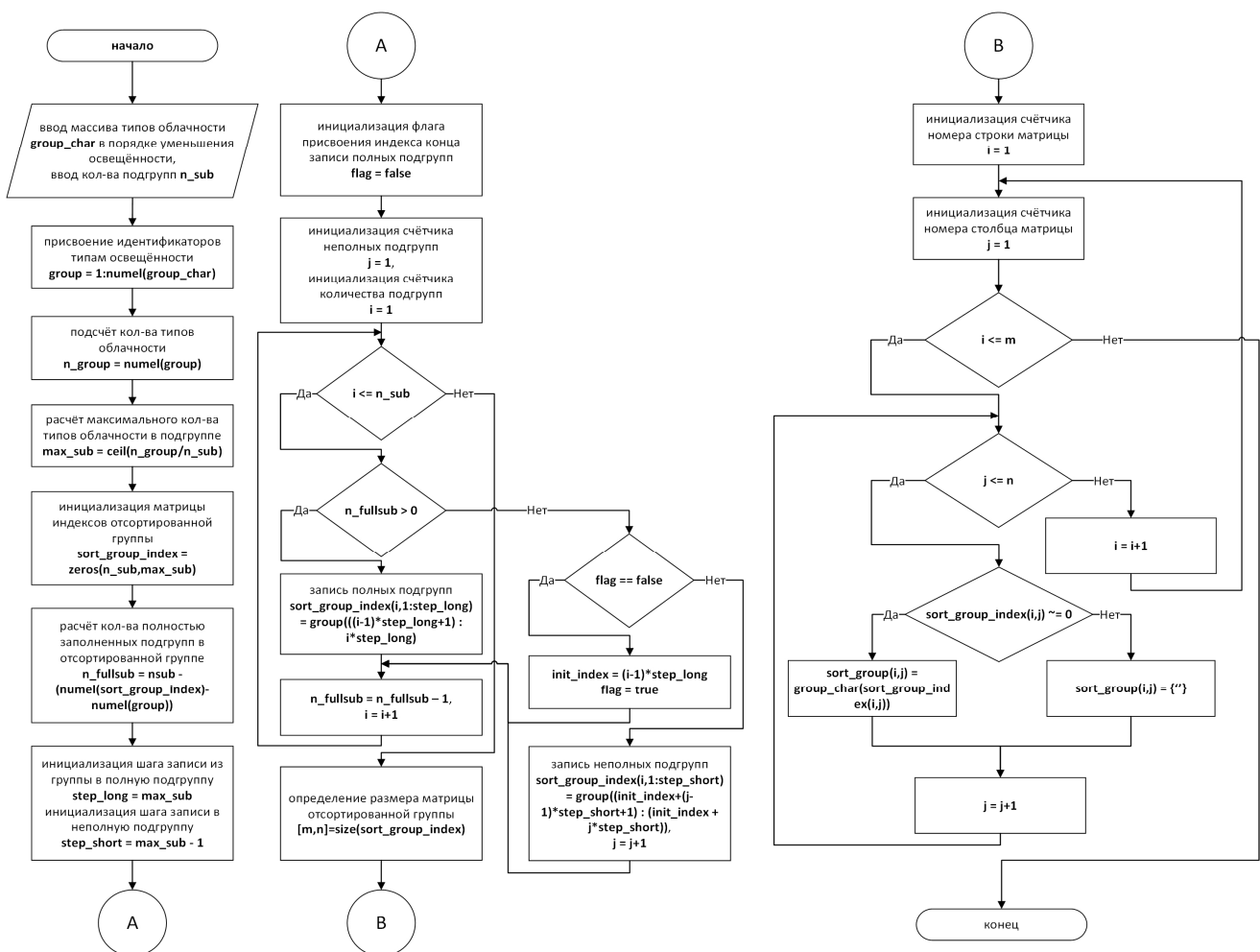


Рис. 4. Алгоритм этапа группировки в программе «ОКСА-01»

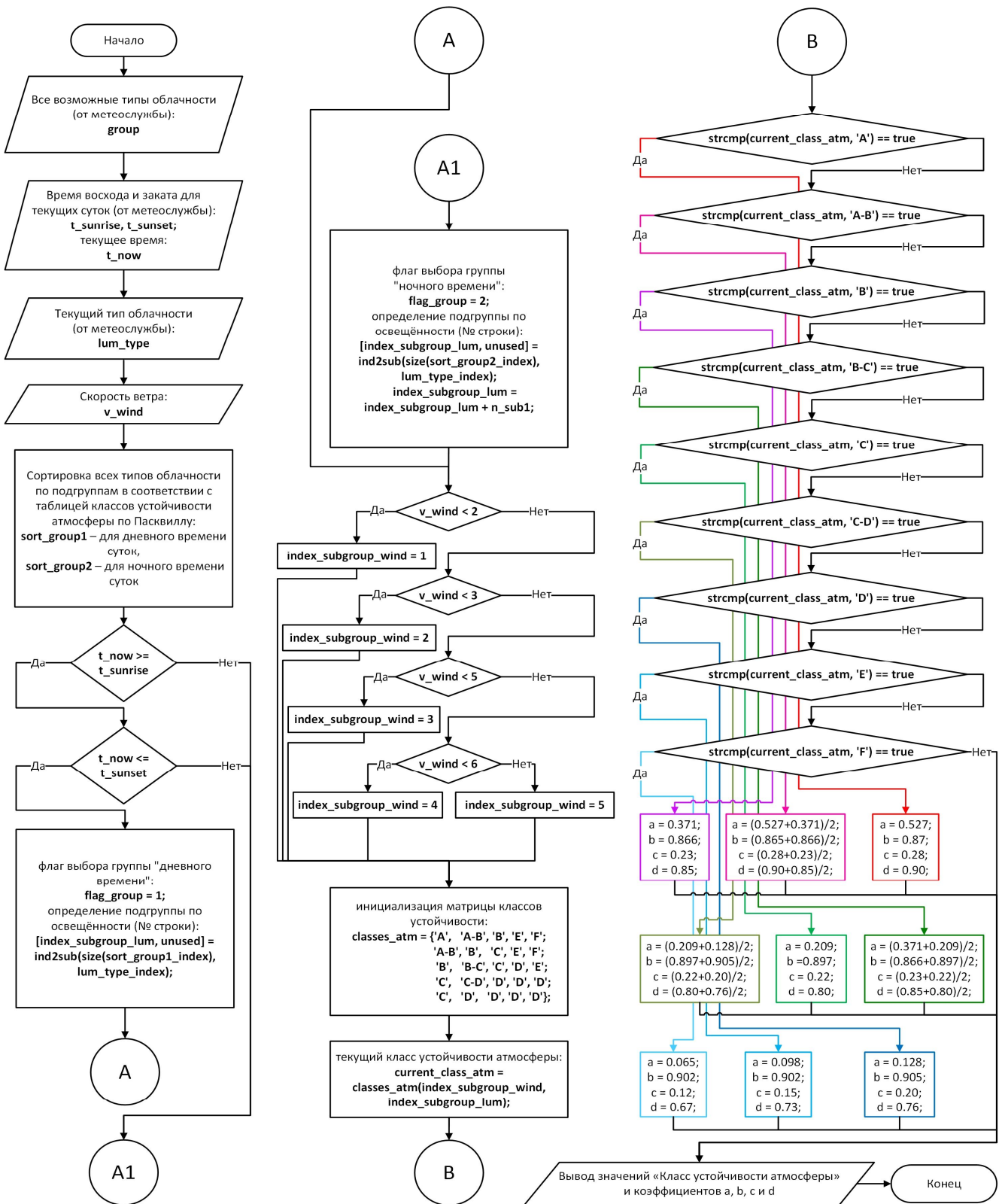


Рисунок 4 – Алгоритм этапа расчета классов устойчивости атмосферы в программе «ОКСА-01»

Выводы и направление дальнейших исследований

В статье был раскрыт принцип действия и основные особенности программы определения класса

стабильности атмосферы, которая была создана в качестве функциональной части технологии мониторинга загрязнения атмосферы.

Основная цель данной программы - снабжение существующих математических моделей, высту-

паючих в качестве аналитического ядра технологии мониторинга атмосферы для расчета концентрации загрязняющих веществ в атмосфере, необходимыми метеорологическими данными с последующей их адаптацией и пересчетом в необходимые коэффициенты в режиме реального времени, что открывает новые возможности при моделировании состояния атмосферного воздуха в режиме реального времени.

Ранее модели, основанные на таблице Пасквила были статичные и могли рассматривать ситуацию в единицу времени.

При использовании предложенной методики появляется возможность строить динамические модели основываясь на уже существующих данных и сервисах.

В дальнейшем планируется развивать автономность данной программы, расширяя ее спектр взаимодействия с другими методиками [9].

Кроме того, на основе существующих алгоритмов планируется получить выборку данных для выявления закономерностей изменения уровня загрязнения в зависимости от климатических особенностей.

Список литературы

1. Мониторинг и методы контроля окружающей среды [Текст] / Ю.А. Афанасьев, В.В. Меньшиков, С.А. Фомин, и др. – М.: Изд-во МНЭПУ, 2001. – 337 с.
2. Nechausov, A. S. The information model of the system for local atmospheric air pollution monitoring [Text] / A.S. Nechausov // Системи обробки інформації : зб. наук. пр. / Харк. ун-т повітр. сил ім. Івана Кожедуба. – 2016. – № 2(139). – С. 190-195.
3. Васильева, И.К. Метод моделирования нестационарных полей концентраций атмосферных примесей [Текст] / И.К. Васильева, А.С. Нечаусов // Радиоэлектронні і комп'ютерні системи. – Харків : Національний аерокосмічний університет імені М.С. Жуковського «ХАІ», 2016.
4. Инженерная экология [Текст] / Под ред. В.Т. Медведева. – М.: Гардарики, 2002. – 687 с. – ISBN 5-8297-0090-5.
5. Скорер, Р. Аэрогидродинамика окружающей среды [Текст] / Р. Скорер; пер. с англ. – М.: Мир, 1980. – 549 с.
6. Берлянд, М.Е. Современные проблемы атмосферной диффузии и загрязнения атмосферы [Текст] / М.Е. Берлянд. – Л.: Гидрометеоиздат, 1975. – 448 с.
7. Nechausov A. Synthesis of the air pollution level control system on the basis of hyperconvergent infrastructures [Текст] / A. Nechausov, I. Matysuš, N. Kuchuk // Сучасні інформаційні системи : науково-технічний журнал. – 2017. – Т. 1, № 2. – С. 21 – 26.
8. Методика расчета концентраций в атмосферном воздухе вредных веществ, содержащихся в выбросах предприятий. ОНД-86. – Л.: Гидрометеоиздат, 1986. – 94 с.
9. Услови́я, впливаючі на дисперсію газів і парів в атмосфері: [Електронний ресурс] // Екологічна сеть "ЕКОДЕЛО". 2015. URL: http://ecodelo.org/9586-522_usloviya_vliyayushchie_na_dispersiyu_gazov_i_parov_v_atmosfere-5_modelirovanie_i_proгнозу_v_ (дата обращения: 2.12.2015).

Надійшла до редколегії 15.02.2018

Рецензент: д-р техн. наук, проф. О.С. Бутенко, Національний аерокосмічний університет імені М.С. Жуковського «ХАІ», Харків.

АЛГОРИТМ АВТОМАТИЗОВАНОГО ВИЗНАЧЕННЯ КЛАСУ СТАБІЛЬНОСТІ АТМОСФЕРИ ДЛЯ ПОТОЧНИХ МЕТЕОУМОВ

С.М. Андреев, А.С. Нечаусов

Розглянуто програмний блок визначення класу стабільності атмосфери, розроблений в якості однієї з функціональних складових геоінформаційної системи, що забезпечує моніторинг фактичного стану забруднення атмосферного повітря. Запропоновано програмну реалізацію однієї з фактичних завдань постачання існуючих математичних моделей для розрахунку концентрації забруднюючих речовин в атмосфері необхідними метеорологічними даними з подальшою їх адаптацією в режимі реального часу. Запропоновано підхід для збору і зберігання результатів роботи програми на віддалених серверах в автоматичному режимі.

Ключові слова: інформаційні технології, екологічний моніторинг, визначення класу стабільності атмосфери, забруднення атмосфери.

ALGORITHM OF AUTOMATED DETERMINATION OF THE CLASS OF STABILITY OF THE ATMOSPHERE FOR CURRENT METEOROLOGICAL CONDITIONS

S.M. Andreev, A.S. Nechausov

The program block for determining the stability class of the atmosphere developed as one of the functional components of the geoinformation system, providing monitoring of the actual state of atmospheric air pollution, is considered. A software implementation of one of the actual tasks of supplying existing mathematical models for calculating the concentration of polluting substances in the atmosphere with the necessary meteorological data and their subsequent adaptation in real time mode is proposed. An approach is proposed for collecting and storing the results of the program on remote servers in an automatic mode.

Key words: environmental monitoring, atmospheric pollution, probabilistic model.