

### Визначення концентрації забруднення атмосфери

Високу чутливість виявлення концентрації газових складових атмосфери забезпечують методи, що базуються на поглинанні лазерного випромінювання при пропусканні через досліджуваний газовий об'єм. Для цього випромінювач і приймач розміщують по різні боки газового об'єму. Така система дистанційного контролю не завжди зручна, оскільки елементи лідарної системи розміщуються в різних точках простору. Для вирішення цієї проблеми і створення однопозиційної системи при дистанційному зондуванні може бути використаний відбивач розташований у віддаленій точці.

Значення потужності сигналу, прийнятого на трасі великої довжини, має вигляд

$$P_{off} = \frac{KP_0A}{R^2}; \quad (20)$$

$$P_{on} = \frac{KP_0 \exp \left[ -\int_0^R N(r) \sigma dr \right]}{R^2}, \quad (21)$$

де  $P_{off}$  і  $P_{on}$  – відповідно потужність сигналу, коли частота лазерного випромінювання перебуває поза частотою поглинання і коли збігається із цією частотою;  $P_0$  – випромінювана потужність;  $A$  – площа антени;  $K$  – ефективність оптичної системи;  $R$  – довжина траси;  $N(r)$  – густина поглинаючих молекул забруднення як функція відстані;  $\sigma$  – переріз поглинання.

Концентрація забруднюючих речовин визначається за допомогою наступного виразу:

$$\int_0^R N(r) dr = \frac{1}{\sigma} \ln \frac{P_{off}}{P_{on}}. \quad (22)$$

Розглянутий метод дозволяє визначити інтегральну концентрацію забруднень атмосфери вздовж всієї траси контролю.

### Висновок

За допомогою потужних імпульсних перенастроюваних лазерів можна дистанційно в режимі реального часу досліджувати і контролювати малі концентрації забруднень атмосфери на великих відстанях. Лідарні систем контролю мають високу роздільну здатність по дальності і дозволяють визначати концентрацію забруднюючих речовин як функцію розсіювання по розмірам аерозольних частинок забруднення. При необхідності, чутливість цих систем може бути збільшена за умови інтегрування імпульсів лазера і можливості незалежної настройки лазера на резонансну частоту молекул контрольованого типу забруднення.

Отже, якщо відомий спектр випромінювання лазера з достатньою точністю, то поглинання його випромінювання атмосферними газами може бути заздалегідь кількісно визначене для будь-яких реальних умов в атмосфері.

### СПИСОК ЛІТЕРАТУРИ

1. Лазерный контроль атмосферы / Под ред. Э.Д. Хинкли. М.: Мир, 1979.
2. Инженерная экология: Учебник / Под ред. проф. В.Т.Медведева. - М.: Гардарики, 2002. – 687с.
3. Межерис Р. Лазерное дистанционное зондирование. М.: Мир, 1987.
4. Зуев В.Е., Зуев В.В. Дистанционное оптическое зондирование атмосферы Санкт-Петерб.: Гидрометеоздат, 1992.

УДК 681.785.5:504.3

**Іванов А.П., Чайковський А.П. (Білорусь, Мінськ),  
Петрук В.Г., Васильківський І.В., Кватернюк С.М. (Україна, Вінниця)**

### ЛІДАРНИЙ ЕКОЛОГІЧНИЙ МОНІТОРИНГ АТМОСФЕРИ

#### Вступ

Розробка методів моніторингу і контролю оптичних, мікрофізичних і метеорологічних характеристик атмосфери має важливе значення для вивчення процесів і складу атмосфери.

Застосування класичних методів контролю повітря має велику кількість принципових недоліків, таких як: трудомісткість (для кожної вимірюваної компоненти свій метод і прилад), тривалість обробки проби, мала кількість і недоступність (як правило, висотних) точок спостереження. Все це обмежує можливості здійснення моніторингу забруднення великих об'ємів атмосфери тільки класичними методами. А такий моніторинг необхідний у великих промислових центрах, містах, регіонах для вирішення завдань метеорології, кліматології, трансграничного переносу забрунень, охорони навколишнього середовища тощо.

Звичайно виникає необхідність у вимірюванні розподілу в просторі таких параметрів, як показники послаблення, розсіяння атмосфери, концентрації, розміру, форми і складу аерозольних частинок. В залежності від специфіки завдання застосовуються лідарні системи, які володіють різним технічним потенціалом, стаціонарні і пересувні що розташовуються на транспорті, на човнах, в літаках, на космічних апаратах [1-4]. Широкий діапазон варіації технічних параметрів лідарних систем дозволяє вирішувати такі завдання:

- контроль концентрації газів природного і антропогенного походження на рівні ГДК і нижче;
- контроль параметрів атмосфери поблизу локальних джерел забруднення (промислових об'єктів);
- контроль якості повітря в масштабах міста, району, регіональний і глобальний моніторинг атмосфери;
- дослідження оптичних характеристик атмосфери, що визначають радіаційний режим і клімат Землі;
- контроль концентрації, середнього розміру, форми, полідисперсності частинок аерозолі, показника заломлення (а в ряді випадків і хімічного складу);
- вимірювання напрямку, величини і швидкості вітру, густини повітря, тиску, профілю температури, вологості на різних ділянках атмосферного простору.

При цьому лідарні систем володіють сукупністю таких властивостей, як:

- експресність (можливість безперервного контролю в режимі реального часу);
- висока інформативність (можливість одержання масиву даних, які дозволяють виявляти основні закономірності забруднення міста, промислового району, заповідника тощо);
- висока просторова (до декількох метрів) роздільна здатність вимірюваних параметрів;
- дальнодія порядку метеорологічної дальності видимості (до 2-30 км.) по всьому об'єму контролю;
- неконтактність і скритність (інформацію про характер забруднення об'єму атмосферного повітря можна отримувати на великій відстані і без дозволу адміністрації виробництва).

Фізичною основою інформативності методів лідарного моніторингу є існуюча багатопараметрична залежність характеристик розсіяного випромінювання від властивостей атмосферного середовища.

### Прозорість атмосфери в чистих і забруднених районах Білорусі

Для дослідження світлового режиму в атмосфері, процесів, що в ній протікають, корекції аерокосмічних знімків важливо знати прозорість середовища, що визначається показником послаблення  $\varepsilon$ . На підставі експериментальних досліджень розроблені оптичні моделі атмосфери для різних регіонів. Однак, в силу різних обставин, завжди можна очікувати для конкретного району відмінність його оптичних характеристик від модельних. Із цією метою за допомогою лідарних систем вивчалися вертикальні профілі показника аерозольного послаблення  $\varepsilon_a$  і порівнювалися з модельними профілями, розробленими Міжнародною робочою групою по радіації [1].

Виміри здійснювалися в найменш забрудненому промисловими викидами районі - фоновій станції в Березинском заповіднику (район I) і в лісовому районі в 30 км від м. Мінськ (район II). У першому випадку аналізувався масив з 35 профілів показників послаблення, кожний з яких є результатом усереднення даних за декілька годин спостереження у вечірній, нічний і ранковий час. У другому випадку масив складався з 30 профілів, додатковим критерієм вибору для яких був напрямок вітру убік міста. Одночасний контроль метеорологічних параметрів атмосфери і аерозольної компоненти дозволив зробити висновок, що відібраний масив даних був отриманий в умовах відсутності безпосереднього впливу індустриальних викидів на склад атмосфери. Розподіли середніх значень висотних профілів аерозольного показника послаблення на довжині хвилі 694 нм для двох зазначених вище районів приведені на рис. 1.

У приземному шарі в ряді випадків спостерігалось формування оптично більш густого атмосферного серпанку. Профілі  $\varepsilon_a(h)$  для обох районів близькі по основних параметрах: оптична товщина 0,16 і 0,20; верхня границя шару в якому значення показника послаблення повільно змінюються, перебуває на висоті 1,6 і 2,0 км відповідно. Зіставлення отриманих результатів з різними варіантами оптичних моделей показало, що механізми формування профілів аерозольних характеристик у шарі активного турбулентного обміну цілком пояснюють результати вимірів. Наведені вище кількісні характеристики аерозольного шару узгоджуються з варіантом CONT-1 тропосферної моделі SRA-84 [I] (крива 3, рис. 1).

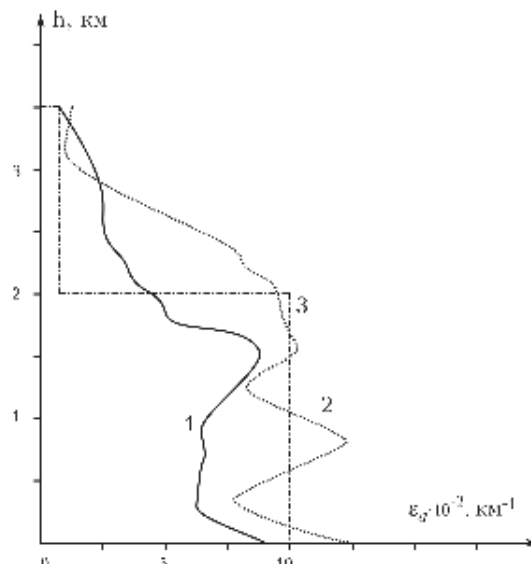


Рисунок 1 – Профілі середнього значення показника аерозольного послаблення при  $\lambda = 694$  нм для районів I(1), II(2) і тропосферної моделі CONT 1(3).

Зовсім інший характер спектральних і висотних залежностей показника аерозольного послаблення поблизу промислових районів. На рис. 2а для висоти порядку 200 м представлені спектри показника аерозольного послаблення (що збігаються тут зі спектром показника розсіювання), отримані протягом декількох днів спостереження лідарним методом поблизу м. Солігорська. При цьому структура спектра щораз змінювалась, що свідчило про мінливість аерозольних часток, породжених у промисловій зоні міста у попередній період часу. Висотний профіль показника послаблення поблизу промислових зон також різко змінюється за часом і висотою. На рис. 2б представлений один з таких профілів на довжині хвилі  $\lambda = 694$  нм. Спектри  $\sigma_a$  на трьох висотах (рис. 2в) відмінні один від одного.

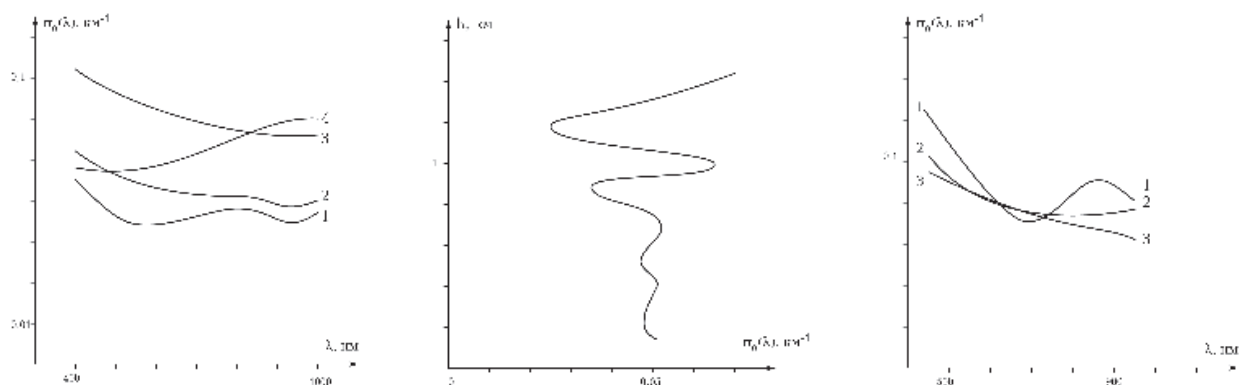


Рисунок 2 – Показник аерозольного послаблення у промисловому районі: а) спектри показника аерозольного послаблення у різні чотири (1-4) дні спостережень; б) вертикальний профіль показника аерозольного послаблення при  $\lambda = 694$  нм; в) спектри показника аерозольного послаблення на різних висотах, км: 1 - 0,32; 2 - 0,68; 3 - 1,1.

### Аналіз структури атмосферного аерозолю

Спектральні оптичні характеристики можна використовувати для оцінки структури аерозолю. Метод лінійних оцінок [2,3] дозволяє при вимірюванні вертикальних профілів показників зворотнього розсіювання  $\beta_a(h, \lambda)$  на двох довжинах хвиль визначати: профілі об'ємної концентрації  $C_v$ , середнього перерізу  $C_s$ , середнього об'ємно-поверхневого радіуса  $r_{32}$ . На рис. 3 представлені усереднені дані по багатьом реалізаціям, шляхом проведення лідарного зондування на  $\lambda = 1,06$  і  $0,53$  мкм.

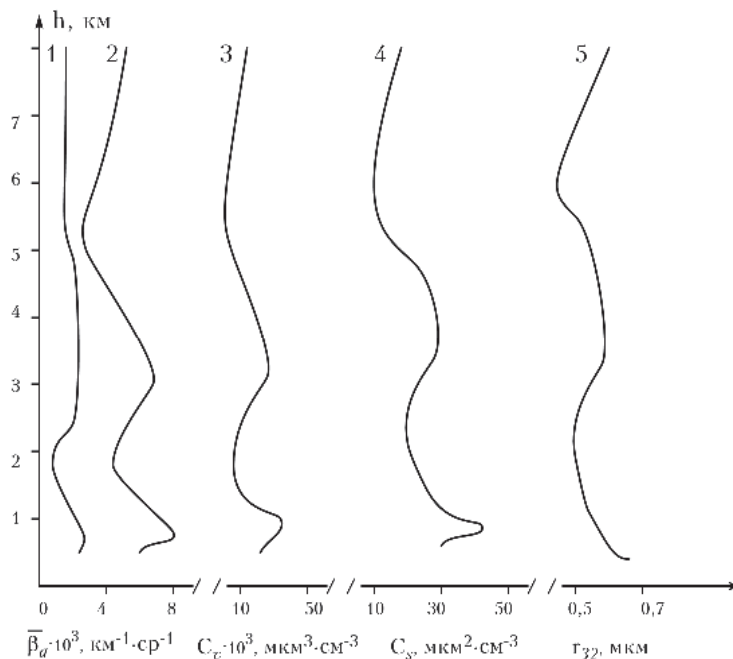


Рисунок 3 – Профілі оптичних і мікрофізичних параметрів аерозолію:

1 -  $\lambda = 1.06$  мкм; 2 -  $\lambda = 0.532$  мкм; 3 -  $C_v$ ; 4 -  $C_s$ ; 5 -  $r_{32}$

При роботі на багатьох довжинах хвиль (порядку 6-7) можна відновити функцію розподілу часток по розмірах  $\varphi(r, h)$ , ґрунтуючись на розв'язку інтегрального рівняння

$$\beta_a(h, \lambda) = \int k_\pi(r, m, \lambda) \pi r^2 \varphi(r, h) dr, \quad (1)$$

де  $\beta_a(h, \lambda)$  – показник зворотнього аерозольного розсіювання на висоті  $h$  для випромінювання з довжиною хвилі  $\lambda$ ;  $k_\pi(r, m, \lambda)$  – фактор ефективності зворотнього розсіювання сферичної частинки радіуса  $r$  з комплексним показником заломлення  $m$ .

Як приклад на рис. 4 приведені розраховані  $\varphi(r)$  на різній висоті.

Результати аналізу показників  $\beta_a(\lambda_i)$  свідчать про те, що багатохвильове зондування є ефективним засобом вивчення просторово-часової мінливості функцій розподілу частинок аерозолію за розмірами. Відновлені функції  $\varphi(r)$  у кількісному і якісному вигляді добре узгоджуються із результатами прямих (контактних) мікрофізичних досліджень атмосферного аерозолію. Вимірювання сигналів зворотнього розсіювання дозволяє визначати не тільки структуру але й масову концентрацію аерозолію  $M$  за допомогою співвідношення

$$M = \mu(\lambda_i) \beta_a(\lambda_i), \quad (2)$$

де  $\beta_a(\lambda_i)$  – показник зворотнього розсіювання на  $i$ -ій довжині хвилі,  $\mu(\lambda_i)$  – коефіцієнт, визначений за результатами калібрування на основі відбору проб аерозолію. Похибка оцінки масової концентрації цим методом у короткострокових пробах не перевищує 5%.

### Вирішення проблеми міжрегіонального переносу компонентів атмосфери

Дотепер йшла мова про стан і властивості нижніх шарів атмосфери, які визначаються погодними, кліматичними і антропогенними особливостями конкретного невеликого регіону. Зміни стану верхньої тропосфери і стратосфери відбуваються внаслідок великомасштабних природних катастроф і антропогенних впливів на навколишнє середовище. Вітрове перенесення повітряних мас призводить до поширення забруднюючих викидів на тисячі кілометрів. Проблема міжрегіонального переносу компонентів атмосфери, набуває все більшого значення у світлі посилення уваги держав до питань екологічної безпеки. Завдання виявлення і оцінки потужності джерел викидів, їх складу, визначення траєкторій переносу забруднень вийшли з області чисто наукових інтересів і починають набувати все більшого значення з економічної і політичної точок зору. Глобальний контроль навколишнього

середовища не може бути вирішений у рамках однієї держави. З одного боку, в силу того, що потрібні значні інтелектуальні і матеріальні ресурси, з іншого боку – необхідні узгоджені зусилля щонайменше держав цілого регіону або континенту. Ще в середині 90-х років країни ЄС приступили до систематичного вирішення проблеми контролю забруднення атмосфери в регіоні Європи шляхом створення спочатку національних, а потім і Європейської мережі лідарних станцій.

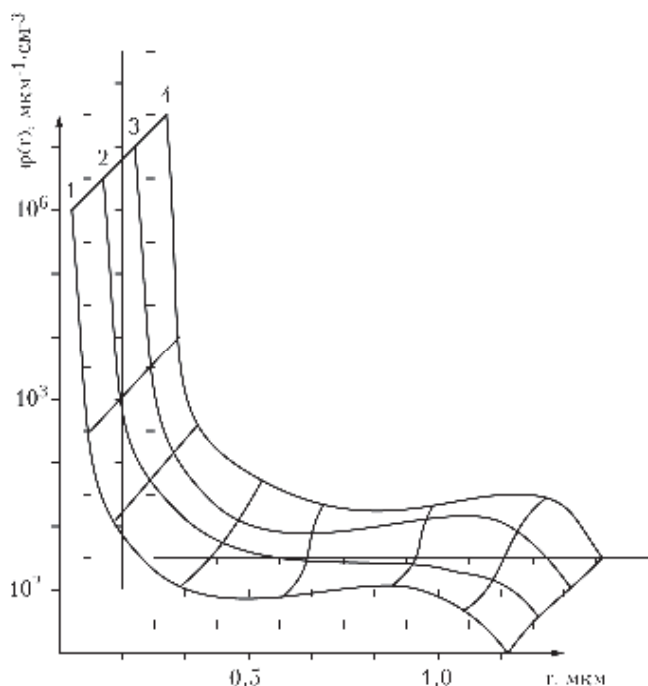


Рисунок 4 – Функції розподілу частинок по розмірам на різній висоті в період антициклону:  
1 - 220 м; 2 - 230 м; 3 - 260 м; 4 - 300 м.

Інститут фізики НАН Білорусі у рамках 5-й Європейської рамкової програми підключений у проект "Європейська лідарна мережа для дослідження впливу аерозолі на клімат", у якому беруть участь 15 країн Європи з 28 лідарними станціями. Інформація про виникнення надзвичайних ситуацій та обмін даними поширюється між станціями Європейської мережі EARLINET за допомогою Інтернету. В даний час Інститут фізики НАН Білорусі проробляє питання про створення лідарної мережі країн СНД, що включає лідарні центри в Білорусі (м.Мінськ), Росії (міста Москва, Томськ, Сургут, Владивосток і судна Далекосхідного наукового центру РАН), Киргизії (район озера Іссик-Куль) та ін. На території України, також ведуться ініціативні роботи по створенню лідарного центру за участю Національного космічного агентства України, КНУ ім.Т.Г.Шевченка та ВНТУ. В результаті планується здійснити зв'язування Європейської, Східно-азіатської (Японія, Південна Корея, Китай) лідарних мереж і мережі країн СНД.

### Висновок

Моніторинг забруднення атмосфери принципово неможливо здійснити тільки класичними методами, які подають інформацію з невеликого числа станцій і, як правило, у приземному шарі. В основі одержання відомостей про склад повітря лідарною технікою лежать найсучасніші методи спектроскопії, математичної обробки інформації та знання будови атмосфери. Загальну картину просторового забруднення необхідно одержувати дистанційним (лідарним) способом і в окремих реперних точках підтверджувати або корегувати і уточнювати отриману карту забруднення загальноприйнятими тестованими приладами. Така позиція світового співтовариства на даному етапі розвитку систем глобального екологічного моніторингу атмосфери.

### СПИСОК ЛІТЕРАТУРИ

1. A preliminary cloudless standard atmosphere for radiation computation. International Association for Meteorology and Atmospheric Physics. Radiation Commission. Boulder, Colorado, USA, 1984, 53 p.
2. Креков Г. М., Рахимов Р. Ф. Оптические модели атмосферного аэрозоля. Томск: Изд. Томского филиала СО АН СССР, 1986. 294 с.



3. Чайковский А.П. Исследование структуры атмосферного аэрозоля методом спектрально-поляризационного лазерного зондирования. Рассеяние и поглощение света в природных и искусственных средах. Минск, Институт физики АН БССР им. Б.И.Степанова, 1991. 431 с.

4. Иванов А.П., Чайковский А.П. Лазерный луч исследует атмосферу. Печатается по решению РИСО ИФ НАН Беларуси - Институт физики НАНБ, 2002.

УДК 621.56

**Коробко В.В., Трушляков Е.И. (Украина, Николаев)**

## **ОСОБЕННОСТИ ПРОЕКТИРОВАНИЯ ЭКОЛОГИЧЕСКИ ЧИСТЫХ УСТАНОВОК КОНДИЦИОНИРОВАНИЯ ВОЗДУХА НА БАЗЕ ТЕРМОАКУСТИЧЕСКОГО ЭФФЕКТА**

### **Краткая характеристика проблемы. Актуальность исследования**

Основные требования международных законодательных актов в области экологии и энергосбережения к перспективному холодильному оборудованию привели к разработке новых принципов получения холода. Одним из решений проблемы создания экологически чистых и одновременно энергетически эффективных установок кондиционирования воздуха (КВ) и систем их холодоснабжения является разработка оборудования на базе термоакустического эффекта [1-9]. Работы в этой области интенсивно ведутся на стыке различных научных специальностей уже около 20 лет. Данная проблема отличается высокой наукоемкостью. Результаты разработок в первую очередь использовались в таких областях как вооружения, космические исследования. В последнее время эти разработки получают коммерческое применение.

Для инженерной работы нужны проверенные «инженерные» методики расчета. Существуют варианты методик расчета термоакустических устройств, наиболее совершенное, на данный момент, решение предложено авторами [3].

Представляется целесообразным дальнейшее совершенствование методологии проектирования термоакустических систем кондиционирования и рефрижерации. В основу методик должны быть положены адекватные математические модели и методы расчета рабочих процессов. Гидродинамическая структура пульсирующих потоков высокой интенсивности, процессы тепло-массообмена и преобразования энергии при движении рабочей среды в элементах установок мало изучены. Для построения корректной феноменологической модели установки кондиционирования воздуха на базе термоакустического эффекта, оценки ее эффективности на стадии проектирования необходима гибридная методология проведения расчетов, сочетающая традиционные инженерные подходы, основанные на теории декомпозиции и синтеза, с возможностями современных методов компьютерного моделирования.

### **Постановка задачи и методы исследований**

Аналитическое решение классических уравнений газодинамики для определения эффективности различных вариантов организации тепломассообмена и преобразования энергии в элементах термоакустических установок представляется крайне сложным. Проведение натурных экспериментальных исследований требует значительных материальных и временных затрат на создание вариантных конструкций. Современные CFD программные комплексы позволяют эффективно решить указанные задачи и сократить сроки разработки новых изделий. Моделирование структуры потоков с высокой интенсивностью турбулентности в элементах системы возможно с достаточно высокой степенью точности при применении CFD программных комплексов (Flow Vision, Fluent, CosmosFloWorks, STAR-CD и др.). Применение программных средств позволяет визуализировать динамику течения, поля скоростей, температур, концентраций компонентов, вести разнообразную статистическую обработку.

Особенностью современных CFD пакетов является их интегрирование с конструкторскими CAD\CAM системами. Для получения корректной модели необходимо выполнение условий:

- создание в одном из современных CAD\CAM трехмерных моделей объектов и их импорт, в среду CFD программ с использованием форматов обмена;
- построение расчетной сетки и ее локальная адаптация в ходе расчетов (определение числа ячеек, достаточных для выявления тонких структур течения в критических областях и имеющих разумный временной период нахождения конечного решения).
- корректная формулировка граничных условий и допущений, выбор или разработка модели турбулентности, адекватных решаемой задаче;
- выполнение обязательной проверки адекватности модели и алгоритма решения задачи.