

Аверкин А.Г.

ПРИМЕРЫ И ЗАДАЧИ ПО КУРСУ

КОНДИЦИОНИРОВАНИЕ ВОЗДУХА И ХОЛОДОСНАБЖЕНИЕ

11.7.4) ИЗОТЕРМЫ РЕАЛЬНЫХ ГАЗОВ. ...
конденсирующегося в 1 сек на 1 см² поверхности жидко-
сти, равно (в г·см⁻²·сек⁻¹)
$$M = 4,374 \cdot 10^{-6} p \sqrt{\frac{p}{T}}$$

где p — давление пара в $\text{дн}/\text{см}^2$,
 T — абсолютная температура,
ров, не соприкасающихся ни с жидкой фазой,
адсорбционно-активными веществами (стр. 228).
конденсации насыщенного и даже пере-
(давление которого $p > p_M$) явля-
денсации отсутствуют, то конденса-
в местах уплотнений вещества, и
туаций плотности (стр. 228).
4° При критической тем-
плотности и ростом сжимаемости

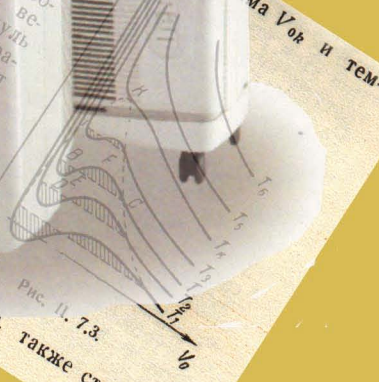
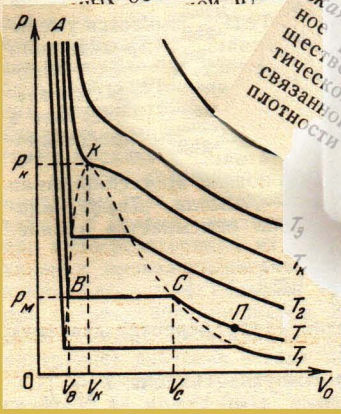


Рис. 11.7.3. (см. также стр. 616).

А.Г. Аверкин

ПРИМЕРЫ И ЗАДАЧИ

ПО КУРСУ

КОНДИЦИОНИРОВАНИЕ ВОЗДУХА И ХОЛОДОСНАБЖЕНИЕ

2-е издание, исправленное и дополненное

Допущено Министерством образования Российской Федерации
в качестве учебного пособия для студентов высших учебных заведений,
обучающихся по специальности «Теплогасоснабжение и вентиляция»
направления подготовки дипломированных
специалистов «Строительство»



Издательство Ассоциации строительных вузов
Москва 2007
Пенза 2007

УДК 697.94(075.8)
ББК 38.762.3
А 19

Рецензенты:

кафедра отопления и вентиляции Воронежского государственного архитектурно-строительного университета (д. т. н., проф. *А.И. Скрыпник*);
В.Е. Кривулина, главный специалист по отоплению и вентиляции
ПО ГИПРОМАШ (г. Пенза)

Аверкин А.Г.

А19 Примеры и задачи по курсу «Кондиционирование воздуха и
холодоснабжение»: Учеб. пособие. – 2-е изд., испр. и доп. – М.:
Издательство АСВ, 2007. - 126 с.

ISBN 978-5-93093-199-2

Изложены методики расчета систем кондиционирования воздуха с применением *I-d*-диаграммы, приведены примеры и задачи по тепловлажностной обработке воздуха, расчету оборудования.

Пособие предназначено для студентов специальности 290700 при изучении курса «Кондиционирование воздуха и холодоснабжение».

ISBN 978-5-93093-199-2

© Издательство АСВ, 2007
© ПензГАСА, 2007
© Аверкин А.Г., 2007

ПРЕДИСЛОВИЕ

Предлагаемое учебное пособие посвящено вопросам тепловлажностной обработки воздуха в системах кондиционирования.

В основу изложения учебного материала принят графоаналитический метод построения и расчета систем кондиционирования с применением *I-d*-диаграммы влажного воздуха.

Вопросы сгруппированы по разделам. Каждый раздел начинается с краткого изложения теоретического материала, затем приводится типовый пример с решением, в конце раздела – контрольные задачи. Примеры с решением позволяют облегчить усвоение учебных вопросов и создать необходимую базу для основы проектирования систем кондиционирования воздуха (СКВ).

В качестве контрольных задач отобраны комплекты примеров, которые предлагались на региональных, всероссийских олимпиадах по специальности 290700, а также использовались в процессе преподавания курса в Пензенской государственной архитектурно-строительной академии.

В приложении приведена контролирующая и обучающая программа по курсу «Кондиционирование воздуха и холодоснабжение». Она содержит 105 вопросов и по 3...4 ответа на каждый из них. Один из приведенных вопросов – правильный (для некоторых вопросов могут быть два верных ответа). Данную программу можно использовать для текущего, выходного, остаточного контроля оценки знаний студентов, а также – для самостоятельной работы.

Автор примет с благодарностью все замечания и пожелания, направленные на улучшение данного пособия.

1. ОБЩИЕ СВЕДЕНИЯ О ВОЗДУХЕ

1.1. Основные свойства влажного воздуха

Окружающий нас атмосферный воздух является смесью сухого воздуха с водяным паром. Эту смесь называют влажным воздухом.

Влажный воздух оценивают по следующим основным параметрам:

- температуре по сухому термометру t_c , °C;
- температуре по мокрому термометру t_m , °C;
- температуре точки росы t_p , °C;
- влагосодержанию d , г/кг;
- относительной влажности ϕ , %;
- абсолютной влажности e , кг/м³;
- удельной энтальпии I , кДж/кг;
- удельной теплоемкости c , кДж/(кг·К);
- парциальному давлению водяных паров P_p , Па;
- барометрическому давлению P_0 , Па и др.

Ниже приведены краткие характеристики параметров влажного воздуха и расчетные уравнения.

Температура воздуха по сухому термометру t_c характеризует степень его нагрева.

Температурой воздуха по мокрому термометру t_m называется температура, до которой нужно охладить воздух, чтобы он стал насыщенным при сохранении начальной энтальпии воздуха.

Температура точки росы воздуха t_p – температура, до которой нужно охладить ненасыщенный воздух, чтобы он стал насыщенным при сохранении постоянного влагосодержания.

Влагосодержание воздуха d – это количество водяного пара в г (или кг), приходящееся на 1 кг сухой части влажного воздуха.

Относительная влажность воздуха ϕ характеризует степень насыщенности воздуха водяными парами. Это отношение массы водяных паров, содержащихся в воздухе к максимально возможной их массе в воздухе при тех же условиях, то есть температуре и давлении, и выраженное в процентах. Другая формулировка, относительная влажность воздуха – это отношение парциального давления водяных паров во влажном воздухе данного состояния к парциальному давлению насыщенного водяного пара при той же температуре, давлении и выраженное в процентах. Насыщенное состояние влажного воздуха – состояние, при котором воздух насыщен водяными парами до предела, для него $\phi = 100\%$.

Абсолютная влажность воздуха e – это количество водяных паров, содержащихся в 1 м^3 влажного воздуха. Численно абсолютная влажность воздуха равна плотности **водяного пара**.

Удельная энтальпия влажного воздуха – количество теплоты, необходимое для нагревания от $0 \text{ }^\circ\text{C}$ до данной температуры такого количества влажного воздуха, сухая часть которого имеет массу 1 кг . Энтальпия влажного воздуха складывается из энтальпии сухой его части и энтальпии водяных паров.

Удельная теплоемкость влажного воздуха c – теплота, которую надо затратить на один килограмм влажного воздуха, чтобы повысить температуру его на один градус Кельвина.

Парциальное давление водяных паров $P_{\text{п}}$ – давление, под которым находятся водяные пары в влажном воздухе. Согласно закону Дальтона применительно к влажному воздуху: полное *барометрическое давление* равно сумме парциальных давлений водяного пара и сухого воздуха.

Основные расчетные формулы:

➤ барометрическое давление

$$P_0 = P_{\text{с.в.}} + P_{\text{п}}. \quad (1.1)$$

Характеристические уравнения:

а) для сухой части воздуха

$$P_{\text{с.в.}} \cdot V = G_{\text{с.в.}} \cdot R_{\text{с.в.}} \cdot T; \quad (1.2)$$

б) для влажного воздуха

$$P_{\text{п}} \cdot V = G_{\text{в.п.}} \cdot R_{\text{в.п.}} \cdot T; \quad (1.3)$$

➤ влагосодержание

$$d = \frac{G_{\text{в.п.}}}{G_{\text{с.в.}}} = 0,623 \frac{P_{\text{п}}}{P_0 - P_{\text{п}}} = 0,623 \frac{\phi P_{\text{п}}}{P_0 - \phi P_{\text{п}}}; \quad (1.4)$$

➤ абсолютная влажность

$$e = \frac{G_{\text{в.п.}}}{V} = \frac{P_{\text{п}}}{R_{\text{в.п.}} \cdot T}; \quad (1.5)$$

➤ относительная влажность

$$\phi = \frac{P_{\text{п}}}{P_{\text{п}}} \cdot 100 \% = \frac{e}{e_{\text{max}}} \cdot 100 \%; \quad (1.6)$$

➤ энтальпия

$$I = I_{\text{с.в.}} + I_{\text{в.п.}} = 1,005t + (2500 + 1,8t) \cdot d \cdot 10^{-3}; \quad (1.7)$$

➤ ПЛОТНОСТЬ

$$\rho_{с.в} \approx \rho_{в.в} \approx \frac{353}{T}. \quad (1.8)$$

1.2. *I-d*-диаграмма влажного воздуха

В 1918 г. профессором Л.К. Рамзиным разработана *I-d*-диаграмма влажного воздуха. В настоящее время она нашла широкое применение в инженерной практике при расчетах сушки, вентиляции, кондиционирования воздуха. Ее применение на стадии проектирования типовых процессов позволяет уменьшить трудоемкость и продолжительность операций.

I-d-диаграмма построена в косоугольной системе координат (рис. 1.1).

Основными осями являются ось ординат, по которой отложены значения энтальпий I , кДж/кг, сухого воздуха, и ось абсцисс, по которой отложены значения влагосодержаний, г/кг, сухого воздуха (рис. 1.1). Угол между осями составляет 135° . Это позволяет расширить на диаграмме область ненасыщенного влажного воздуха, т.е. увеличить рабочую площадь диаграммы. Однако на практике *I-d*-диаграмма влажного воздуха представляется в виде прямоугольной системы координат (для удобства), в ней осью абсцисс является вспомогательная горизонтальная прямая d , на которую в некотором масштабе снесены значения влагосодержаний с основной оси.

На диаграмму нанесены изолинии для воздуха:

- линии постоянных температур;
- линии постоянных влагосодержаний;
- линии постоянных энтальпий;
- линии постоянных относительных влажностей.

В нижней части *I-d*-диаграммы расположена кривая, имеющая самостоятельную ось ординат. Ось ординат этого графика является шкалой парциального давления водяного пара $P_{п}$.

По контуру *I-d*-диаграммы нанесена шкала угловых коэффициентов лучей процессов изменения состояния воздуха (шкала тепловлажностных отношений).

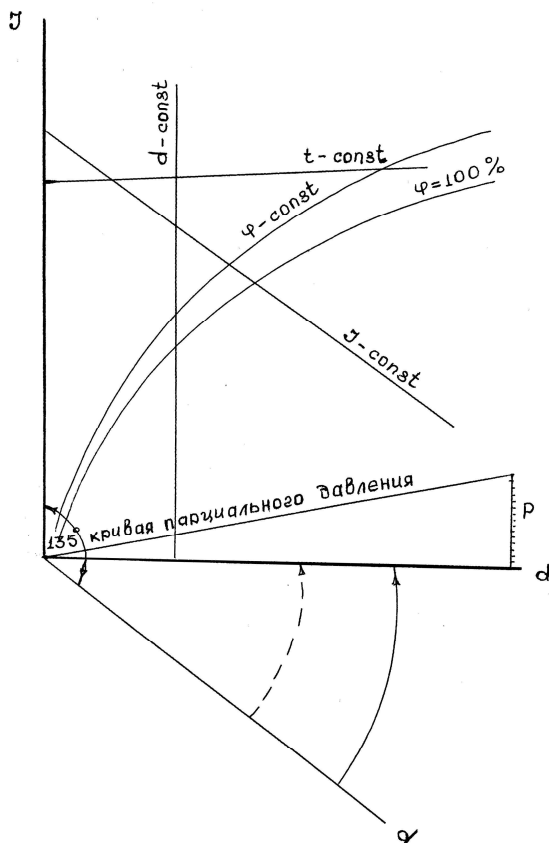


Рис. 1.1. Изолинии $I-d$ -диаграммы влажного воздуха

Все поле диаграммы линией $\varphi = 100\%$ разделено на две части. Выше этой линии расположена область ненасыщенного влажного воздуха. Линия $\varphi = 100\%$ соответствует состоянию воздуха, насыщенного водяными парами. Ниже расположена область перенасыщенного состояния воздуха (состояние тумана). Данная область не представляет интереса для СКВ и поэтому является нерабочей частью диаграммы.

Каждая точка на $I-d$ -диаграмме соответствует определенному тепловлажностному состоянию воздуха.

Линия на $I-d$ -диаграмме отвечает процессу тепловлажностной обработки воздуха.

Рабочий вариант $I-d$ -диаграммы влажного воздуха приведен на рис. 1.2.

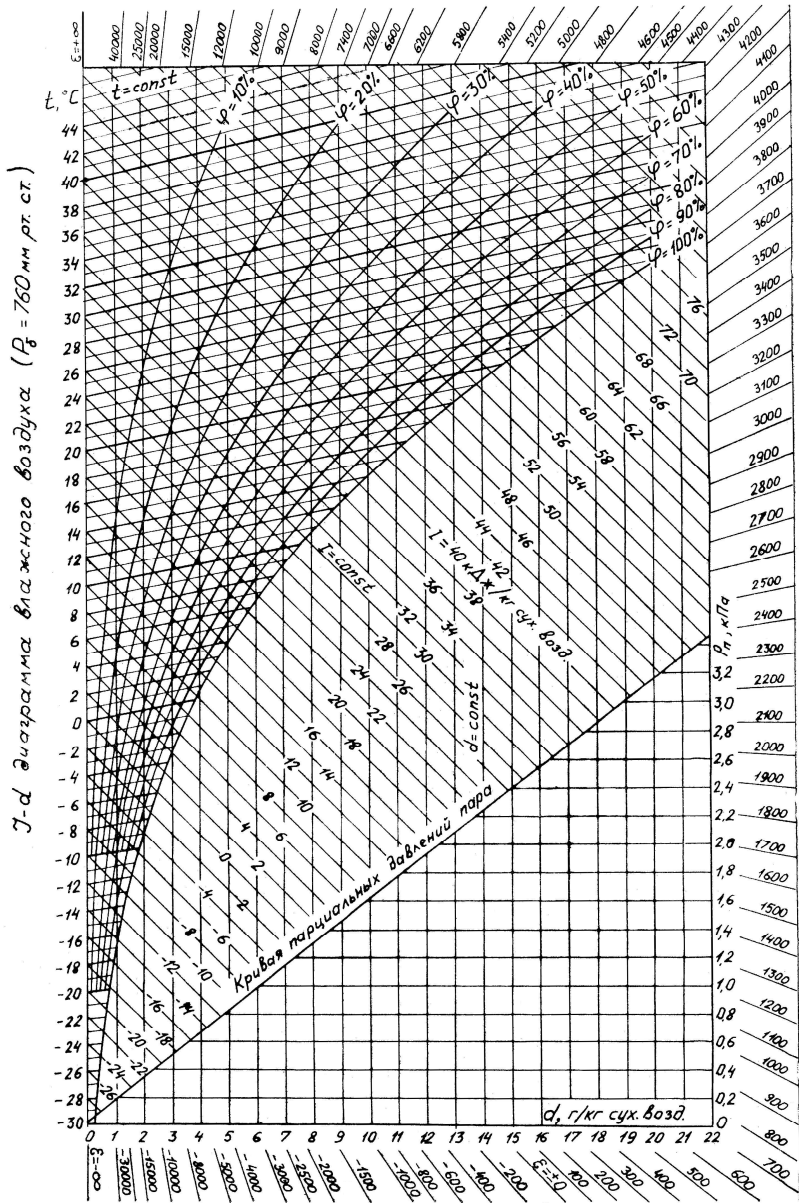


Рис. 1.2. $I-d$ диаграмма влажного воздуха

1.3. Процессы нагрева, охлаждения и смешения воздуха

На I - d -диаграмме влажного воздуха процессы нагрева, охлаждения воздушной среды изображаются лучами по d -const (рис. 1.3).

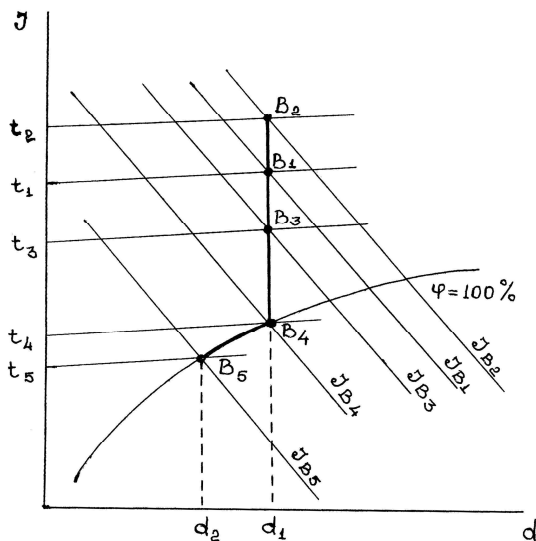


Рис. 1.3. Процессы сухого нагрева и охлаждения на I - d -диаграмме:

B_1B_2 – сухой нагрев; B_1B_3 – сухое охлаждение;

$B_1B_4B_5$ – охлаждение с осушением воздуха

Процессы сухого нагрева и сухого охлаждения воздуха на практике осуществляют, применяя теплообменники (воздухонагреватели, калориферы, воздухоохладители).

Если влажный воздух в теплообменнике охлаждается ниже точки росы, процесс сопровождается выпадением конденсата на поверхности, и охлаждение воздуха сопровождается его осушкой (см. рис. 1.3).

Расход теплоты в теплообменнике на нагрев воздуха массой G , имеющего параметры I_{B_1} , t_1 , до состояния t_2 , I_{B_2} (см. рис. 1.3) определяется по уравнению

$$Q = G \cdot c (t_2 - t_1) = G(I_{B_2} - I_{B_1}). \quad (1.9)$$

Расход холода при охлаждении воздуха от состояния $B_1(t_1; I_{B_1})$ до состояния $B_3(t_3; I_{B_3})$ определяют по уравнению

$$Q_{\text{хол}} = G \cdot c (t_1 - t_3) = G(I_{B_1} - I_{B_3}). \quad (1.10)$$

Количество конденсата, образующегося при осушке воздуха от состояния $B_1(t_1; d_1)$ до состояния $B_5(t_5; d_2)$, рассчитывают по уравнению

$$W_k = G(d_1 - d_2) \cdot 10^{-3}. \quad (1.11)$$

Процессы смешения влажного воздуха изображаются на I - d -диаграмме прямой линией, соединяющей исходные состояния смешиваемого воздуха. Причем параметры смеси определяют по т. C , лежащей на этой прямой (рис. 1.8).

1.4. Примеры

Пример 1.1. Определить влагосодержание, энтальпию, плотность влажного воздуха при $t = 20$ °С, $\varphi = 60\%$, $P_0 = 0,098$ МПа (1 кгс/см²).

Решение. Влагосодержание воздуха в соответствии с формулой (1.4) равно:

$$d = 0,623 \frac{0,60 \cdot 0,0238}{1 - 0,60 \cdot 0,0238} = 0,009 \text{ кг/кг (9 г/кг)},$$

где 0,0238 кгс/см² – давление насыщенного пара при $t = 20$ °С (прил. 2).

Энтальпия воздуха составит по формуле (1.7):

$$I = 1,005 \cdot 20 + (2500 + 1,8 \cdot 20) \cdot 9 \cdot 10^{-3} = 42,9 \text{ кДж/кг}.$$

Плотность воздуха по формуле (1.8) равна:

$$\rho_{в.в} \approx \frac{353}{20 + 273} \approx 1,2 \text{ кг/м}^3.$$

Пример 1.2. Определить параметры влажного воздуха, если он имеет температуру по сухому термометру 20 °С и влагосодержание 4 г/кг.

Решение. На I - d -диаграмме влажного воздуха находим изотерму 20 °С и линию влагосодержания 4 г/кг, на пересечении которых определится т. B , отвечающая состоянию данного воздуха (рис. 1.4).

Остальные параметры влажного воздуха равны: относительная влажность $\varphi = 28\%$, энтальпия $I = 30,2$ кДж/кг, парциальное давление водяных паров $P_{п} = 0,65$ кПа, температура мокрого термометра $t_{м} = 10,5$ °С, температура точки росы $t_{р} = 0,8$ °С.

ОГЛАВЛЕНИЕ

ОГЛАВЛЕНИЕ	124
ПРЕДИСЛОВИЕ.....	3
1. ОБЩИЕ СВЕДЕНИЯ О ВОЗДУХЕ	4
1.1. Основные свойства влажного воздуха	4
1.2. I-d-диаграмма влажного воздуха	6
1.3. Процессы нагрева, охлаждения и смешения воздуха	9
1.4. Примеры	10
1.5. Контрольные задачи.....	15
2. ТЕПЛО- И ВЛАГООБМЕН МЕЖДУ ВОЗДУХОМ И ВОДОЙ....	16
2.1. Криволинейный треугольник	16
2.2. Процессы увлажнения и осушения воздуха водой.....	17
2.3. Примеры	18
2.4. Контрольные задачи.....	20
3. РАСЧЕТЫ ПРИ ПОСТРОЕНИИ ПРОЦЕССОВ СКВ НА I-d-ДИАГРАММЕ ВЛАЖНОГО ВОЗДУХА	21
3.1. Построение луча процесса.....	21
3.2. Определение параметров приточного воздуха	22
3.3. Определение параметров удаляемого воздуха	22
3.4. Определение производительности СКВ.....	23
3.5. Построение процессов обработки воздуха в СКВ при прямооточных схемах.....	24
3.5.1. Прямое изохальное охлаждение воздуха	24
3.5.2. Прямоточная схема СКВ для теплого периода.....	26
3.5.3. Прямоточная схема СКВ для холодного периода	26
3.6. Построение процессов обработки воздуха в СКВ с рециркуляцией	29
3.6.1. Схема СКВ с первой рециркуляцией для теплого периода	29
3.6.2. Схема СКВ с первой рециркуляцией для холодного периода	31
3.7. Двухступенчатое охлаждение воздуха	33
3.8. Увлажнение воздуха водяным паром	34
3.9. Примеры	36
3.10. Контрольные задачи.....	49
4. РАСЧЕТ ОСНОВНОГО ОБОРУДОВАНИЯ ЦЕНТРАЛЬНЫХ СКВ	56
4.1. Расчет камер орошения	56

4.2. Расчет воздухонагревателей.....	58
4.3. Расчет воздухоохладителей.....	63
4.3.1. Расчет воздухоохладителей при сухом охлаждении.....	63
4.3.2. Расчет воздухоохладителей при охлаждении и осушении воздуха.....	64
4.4. Расчет оборудования холодоснабжения.....	66
4.4.1. Поверочный расчет испарителя	66
4.4.2. Поверочный расчет конденсатора	67
4.4.3. Расчет брызгального бассейна	68
4.4.4. Расчет градирни	71
4.5. Примеры	72
4.6. Контрольные задачи.....	80
СПИСОК УСЛОВНЫХ СОКРАЩЕНИЙ	82
ПРИЛОЖЕНИЯ.....	85
БИБЛИОГРАФИЧЕСКИЙ СПИСОК.....	124

Учебное пособие

Александр Григорьевич **Аверкин**

ПРИМЕРЫ И ЗАДАЧИ

ПО КУРСУ

КОНДИЦИОНИРОВАНИЕ ВОЗДУХА И ХОЛОДОСНАБЖЕНИЕ

2-е издание, исправленное и дополненное

Редактор: *В.С. Кулакова*
Компьютерная верстка: *В.С. Кулакова*
Дизайн обложки: *Н.С. Кузнецова*

Лицензия ЛР № 0716188 от 01.04.98. Сдано в набор 10.04.2003. П завод

Подписано к печати 20.03.07. Формат 60x88/16.

Бумага газетная. Гарнитура Таймс. Печать офсетная.

Усл. 8 п. л. Тираж 2000 экз. Заказ № .

Издательство Ассоциации строительных вузов (АСВ)
129337, Москва, Ярославское шоссе, 26, оф. 706 (отдел реализации – к. 511)
тел., факс: (495)183-56-83; e-mail: iasv@mgsu.ru, <http://www.iasv.ru/>