



Влияние характеристик турбулентного рассеяния на концентрацию загрязнителя в модели гауссового факела по измеренным параметрам температурных инверсий пограничного слоя атмосферы.

Миллер Е.А.☆☆

Лезина Е.А. ☆☆☆

Лукьянов А.Н. ☆☆☆☆

Баранов Н.А. ☆☆☆☆☆

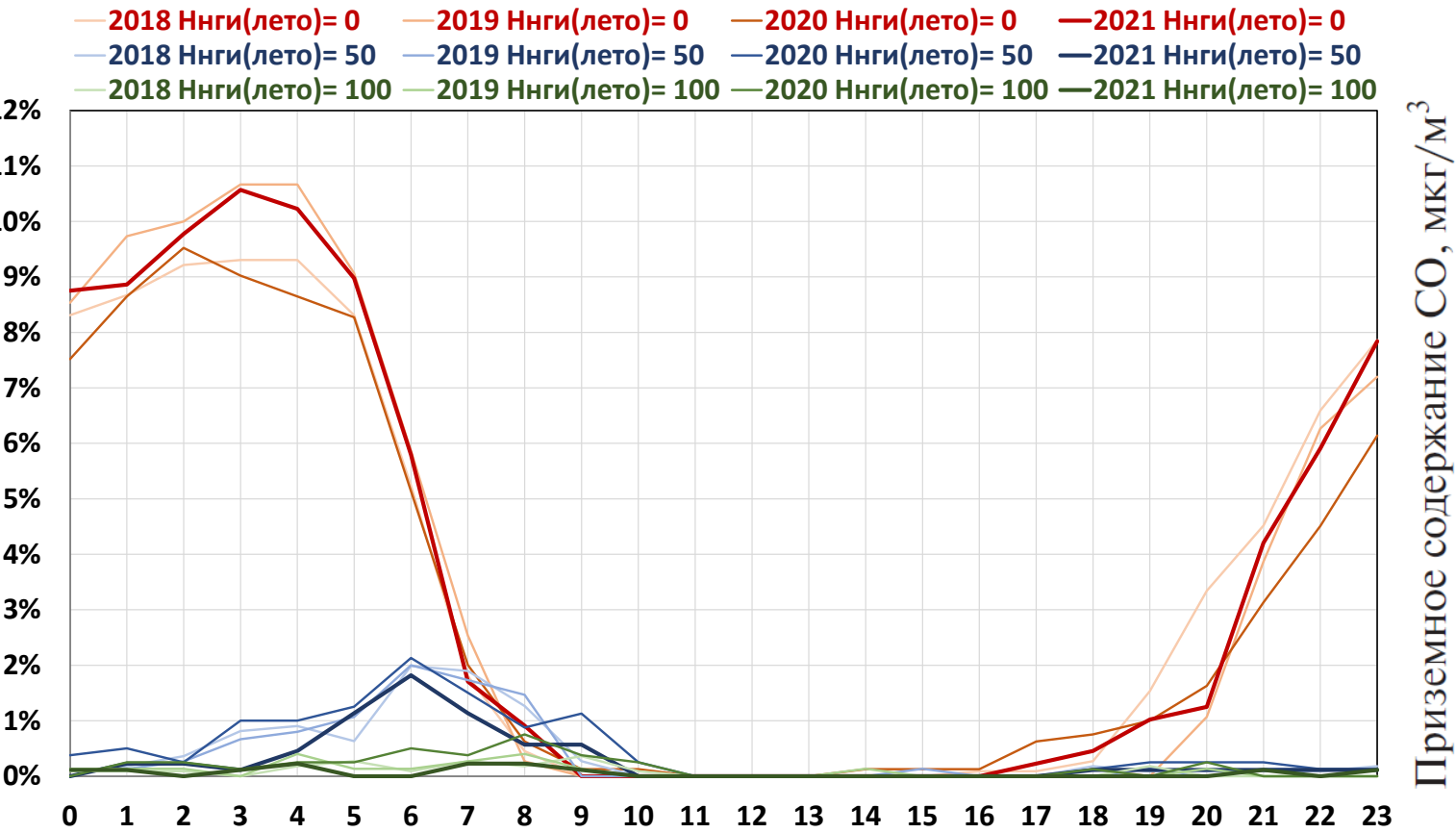
ООО "НПО "АТТЕХ" ☆

ГПБУ Мосэкомониторинг ☆☆☆

ФГБУ Центральная аэрологическая обсерватория ☆☆☆☆

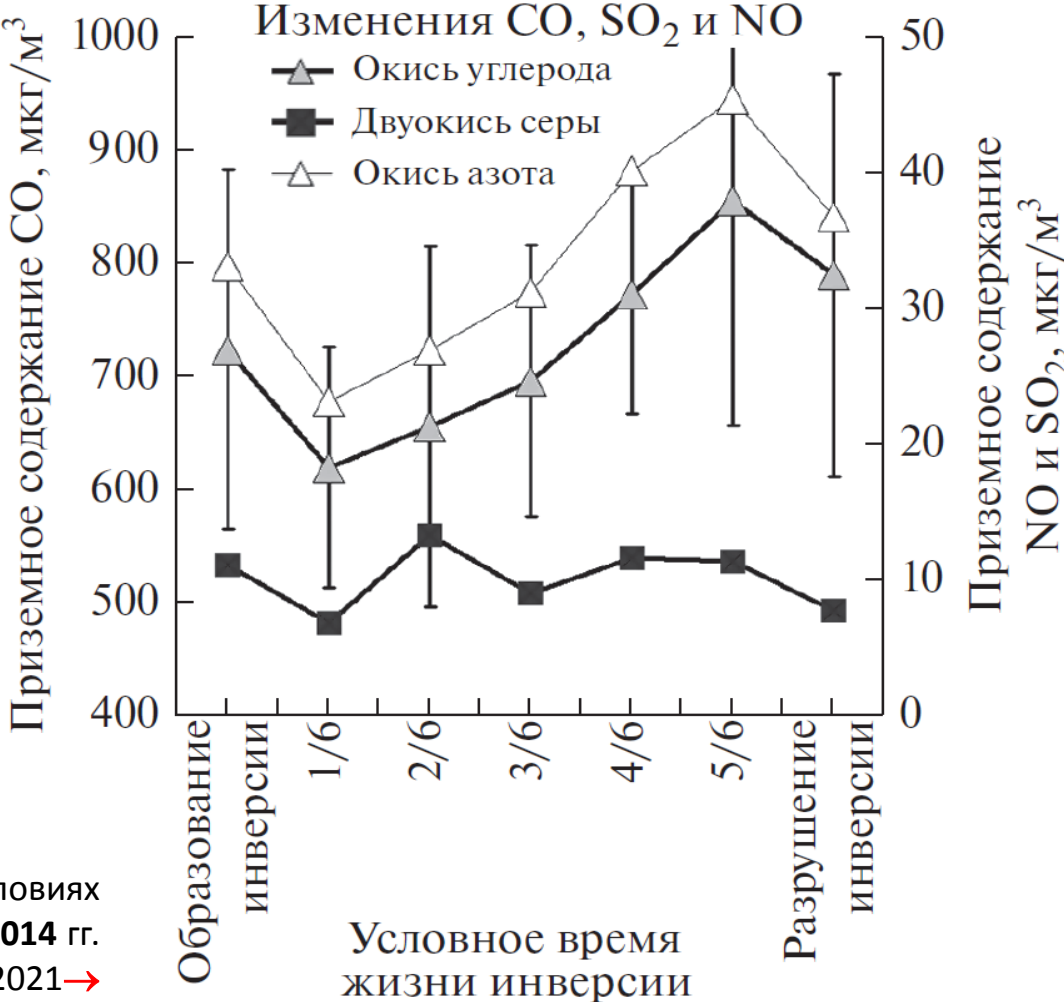
Вычислительный центр им. А.А. Дородницына ФИЦ ИУ РАН ☆☆☆☆☆

НМУ И ВРЕМЯ. N 96-ФЗ ред. 08.08.24 - метеорологические условия, способствующие накоплению загрязняющих веществ в приземном слое атмосферного воздуха и РД 52.04.306-92: ОПАСНЫЙ ВЕТЕР и ИНВЕРСИЯ НАД ИСТОЧНИКОМ ВЫБРОСА. Комплексы НМУ для каждого типа источников по **скорости и направлению ветра, положению нижней границы инверсии над источником** на группы с примерно одинаковыми НМУ на **Высокие** (выше 50м), **Средней высоты** (20÷50м) и **Низкие**.

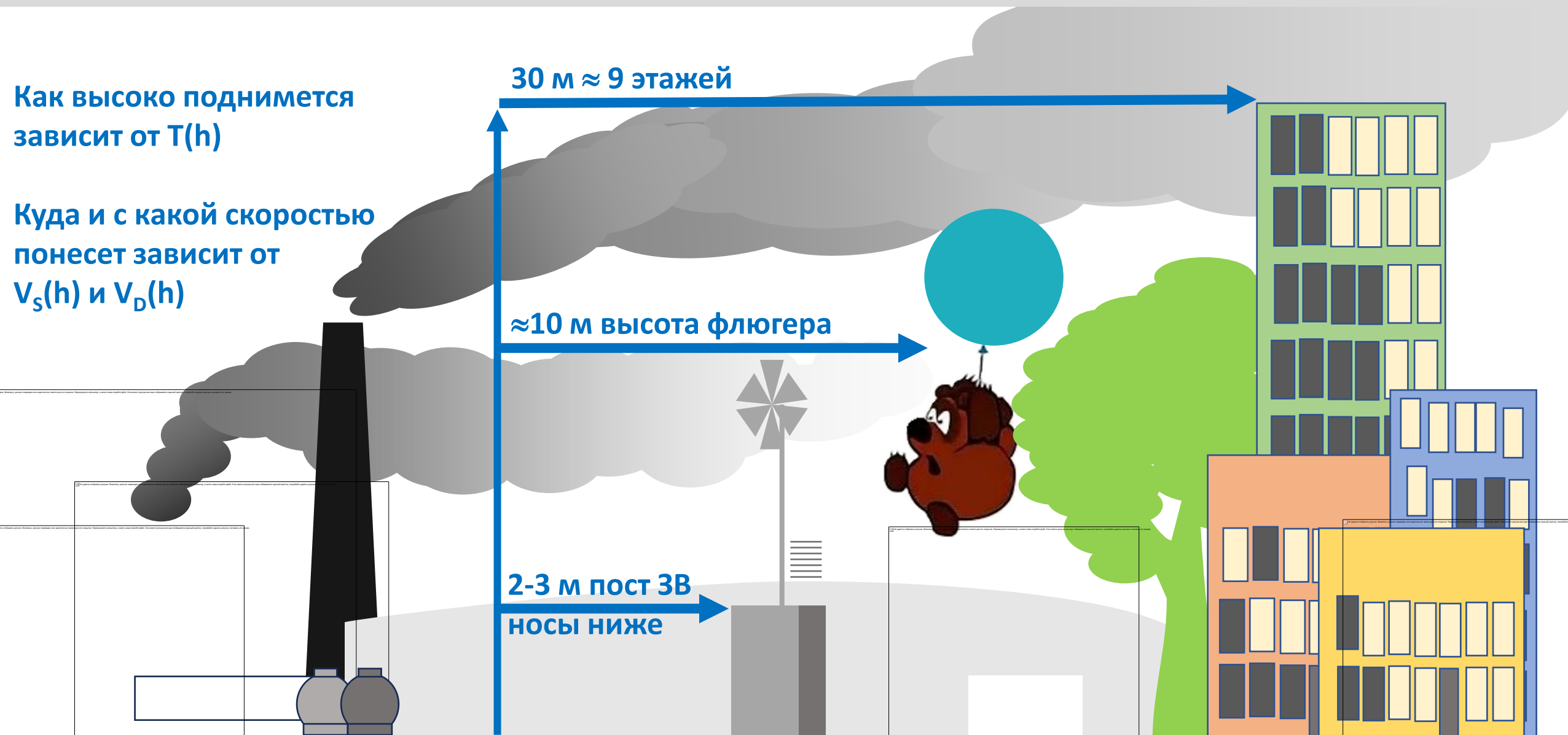


↑ Инверсий в Москве апрель÷октябрь 2018=1107, 2019=750, 2020=798, 2021=880

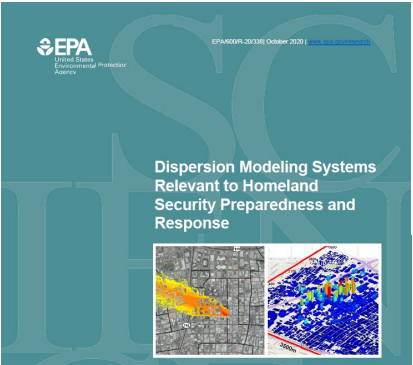
Изменения приземного содержания малых газов и скорости ветра в слое 40–200 м в условиях долгоживущих приподнятых инверсий. Москва, МГУ, **2002–2014** гг.
см. М.А.Локощенко и др., 2021→



**НМУ(ВРЕМЯ и МЕСТО). Как далеко от источника и сколько Смакс (ПДК)? На какой высоте Смакс(ПДК)?
На какой площади (дом, квартал или город) С(ПДК) и как долго?**



НМУ(ВРЕМЯ и МЕСТО). Как далеко от источника и сколько Смакс (ПДК)? На какой высоте Смакс(ПДК)? На какой площади (дом, квартал или город) С(ПДК) и как долго?



Gaussian Plume Models Гаусса модель	Gaussian Puff Models Модель клубка	Lagrangian Dispersion Models Модель Лагранжа	CFD Models Вычислительная гидродинамика
Типичное время вычислений: Секунды	Минуты	От минут до часа	Часы

*повышение сложности модели, точности и вычислительных требований
из порядка 140 моделей малая часть в практическом пользовании*

Методы прогноза на основе научных знаний физики атмосферы с решением уравнения турбулентной диффузии:

- Модель факела Гаусса простая, быстрая, локальная (работает без интернета) и достоверная на дистанции до 10 км в приземном слое. Пользует РОСАТОМ.
- Модели прогноза гидродинамики CFD, Химико-транспортные - основаны на теоретической физике, требуются метеорологические поля данных о температуре и ветре высокого разрешения по данным численного прогноза погоды (ЧПП) и данные качественной сети оперативных метеоданных и плотной сети референтных/достоверных данных об источниках и уровнях измеренных ЗВ. Дорогие ресурсы расчетов на локальных и внешних серверах данных. Рабочие в ГМЦ РГ, РАН и др.
- Модели лагранжевые и модели клубка – чаще научные цели анализа переноса ЗВ на большие расстояния на основе качественных данных ЧПП метеорологических полей данных о температуре и ветре высокого разрешения. Дорогие ресурсы расчетов на локальных и внешних серверах данных. Реализованы в ГМЦ Росгидромета, РАН и др.

Методы прогноза на основе статистики:

ИИ или машинное обучение - статистический анализ, который зависит от качества и количества данных, для стационарных процессов без учета реальной динамики погоды и изменчивости сложных промышленных технологических процессов.
Сводные расчеты - неоперативный и для критических расчетных значений без учета динамики погоды.

НМУ(ВРЕМЯ и МЕСТО). Как далеко от источника и сколько Смакс (ПДК)? На какой высоте Смакс(ПДК)?
На какой площади (дом, квартал или город) С(ПДК) и как долго?



НМУ(ВРЕМЯ и МЕСТО) через аналитическое решение уравнения переноса-диффузии 3В для случая полупространства в АПС.

А.Х.Хргиан, 1978, т 1, стр 52: Распространение газовых примесей от тех или иных источников в атмосфере (равно как и мелких частиц дыма) управляется уравнением турбулентной диффузии - уравнениями диффузии, в которые подставлены соответствующие, различные по осям x , y и z коэффициенты диффузии D_x , D_y , D_z .

$$\frac{\partial q}{\partial t} + u \frac{\partial q}{\partial x} + w \frac{\partial q}{\partial z} = D_x \frac{\partial^2 q}{\partial x^2} + D_y \frac{\partial^2 q}{\partial y^2} + D_z \frac{\partial^2 q}{\partial z^2} \quad (17.5)$$

... решение представлено из монографии А.С.Монина и А.М.Яглом 1965 (см. [41, ч. 1, с. 561]).

$$\bar{q} = \frac{Q}{4\pi x \sqrt{D_y D_z}} e^{-\frac{uy^2}{4D_y x}} \left[e^{-\frac{u(z-H)^2}{4D_z x}} \pm e^{-\frac{u(z+H)^2}{4D_z x}} \right], \quad (17.8)$$

Теме посвящена классическая работа Тейлора (1921) по статистической диффузии и работа Сеттона (1953) с предложением решения распределения примесей по **гауссовскому закону**. Работами Паскуилла (1961), Гиффорда (1961) и Тернера (1970) предложена схема 6-ти категорий устойчивости от неустойчивой до устойчивой как А, В, С, D, Е и F. Бриггс (1973) предложил формулы связи **категорий устойчивости от А до F** с коэффициентами диффузии D_y и D_z (далее σ_y и σ_z) для города и пригорода с учетом типовой разницы ветровой стратификации. Формулы Бриггса разрабатывались в согласовании с экспериментальными данными и в согласии с теоретическими ограничениями по диффузии. Решение на основе закона Гаусса лежит в основе сотен, если не тысяч моделей по всему миру (Ханна, 1994).

Модель используется:

ВМО и ВОЗ

МАГАТЭ и РОСАТОМ

EPA AERMOD

ADMS

НМУ(ВРЕМЯ и МЕСТО)=Формула Гаусса 3-х мерных полей концентрации с учетом отражения от земли и инверсии (ADMS Clarke, 1979).
Нестационарные параметры стационарного решения.

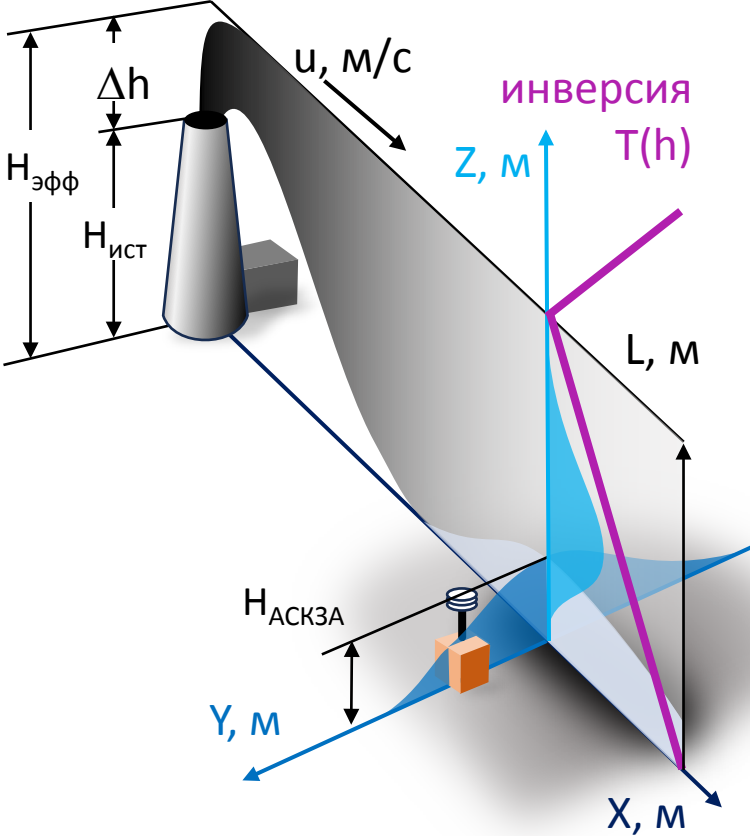
$$C(x,y,z) = Q \times \frac{1}{2\pi\sigma_y\sigma_z u} \times \exp\left[-\frac{1}{2}\left(\frac{y}{\sigma_y}\right)^2\right] \times \left\{ \exp\left[-\frac{1}{2}\left(\frac{z-H}{\sigma_z}\right)^2\right] + \exp\left[-\frac{1}{2}\left(\frac{z+H}{\sigma_z}\right)^2\right] + \exp\left[-\frac{1}{2}\left(\frac{-2L+z+H}{\sigma_z}\right)^2\right] + \exp\left[-\frac{1}{2}\left(\frac{2L+z-H}{\sigma_z}\right)^2\right] + \exp\left[-\frac{1}{2}\left(\frac{-2L+z-H}{\sigma_z}\right)^2\right] \right\}$$

концентрации по оси X

горизонтальное Y

вертикальное по Z распределение концентрации с учетом отражения от земли и границы инверсии

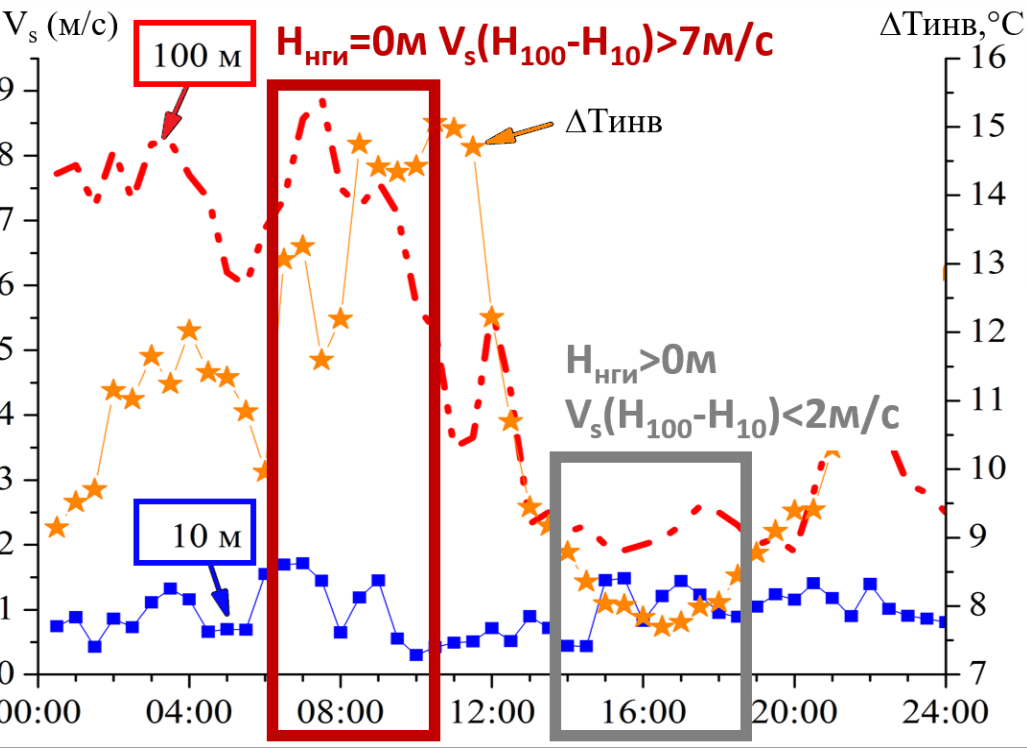
Эффективная высота $H=H_{\text{eff}}=h_s+\Delta h$, где $\Delta h=1.5(D_s \cdot V_s)/u+65 \cdot [(T_s-T_a)/T_s]^{0.25} \cdot (D_s^{1.5})/u$



	Стационарные исходные данные	Нестационарные технологические	Нестационарные Метеозависимые	T(h,t)	V _{sd} (h,t)
мощность эмиссии источника Q(г/с)	да при стационарном тех. процессе	да при аварии или залповый выброс			
эффективная высота H(м)=H _{эфф} =h _s +Δh	высота источника h _s (м), диаметр трубы D _s (м)	температура эмиссии T _s (К) и скорость V _s (м/с)	T _a (К) температура на высоте трубы, скорость ветра u(м/с) на высоте эмиссии	Да	Да
			L(м) высота нижней границы температурной инверсии	Да	
параметр диффузии по X(м)=σ _x			по X перенос u(∂q/∂x) >> диффузии и место зависит от направления ветра		Да
параметр диффузии по Y(м)=σ _y (x,Ky)	тип застройки		Ky(ABCDEF)- категория устойчивости	Да	
параметр диффузии по Z(м)=σ _z (x,Ky)	тип застройки		Ky(ABCDEF)- категория устойчивости	Да	

насколько решение **Спдк(X,Y,Z,t)** стационарное и какое влияние характеристик температурно-ветровой стратификации на турбулентное рассеяние при расчете концентрации **ЗВ(X,Y,Z,t)?**

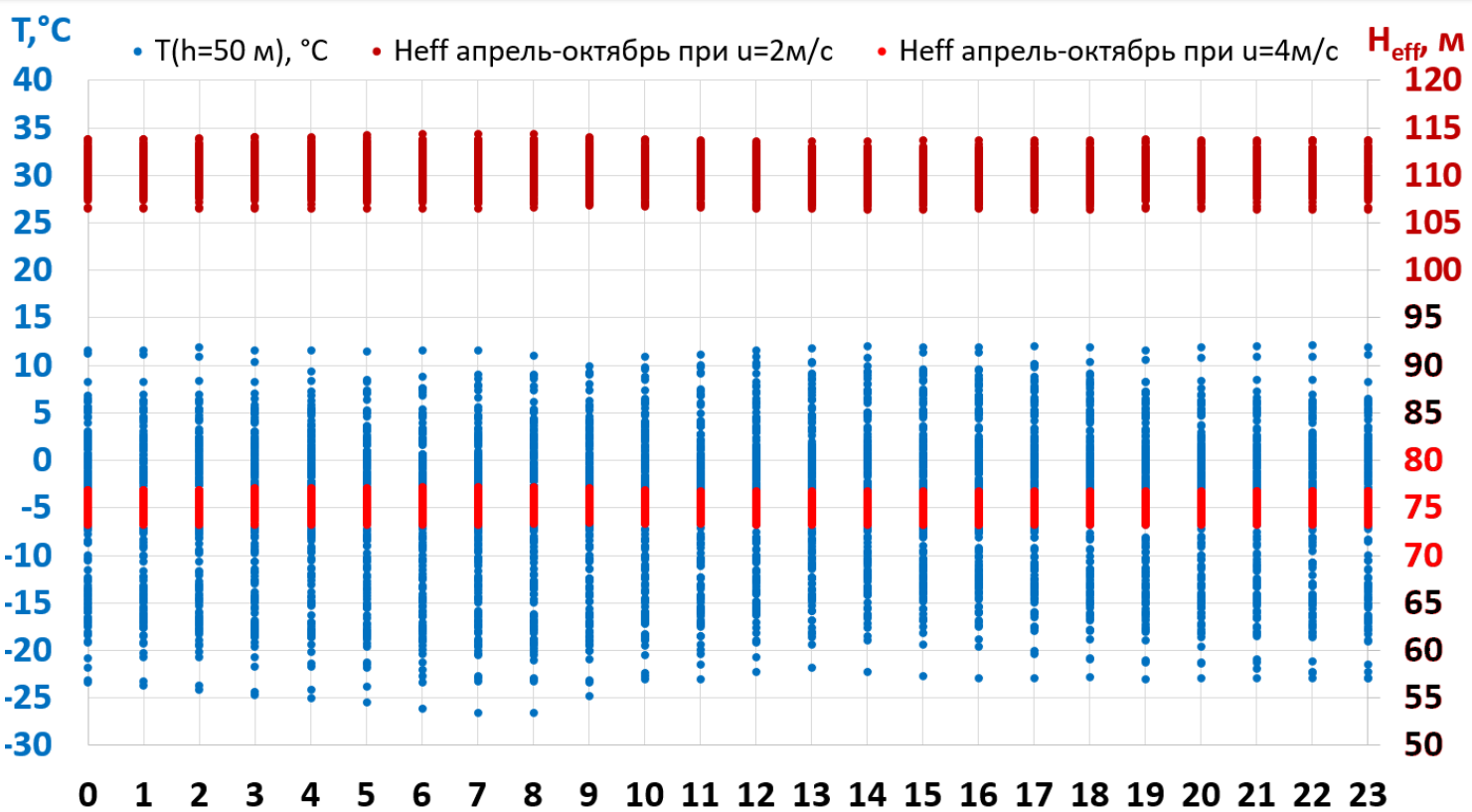
НМУ(ВРЕМЯ и МЕСТО)= Эффективная высота и время.



$$H = H_{\text{eff}} = h_s + \Delta h,$$

где $\Delta h = 1.5(D_s \cdot V_s) / u + 65 \cdot [(T_s - T_a) / T_s]^{0.25} \cdot (D_s^{1.5}) / u$
Расчет для высоты источника $h = 40$ м;
температура выброса $T_s = 70^\circ\text{C} = 343,15$ К;
скорость эмиссии $V_s = 5$ м/с; диаметр $D_s = 2$ м.

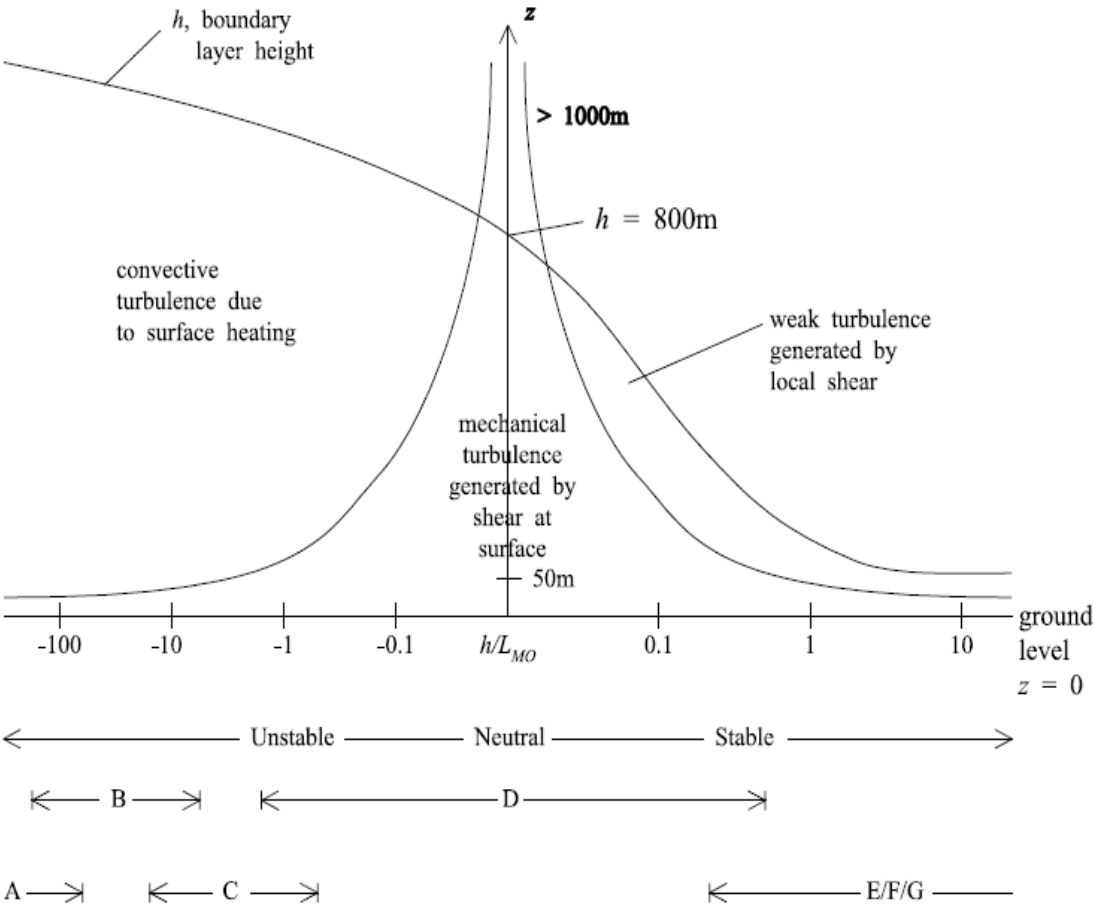
Сдвиг ветра пропорционален мощности инверсии (ИКАО Doc 9817 AN/449).
Пример, когда в условиях приземных инверсий $\Delta T_{\text{инв}} > 10^\circ\text{C}$ при $H_{\text{нги}} = 0$ м утром разность скорости ветра в слое 100 метров $V_s > 7$ м/с.
В условиях приподнятых инверсий с $H_{\text{нги}} > 0$ м при $\Delta T_{\text{инв}} < 10^\circ\text{C}$ днем скорость ветра V_s в слое 100м выравнивается (Камардин и др., 2024).



слабое влияние $T(h_s, t)$ vs $u = V(h_s, t)$, однако с учетом *суточной* динамики V_s в слое 100 м
влияние **значительно** изменение $V_s(100\text{м})$ с $7 \div 9$ до $2 \div 3$ м/с за 8 часов. Как влияет $\downarrow H_{\text{eff}}$ при $\uparrow H_{\text{нги}}$...

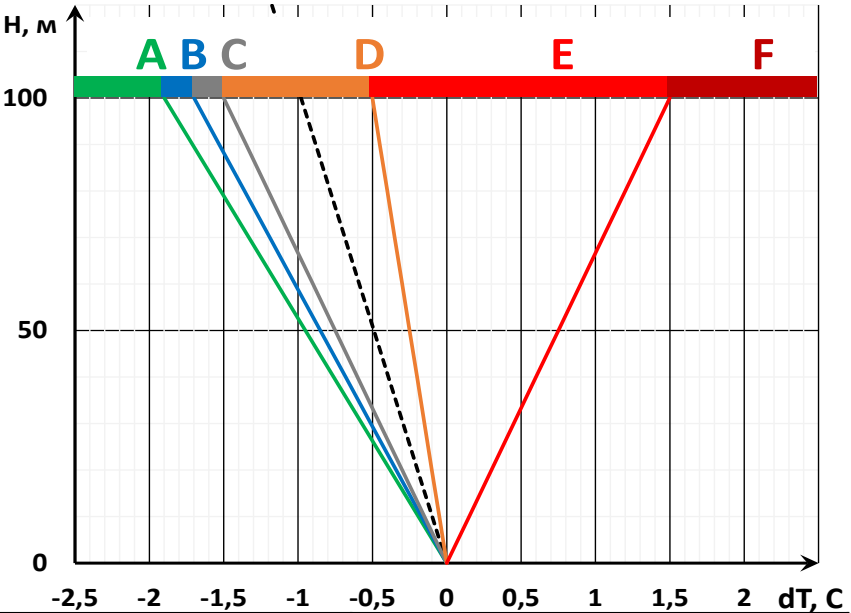
НМУ(ВРЕМЯ и МЕСТО)= Ky(ABCDEF)- категории устойчивости и время.

Руководство пользователя ADMS 5, CERC, 2016



Схематическое представление изменения масштаба Монина-Обухова в зависимости от атмосферной устойчивости или категорий устойчивости от А до F.

С учетом прямых измерений профилей $T(h, t)$



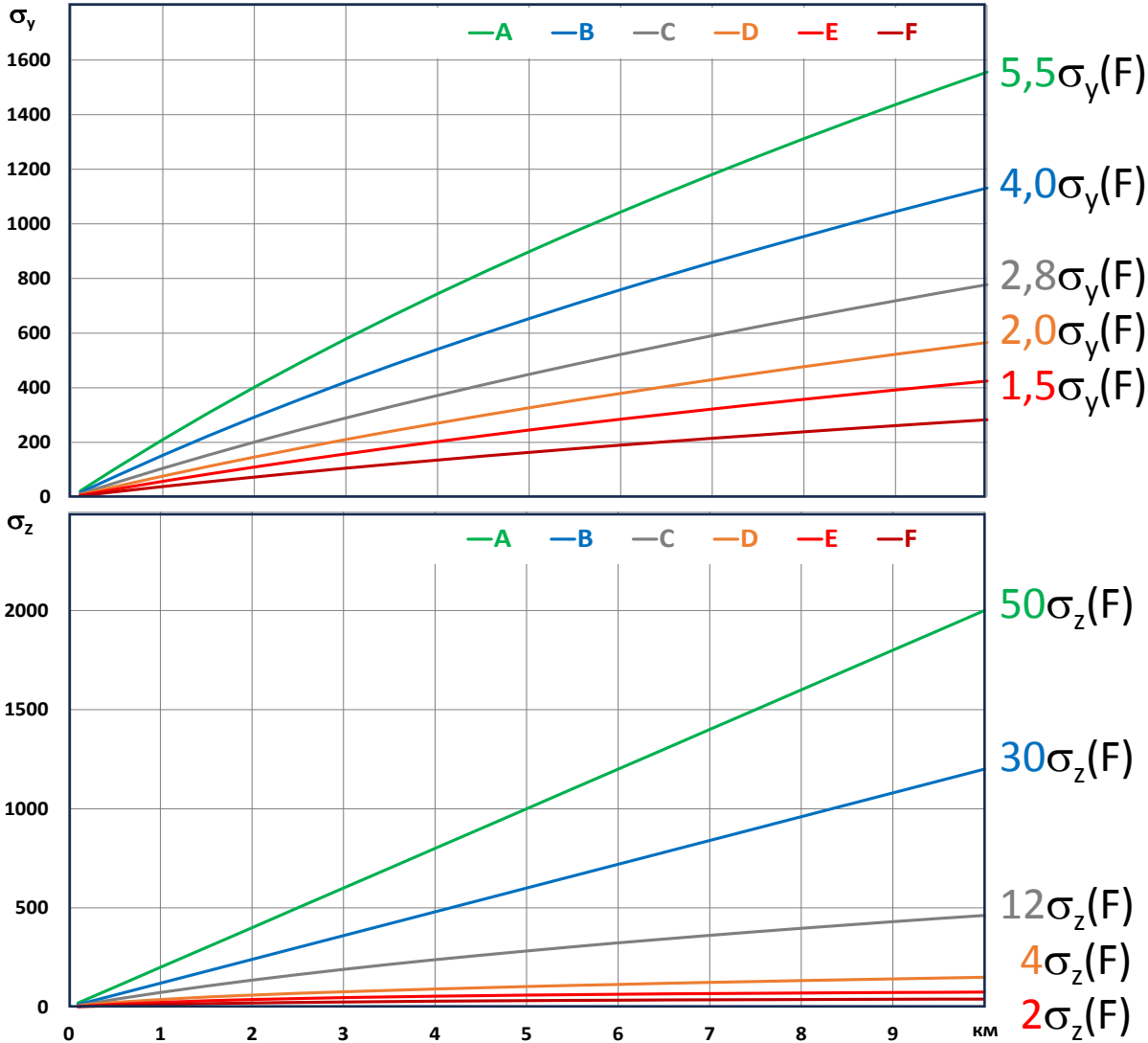
категории устойчивости атмосферы Паскуилла (1961) и условия атмосферы	градиент температуры, °C/100 м
A - сильная конвекция	$\Delta T/\Delta Z < -1.9$
B - умеренно неустойчивые условия	$-1.9 < \Delta T/\Delta Z < -1.7$
C - слабая неустойчивость	$-1.7 < \Delta T/\Delta Z < -1.5$
D - нейтральная/безразличная стратификация	$-1.5 < \Delta T/\Delta Z < -0.5$
E - слабо устойчивая	$-0.5 < \Delta T/\Delta Z < 1.5$
F – умеренная и сильная устойчивость	$1.5 < \Delta T/\Delta Z$

НМУ(ВРЕМЯ и МЕСТО)= Ky(ABCDEF)- категории устойчивости и время. Суточная и сезонная динамика для $\sigma_y(x)$ и $\sigma_z(x)$.

Эмпирический характер гауссовой модели заключается в использовании статистически подобранных зависимостей коэффициентов диффузии как функций расстояния от источника.

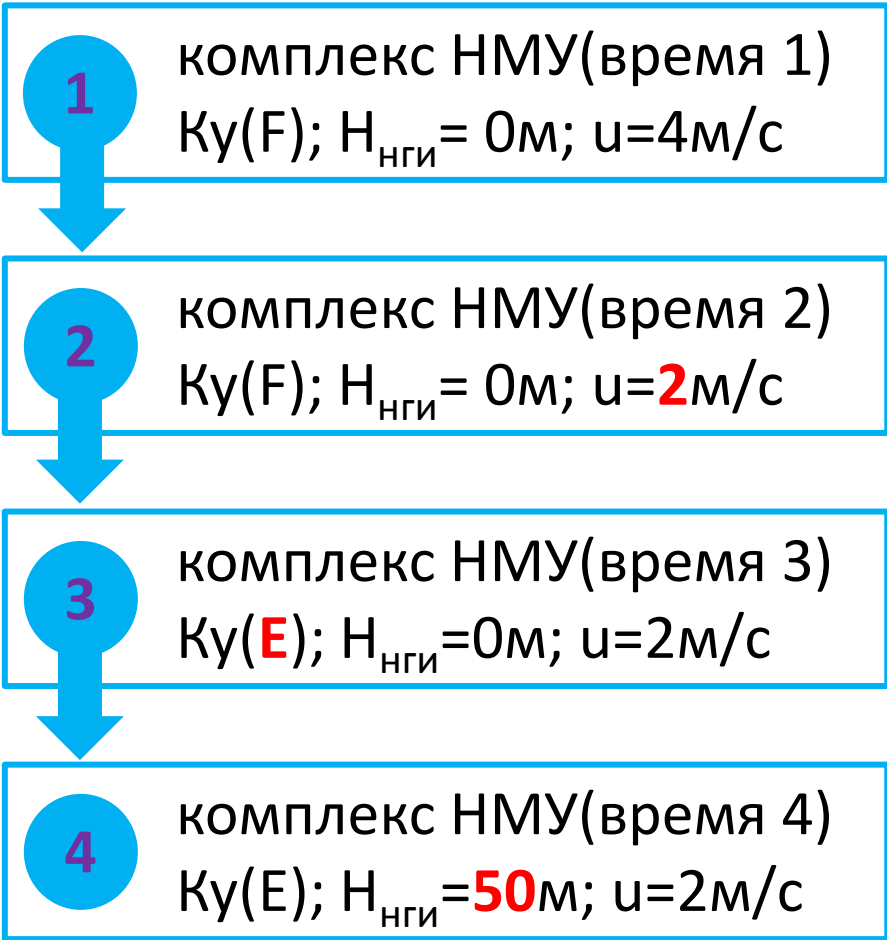
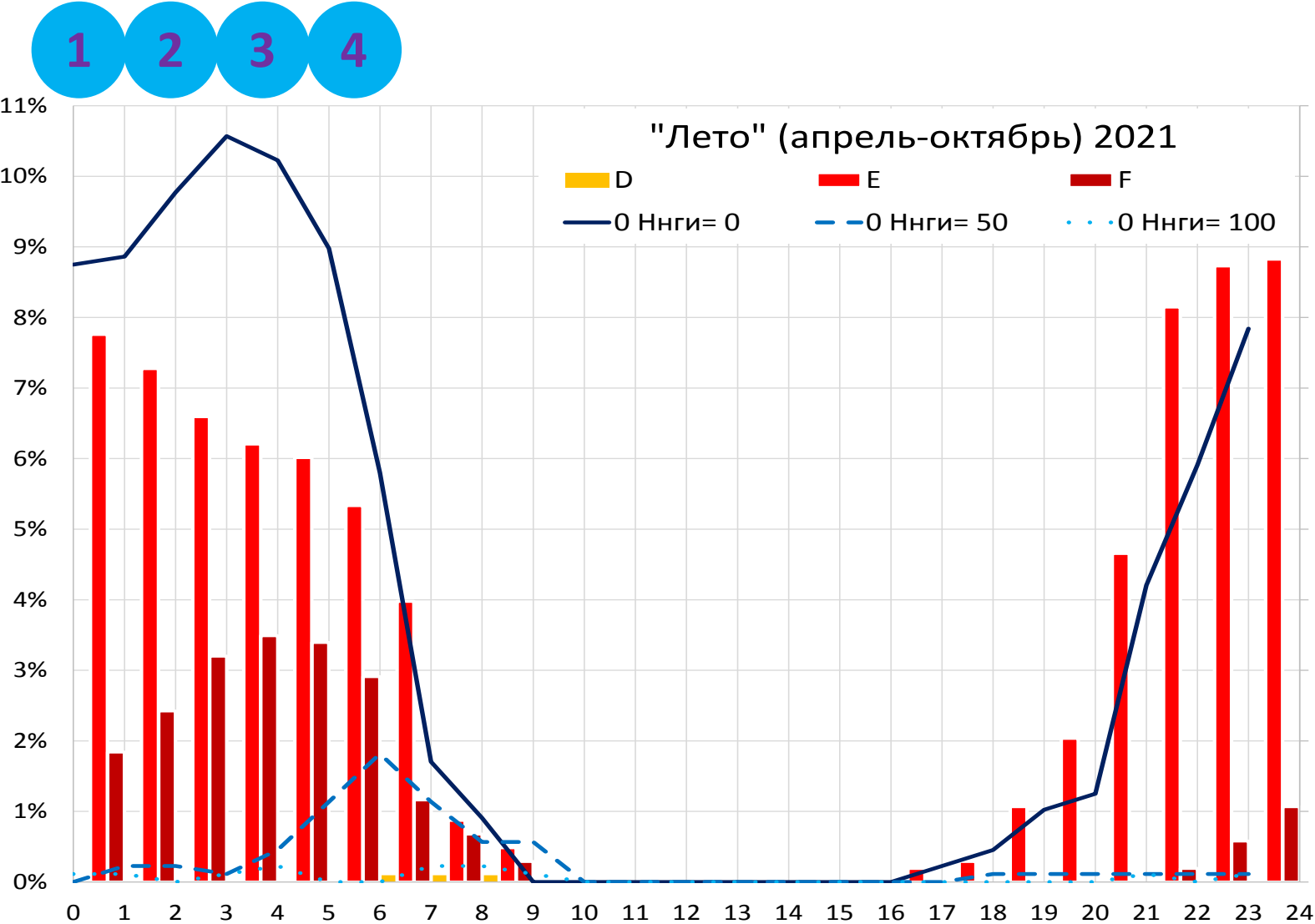
принимается, что по X перенос $u(\partial q/\partial x) \gg$ диффузии σ_x
Формулы Бриггса (1973) для $\sigma_y(x)$ и $\sigma_z(x)$ при $10^2 < x < 10^4$ м для малоэтажной застройки типа пригород.

Категории устойчивости атмосферы Паскуилла (1961)	$\sigma_y(x)$	$\sigma_z(x)$
A - сильная конвекция	$0,22 \times (1+0,0001 \, x)^{-1/2}$	$0,20 \, x$
B – умеренно неустойчивые	$0,16 \times (1+0,0001 \, x)^{-1/2}$	$0,12 \, x$
C - слабая неустойчивость	$0,11 \times (1+0,0001 \, x)^{-1/2}$	$0,08 \times (1+0,0002 \, x)^{-1/2}$
D – нейтральная стратификация	$0,08 \times (1+0,0001 \, x)^{-1/2}$	$0,06 \times (1+0,0015 \, x)^{-1/2}$
E - слабо устойчивая	$0,06 \times (1+0,0001 \, x)^{-1/2}$	$0,03 \times (1+0,0003 \, x)^{-1}$
F – умеренная и сильная	$0,04 \times (1+0,0001 \, x)^{-1/2}$	$0,016 \times (1+0,0003 \, x)^{-1}$



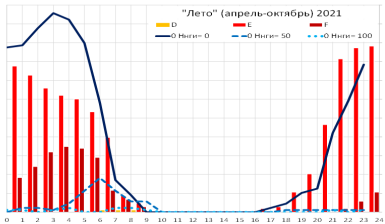
НМУ(ВРЕМЯ и МЕСТО)= Ky(ABCDEF)- категории устойчивости и время. Суточная и сезонная динамика для $\sigma_y(x)$ и $\sigma_z(x)$.

Статистика суточного распределения Ннги равной 0, 50 и 100м для «летнего» сезона 2021 Москвы, с представлением изменчивости категорий устойчивости **D**($H_{нги}=50м$), **E** и **F**($H_{нги}=0м$)



Влияние характеристик турбулентного рассеяния на концентрацию загрязнителя в модели гауссового факела по измеренным параметрам температурных инверсий пограничного слоя атмосферы.

$C(X,Y=0,Z)$ в НМУ($K_y(EF);H_{нги};u$)

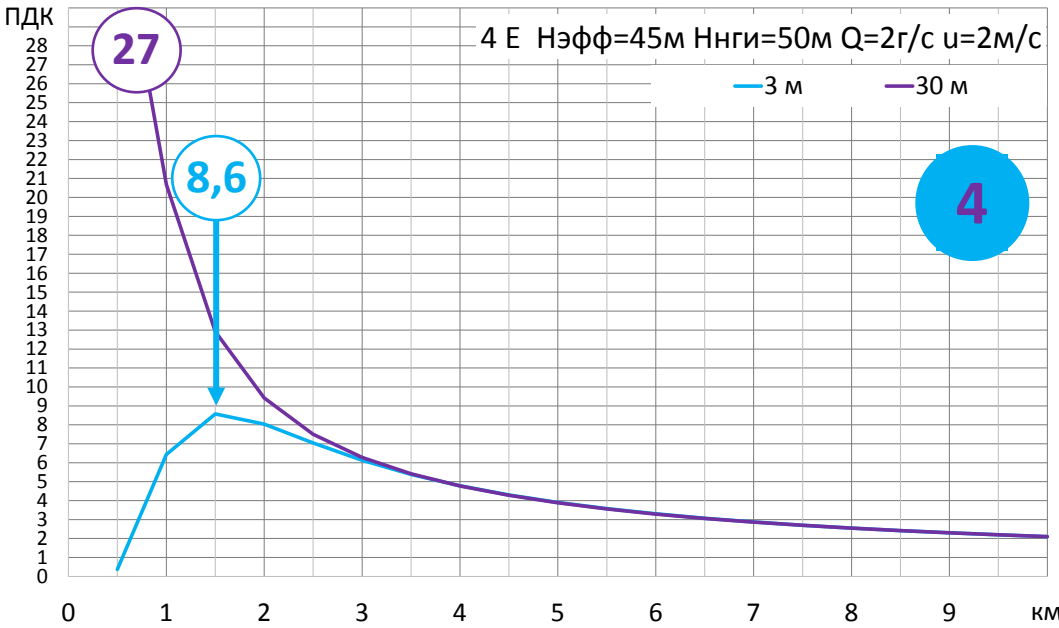
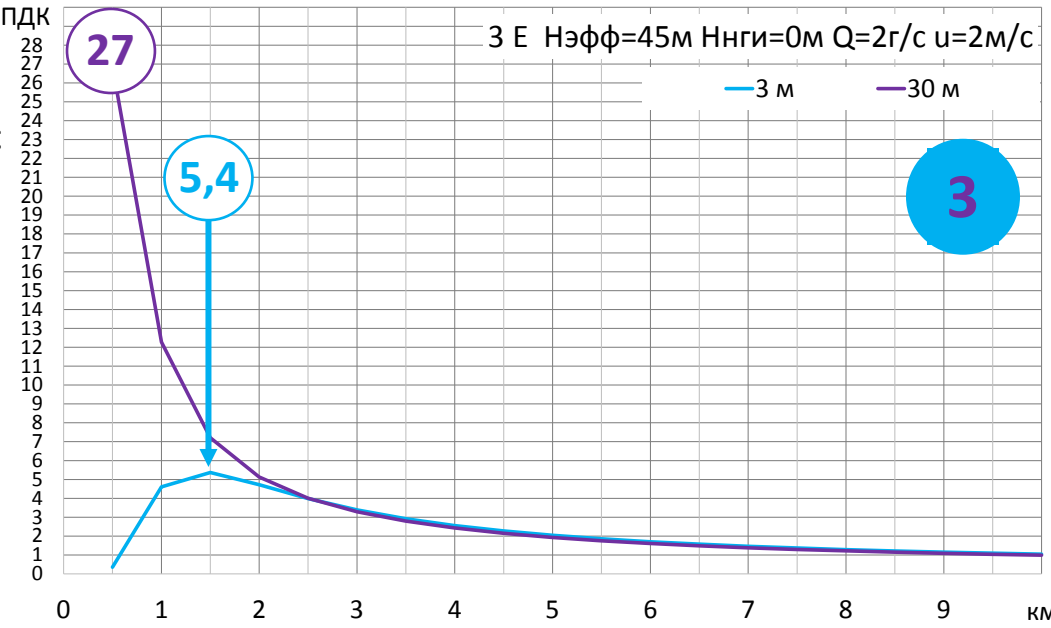
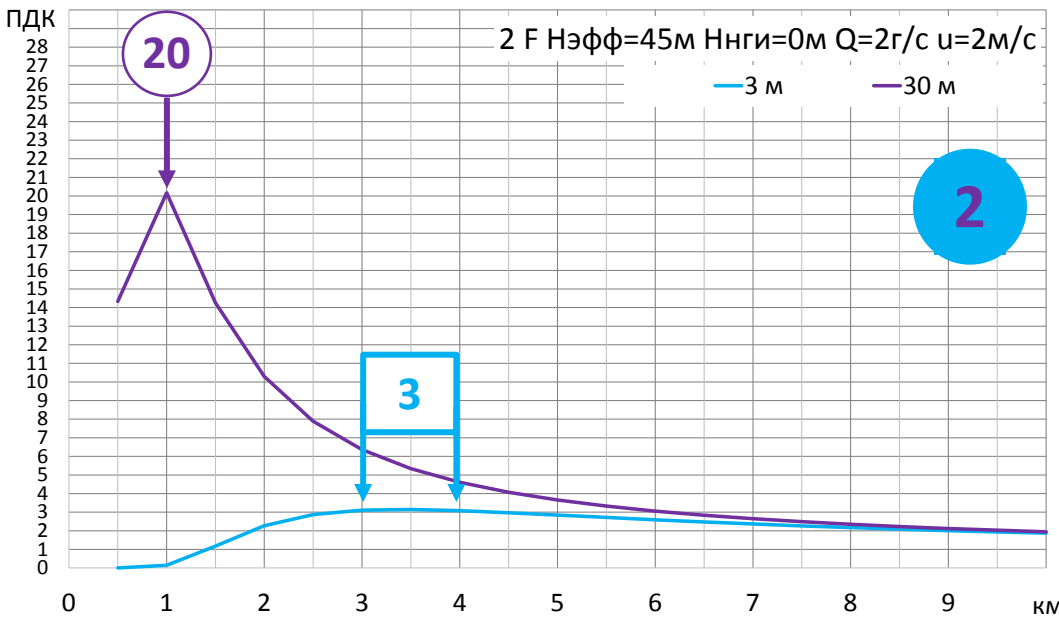
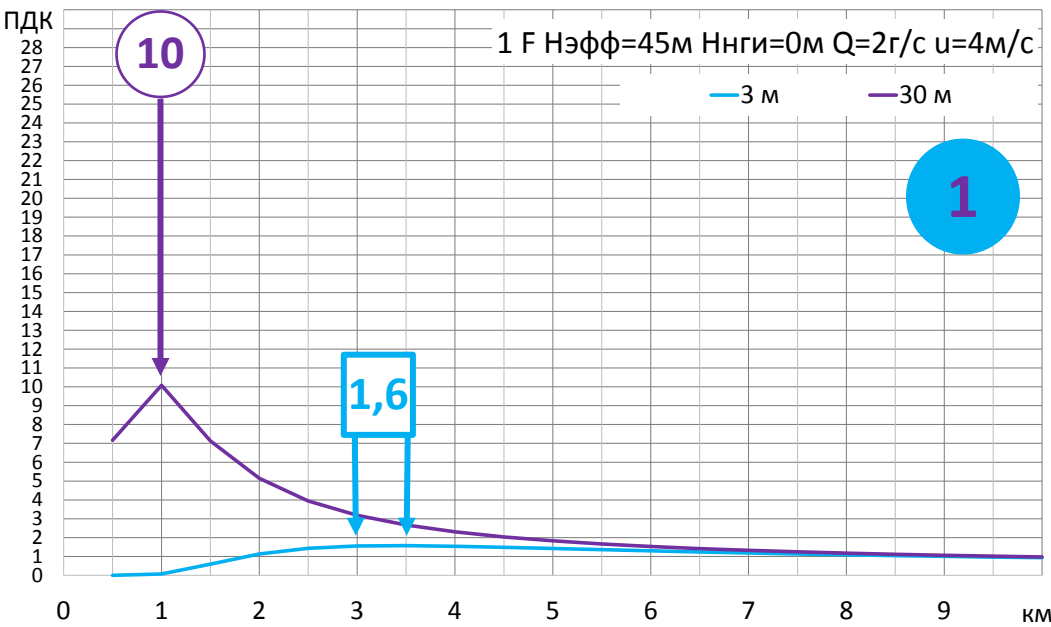


НМУ(время 1)
 $K_y(F);H_{нги}=0\text{м};u=4\text{м/с}$

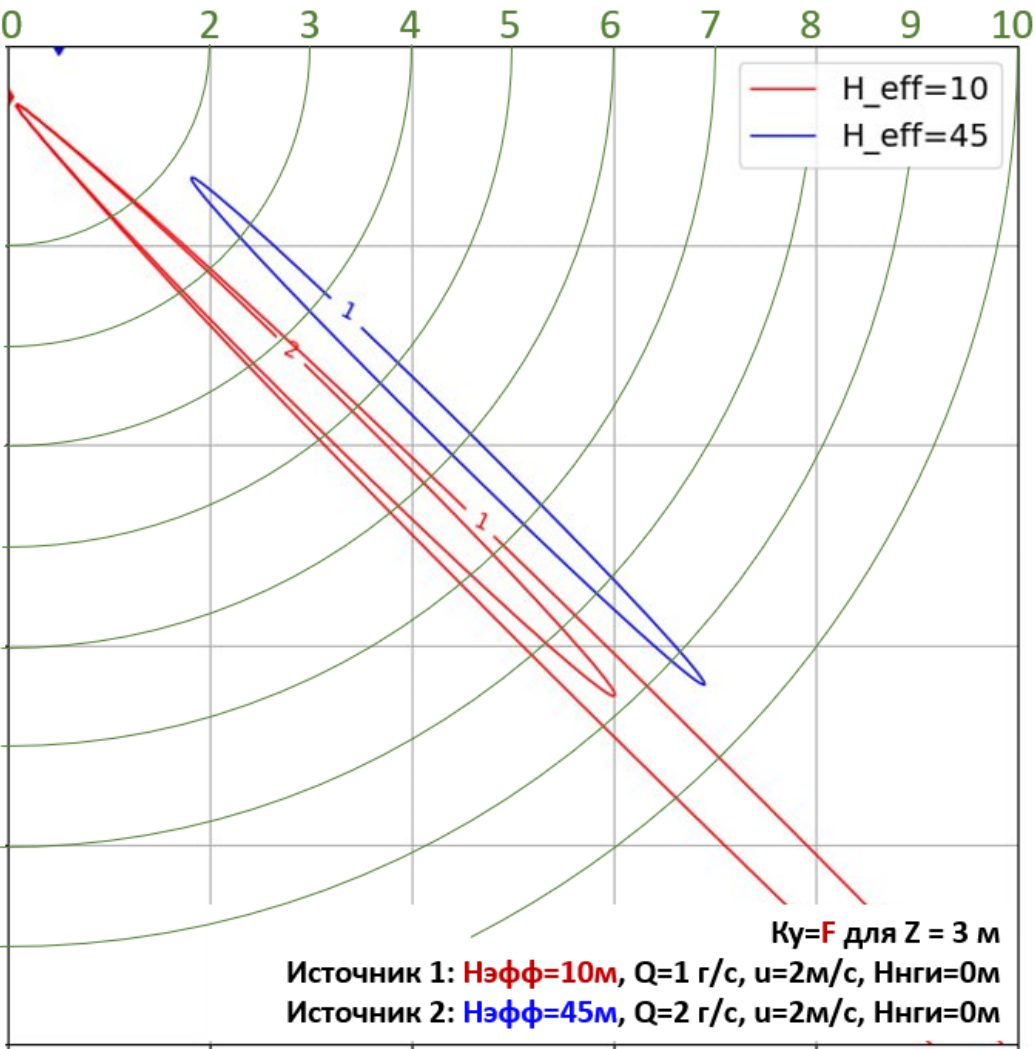
НМУ(время 2)
 $K_y(F);H_{нги}=0\text{м};u=2\text{м/с}$

НМУ(время 3)
 $K_y(E);H_{нги}=0\text{м};u=2\text{м/с}$

НМУ(время 4)
 $K_y(E);H_{нги}=50\text{м};u=2\text{м/с}$

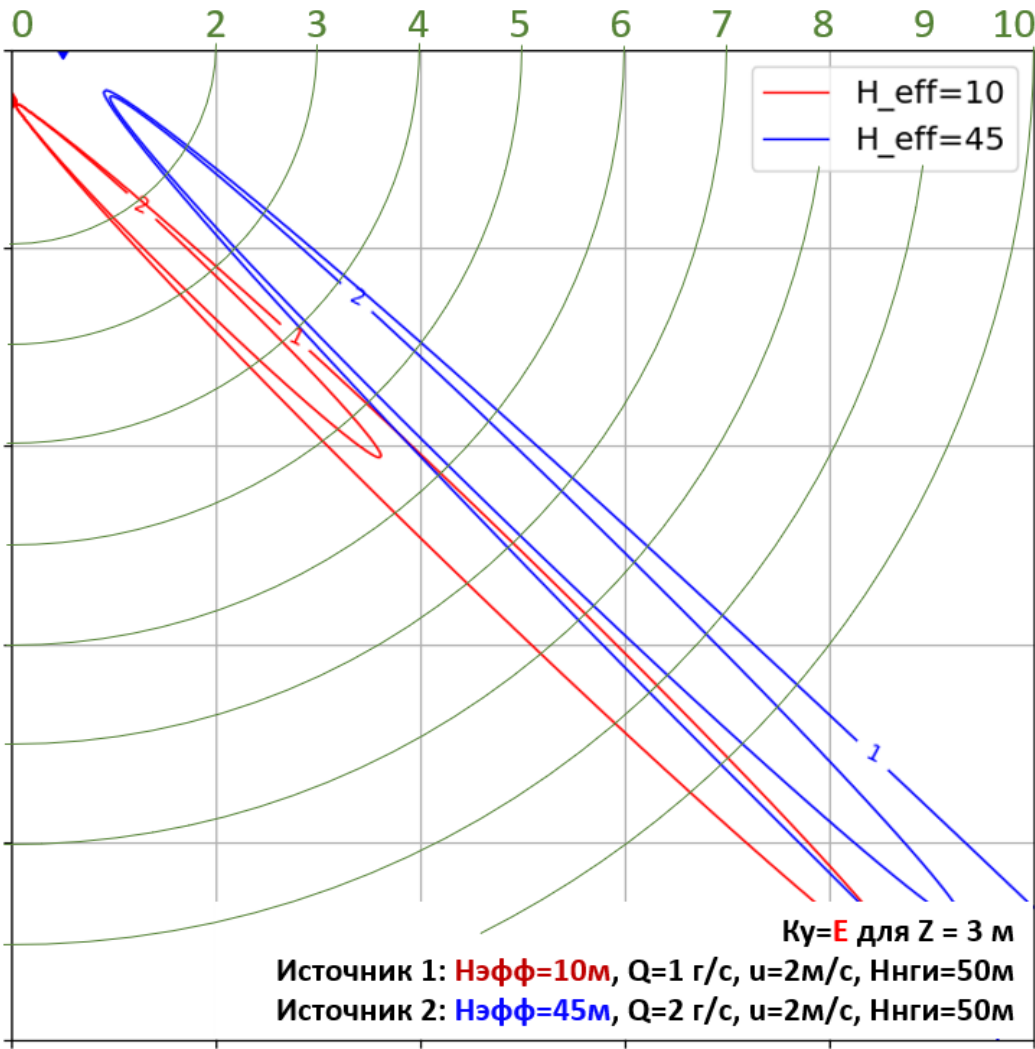


Влияние характеристик турбулентного рассеяния на концентрацию загрязнителя в модели гауссового факела по измеренным параметрам температурных инверсий пограничного слоя атмосферы.



2

категория устойчивости F на высоте 3 м
Низкий источник $H_{эфф}=10$ с ПДК>2 до 9 км,
Высокий $H_{эфф}=45$ с ПДК>1 до 10 км



4

категория устойчивости E на высоте 3 м
Низкий источник $H_{эфф}=10$ с ПДК>2 до 6 км,
Высокий $H_{эфф}=45$ с ПДК>1 >> 10 км
эффект «копчения»

НМУ(ВРЕМЯ и МЕСТО). Смакс (ПДК) в период НМУ на «живых» данных ½ 2025.

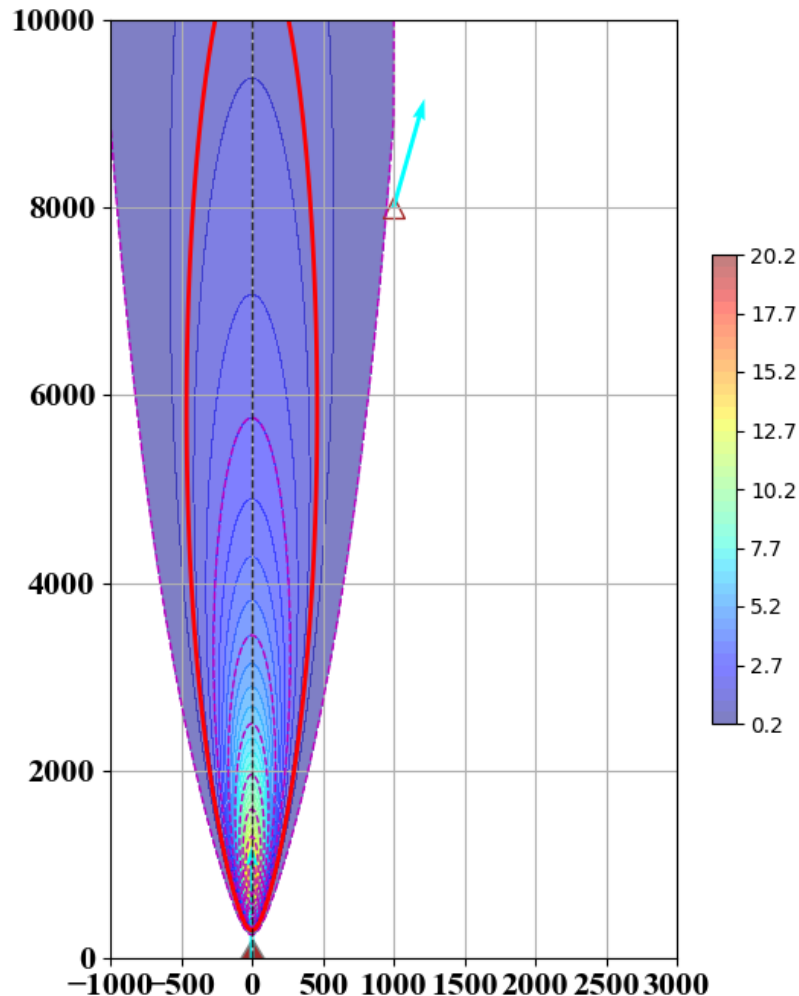


Технология расчета полей концентраций по гауссовой модели атмосферной диффузии с применением измерений температурной стратификации в реальном времени была проверена по данным постов контроля уровня загрязнений ГПБУ "Мосэкомониторинг" в 2025 году. В качестве источника данных о динамике температурной стратификации в пограничном слое атмосферы использовались результаты измерений профилей температуры в слое до 1 км от земли метеорологическими температурными профилемерами МТР-5.

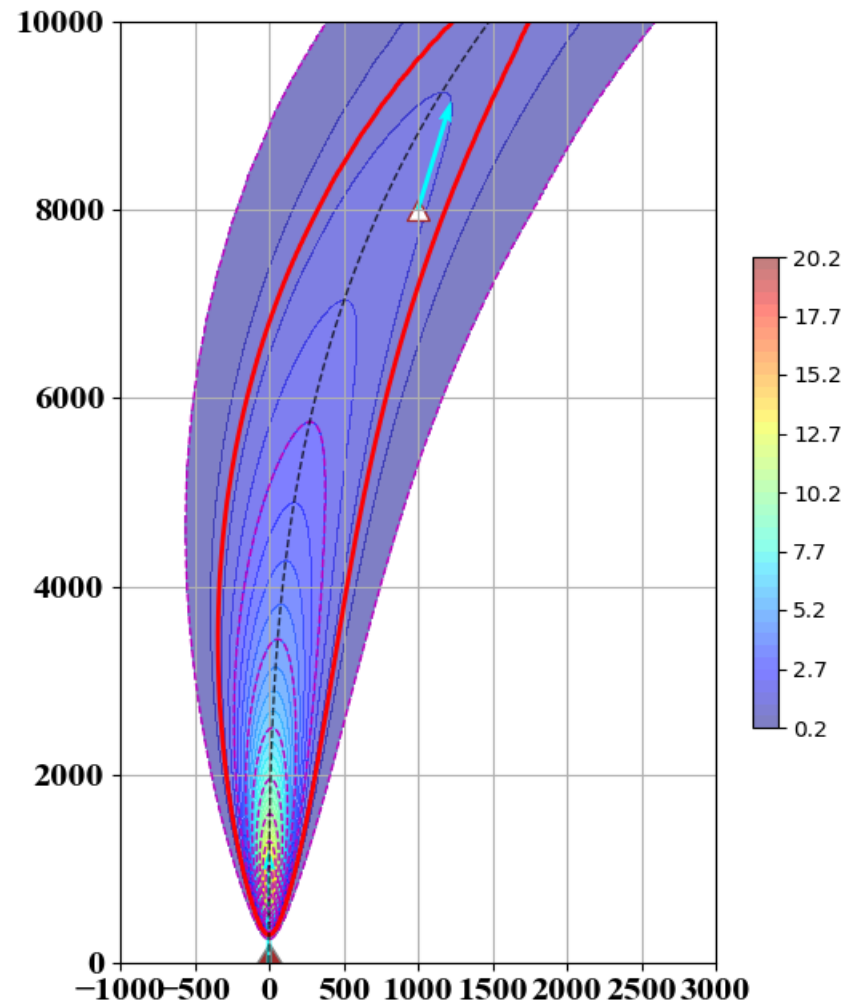
- Alessandrini, S., Meech, S., Cheng, W. et al. Comparing machine learning and inverse modeling approaches for the source term estimation. Air Qual Atmos Health 17, 2169–2186 (2024). <https://doi.org/10.1007/s11869-024-01570-x>
- Briggs, G.: Diffusion estimation of small emissions, NOAA, At-mospheric Turbulence and Diffusion Laboratory Contribution No. 79, 83–145, <https://doi.org/10.2172/5118833>, 1973 (PDF) Evaluation of two common source estimation measurement strategies using large-eddy simulation of plume dispersion under neutral atmospheric conditions.
- Briggs, G.A., Diffusion Estimation for Small Emissions, ATDL Contributions File No. (Draft) 79, Air Resources Atmospheric Turbulence and Diffusion Laboratory. National Oceanic and Atmospheric Administration, Oak Ridge, 1973 <https://doi.org/10.2172/5118833>.
- Clarke RH, 1979. The first report of a Working Group on Atmospheric Dispersion: a model for short and medium dispersion of radionuclides released to the atmosphere. NRPB-R91, Chilton, UK.
- Hanna, S., 1984: Applications in air pollution modeling. Atmospheric Turbulence and Air Pollution Modeling, F. Nieuwstadt and H. van Dop, Eds., D. Reidel Publishing, 275–309.
- Hanna, S., Briggs, G.A., Hosker, R.P., Handbook on Atmospheric Diffusion of Energy. US Department of Energy, 1982, DOE/TIC-11223 (DE92002045). <https://doi.org/10.2172/5591108>.
- Hanna, Steven & Briggs, G.A. & Hosker, R.P., Handbook on Atmospheric Diffusion of Energy. US Department of Energy, 1982, DOE/TIC-11223 (DE92002045). 10.2172/5591108.
- Ilyin, G.N., Troitsky, A.V., Radiophysics and Quantum Electronics, 2017, V.60. № 4, p. 291-299.
- Korsakissok, I. and Mallet, V.: Comparative study of Gaus-sian dispersion formulas within the Polyphemus plat-form: evaluation with Prairie Grass and Kincaid ex-periments, J. Appl. Meteorol. Clim., 48, 2459–2473, <https://doi.org/10.1175/2009JAMC2160.1>, 2009. (PDF) Evaluation of two common source estimation measurement strategies using large-eddy simulation of plume dispersion under neutral atmospheric conditions.
- Pasquill, F., 1961: The estimation of the dispersion of windborne material. Meteor. Mag., 90 (1063), 33–49.
- Rodos, & Thykier-Nielsen, S & Deme, Sandor & Mikkelsen, Torben. (1999). Description of the atmospheric dispersion module RIMPUFF.
- Sutton, O.G. (1953) Micrometeorology. McGraw-Hill, New York, 273-295.
- Taylor, G.I. (1921) Diffusion by Continuous Movement. Proceedings of the Royal Society A, 20, 196-211.
- Thykier-Nielsen, R.S., Deme, S., Mikkelsen, T.K., Description of the atmospheric dispersion module RIMPUFF, 1999.
- Troitsky, A.V., Gaikovich, K.P., Gromov, V.D., Kadygrov, E.N., Kosov, A.S., IEEE Trans. on Geoscience and Remote Sensing, 1993, v. 31, N 1, pp. 116-120.
- Vorobyeva, E., Miller, E.A., Kadygrov, E.N., The 7-th International Conference on Urban Climate (ICUC-7), 2009, Yokohama, Japan, p.1-5 (CD).
- Wark K., Warner C., Davis W. T., Air Pollution: Its Origin and Control, Environmental Science, 1976, DOI:10.1016/0013-9327(77)90079-9 Corpus ID: 128714156
- Бызова, Н.Л., Гаргер, Е.К., Иванов, В.Н., Экспериментальные исследования атмосферной диффузии и расчеты рассеяния примеси, Ленинград: Гидрометеоиздат, 1991, 277с.
- Гаврилов, А.С., Экологический программный комплекс для персональных ЭВМ, Санкт-Петербург: Гидрометеоиздат, 1992.
- Гидрометеоиздат., «Система прогноза и предотвращения высоких уровней загрязнения воздуха в городах» Главная геофизическая обсерватории им. А. И. Воейкова (ГГО), Санкт-Петербург, 2004.
- <http://voeikovmgo.ru/index.php/deyatelnost/publikacii/40-perechen-materialov-izdannyykh-ggo>
- Журавлев Р.В., Миллер Е.А., Князев А.К., Баранов Н.А., Лезина Е.А., Троицкий А.В., Результаты настройки параметризации численной модели прогноза погоды по измеренным характеристикам температурных инверсий в планетарном пограничном слое мегаполиса Москвы, Известия РАН. Физика атмосферы и океана. 2024;60(1):33-51
- Камардин А.П., Гладких В.А., Невзорова И.В., Одинцов С.Л. Взаимосвязь вертикальных сдвигов ветра с интенсивностью температурных инверсий и скоростью ветра в приземном слое//успехи современного естествознания.2024.№7 стр 98–104. DOI: 10.17513/use.38296.
- Каратаева, Е.А., Старченко, А.В., Вестник Томского государственного университета. Управление, вычислительная техника и информатика. 2025. № 70, с. 29–41. <https://doi.org/10.17223/19988605/70/3>
- Кузнецова И.Н., Нахаев М.И., Кадыгров Е.Н., Миллер Е.А., Методические рекомендации по использованию данных профиломеров МТП-5, РОСГИДРОМЕТ, 2010, <http://method.meteorf.ru/norma/rec/profile.pdf>
- Кузнецова, И.Н., Кадыгров, Е.Н., Миллер, Е.А., Нахаев, М.И., Оптика атмосферы и океана, 2012, т. 25, № 10, с. 877–883.
- Кузнецова, И.Н., Шалыгина, И.Ю., Нахаев, М.И., Глазкова, А.А., Захарова, П.В., Лезина, Е.А., Звягинцев, А.М., Труды Гидрометцентра России, 2014, вып. 351, с. 154-172.
- Локощенко М. А., Богданович А. Ю., Еланский Н. Ф., Лезина Е. А. Температурные инверсии в Москве и их влияние на состав приземного воздуха / / Известия Российской академии наук. Физика атмосферы и океана. – 2021. – Т. 57, № 6. – С. 641-650. – DOI 10.31857/S0002351521060080. – EDN HVBZBK.
- Лукьянов, А.Н., Ганьшин, А.В., Журавлёв, Р.В., Максюттов, Ш.Ш., Варлагин, А.В., Известия РАН. Физика атмосферы и океана, 2015, т. 51, №5, с. 570-577.
- Методика расчета концентраций в атмосферном воздухе вредных веществ, содержащихся в выбросах предприятий – ОНД-86, Ленинград: Гидрометеоиздат, 1987. 17 с.
- Монин А.С., Яглом А.М. Статистическая гидромеханика. М., «Наука», Ч.1, 1965. 640 с.; Ч.2, 1967. 720 с.
- РБ-046-21. Руководство по безопасности при использовании атомной энергии "Мониторинг гидрологических, метеорологических и аэрологических условий в районах размещения объектов использования атомной энергии", Ростехнадзор, М.: ФБУ "НТЦ ЯБР", 2021
- Ривин, Г.С., Розинкина, И.А., Вильфанд, Р.М., Киктев, Д.Б., Тудрий, К.О., Блинов, Д.В., Варенцов, М.И., Захарченко, Д.И., Самсонов, Т.Е., Репина, И.А., Артамонов, А.Ю., Метеорол. и гидрол., 2020. № 7. С. 5–19.
- Руководстве по прогнозу загрязнения воздуха РД 52.04.306-92
- СанПиН 1.2.3685-21. Гигиенические нормативы содержания загрязняющих веществ в атмосферном воздухе городских и сельских поселений. Предельно допустимые концентрации (ПДК) загрязняющих веществ в атмосферном воздухе городских и сельских поселений. 2021., https://www.rospotrebnadzor.ru/files/news/GN_sreda%20_obitaniya_compressed.pdf
- ФЗ закон от 04.05.1999 N 96-ФЗ (ред. от 08.08.24) Статья 1.
- Харченко, Е.В., Использование математических моделей переноса и рассеяния радионуклидов в атмосфере для управления рисками на стадии проектирования атомных электростанций: дис. канд. физ.-мат. наук, Санкт-Петербург, 2015, 117 с.
- Хргиан, Александр Христофорович. Физика атмосферы [Текст] : [В 2 т.]. Т. 1 / 20 см. — Ленинград : Гидрометеоиздат, 1978, 1978. — 247 с. : ил., карт..
- Шалыгина, И.Ю., Кузнецова, И.Н., Нахаев, М.И., Коновалов, И.Б., Захарова, П.В., Труды гидрометеорологического научно-исследовательского центра Российской Федерации, 2017, № 365, С. 81-93.

Совершенствование Гауссовой модели распространения примесей

Традиционная Гауссова модель



Учет переменного направления ветра в рамках Гауссовой модели



Разрабатывается модификации Гауссовой модели, позволяющая учесть изменчивость направления ветра при наличии данных о скорости ветра **в двух точках (без поля ветра)**: на источнике и пункте контроля. Правый рисунок показывает пример, когда отличие в направлении ветра на пункте контроля составляет 30 градусов, тогда факел практически своим центром накрывает пункт мониторинга, вызывая превышение уровня ПДК.

продолжение следует...