

УДК 504.6

## МЕТОД РАСЧЕТА ГРАНИЦ ЖИЛОЙ ЗАСТРОЙКИ В РАЙОНЕ АЭРОПОРТА ПО КРИТЕРИЮ «ВЫБРОСЫ ЗАГРЯЗНЯЮЩИХ ВЕЩЕСТВ АВИАДВИГАТЕЛЯМИ»

О.А. КАРТЫШЕВ

Статья представлена доктором технических наук, профессором Чинючиным Ю.М.

В статье изложен метод расчета границ жилой застройки в районе аэропорта по критерию «выбросы загрязняющих веществ» авиадвигателями воздушных судов. Метод основан на использовании результатов полуэмпирической теории турбулентных струй, которая хорошо подходит для данной задачи. В качестве примера представлены результаты расчета зоны ограничения жилой застройки г. Сходня в районе аэропорта Шереметьево.

### Введение

При проведении жилищного строительства в районе аэропорта наряду с другими ограничительными факторами необходимо учитывать и ограничения, обусловленные вредным воздействием воздушных судов (ВС) на окружающую среду. Источниками такого воздействия являются шум и вредные выбросы. К загрязняющим веществам, содержащимся в выхлопных газах авиадвигателей, относятся:

оксиды углерода	CO;
несгоревшие углеводороды	CH;
оксиды азота	NO <sub>x</sub> (NO, NO <sub>2</sub> );
оксиды серы	SO <sub>x</sub> .

Приведем данные по молекулярному весу основных газов - загрязнителей воздуха, для которого средняя величина  $\mu_{\text{Возд}} \approx 29 \text{ кг/кмоль}$ ;  $\mu_{\text{CO}} = 28 \text{ кг/кмоль}$ ; для метана  $\mu_{\text{CH}_4} = 16 \text{ кг/кмоль}$ ;  $\mu_{\text{NO}} = 30 \text{ кг/кмоль}$ ;  $\mu_{\text{SO}_2} = 64 \text{ кг/кмоль}$ . Из сопоставления величин  $\mu_i$  с  $\mu_{\text{Возд}}$  видно, что метан заметно легче воздуха и, следовательно, будет подниматься в верхние слои атмосферы. Остальные загрязняющие вещества (ЗВ) будут долго находиться в приземном слое атмосферы, а окислы серы и азота, реагируя с влагой в воздухе с образованием кислот, будут оседать на поверхность земли.

Действующими нормами определены предельно допустимые разовые и среднесуточные концентрации содержания загрязняющих веществ (ЗВ) в зоне жилой застройки. Максимальные разовые предельно допустимые концентрации (ПДК) для указанных загрязняющих веществ:

окиси углерода	$C_{\text{CO max раз}} = 5,0$	мг/м <sup>3</sup> ;
несгоревших углеводородов	$C_{\text{HC max раз}} = 50,0$	мг/м <sup>3</sup> ;
окислов азота	$C_{\text{NOx max раз}} = 0,6$	мг/м <sup>3</sup> ;
окислов серы	$C_{\text{SOx max раз}} = 0,5$	мг/м <sup>3</sup> .

Помимо разовых ПДК нормируются также максимальные среднесуточные ПДК, значения которых для указанных загрязняющих веществ составляют:

окиси углерода	$C_{\text{CO max сут}} = 3,0$	мг/м <sup>3</sup> ;
несгоревших углеводородов	$C_{\text{HC max сут}} = 25,0$	мг/м <sup>3</sup> ;
окислов азота	$C_{\text{NOx max сут}} = 0,1$	мг/м <sup>3</sup> ;
окислов серы	$C_{\text{SOx max сут}} = 0,05$	мг/м <sup>3</sup> .

Таким образом, наличие концентрационных ограничений является фактором, определяющим минимальное расстояние зоны жилой застройки от направления взлета и посадки ВС в зоне аэропорта. Это минимальное расстояние должно быть определено для случая

наиболее неблагоприятной ситуации, т.е. наибольшей интенсивности воздушного движения, когда масса выбросов ЗВ становится максимальной.

Распространение загрязняющих веществ, содержащихся в струе выхлопных газов авиадвигателя, происходит в окружающем воздухе как за счет диффузии, так и за счет турбулентного смешения, возникающего при взаимодействии струи с воздухом. Поэтому для построения метода расчета минимального расстояния зоны жилой застройки от направления взлета и посадки ВС необходимо воспользоваться основными закономерностями теории турбулентных струй [1,2].

### 1. Основные расчетные соотношения

При оценке минимального расстояния зоны жилой застройки от направления взлета и посадки ВС можно ограничиться начальным участком распространения струи по следующим соображениям. Поскольку длина начального участка  $x_n$  определяется максимальным осевым расстоянием от среза сопла границы ядра постоянной скорости (рисунок), то этим расстоянием ограничивается и рост концентрации вредных примесей в зоне смешения. За пределами начального участка, несмотря на дальнейшее расширение зоны смешения, уровень концентрации вредных примесей в ней будет только снижаться. Поэтому в качестве предельного размера наиболее экологически опасного участка загрязнения следует принять ширину начального участка и использовать этот размер в качестве ограничения для жилой застройки.

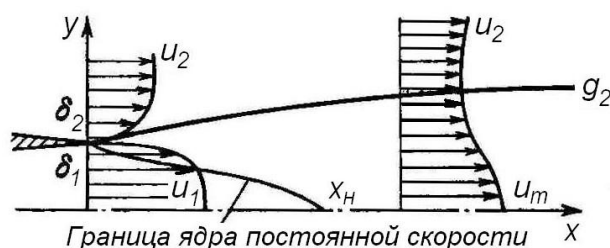


Рисунок. Схема распространения струи в спутном потоке

Как отмечается в [1,2], для практических приложений важно знать обобщающие параметры, характеризующие эффективность смешения – толщину и положение зоны смешения и т.д. Поэтому представляется целесообразным использовать для расчета приближенные интегральные и эмпирические соотношения. В частности, одним из таких соотношений является известное условие сохранения избыточного импульса в изобарической струе [1]:

$$\frac{d}{dx} \int_0^{y_2} \rho u (u - u_2) y dy = 0 \quad (1)$$

Здесь  $\rho$  – плотность,  $u$  – скорость потока,  $x$  и  $y$  – направления осей координат (рисунок).

После умножения (1.1) на продольную скорость  $u$  и интегрирования по координате  $y$  получается:

$$\frac{d}{dx} \int_0^{y_2} \rho u (u^2 - u_2^2) y dy = -2 \int_0^{y_2} \rho E \left( \frac{du}{dy} \right)^2 y dy, \quad (2)$$

где  $E$  – коэффициент турбулентной вязкости.

С учетом того, что в начальном участке при  $y < y_1$  параметры в струе постоянны и совпадают с соответствующими значениями на срезе сопла, то удобно преобразовать (1) и (2). Представив интегралы в левых частях в виде суммы интегралов, взятых по ядру и зоне смешения и исключая интегралы по ядру, можно получить:

$$\frac{d}{dx} \int_{y_1}^{y_2} \rho u (u - u_2)(u - u_1) y dy = -2 \int_{y_1}^{y_2} \rho E \left( \frac{du}{dy} \right)^2 y dy \quad (3)$$

В рассматриваемой постановке задачи выполняется уравнение сохранения объема «меченых» частиц в струе:

$$\frac{d}{dx} \int_0^{y_2} u (\rho - \rho_2) y dy = 0 \quad (4)$$

Уравнение (1.4) может быть преобразовано к виду:

$$\frac{d}{dx} \int_{y_1}^{y_2} u (\rho - \rho_2) y dy + u_1 (\rho_1 - \rho_2) y_1 \frac{dy_1}{dx} = 0 \quad (5)$$

Интегрирование уравнения диффузии поперек струи непосредственно, а затем – после умножения на массовую концентрацию  $c$ , дает соответственно:

$$\frac{d}{dx} \int_0^{y_2} \rho u \tilde{n} y dy = 0 \quad (6)$$

$$\frac{d}{dx} \int_0^{y_2} \rho u \tilde{n}^2 y dy = -2 \int_0^{y_2} \rho E \left( \frac{d\tilde{n}}{dy} \right)^2 y dy \quad (7)$$

Интегральные соотношения (1)...(7) могут быть использованы для инженерных расчетов, если течение близко к автомодельному и известны профили параметров, входящих под знаки интегралов. Для создания инженерной методики расчета достаточно из интегральных соотношений получить качественные закономерности, на основе которых можно осуществлять определенные оценочные расчеты.

Одной из основных задач расчета начального участка является определение толщины зоны смешения  $b$ . Для установления зависимости толщины зоны смешения от величины характерной турбулентной вязкости  $E_*$ , используя теорему о среднем, после преобразований (3) получается:

$$(\rho u)_{\text{ср}} (u_1 - u_2)^2 \frac{db^2}{dx} \sim \rho_{\text{ср}} E_* (u_1 - u_2)^2 \quad (8)$$

Используем в качестве средних значений среднеарифметические значения  $(\rho u)$  и  $\rho$  на границах зоны смешения. Тогда из последнего выражения следует

$$b \frac{db}{dx} \sim \frac{E_*}{u_1} \frac{1+n}{2(1+nm)}, \quad (9)$$

где  $n = \rho_2/\rho_1$  - отношение плотностей;  $m = u_2/u_1$  - отношение скоростей.

Величина  $E_*$  зависит от определяющих параметров течения. В автомодельной зоне смешения в соответствии с теорией Л. Прандтля получается

$$\frac{E_1}{u_1} \sim b(1-m) \quad (10)$$

Из соотношений (1.9) и (1.10) величина отношения

$$\frac{E_1}{u_1} \sim \frac{1+n}{2} \frac{(1-m)^2}{1+nm} x \quad (11)$$

Для двигателя воздушного судна течение в следе за кромкой сопла характеризуется прилегающими к ней пограничными слоями, которые определяют турбулентную вязкость в следе. Для характерного в данной ситуации случая не слишком большого отличия скоростей основного и спутного потоков, применив соотношение (1.1), можно получить, что начальная потеря импульса вдоль потока сохраняется постоянной и может быть определена как

$$\Delta I = \rho_1 u_1^2 \delta_1^{**} + \rho_2 u_2^2 \delta_2^{**}, \quad (12)$$

где  $\delta_1^{**}$  и  $\delta_2^{**}$  - толщины потери импульса в пограничных слоях на внутренней и внешней поверхности кромки сопла. На значительном расстоянии от сопла недостаток импульса можно приближенно представить как

$$\Delta I \sim (\rho u)_{cp} \Delta u_m b, \quad (13)$$

где  $\Delta u_m = u_1 - u_m$ ,  $u_m$  - минимальная скорость в сечении следа,  $b$  - его толщина. В соответствии с теорией Л. Прандтля, согласно которой  $E \sim b \Delta u_m$ , для следа получается

$$E_2 = \frac{\rho_1 u_1^2 \delta_1^{**} + \rho_2 u_2^2 \delta_2^{**}}{(\rho u)_{нд}}. \quad (14)$$

При различных скоростях течения дополнительная вязкость, обусловленная турбулентностью в пограничных слоях, может быть найдена из выражения

$$\frac{E_2}{u_1} \sim \frac{\delta_1^{**} + nm^2 \delta_2^{**}}{1 + nm}. \quad (15)$$

В зоне смешения, где вязкость обусловлена как разностью скоростей, так и влиянием начальных пограничных слоев можно принять допущение об аддитивности вязкости. Тогда после сложения (1.11) и (1.15) получается

$$\frac{E_*}{u_1} = k \frac{\delta_1^{**} + nm^2 \delta_2^{**}}{1 + nm} + k_1 \frac{1 + n}{2} \frac{(1 - m)^2 x}{1 + nm}. \quad (16)$$

Используя выражения (1.9) и (1.16), находится формула для расчета толщины зоны смешения

$$b^2 = k \frac{(1 + n)(\delta_1^{**} + \delta_2^{**} n m^2)}{(1 + n m)^2} x + k_1 \left[ \frac{(1 + n)(1 - m)}{2(1 + n m)} \right]^2 x^2, \quad (17)$$

где  $x$  - расстояние по оси от источника;  $k_1 = 0,27$  (по опытным данным [2]);  $k = 6$  для следа на больших расстояниях от источника.

## 2. Оценка экологически безопасного расстояния жилой застройки г. Сходни от линии захода ВС на посадку

Используем понятие толщины зоны смешения для расчета экологически безопасного расстояния жилой застройки от линии захода ВС на посадку на примере г. Сходни в районе аэропорта Шереметьево.

При стандартных атмосферных условиях плотность воздуха  $\rho_v = 1,2259 \text{ кг/м}^3$ . Средняя скорость полета самолета на этапе захода на посадку составляет  $V_{п} = 250 \dots 300 \text{ км/ч} = 70 \dots 80 \text{ м/с}$ .

На этапе захода воздушного судна на посадку для большинства современных газотурбинных двигателей скорость истечения газа из сопла находится в пределах  $C_c = 350 \dots 450 \text{ м/с}$ , а плотность газа составляет  $\rho_r \approx 0,7 \text{ кг/м}^3$ . Таким образом, отношение плотностей  $n = \rho_v / \rho_r = 1,75$ , а отношение скоростей  $m = V_{п} / C_c = 0,15 \dots 0,3$ .

По данным работы [1] толщина потери импульса в выходном сечении типового сопла составляет  $\sim 5\%$  радиуса среза сопла ( $\delta_1^{**} \approx 0,05 R_c$ ). При обтекании потоком воздуха мотогондолы двигателя  $\delta_2^{**} \approx 0,1 L_d$ , где  $L_d$  - длина мотогондолы. Ширина зоны смешения в соответствии с [1] может быть определена по формуле (1.17).

Таким образом, при средних значениях  $m = 0,2$ ,  $R_c = 0,6 \text{ м}$ ,  $L_d = 5 \text{ м}$  и высоте захода на посадку  $x = 400 \text{ м}$  ширина зоны смешения  $b \approx 170 \text{ м}$ . Как отмечается в [1], при больших расстояниях от источника загрязнения ( $x/R_c > 200$ ) концентрация выбросов практически постоянна по сечению струи (зоны смешения). Из этого результата надо исходить при оценке концентрации вредных выбросов в районе населенного пункта, расположенного вблизи от траектории посадки воздушного судна.

Нормативными документами оговариваются максимально допустимые величины разовых и среднесуточных выбросов. Используя эмиссионные характеристики наиболее широко распространенного двигателя Д-30КУ, а также данные о среднесуточном числе самолетов-вылетов в аэропорту Шереметьево, выполним осредненную оценку количества вредных выбросов при заходе воздушного судна на посадку.

Согласно данным [3], при заходе на посадку самолета Ил-62М с четырьмя двигателями Д-30КУ выбрасывается в атмосферу

окси углерода	СО	106 кг/ч;
несгоревших углеводородов	НС	18,8 кг/ч;
окислов азота	NO <sub>x</sub>	106 кг/ч;
окислов серы	SO <sub>x</sub>	3,1 кг/ч;
твердых частиц (сажи)	С	12,6 кг/ч.

Используя данные банка ИКАО по эмиссии авиационных двигателей, определим для двигателя Д-30КУ скорость эмиссии  $Q_i$  каждого из вредных выбросов при заходе на посадку:

окси углерода	$Q_{CO} = 7,64$	г/с;
несгоревших углеводородов	$Q_{HC} = 0,798$	г/с;
окислов азота	$Q_{NOx} = 2,14$	г/с;
окислов серы	$Q_{SOx} = 0,021$	г/с.

Для принятых условий расчета за 1 с самолет пролетит расстояние  $L=80$ м, ширина зоны смешения при этом составит  $b'=35$ м. Следовательно, объем рассеяния вредных выбросов определится как объем цилиндра диаметром  $b'$  и высотой  $L$ , который составит  $V'=76969$ м<sup>3</sup>. Тогда разовая концентрация  $i$ -го загрязнителя рассчитывается по формуле

$$c'_i = \frac{Q_i}{V'}$$

Поскольку высота захода на посадку воздушного судна составляет  $\sim 400$ м, а ширина зоны смешения при этом  $b=140$ м, то объем загрязненной зоны увеличится  $V=1231504$ м<sup>3</sup>, что приведет к понижению концентрации содержания вредной примеси:

$$c_i = c'_i \frac{V'}{V}$$

Тогда от четырех работающих двигателей для каждого ЗВ разовая концентрация составит:

окси углерода	$c_{CO \text{ раз}} = 0,02484$	мг/м <sup>3</sup> ;
несгоревших углеводородов	$c_{HC \text{ раз}} = 0,0026$	мг/м <sup>3</sup> ;
окислов азота	$c_{NOx \text{ раз}} = 0,00696$	мг/м <sup>3</sup> ;
окислов серы	$c_{SOx \text{ раз}} = 0,000068$	мг/м <sup>3</sup> .

По результатам сравнения видно, что концентрация разовых выбросов ЗВ четырьмя двигателями существенно ниже ПДК.

В наиболее напряженный весенне-летний период эксплуатации среднесуточное количество самолетов-вылетов в аэропорту «Шереметьево» составляет порядка 300. Следовательно, среднесуточная концентрация загрязняющих веществ увеличится по сравнению с разовой в 300 раз:

окси углерода	$c_{CO \text{ сут}} = 7,45$	мг/м <sup>3</sup> ;
несгоревших углеводородов	$c_{HC \text{ сут}} = 0,78$	мг/м <sup>3</sup> ;
окислов азота	$c_{NOx \text{ сут}} = 2,09$	мг/м <sup>3</sup> ;
окислов серы	$c_{SOx \text{ сут}} = 0,02$	мг/м <sup>3</sup> .

Как видно, действительные среднесуточные значения концентраций окиси углерода и окислов азота превосходят ПДК, причем максимальное превышение (в 20 раз) наблюдается у окислов азота. Поэтому для понижения концентрации необходимо увеличить расстояние от населенного пункта до линии захода воздушного судна на посадку, т.е. увеличить объем зоны смешения в 20 раз. В этом случае расстояние от населенного пункта до линии захода воздушного судна на посадку составит  $313 \text{ м} \approx 300 \text{ м}$ .

Если в качестве исходных данных для расчета использовать эмиссионные характеристики двигателя ПС-90А, установленные на самолете Ил-96-300, то результаты будут несколько иными, т.к. скорости эмиссии  $Q_i$  каждого из вредных выбросов при заходе на посадку у этого двигателя другие:

окиси углерода	$Q_{CO} = 0,44$	г/с;
несгоревших углеводородов	$Q_{HC} = 0,098$	г/с;
окислов азота	$Q_{NOx} = 5,77$	г/с;
окислов серы	$Q_{SOx} = 0,0025$	г/с.

В результате расчета при тех же данных по ширине зоны смешения, значениям  $n$  и  $m$ , а также числе полетов получаются следующие значения разовых и среднесуточных выбросов:

окиси углерода	$c_{CO \text{ раз}} = 0,0014$	мг/м <sup>3</sup> ;
несгоревших углеводородов	$c_{HC \text{ раз}} = 0,0003$	мг/м <sup>3</sup> ;
окислов азота	$c_{NOx \text{ раз}} = 0,022$	мг/м <sup>3</sup> ;
окислов серы	$c_{SOx \text{ раз}} = 0,000008$	мг/м <sup>3</sup> .
окиси углерода	$c_{CO \text{ сут}} = 0,429$	мг/м <sup>3</sup> ;
несгоревших углеводородов	$c_{HC \text{ сут}} = 0,096$	мг/м <sup>3</sup> ;
окислов азота	$c_{NOx \text{ сут}} = 6,6$	мг/м <sup>3</sup> ;
окислов серы	$c_{SOx \text{ сут}} = 0,0024$	мг/м <sup>3</sup> .

Как видно, в данном случае лишь окислы азота превышают значения ПДК, но зато в 66 раз, что приводит к увеличению необходимого расстояния от населенного пункта до линии захода воздушного судна на посадку до 500м.

По результатам расчетов необходимо заметить, что использование в качестве основных загрязнителей дальнемагистральных самолетов с четырьмя двигателями представляет собой наиболее неблагоприятный сценарий воздействия на окружающую среду. Однако данный подход представляется оправданным по причине наблюдающегося роста интенсивности воздушного движения. Так, по данным выполненных расчетов, сокращение интервала между взлетами (или посадками) до 2 мин (720 самолето-вылетов в сутки), что соответствует загруженности западноевропейских крупных аэропортов, необходимое расстояние от населенного пункта до линии захода воздушного судна на посадку увеличивается до 700м. Поэтому с учетом перспективного роста интенсивности воздушных перевозок в районе г. Сходни сокращать расстояние от населенного пункта до линии захода воздушного судна на посадку менее 300-400м нежелательно.

### 3. Оценка экологически безопасного расстояния жилой застройки в зоне аэропорта

В зоне аэропорта оценка экологически безопасного расстояния жилой застройки до линии взлета и посадки ВС должна осуществляться не только по результатам оценки масс выбросов ЗВ при заходе на посадку, но и по результатам оценки этих масс при взлете. Причем наиболее неблагоприятный результат расчетов должен служить основой для окончательного выбора экологически безопасного расстояния. Поэтому в общем случае необходимо выполнять расчеты как для режима захода на посадку, так и для режима взлета ВС.

При взлете величина отношения плотностей  $n$  остается примерно такой же, как и при заходе на посадку, а величина отношения скоростей  $m$  увеличивается до значений  $m=0,3...0,5$ , прежде всего, из-за более высоких средних скоростей полета ВС на этапе взлета и набора высоты. Поэтому для расчета ширины зоны смешения примем  $n=1,75$ , а  $m=0,45$ . Примем также, что среднее расстояние, которое пролетает самолет при взлете за 1 с, составляет  $L=200$ м. В этом случае ширина зоны смешения составит  $b'=90$ м. Тогда объем рассеяния вредных выбросов определится как объем цилиндра диаметром  $b'$  и высотой  $L$ , который составит  $V'=5,09 \times 10^6 \text{ м}^3$ .

Нормами ИКАО при определении стандартного ВПЦ оговаривается высота 915м. Поэтому при выполнении взлета и набора высоты 915м в качестве средней высоты этого участка полета примем высоту  $x=450$ м. Тогда при средних значениях  $m=0,45$ ,  $R_c=0,6$ м,  $L_d=5$ м ширина зоны смешения  $b\approx 200$ м, объем рассеяния  $V=56,55\times 10^6\text{м}^3$ .

На этапе взлета и набора высоты сравним также самолеты Ил-62М и Ил-96-300. Скорость эмиссии  $Q_i$  для каждого из двигателей этих ВС составляет соответственно:

Для Д-30КУ:

окси углерода	$Q_{CO} = 4,26$	г/с;
несгоревших углеводородов	$Q_{HC} = 0,568$	г/с;
окислов азота	$Q_{NOx} = 20,59$	г/с;
окислов серы	$Q_{SOx} = 0,0071$	г/с.

Для ПС-90А:

окси углерода	$Q_{CO} = 0,61$	г/с;
несгоревших углеводородов	$Q_{HC} = 0,209$	г/с;
окислов азота	$Q_{NOx} = 64,3$	г/с;
окислов серы	$Q_{SOx} = 0,0087$	г/с.

Выполненные по изложенной методике расчеты концентраций вредных выбросов дали следующие результаты (также при 300 самолето-вылетах в сутки):

Для Ил-62М:

разовые выбросы

окси углерода	$c_{CO\text{ раз}} = 0,0003$	мг/м <sup>3</sup> ;
несгоревших углеводородов	$c_{HC\text{ раз}} = 0,00004$	мг/м <sup>3</sup> ;
окислов азота	$c_{NOx\text{ раз}} = 0,00146$	мг/м <sup>3</sup> ;
окислов серы	$c_{SOx\text{ раз}} = 0,000005$	мг/м <sup>3</sup> .

среднесуточные выбросы

окси углерода	$c_{CO\text{ сут}} = 0,09$	мг/м <sup>3</sup> ;
несгоревших углеводородов	$c_{HC\text{ сут}} = 0,012$	мг/м <sup>3</sup> ;
окислов азота	$c_{NOx\text{ сут}} = 0,437$	мг/м <sup>3</sup> ;
окислов серы	$c_{SOx\text{ сут}} = 0,0016$	мг/м <sup>3</sup> .

Для Ил-96-300:

разовые выбросы

окси углерода	$c_{CO\text{ раз}} = 0,000044$	мг/м <sup>3</sup> ;
несгоревших углеводородов	$c_{HC\text{ раз}} = 0,000016$	мг/м <sup>3</sup> ;
окислов азота	$c_{NOx\text{ раз}} = 0,004548$	мг/м <sup>3</sup> ;
окислов серы	$c_{SOx\text{ раз}} = 0,0000006$	мг/м <sup>3</sup> .

среднесуточные выбросы

окси углерода	$c_{CO\text{ сут}} = 0,0132$	мг/м <sup>3</sup> ;
несгоревших углеводородов	$c_{HC\text{ сут}} = 0,0048$	мг/м <sup>3</sup> ;
окислов азота	$c_{NOx\text{ сут}} = 1,364$	мг/м <sup>3</sup> ;
окислов серы	$c_{SOx\text{ сут}} = 0,00019$	мг/м <sup>3</sup> .

Сравнивая полученные данные по концентрации вредных выбросов с соответствующими значениями ПДК, можно заключить, что выбросы окислов азота обоих ВС при взлете превышают ПДК соответственно в 4 (Ил-62М) и в 14 (Ил-96-300) раз. Поэтому для понижения концентрации до уровня ПДК необходимо увеличить объем зоны смешения в 14 раз. При этом ширина зоны смешения составит  $674\text{м}\approx 700\text{м}$ .

## Заключение

В заключение необходимо отметить, что превышение ширины зоны смешения при взлете над соответствующей величиной при заходе на посадку не всегда может иметь место. Дело в том, что увеличение режима работы двигателей при взлете приводит к увеличению массы вредных выбросов, однако повышенные скорости ВС на этом участке полета способствуют уменьшению концентрации вредных выбросов. При заходе на посадку картина обратная: режим работы двигателей понижен, но понижена также и скорость полета, т.е. увеличено время пролета заданного расстояния (воздействия на окружающую среду). В итоге результирующий эффект будет зависеть от реального времени взлета и захода на посадку в условиях конкретного аэропорта, а также от преобладающего парка воздушных судов (эмиссионных характеристик двигателей).

## ЛИТЕРАТУРА

1. **Абрамович Г.Н., Крашенинников С.Ю., Секундов А.Н., Смирнова И.П.** Турбулентное смешение газовых струй. - М.: Наука, 1974.
2. **Абрамович Г.Н.** Теория турбулентных струй. - М.: Физматгиз, 1960.
3. Справочник по удельным показателям выбросов загрязняющих веществ в атмосферу для некоторых производств – основных источников загрязнения атмосферы. С-Пб, НИИ Атмосфера, 1999.

## METHOD OF CALCULATION THE SIZE OF HARMFUL ZONE NEAR AIRPORT CAUSED BY AVIATION ENGINES EMISSION FACTOR

**Kartishev O.A.**

Method of calculation the size of harmful zone near airport caused by aviation engines pollutance emission is proposed in the article. The method is based on the semiempirical turbulence theory results. As an example the results of calculation of the size of harmful zone near Skhodnya town are presented.

## Сведения об авторах

**Картышев Олег Алексеевич**, 1949 г.р., окончил Ленинградский институт авиационного приборостроения (1976), кандидат технических наук, начальник отдела 128 ГосНИИ ГА, автор более 50 научных работ, область научных интересов – авиационная акустика, экология воздушного транспорта, история гражданской авиации.