

## Оптимальные широты размещения наземных станций

Наклонение орбиты спутника ДЗЗ, град.	Оптимальные широты размещения наземной станции, град.	Максимальное время видимости, мин.
30	20	59
40	30	49
50	30	49
60	40–50	51
70	65–70	53
80	90	103

**Выводы**

1. Разработан алгоритм определения времени сеансов видимости спутника ДЗЗ с наземной станции. Разработано программное обеспечение для расчета времени видимости спутника ДЗЗ по заданным параметрам TLE файла и координат наземной станции.

2. В результате моделирования получены графики зависимостей времени видимости спутника ДЗЗ от координат наземной станции для разных значений наклона орбиты спутника. Результаты показали, что долгота наземной станции практически не влияет на длительность времени видимости спутника ДЗЗ.

3. Получены рекомендации для определения оптимальной широты наземной станции в зависимости от наклона орбиты спутника ДЗЗ.

4. Результаты могут быть использованы при проектировании систем передачи данных ДЗЗ, определении места расположения наземных станций приема информации.

**Библиографические ссылки**

1. **Гарбук С. В.** Космические системы дистанционного зондирования Земли / С. В. Гарбук, В. Е. Гершензон. – М. : Изд-во А и Б, 1997. – 296 с.
2. **Охоцимский Д. Е.** Основы механики космического полета / Д. Е. Охоцимский, Ю. Г. Сихарулидзе. – М. : Наука, 1990. – 448 с.
3. Электронный ресурс. – Режим доступа: <http://www.celestrak.com>.

*Надійшла до редколегії 12.09.2014 р.*

УДК 532.51

**Л. Е. Пицьк**

*Днепропетровский национальный университет имени Олеся Гончара*

**РАСЧЕТ ВЛИЯНИЯ ОТДЕЛЬНЫХ ЭЛЕМЕНТОВ ШЕРОХОВАТОСТИ НА СОПРОТИВЛЕНИЕ**

Запропоновано аналітичний метод розрахунку коефіцієнта опору пластини з окремими елементами шорсткості різної геометричної форми при дозвуковому турбулентному режимі обтікання.

*Ключові слова:* пластина, елементи шорсткості, сходинок, уступ, квадратний виступ, дозвуковий турбулентний режим обтікання, коефіцієнт опору, аналітичні вирази.

Предложен аналитический метод расчета коэффициента сопротивления пластины с отдельными элементами шероховатости различной геометрической формы при дозвуковом турбулентном режиме обтекания.

© Л. Е. Пицьк, 2014

*Ключевые слова:* пластина, элементы шероховатости, ступенька, уступ, квадратный выступ, дозвуковой турбулентный режим обтекания, коэффициент сопротивления, аналитические выражения.

**An analytical method for calculating the coefficient of drag of a plate with a separate elements rough of different geometric form in a subsonic turbulent flow regime is proposing.**

*Key words:* plate, elements rough, forward step, rear step, square ridge, subsonic turbulent flow regime, the coefficient of drag, analytical expressions.

**Введение.** Обтекание поверхностей тел потоком реальной жидкости, осложняемое эффектами шероховатости поверхности и теплоотдачи, связано с широким кругом актуальных проблем как аэродинамики, так и теплоэнергетики. Шероховатость в виде различных выступающих препятствий на стенке относится к типу внутренних воздействий на турбулентный пограничный слой. Исследование сопротивления изолированных элементов шероховатости было начато в работах К. Вигхардта [6] и К. Федеевского [5]. Многообразие геометрических форм и схем распределения препятствий затрудняет не только общее описание течения, но и построение корреляционных зависимостей [1;2;6].

Настоящая работа ставит своей целью разработку аналитического метода расчета [4] сопротивления изолированных элементов шероховатости для режимов переходного и полного проявления шероховатости, а также режима отрывного взаимодействия выступа с турбулентным пограничным слоем.

**Постановка задачи.** Рассматривается задача расчета влияния отдельных элементов шероховатости различной формы на сопротивление и теплоотдачу плоской пластины в дозвуковом потоке при турбулентном режиме обтекания. Исследуются классические формы препятствий в виде уступа, ступеньки, квадратного и прямоугольного выступа.

**Многослойная структура турбулентного пограничного слоя.** Для учета многослойной структуры пристенного турбулентного течения предположим, что распределение средней скорости во внутренних переменных можно записать в виде степенной функции

$$\varphi = \frac{U}{U_\tau} = nB \exp\left(\frac{C}{nB} - 1\right) \eta^{1/n}, \quad \eta = \frac{U_\tau y}{\nu}, \quad (1)$$

где  $B, C$  – постоянные, а  $n$  – показатель степени. Можно показать, что степенной профиль скоростей (1) имеет две огибающие семейства профилей

$$\varphi = C\eta^{1/n}, \quad \varphi = Blm\eta + C \quad (2)$$

для буферного слоя и турбулентного ядра соответственно. Предположим, что в ламинарном подслое с линейным распределением скорости  $n = B = C = 1$ ; в буферном слое  $n = 2, C = 5$ ; в области логарифмического закона распределения скорости  $B = 2,565, C = 5,13$ . Тогда многослойную модель пристенного турбулентного течения можно представить в виде

$$\varphi = \eta, \quad \varphi = \sqrt{C\eta}, 5 \leq \eta \leq 44; \quad \varphi = Blm\eta + C, 44 \leq \eta \leq 0, 2\delta, \quad (3)$$

$$\varphi = \frac{\sqrt{2}}{C_f \left(\frac{y}{\delta}\right)^n}, y > (0, 1 - 0, 2)\delta.$$

Заметим, что структура профиля средней скорости (3) удовлетворительно согласуется с опытными и теоретическими данными различных авторов [2]. Известно, что турбулентный пограничный слой можно разделить на внутренний и внешний слой. Во внутреннем слое выделяют линейный подслой, буферный слой и область логарифмического закона для средней скорости. Внешний слой, или об-

ласть следа, включает в себя турбулентное ядро и нестационарный надслой, отделяющийся пограничный слой от внешнего потока.

Локальный коэффициент трения и теплоотдачи, а также связь между характерными числами Рейнольдса можно найти из (1) в виде

$$C_f = 2 \left( \frac{\theta}{\delta} \right)^2 (nB)^{-2}, \quad \text{Re}_\theta = nB \exp \left( n - \frac{C}{B} \right) \left( \frac{\theta}{\delta} \right)^{-\frac{1}{n}},$$

$$\overline{C_f} = 2 \frac{\text{Re}_\theta}{\text{Re}_x},$$

$$\text{Re}_x = \text{Re}_\theta \left( \left( \sqrt{\frac{2}{C_f}} - B \right)^2 + 3B^2 \right),$$

$$\overline{Nu} = 0,8 \overline{C_f} \text{Re}^{0,97}.$$

где  $\delta$ ,  $\theta$  – толщина и толщина потери импульса пограничного слоя на пластине соответственно;  $C_f$ ,  $\overline{C_f}$ ,  $Nu$  – локальный и средний коэффициенты трения и теплообмена соответственно.

**Модель сопротивления препятствий на поверхности.** Сопротивление отдельных выступающих элементов шероховатости в общем случае состоит из сопротивления давления, трения и донного сопротивления, возникающих вследствие изменения скорости в окрестности препятствия. Учитывая это, воспользуемся интегральными уравнениями сохранения массы и количества движения во внутреннем вязком слое пристенного течения около выступов на поверхности:

$$\rho U_\tau H \sim \rho U \varepsilon; \quad \rho U_\tau^2 H \sim (P - P_\infty) \varepsilon, \quad (5)$$

где  $U_\tau$  – динамическая скорость;  $U$ ,  $U_\tau$ ,  $\varepsilon$ ,  $H$  – характерные скорости и высоты контрольного объема жидкости при наличии и отсутствии выступа соответственно. Тогда из (5) можно получить

$$C_x(\varepsilon) \sim C_f \frac{U}{U_\tau} = C_f \varphi(\varepsilon^+), \quad \varepsilon^+ = \frac{U_\tau \varepsilon}{\nu}. \quad (6)$$

В зависимости от высоты изолированной шероховатости на стенке будем различать четыре случая: режим гидравлически гладкой поверхности; переходной режим влияния шероховатости; режим полного проявления шероховатости ( $\varepsilon^+ \geq 44$ ); режим отрывного взаимодействия выступа с вязким слоем ( $y > (0,1 - 0,2) \delta$ ). Тогда для режимов переходного, полного проявления шероховатости и режима отрывного взаимодействия изолированного элемента шероховатости с турбулентным пограничным слоем получим коэффициент сопротивления отдельного элемента соответственно в виде

$$\frac{C_x(\varepsilon^+)}{C_f} = (F \ln 44 - G) \left( \frac{\varepsilon^+ - 5}{39} \right)^{0,5}, \quad \frac{C_x(\varepsilon^+)}{C_f} = F \ln \varepsilon^+ - G, \quad (7)$$

$$\frac{C_x \left( \frac{y}{\varepsilon} \right)}{C_f} = K \frac{\sqrt{2}}{C_f \left[ \left( \frac{y}{\delta} \right) \right]^{\frac{1}{n}}},$$

где  $C_x$  – коэффициент сопротивления отдельного элемента шероховатости, установленного на гладкой пластине;  $C_f$  – коэффициент трения гладкой пластины;  $F$ ,  $G$ ,  $K$  – постоянные, которые зависят от геометрической формы изолированного выступа и числа Маха.

**Сравнение расчетных и опытных данных.** В табл. 1 – 4 приведены расчетные значения коэффициента сопротивления выступов различной геометрической

форми для режимов частичного и полного проявления шероховатости при числе Маха, равном 0,2. Там же, для сравнения, приведены и опытные данные [3].

Таблица 1

**Сопrotивление ступеньки для режимов переходного  
и полного проявления шероховатости**

$\varepsilon^+$	10	20	30	50	100	500	1000	2000
$\frac{C_x}{C_f}$	6,7	11,5	14,9	21,9	40	81,9	100	118
$\frac{C_x}{C_f} [3]$					37–41	62–87	93–103	120

Таблица 2

**Сопrotивление уступа для режимов переходного  
и полного проявления шероховатости**

$\varepsilon^+$	10	20	30	50	100	500	1000	2000
$\frac{C_x}{C_f}$	7,3	12,6	16,3	21,2	26	37,2	42	46,8
$\frac{C_x}{C_f} [3]$					25	36	41	47

Таблица 3

**Сопrotивление квадратного выступа для режимов переходного  
и полного проявления шероховатости**

$\varepsilon^+$	10	20	30	50	100	500	1000	2000
$\frac{C_x}{C_f}$	20,2	35	45	54,9	110	214,9	260	305
$\frac{C_x}{C_f} [3]$					111	216	261	306

Таблица 4

**Сопrotивление прямоугольного выступа для режимов переходного  
и полного проявления шероховатости**

$\varepsilon^+$	10	20	30	50	100	500	1000	2000
$\frac{C_x}{C_f}$	42,6	73,7	95,2	124,7	156	228,7	260	291,3
$\frac{C_x}{C_f} [3]$					155–158	229	261	292

В табл. 5 представлены расчетные значения коэффициентов сопротивления выступов различной геометрической формы для режима отрывного взаимодействия препятствия с вязким слоем. При этом использовались следующие значения определяющих параметров:

$$M = 0,2; n = 8; \lg Re_x = 6,864; \lg Re_0 = 4,049; C_f = 0,0025935; \varepsilon^+ = 680,5; \frac{\varepsilon}{\delta} = 0,15.$$

В табл. 6 представлены расчетные значения влияния относительной толщины потери импульса турбулентного пограничного слоя на коэффициент сопротивления уступа для режима отрывного взаимодействия при числе  $M = 0,2$ . Для сравнения приведены и опытные данные [1].

Таблиця 5

**Сопrotивление препятствий для режима  
отрывного взаимодействия с вязким слоем**

$C_x$	$\frac{\varepsilon}{\delta}$	0,2	0,6	1,0	10	20
Ступенька		0,242	0,278	0,296	0,395	0,43
Уступ		0,105	0,121	0,129	0,172	0,188
Квадратный выступ		0,63	0,724	0,772	1,03	1,12
Прямоугольный выступ		0,65	0,75	0,8	1,06	1,16

Таблиця 6

**Влияние толщины потери импульса на сопротивление уступа  
для режима отрывного взаимодействия**

$\frac{\theta}{\varepsilon}$	0,05	0,1	0,15	0,2	0,3	0,4	0,6	0,7	1,0
$C_x$	0,139	0,127	0,121	0,117	0,111	0,107	0,102	0,099	0,095
$C_x$ [1]	0,14	0,135	0,135- 0,15	0,124- 0,135	0,123	0,106	0,1	0,098	0,095

В табл. 7 показано расчетное влияние числа Маха на коэффициент сопротивления ступеньки для режима полного проявления шероховатости при  $\varepsilon^+ = 1000$ . Там же, для сравнения, приведены экспериментальные данные различных авторов [3].

Таблиця 7

**Влияние числа Маха на сопротивление ступеньки  
для режима полного проявления шероховатости**

$M$	0,05	0,1	0,2	0,5	0,8
$\frac{C_x}{C_f}$	97,5	98,3	100	105	110
$\frac{C_x}{C_f}$ [3]		95	97-103		111

**Выводы.** На основе модели пристенного вязкого течения получены аналитические соотношения для расчета сопротивления изолированных выступов на пластине для режимов переходного и полного проявления шероховатости, а также режима отрывного взаимодействия, которые учитывают влияние чисел Маха, Рейнольдса и геометрии препятствий. Предложенные соотношения обеспечивают удовлетворительное согласование расчетных и экспериментальных данных в широких диапазонах изменения определяющих параметров.

**Библиографические ссылки**

1. Девнин С. И. Аэрогидромеханика плохообтекаемых конструкций : справочник / С. И. Девнин. – Л., 1983. – 320 с.
2. Жукаускас А. А. Ковективный перенос в теплообменниках / А. А. Жукаускас. – М., 1982. – 472 с.
3. Gaudet L. Measurements of the drag of some characteristics aircraft excrescences immersed in turbulent boundary layers / L. Gaudet, K. G. Winter // AGARD-CP-124, 1973. – 12 p.
4. Пицык Л. Е. Расчет сопротивления тел с шероховатыми поверхностями при турбулентных режимах обтекания / Л. Е. Пицык // Вісн. Дніпропетр.ун-ту. Ракетно-космічна техніка. – 2013. – № 4. – С. 79–84.

5. **Федяевский К. К.** Исследование влияния шероховатости на сопротивление / К. К. Федяевский, Н. Н. Фомина // Тр. ЦАГИ. – 1940. – № 441. – 60 с.
6. **Шлихтинг Г.** Теория пограничного слоя / Г. Шлихтинг. – М., 1974. – 711 с.

*Надійшла до редколегії 25.09.2014 р.*

УДК 669.295.04

**С. А. Полишко**

*Днепропетровский национальный университет имени Олеся Гончара*

### **ИССЛЕДОВАНИЕ КОМПЛЕКСНОГО ВЛИЯНИЯ ФОСФОРА, УГЛЕРОДА И КРЕМНИЯ НА ПРОЧНОСТНЫЕ И ПЛАСТИЧЕСКИЕ ХАРАКТЕРИСТИКИ СТАЛИ 07ЮТ**

Досліджено вплив багатофункціональних модифікаторів на стабілізацію хімічного складу і підвищення рівня механічних властивостей маловуглецевої конструкційної сталі 07ЮТ. Побудовано аналітичні залежності підвищення міцності без втрати пластичності від хімічного складу під впливом модифікування. Встановлено також, що із застосуванням багатофункціональних модифікаторів відбулося подрібнення і підвищення однорідності зеренної структури металу. Визначено підвищення рівня механічних властивостей під дією модифікаторів багатофункціональної дії.

*Ключові слова:* модифікування, маловуглецева сталь, фосфор, вуглець, кремній, механічні властивості, структура, стабілізація.

Исследовано влияние многофункциональных модификаторов на стабилизацию химического состава и повышение уровня механических свойств малоуглеродистой конструкционной стали 07ЮТ. Построены аналитические зависимости повышения прочности без потери пластичности от химического состава под влиянием модифицирования. Установлено также, что с применением многофункциональных модификаторов произошло измельчение и повышение однородности зеренной структуры металла. Определено повышение уровня механических свойств под действием модификаторов многофункционального действия.

*Ключевые слова:* модифицирование, малоуглеродистая сталь, фосфор, углерод, кремний, механические свойства, структура, стабилизация.

**Influence of multifunction modifiers was investigational on stabilizing of chemical composition and increase of level of mechanical properties of low-carbon construction steel of 07ЮТ. Analytical dependences of increase of durability were built without the loss of plasticity from chemical composition under influence of modification. It was set also, that grinding down and increase of homogeneity of structure of metal happened with the use of multifunction modifiers. The increase of level of mechanical properties was certain under the action of modifiers of multifunction action.**

*Key words:* modification, low-carbon steel, phosphorus, carbon, silicon, mechanical properties, structure, stabilizing.

**Введение.** Снижение концентрации вредных примесей, особенно фосфора, для повышения качества арматуры – одна из важнейших задач современной металлургии. Поскольку малоуглеродистые строительные стали выплавляются кислородно-конвертерным способом, то в данном случае очень сложно использовать такие дефосфораторы, как CaO и CaF<sub>2</sub>. Кроме того, арматурные стали име-