

## СРАВНИТЕЛЬНАЯ ОЦЕНКА ТОЧНОСТИ МОДЕЛЕЙ ПРОФИЛЬНЫХ ПОТЕРЬ РЕШЕТОК ТУРБИН

Волков А.А., Соколова А.С.  
ПАО «ОДК-Кузнецов», г. Самара, [a44rey@yandex.ru](mailto:a44rey@yandex.ru)

*Ключевые слова:* профиль лопатки, турбина, модель потерь

Расчет потерь выполнен для 177 профилей турбин с помощью 10 моделей потерь [1... 10]. Были приняты следующие допущения:

- коэффициент коррекции на число Re, за исключением модели Батурина не учитывался ни в одной модели потерь, поскольку данные представленные в [4] получены при числе Re находящемся в автомодельной области;
- в модели потерь Мамаева-Клебанова не учитывалась коррекция на отличие относительного шага от относительного оптимального шага, поскольку данная коррекция приводит к существенному увеличению значения потерь, и как следствие увеличению среднеквадратичной ошибки;
- угол потока на выходе из решетки во всех моделях потерь вычислен по формуле (1).

Представление результатов распределения величины потерь от приведенной изоэнтропической скорости для всех 177 решеток потребует большого количества страниц, поэтому приведены результаты для произвольно выбранных решеток на рис. 1, 2.

$$\beta_2 = \arcsin \left[ \frac{a_r}{t} \frac{y\left(\lambda_{2s} \frac{\cos \beta_2}{\cos \beta_n}\right) \pi\left(\lambda_{2s} \frac{\cos \beta_2}{\cos \beta_n}\right)}{y(\lambda_{2s}) \pi(\lambda_{2s})} \right] \quad (1)$$

где  $a_r$  – размер горла межлопаточного канала;

$t$  – шаг решетки;

$\lambda_{2s}$  – приведенная изоэнтропическая скорость потока за решеткой;

$\beta_n$  – угол перпендикуляра к сечению горла

Угол  $\beta_2$  находится из (1) последовательными приближениями, дающими быструю сходимость, если за первое значение  $\beta_2$  принять  $\beta_{2\text{эфф}}$ .

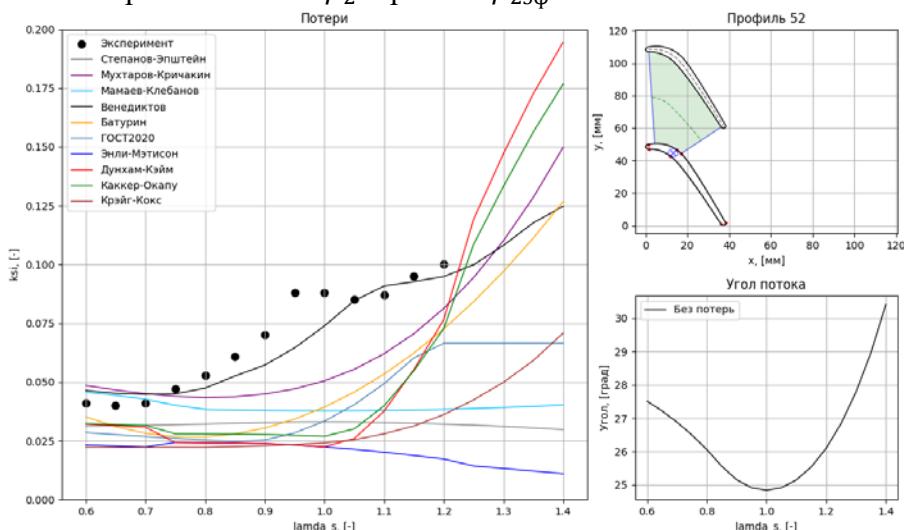


Рис. 1 – Сравнение результатов расчета потерь с данными испытаний для решетки 52 в [4]

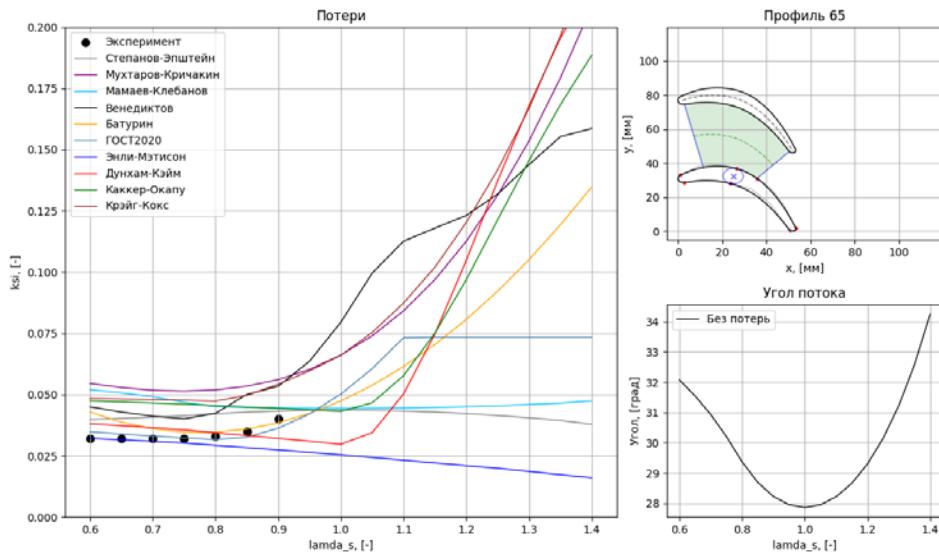


Рис. 2 – Сравнение результатов расчета потерь с данными испытаний для решетки 65 в [4]

Из рис. 1...2 видно, что рассматриваемые модели потерь могут как занижать значение потерь, полученное по данным испытаний, так и завышать его, а также часть моделей может показывать повышенное значение, а часть моделей заниженное значение по сравнению с данными испытаний.

Выполнена интегральная оценка точности рассматриваемых моделей, в качестве критериев использованы следующие:

- среднеквадратичная ошибка  $\sigma$ ;
- относительная среднеквадратичная ошибка  $\bar{\sigma}$ ;
- коэффициент детерминации  $R^2$ .

Результаты расчета указанных критериев представлены в табл. 1.

Табл. 1. Сравнение моделей потерь по величине среднеквадратичной ошибки, относительной среднеквадратичной ошибки и коэффициенту детерминации

| №  | Краткое наименование модели | Источник | $\sigma$ | $\bar{\sigma}$ | $R^2$ |
|----|-----------------------------|----------|----------|----------------|-------|
| 1  | StEp                        | 1        | 28       | 381            | 147   |
| 2  | MuKr                        | 2        | 31       | 641            | 246   |
| 3  | MaKl                        | 3        | 26       | 519            | 28    |
| 4  | Ven                         | 4        | 14       | 271            | 717   |
| 5  | Bat                         | 5        | 23       | 323            | 432   |
| 6  | GOST2020                    | 6        | 25       | 377            | 310   |
| 7  | AM                          | 7        | 37       | 639            | 21    |
| 8  | AMDC                        | 8        | 47       | 766            | 187   |
| 9  | AMDCKO                      | 9        | 40       | 652            | 252   |
| 10 | CC                          | 10       | 33       | 445            | 134   |

Наименьшей среднеквадратичной ошибкой обладает модель Венедиктова  $\bar{\sigma} = 0,014$ , что не удивительно, поскольку модель обучалась с применением представленных в [4] данных испытаний. Второе место по наименьшей величине среднеквадратичной ошибки занимает модель Батурина  $\bar{\sigma} = 0,023$ , которая тоже обучалась на данных представленных в [4]. На третьем месте возможно было бы разместить 2 модели: Мамаева-Клебанова и ГОСТ2020, поскольку разница по величине среднеквадратичной ошибки между ними небольшая, но если обратить внимание на величину относительной среднеквадратичной ошибки и величину коэффициента детерминации, то на третьем месте расположится модель ГОСТ2020, а за ней на 4 месте модель Степанова-Эпштейна.

Работа выполнена при финансовой поддержке министерства образования и науки Самарской области.

### **Список литературы**

1. Эпштейн В.Л. Гидродинамические исследования турбинных решеток. Автореферат диссертации на соискание ученой степени кандидата технических наук.
2. Мухтаров М.Х., Кричакин В.И. Методика оценки потерь в проточной части осевых турбин при расчете характеристик // Теплоэнергетика. 1969. № 7.
3. Мамаев Б.И., Клебанов А.Г. Профильные потери в турбинной решетке // Теплоэнергетика. 1970. № 6.
4. Венедиков В.Д. Атлас экспериментальных характеристик плоских решеток охлаждаемых газовых турбин. Москва: ЦИАМ, 1990. 393 с.
5. Батурина О.В., Колмакова Д.А., Попов Г.М., Матвеев В.Н. Получение уравнения для вычисления профильных потерь в венце осевой турбины при проектном расчете // Труды МАИ. Выпуск 101.
6. ГОСТ Р 58990-2020 Библиографическое описание. Общие требования и правила составления: национальный стандарт Российской Федерации: дата введения 2020-08-28 / Федеральное агентство по техническому регулированию. – Изд. официальное. – Москва: Стандартинформ, 2020. – 27 с.
7. Ainley D.G., Mathieson G.C.R. A Method of Performance Estimation for Axial-Flow Turbines. British ARC, R & M 2974, 1951P.
8. Dunham J., Came P.M. Improvements to the Ainley-Mathieson Method of Turbine Performance Prediction, ASME Press, 1970.
9. Kacker S., Okapuu U. A Mean Line Prediction Method for Axial Flow Turbine Efficiency. International Gas Turbine Conference and Product Show. Houston, USA: American Society of Mechanical Engineers (ASME), 1981.
10. Craig H., Cox H. Performance Estimation of Axial Flow Turbines. Ordinary Meeting. Rugby, UK, 1971.

### **Сведения об авторах**

Волков А.А., начальник бригады. Область научных интересов: исследование рабочих процессов в лопаточных машинах.

Соколова А.С., инженер-конструктор второй категории. Область научных интересов: исследование рабочих процессов в лопаточных машинах.

## **COMPARATIVE ASSESSMENT OF THE ACCURACY OF TURBINE CASCADE PROFILE LOSS MODELS**

Volkov A.A., Sokolova A.S., JSC Kuznetsov, Samara, Russia,  
a44rey@yandex.ru

*Keywords: blade profile, turbine, loss model*

The most frequently encountered profile loss models in open literature, developed by various authors from 1957 to 2020, are reviewed.