

Министерство науки и высшего образования Российской Федерации
Санкт-Петербургский Политехнический университет Петра Великого
Институт энергетики
Высшая школа энергетического машиностроения

Предложения
по улучшению методики вычисления
параметров осевой турбины по среднему диаметру
и
параметров обратной закрутки потока

Представил и реализовал:

Студент гр.3231303/21201 п/г 2 _____

А. К. Дмитриев

Санкт-Петербург
2025

СОДЕРЖАНИЕ

Введение	2
1 Описание оригинальной методики и её недостатков	3
2 Описание усовершенствованной методики	5
2.1 Поиск оптимальных параметров расчета по ступеням	7
2.2 Поиск «хороших» параметров для закрутки потока	8
Заключение	9
Литература	10

Введение

Цель предложения состоит в совершенствовании расчета турбины по среднему диаметру (по ступеням) по методике Кирилла Леонидовича Лапшина [1] и расчета обратной закрутки потока по методике, предложенной группой 3231303/21201 п/г 2, путём поиска оптимальных значений коэффициентов скорости Φ и Ψ , а также степени реактивности у корня последней ступени ρ_k и параметра F .

Для проведения расчетов используется экосистема языка Julia, для построения графиков используется Makie.jl [2].

1 Описание оригинальной методики и её недостатков

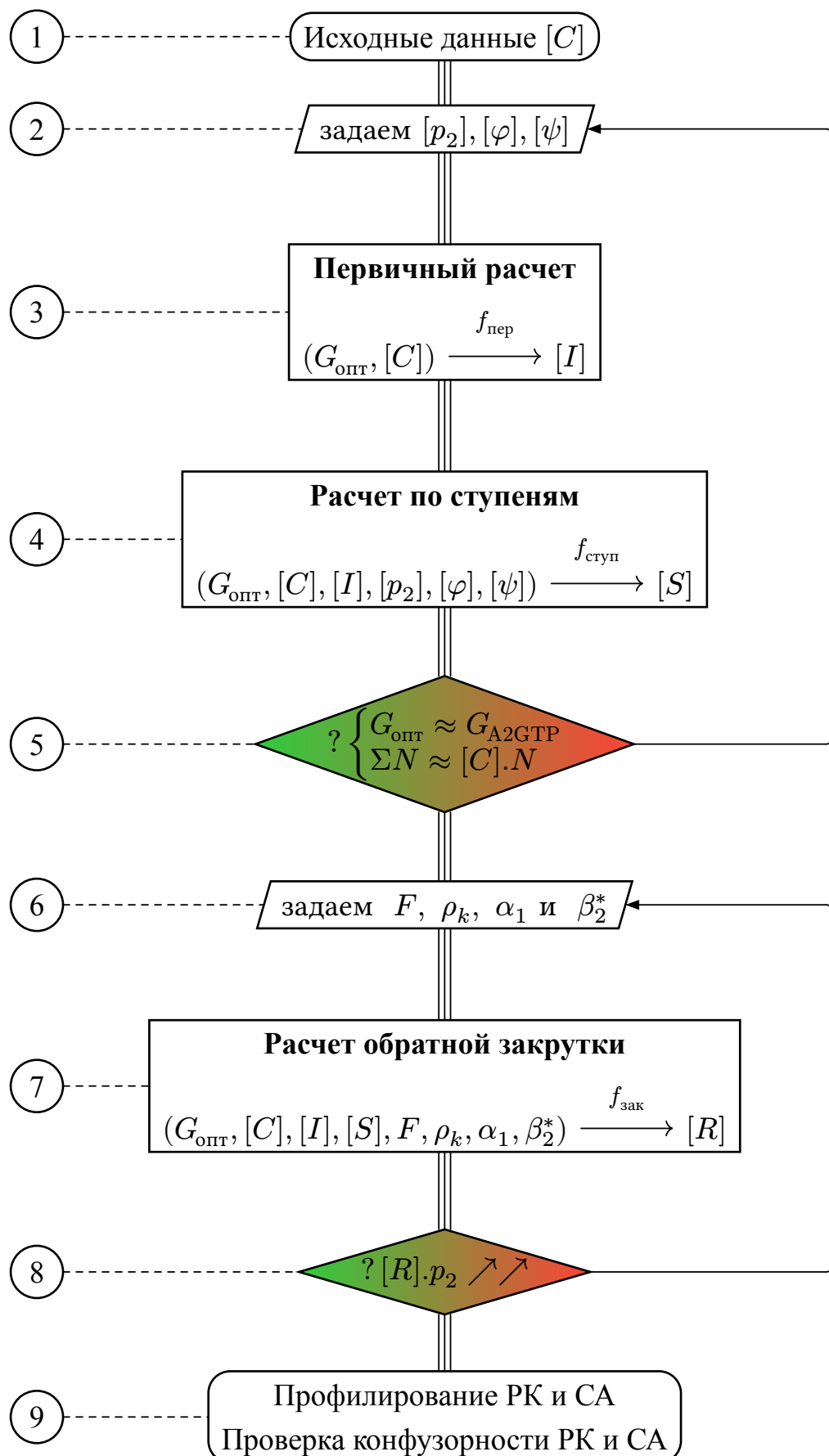


Рисунок 1.1 — Блок-схема оригинальной методики

На рисунке 1.1 изображена блок-схема оригинальной методики вычислений из пособия Кирилла Леонидовича Лапшина для проведения первичного расчета и расчета турбины по ступеням, а также специальный для расчета закрутки потока в последней ступени турбины по обратному закону, выданный группе 3231303/21201 п/г 2.

Пояснение:

1. Начальные данные $[C]$, полученные из задания и расчета турбоагрегата — данных, полученных с предыдущего семестра;
2. Задаём давление на выходе из каждой ступени турбины $[p_2]$ и характерные коэффициенты $[\varphi]$ и $[\psi]$. Задавать их следует **случайно** в рамках некоторого диапазона;
3. Проводится первичный расчет, целью которого является получение параметров на выходе из турбины;
4. Проводится расчет по ступеням;
5. Проверяется совпадение расхода с расходом из исходных данных, проверяется совпадение сумм мощностей с мощностью из исходных данных. Если совпадения нет, возвращаемся к шагу 2;
6. В некотором промежутке **случайно** выбираются F , ρ_k и лопаточные углы последней ступени α_1 и β_2^* ;
7. Выполняется расчет закрутки потока на последней ступени по обратному закону. Результатом этого этапа являются данные $[R]$, необходимые для построения профилей лопаток;
8. Проверяется монотонный рост давлений $[p_2]$ на выходе из последней ступени по радиусу. Если монотонного роста нет, возвращаемся к шагу 7;
9. Построение профилей лопаток, проверка их на конфузорность. Это заключительный этап, после него следует моделирование и расчет на прочность.

Как видно, в методике есть два шага — 2 и 6, в которых параметры берутся необоснованно, имеет смысл провести анализ влияния этих параметров на характеристики установки для обоснованного выбора их оптимальных значений. Предложение по этому анализу описано далее.

2 Описание усовершенствованной методики

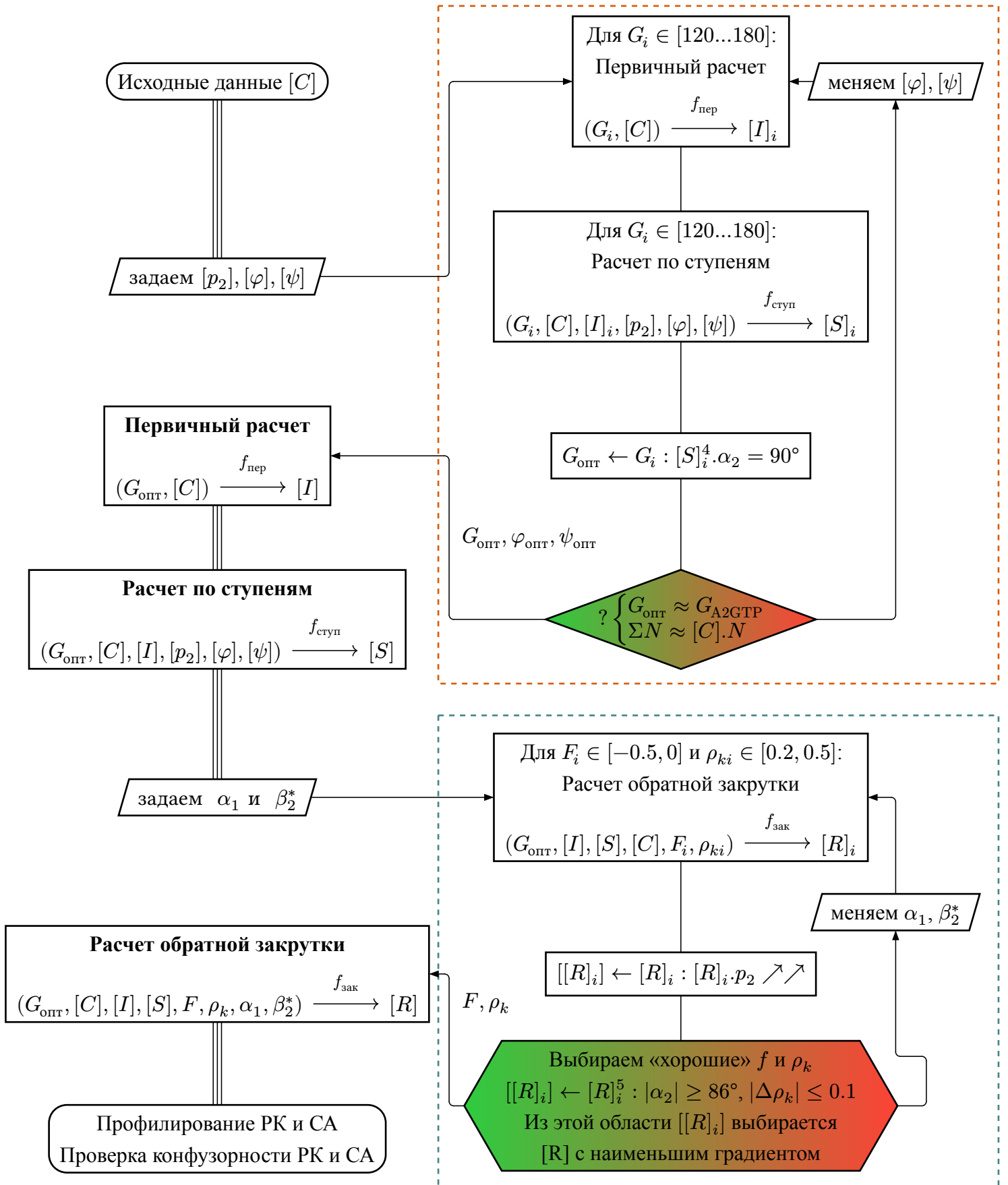


Рисунок 2.1 — Блок-схема дополненного алгоритма вычислений

На рисунке 2.1 изображена блок-схема усовершенствованной методики. Она привносит изменения, необходимые для анализа и выбора оптимальных параметров первичного расчета Φ и Ψ (красный блок), а также параметров F и ρ_k для обратной закрутки (синий блок).

2.1 Поиск оптимальных параметров расчета по ступеням

Для каждого φ, ψ существует лишь один расход $G_{\text{опт}}$, обеспечивающий осевой выход, что показано на графике 2.2, полученном в результате варьирования расхода в некотором промежутке. Этот расход должен совпасть с расходом G_{A2GTP} , полученным от расчета турбоагрегата, для этого надо варьировать параметры φ, ψ . На вышеупомянутом графике это должно выглядеть как совпадение красной и голубой пунктирной линий.

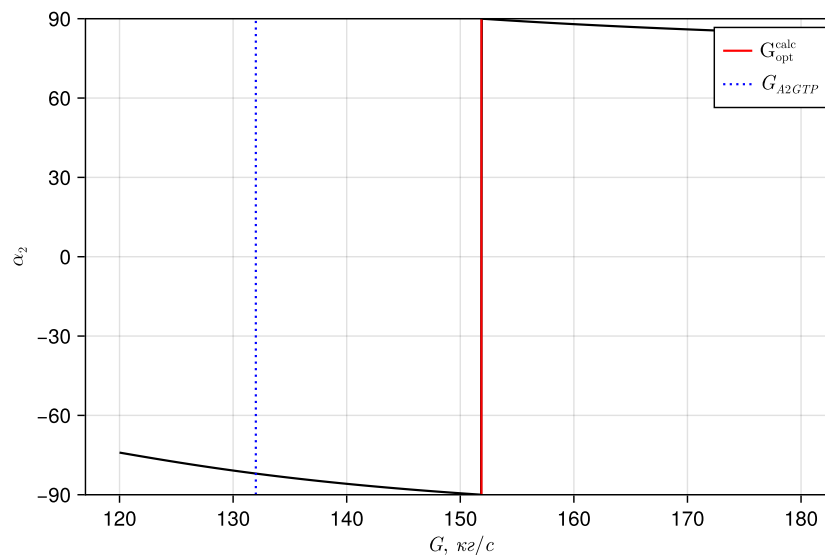
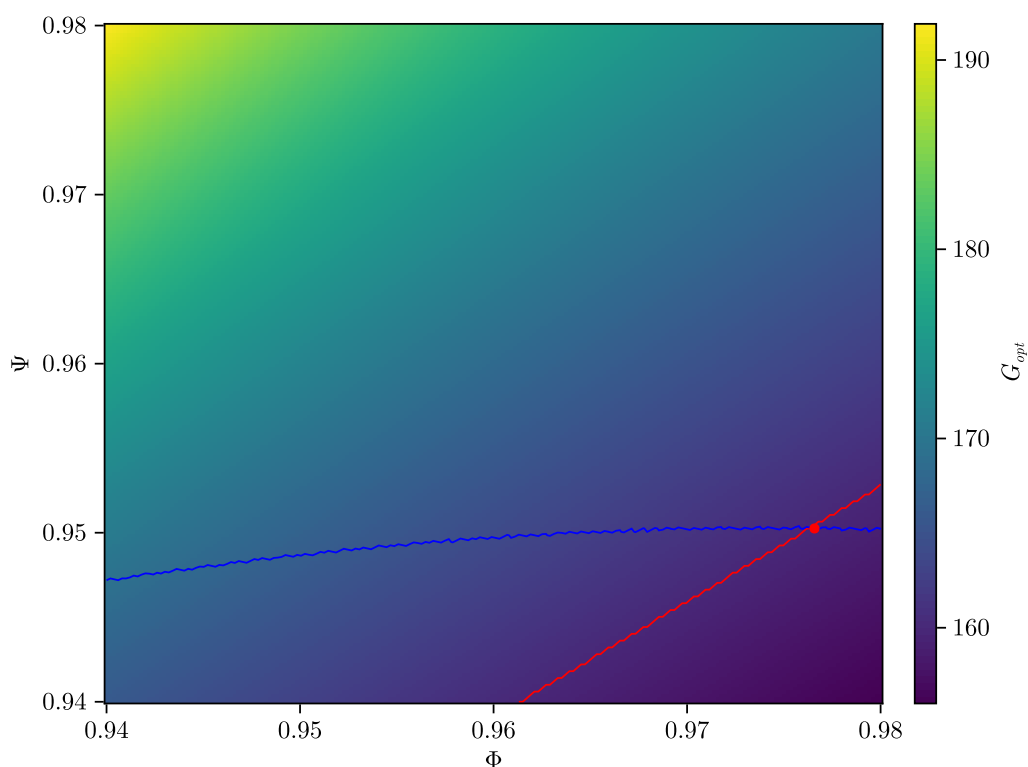


Рисунок 2.2 — График зависимости α_2 от G при заданных φ, ψ

Таким образом строится зависимость $G_{\text{опт}}(\Phi, \Psi)$, график которой изображен на рисунке 2.3. Красной линией на нем изображена линия оптимальных расходов, совпадающих с расходом, полученным из A2GTP, красной точкой показаны параметры, при которых происходит наилучшее совпадение расчетной мощности с номинальной.



Красной линией обозначен целевой расход, синей линией обозначена целевая мощность, красной точкой обозначено оптимальное значение параметров

Рисунок 2.3 — Зависимость оптимального расхода воздуха через компрессор от параметров Φ и Ψ .

2.2 Поиск «хороших» параметров для закрутки потока

Эти значения названы «хорошими», а не оптимальными, потому что сформулировать критерии оптимальности в этом расчете невозможно. «Хорошим» считается случай, когда зависимость давлений на выходе p_2 от радиуса на последней ступени турбины максимально близка к линейной — тогда обеспечивается устойчивость работы установки при различных режимах.

Вручную выбираются углы α_1 и β_2^* , с ними для всех возможных значений F и ρ_k производится расчет закрутки потока. По результатам расчета строится скалярное поле рассматриваемых элементов расчета в координатах F и ρ_k , вырезаются значения, не обеспечивающие монотонное повышение давления по радиусу.

На рисунке 2.4 представлено такое поле, построенное для среднеквадратичного отклонения (σ) профиля роста давления по радиусу от их усреднённого линейного тренда и разницы суммарной полиномиальной и кинематической степени реактивности.

Минимальным значениям среднеквадратического отклонения σ и разницы полиномиальной и расчетной степени реактивности $\Delta\rho_k$ соответствуют наиболее тёмные области диаграммы. Все из них подходят, чтобы выбрать одну и обеспечить сохранение декларативности, выбирается точка с наименьшим градиентом, потому что в случае ошибки моделирования или изготовления влияние этой ошибки на анализируемый параметр будет также минимизировано.

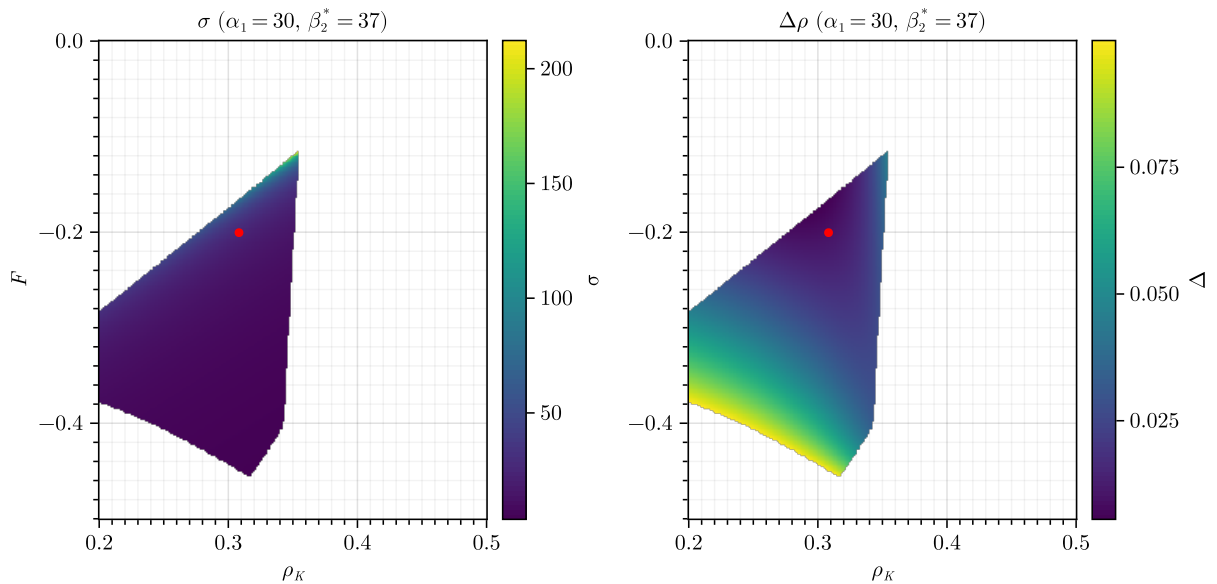


Рисунок 2.4 — Диаграммы зависимости σ и $\Delta\rho_k$ от F и ρ_k при заданных α_1 и β_2^*

На рисунке 2.5 показаны графики роста кинематической и термодинамической степеней реактивности и давления на выходе из последней ступени турбины.

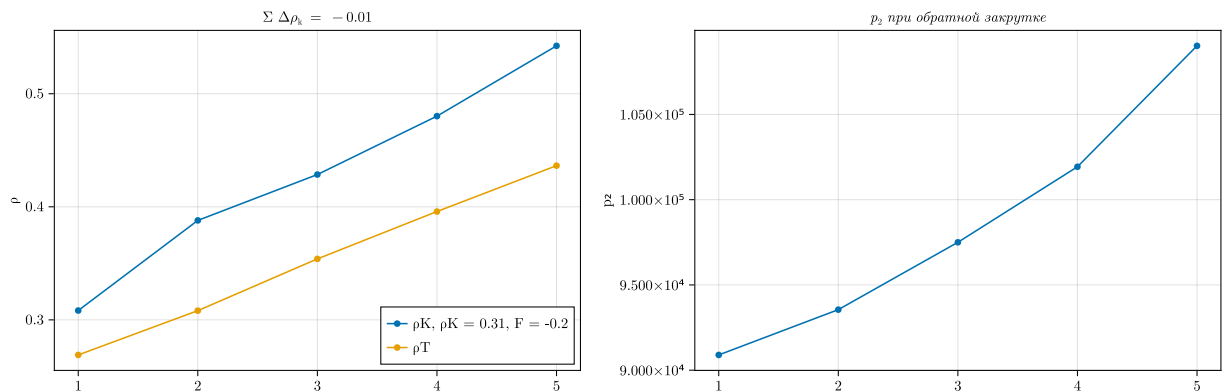


Рисунок 2.5 — Зависимости σ и $\Delta\rho_k$ от F и ρ_k при заданных α_1 и β_2^*

Заключение

Предложена и реализована методика по поиску оптимальных параметров предварительного расчета Φ и Ψ и параметров расчета обратной закрутки F и ρ_k . Построены наглядные графики полей распределения величин, по которым определяется качество этих параметров, наглядно показана их оптимальность.

Литература

1. Лапшин К.Л. Математические модели проточных частей в проектировочных газодинамических расчётах осевых тепловых турбин на ЭВМ: учебное пособие. 2-е изд. Санкт-Петербург, 2014.
2. Danisch S., Krumbiegel J. Makie.jl: Flexible high-performance data visualization for Julia // Journal of Open Source Software. The Open Journal, 2021. т. 6, № 65. с. 3349.