



РУКОВОДСТВО ПОЛЬЗОВАТЕЛЯ

К ТЕПЛОВОМУ РАСЧЕТУ НКУ по IEC 60890

ОГЛАВЛЕНИЕ

Введение.....	3
Условия применимости метода расчета	3
Допущения к расчету	4
Интерфейс программы	5
Работа с программой.....	8
Пример расчета.....	13

[illegible]

ВВЕДЕНИЕ

В данном руководстве отражен метод расчета повышения температуры воздуха внутри оболочек низковольтных комплектных устройств (НКУ) и устройств управления или аналогичных изделий, разрабатываемых в соответствии с ГОСТ IEC 61439-1. В 10.10 ГОСТ IEC 61439-1 изложены характеристики НКУ распределения и управления, допускающие проверку на превышение температуры текущим расчетным методом.

Расчетный метод допускается применять для определения способности рассеивания тепловой мощности оболочкой в соответствии с ГОСТ IEC 62208 при заданном превышении температуры воздуха внутри НКУ.

Применяемые коэффициенты, приведенные в этом стандарте, были получены в результате измерений на испытанных НКУ, а метод проверен сравнением с результатами испытаний согласно ГОСТ 35224—2024 (IEC TR 60890:2022).

УСЛОВИЯ ПРИМЕНИМОСТИ МЕТОДА РАСЧЕТА

Применении данного расчетного метода проверки превышения температуры воздуха внутри НКУ допустимо при соблюдении следующих условий:

- Для применения НКУ на переменном токе. НКУ предназначено для применения при переменном токе до 1600 А включительно и частоте до 60 Гц включительно (для более высоких номинальных токов или более высоких частот необходимо проведение дополнительных проверок для учета воздействия вихревых токов на распределение температуры внутри НКУ согласно требованиям соответствующих стандартов на продукцию).

Примечание — В ГОСТ IEC 61439-2 установлены дополнительные требования для токов свыше 1600 А с целью учета значительно возросших потерь мощности вследствие магнитных эффектов (вихревые токи, эффект взаимного влияния, поверхностный эффект);

- Для применения НКУ постоянному току. НКУ разработано для применения при постоянном токе до 3200 А включительно (для более высоких номинальных токов необходимо проведение дополнительных проверок согласно требованиям соответствующих стандартов на продукцию).

- Проводники, проводящие переменный ток свыше 200 А, и расположенные рядом конструктивные элементы, монтируют с учетом расстояний, обеспечивающих потери на гистерезис и от вихревых токов до пренебрежимо малых значений.

- Потери мощности установленной аппаратурой и токоведущими элементами внутри НКУ распределены равномерно.

- Данные о потерях мощности аппаратурой и токоведущими элементами предоставлены или могут быть рассчитаны.

- Установленное оборудование расположено таким образом, что циркуляция воздуха существенно не затруднена.

Примечание — При применении расчетного метода для определения способности рассеивания потери мощности пустой оболочкой по ГОСТ IEC 62208 вышеуказанные условия не применимы.

- Настоящая методика предназначена для применения к НКУ в оболочке или НКУ, разделенного перегородками на секции, без принудительной вентиляции.

Примечание — Температура воздуха внутри НКУ равна сумме температуры окружающего воздуха с внешней стороны НКУ и превышения температуры воздуха внутри НКУ, вызванного потерями мощности установленного оборудования.

- Для применения данного метода максимальная среднесуточная температура окружающего воздуха в месте монтажа должна находиться в диапазоне от 10 °С до 50 °С. Максимальная суточная температура не должна превышать максимальную среднесуточную температуру более чем на 5 К.

ДОПУЩЕНИЯ К РАСЧЕТУ

Для применения расчетного метода применяют следующие допущения:

- Оболочка НКУ изготовлена из металла (сталь, алюминий, нержавеющая сталь) с покрытием (с обеих сторон, внутри и снаружи) из изоляционного материала, такого как термопластик или термореактивный пластик, или аналогичных им материалов (см. приложение А).

- НКУ изготовлено из однослойного материала или нескольких слоев материала без воздушного зазора.

- Для НКУ с естественной вентиляцией или без нее в сборке или в секции НКУ имеется не более пяти горизонтальных перегородок.

- Оболочка НКУ разработана без вентиляционных отверстий или со свободными вентиляционными отверстиями для притока и отведения воздуха без установки дополнительного фильтра (см. приложение В): площадь поперечного сечения отверстий для притока воздуха не менее чем на 10 % больше площади поперечного сечения отверстий для отведения воздуха, чтобы реализовать эффект воздушной тяги; минимальная площадь отверстий для притока воздуха составляет 10 см².

Примечание — НКУ с суммарной площадью отверстий для притока воздуха менее 50 см² считаются как НКУ без притока воздуха; если НКУ имеет отверстия для притока и отведения воздуха, закрытые фильтрами для достижения степени защиты IP5X по ГОСТ 14254 или выше, то поперечное сечение этих отверстий не учитывают при расчете; если степень защиты НКУ ниже IP5X по ГОСТ 14254, для расчета следует использовать эффективное поперечное сечение отверстий; - если в НКУ с естественными вентиляционными отверстиями имеются отсеки, то площадь вентиляционных отверстий в каждой горизонтальной перегородке должна составлять не менее 50 % горизонтального поперечного сечения перегородки.

- Потери мощности рассчитывают, как сумму следующих величин: потери мощности низковольтного коммутационного оборудования и устройств управления, установленных в НКУ; потери мощности в проводниках и контактных соединениях НКУ; потери мощности токоведущих шин; потери мощности электроаппаратов.

- НКУ не подвержено воздействию солнечного излучения.

- Поперечное сечение отверстий для притока воздуха может принимать значения в диапазоне от 50 см² (включительно) до 1000 см².

ИНТЕРФЕЙС ПРОГРАММЫ

В программе реализован интуитивный интерфейс. Используя команды меню, можно легко управлять программой расчета и выполнять все соответствующие шаги расчета.

Интерфейс программы (рисунок 1) можно разделить на верхнюю область, область ввода параметров, область вывода результатов расчета и область графиков.

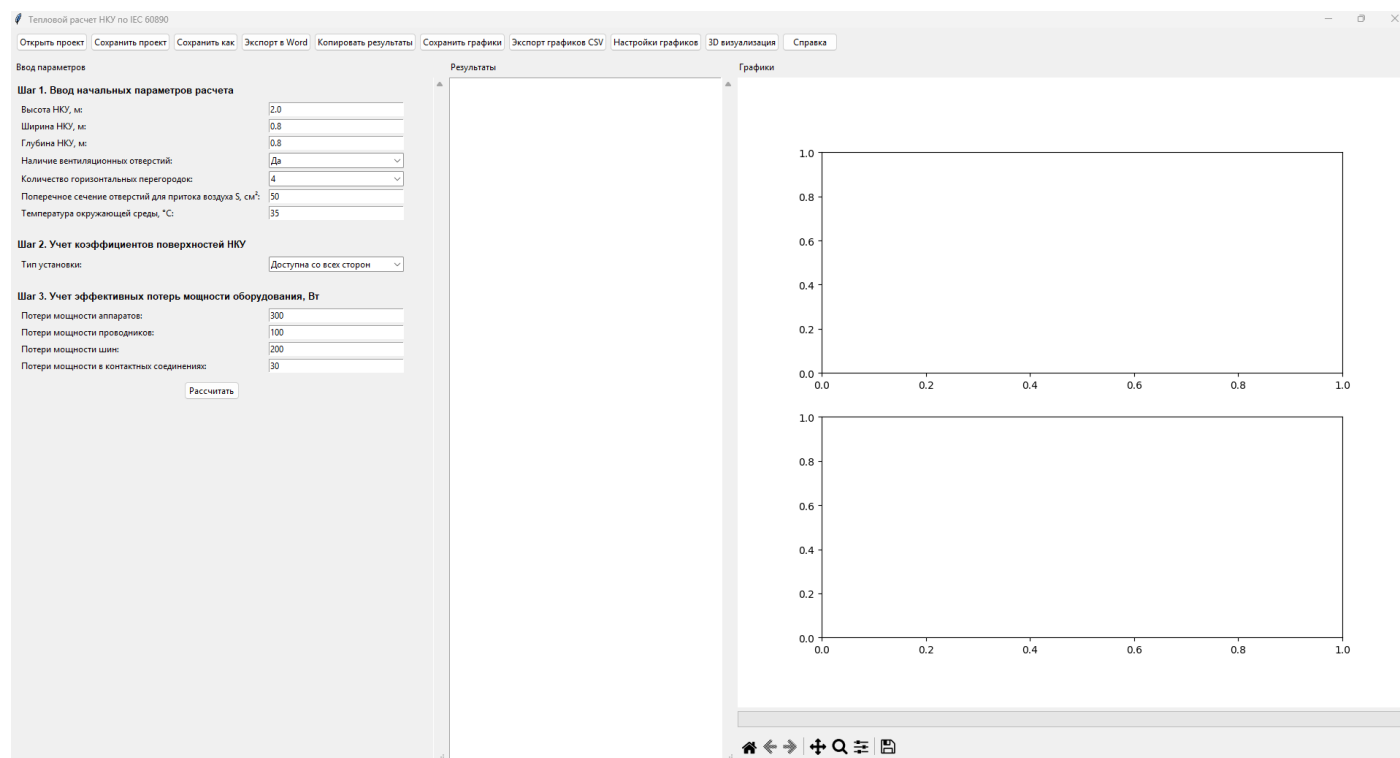


Рисунок 1. Интерфейс программы

- Верхняя область программы отражена на рисунке 2. В верхней области реализованы кнопки: «Открыть проект», «Сохранить проект», «Сохранить проект как», «Экспорт в Word», «Копировать результаты», «Сохранить графики», «Экспорт графиков в CSV», «Настройка графиков», «3D визуализация», «Справка».



Рисунок 2. Верхний интерфейс программы

- Область ввода параметров, отражена на рисунке 3. В области ввода параметров реализованы три шага: Шаг 1. Ввод начальных параметров расчета. Шаг 2. Учет коэффициентов поверхности НКУ. Шаг 3. Учет эффективных потерь мощности оборудования, Вт.

Ввод параметров

Шаг 1. Ввод начальных параметров расчета

Высота НКУ, м:	2.0
Ширина НКУ, м:	0.8
Глубина НКУ, м:	0.8
Наличие вентиляционных отверстий:	Да
Количество горизонтальных перегородок:	4
Поперечное сечение отверстий для притока воздуха S , см ² :	15
Температура окружающей среды, °C:	35

Шаг 2. Учет коэффициентов поверхностей НКУ

Тип установки: Доступна со всех сторон

Шаг 3. Учет эффективных потерь мощности оборудования, Вт

Потери мощности аппаратов:	300
Потери мощности проводников:	100
Потери мощности шин:	200
Потери мощности в контактных соединениях:	30

Рассчитать

Рисунок 3. Область ввода параметров

Область вывода результатов расчета. В области выводов результатов расчета выводятся такие данные как: общие потери мощности Вт, площадь поверхности с эффективным рассеиванием тепла (A_e), превышение температуры в средней и верхней части высоты НКУ, абсолютное значение температуры в средней и верхней части высоты НКУ, рисунок 4.

Результаты

▲ Результаты расчета: ▲

Общие потери мощности: 630.0 Вт
Площадь поверхности с эффективным рассеиванием тепла (A_e): 6.66 м²

Превышение температуры:
– В средней части высоты: 24.0 К
– В верхней части: 35.7 К

Абсолютная температура:
– В средней части высоты: 59.0 °C
– В верхней части: 70.7 °C

Рисунок 4. Область вывода результатов расчета

Область графических результатов. В области графиков выводятся такие данные как: график превышения температуры воздуха внутри НКУ, абсолютная температура воздуха внутри НКУ, рисунок 5.

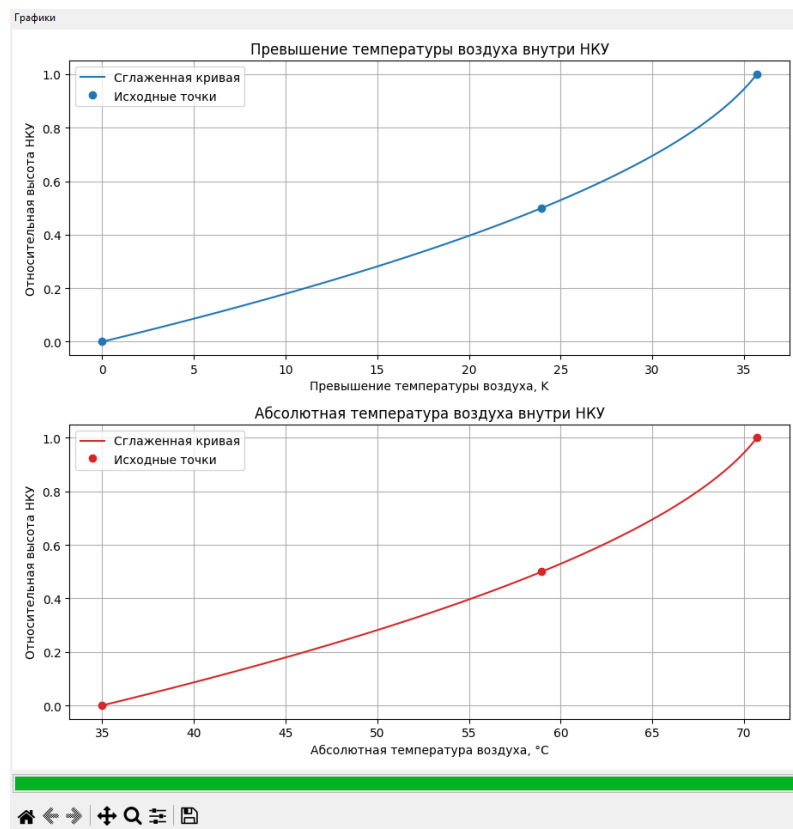


Рисунок 4. Область вывода результатов расчета

РАБОТА С ПРОГРАММОЙ

Для данной версии программы используется система охлаждения типа: «Естественная конвекция».

- Выбор места установки НКУ. Так как в зависимости от типа установки НКУ будет меняться теплоотвод. В программе реализован выбор места установки НКУ в соответствии с ИЕС 60890. Выбор типа установки НКУ показан на рисунке 6.

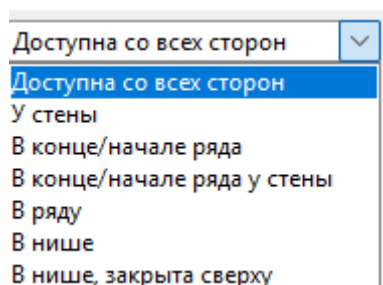


Рисунок 6. Выбор типа установки НКУ

- Горизонтальное разделение. Зачастую в НКУ, используемых для распределения электрической энергии, функциональные блоки устанавливают один над другим с горизонтальными перегородками между каждым из функциональных блоков. Горизонтальное разделение влияет на организацию конвективного теплообмена и на превышение температуры НКУ. В программе реализован выбор количества горизонтальных перегородок от 0 до 5 в соответствии с ИЕС 60890. Выбор количества горизонтальных перегородок показан на рисунке 7.



Рисунок 7. Выбор количества горизонтальных перегородок

- В области, посвященной результатам расчета, отображается параметр «Площадь поверхности с эффективным рассеиванием тепла (A_e)» (рисунок 8), определяемый в соответствии с эталонным стандартом. Определение параметра A_e помогает пользователю определить корректность выполняемого расчета. Очевидно, что для этого требуется хорошее знание используемого метода расчета в соответствии со стандартом.

```
Результаты расчета:
Площадь поверхности с эффективным рассеиванием тепла ( $A_e$ ): 6.66 м²

Превышение температуры:
- В средней части высоты: 31.3 К
- В верхней части: 41.1 К

Абсолютная температура:
- В средней части высоты: 66.3 °C
- В верхней части: 76.1 °C
```

Рисунок 8. Вывод параметра «Площадь поверхности с эффективным рассеиванием тепла (A_e)»

- Подсказки

В программе реализованы подсказки на определенные события.

1. При отсутствии вентиляционных отверстий в проекте и указании поперечного сечения отверстия для притока воздуха, не корректно рассчитывается превышение температуры, для этих целей, в программе указана специальная подсказка, рисунок 9.

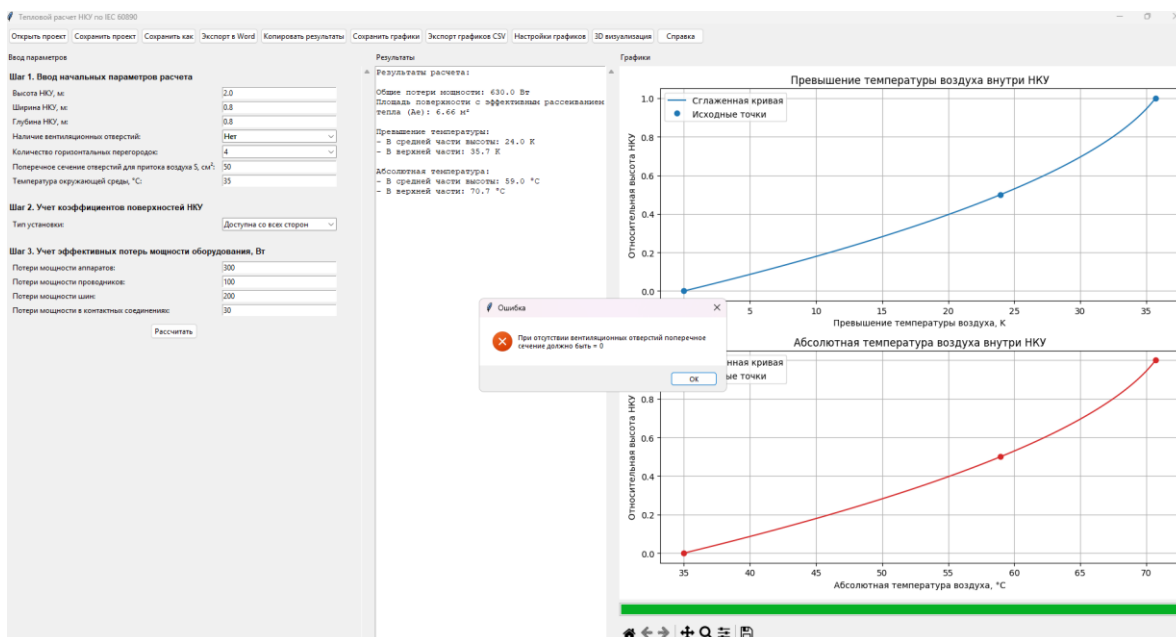


Рисунок 9. Подсказка при учете вентиляционных отверстий для притока воздуха

2. При произведении расчетов и в случае не сохранения результатов, программа укажет об этом и предложит сохранить данные расчетов, рисунок 10.

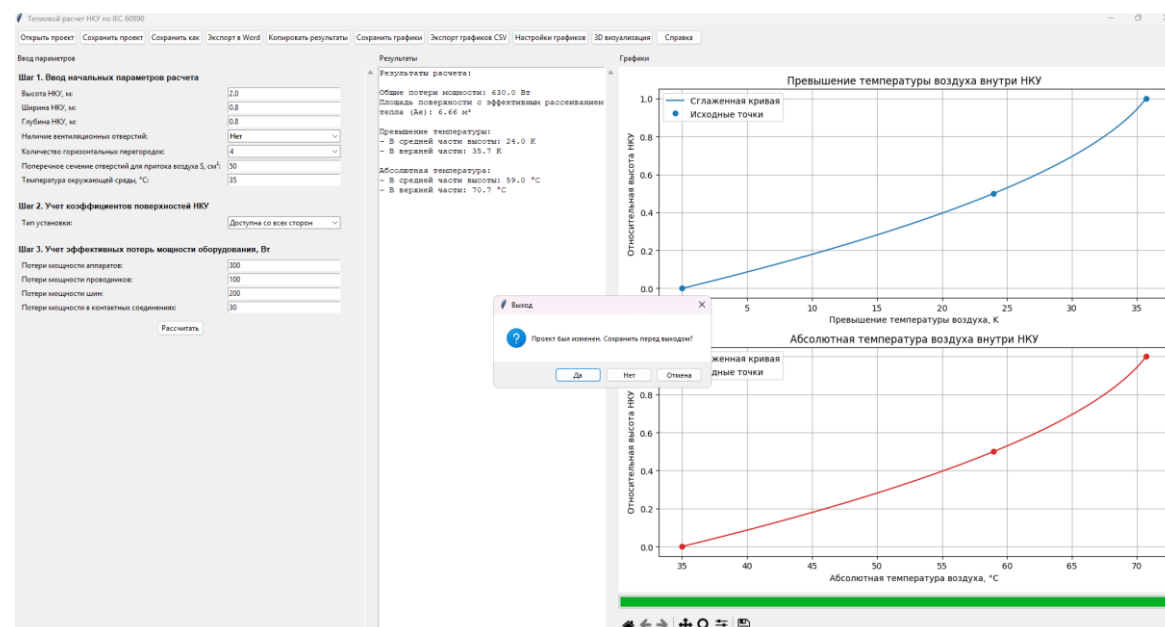


Рисунок 10. Подсказка сохранения результатов

3. Копирование результатов. При копировании результатов в буфер обмена, программа выдаст подсказку, что результаты успешно скопированы, рисунок 11.

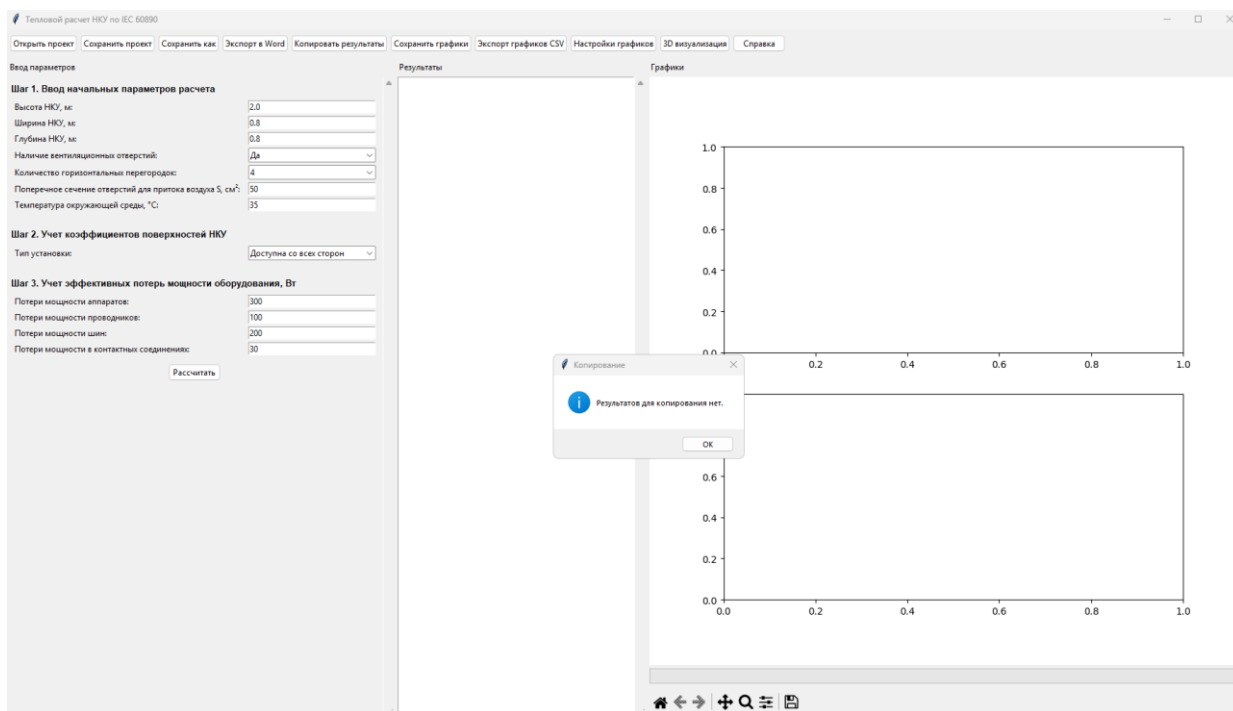


Рисунок 11. Подсказка копирования результатов

- Дополнительные возможности

1. Определение координат. В программе реализована возможность определения координат на кривой нагрева и превышения температуры, рисунок 12. Для точного определения координат точки на кривой необходимо левой кнопкой мыши нажать на требуемую точку на кривой, далее появится окно с точными координатами по оси абсолютной высоты и по оси температуры. Для скрытия области необходимо правой кнопкой мыши нажать на область.

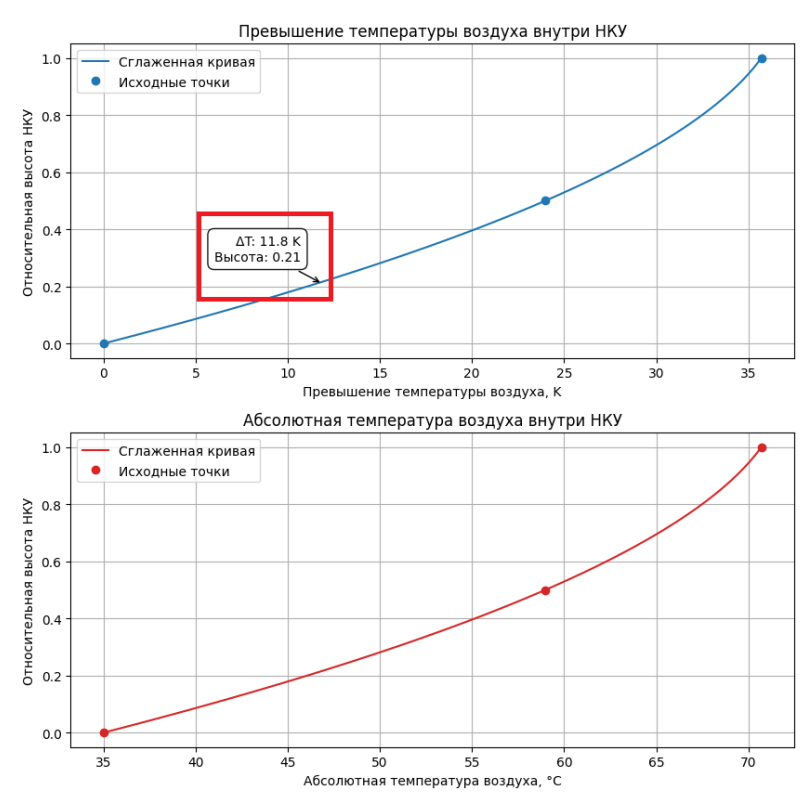


Рисунок 12. Функция определения координат

- Прогрессбар. В программе реализован прогрессбар, рисунок 13. Прогрессбар отражает прогресс выполнения расчета.

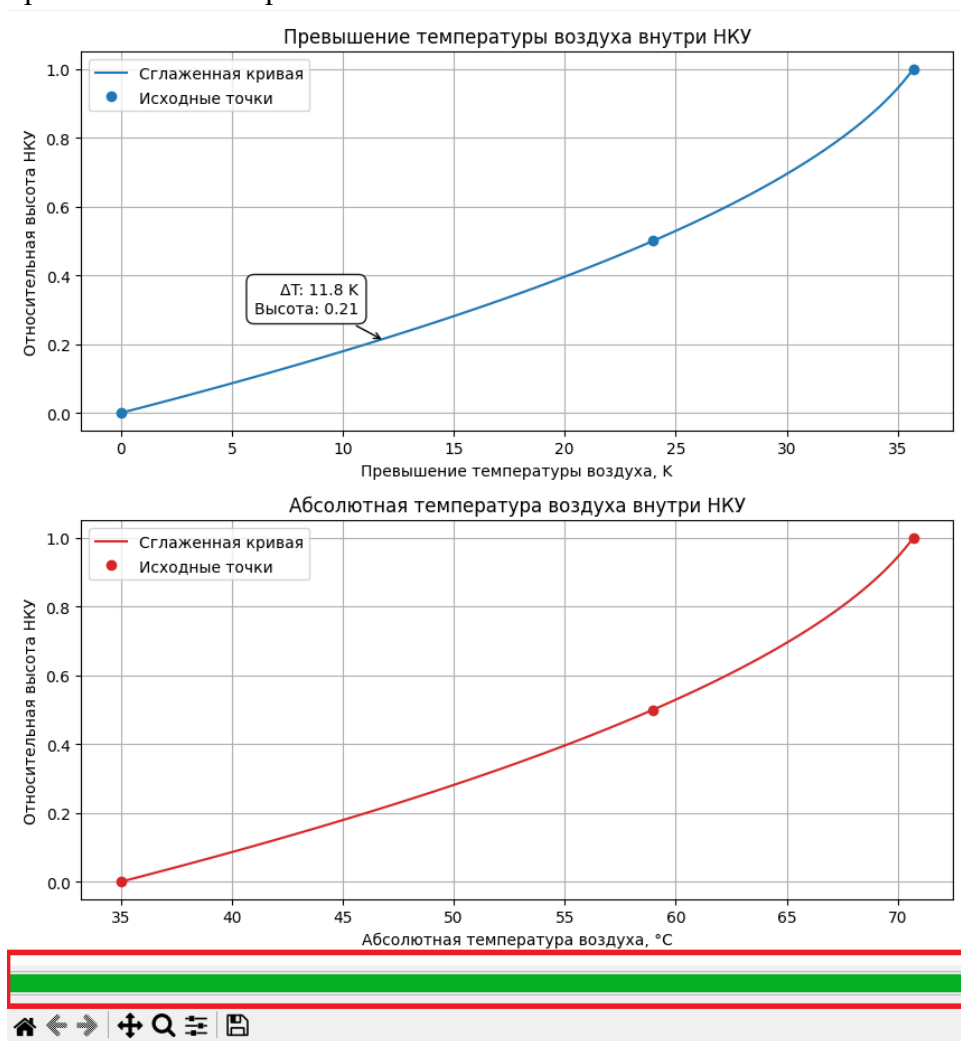


Рисунок 13. Прогрессбар

- Настройка графиков 2D и 3D. В программе реализована настройка графиков 2D и 3D, рисунок 14.

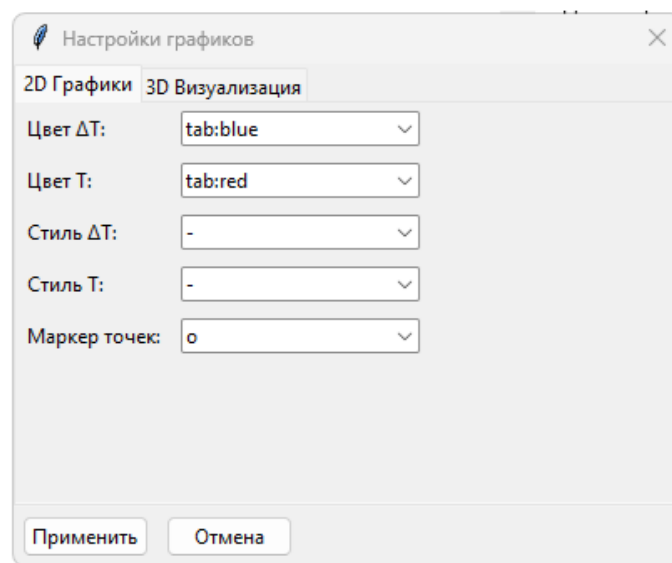


Рисунок 14. Параметры для настройки графиков 2D и 3D

- Инструменты по работе с графиками. В программе реализованы инструменты по работе с графиками, рисунок 15.

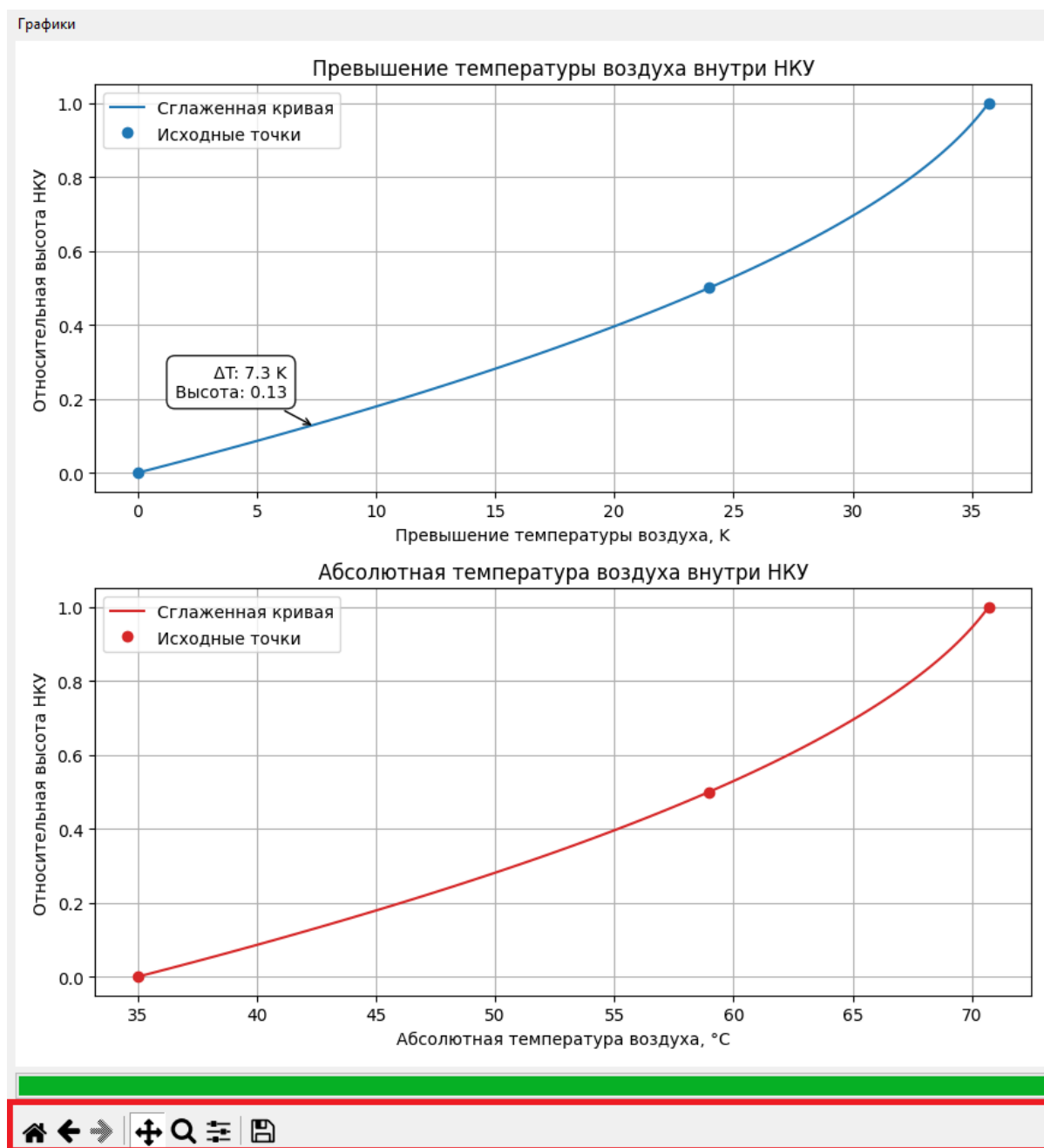


Рисунок 15. Инструменты по работе с графиками

- 3D визуализация. В программе реализованы 3D визуализация температурного распределения НКУ, рисунок 16.

3D визуализация температурного распределения в НКУ

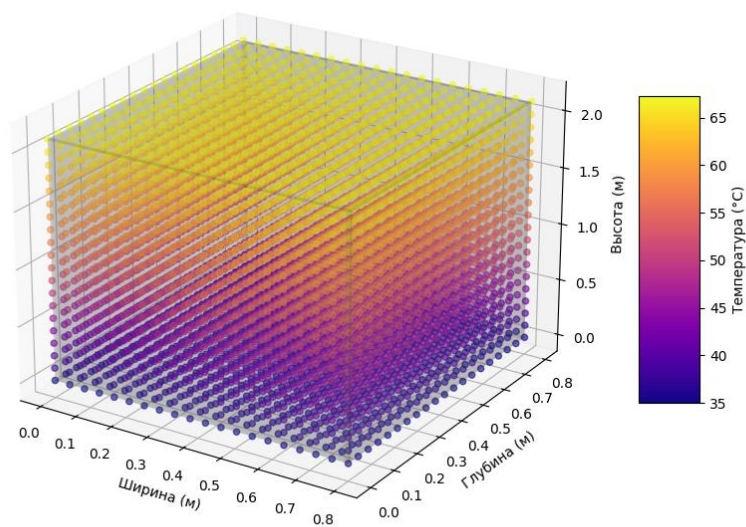


Рисунок 16. 3D визуализация температурного распределения НКУ

ПРИМЕР РАСЧЕТА

Пусть даны входные данные, которые соответствуют таблицам 1-4. Данные взяты из альбома типовых решений FORMAT PRO.

Таблица 1. Исходные данные для расчета

Наименование параметра	Медь
Габаритные размеры НКУ (В×Ш×Г), мм	2100×600×800
Ток сборных шин, А	2000
Номинальный ток водного аппарата, А	2000
Габарит вводного аппарата	В
Размер для сборных шин (типовое решение), мм	120x10
Наличие вентиляционных отверстий	Да
Площадь отверстий для притока воздуха, см ²	500
Число горизонтальных перегородок, шт.	0
Тип установки НКУ	Доступна со всех сторон
Размер ошиновки аппарата (типовое решение), мм	Согласно таблице 2

Таблица 2. Параметры ошиновки

Наименование параметра		Значение (коэффициент кратности)	Длина на фазу, мм
Шина медная М1Т 10×120×4000 мм (ВПК.ССШ)	2000 А АРМАТ АСВ В	0,54	$= (4000 \cdot 0,54) / 3 = 720$
Шина медная М1Т 10×60×4000 мм (ВПК.РСШ)	2000 А АРМАТ АСВ В	4,84	$= (4000 \cdot 4,84) / 3 = 6453,33$
Шина медная М1Т 10×80×4000 мм (ВПК.РСШ)	2000 А АРМАТ АСВ В	0,54	$= (4000 \cdot 0,54) / 3 = 720$

Оценим потери мощности для шин и аппаратов, данные потерь мощности отражены в таблицах 3-4. Абсолютное значение температуры и превышения температуры отражены на рисунке 17. При расчетах температура окружающей среды была принята 35 °С.

Таблица 3. Потери мощности для аппаратов

Наименование	Ед. изм.	Значение
АСВ габарит В 2000 А АРМАТ (выдвижное исполнение)	Вт	450

Таблица 4. Потери мощности шин (типовое решение)

Наименование	Количество фаз	Количество шин в пакете	Длина шины для одной фазы, мм	Потери мощности, суммарные, Вт
Шина медная 10×120 (ВПК.ССШ)	3	1	720	146,82
Шина медная 10×60 (ВПК.РСШ)	3	2	6453,33/2 = 3226,665	145,23
Шина медная 10×80 (ВПК.РСШ)	3	1	720	102,76
Суммарные потери				394,81

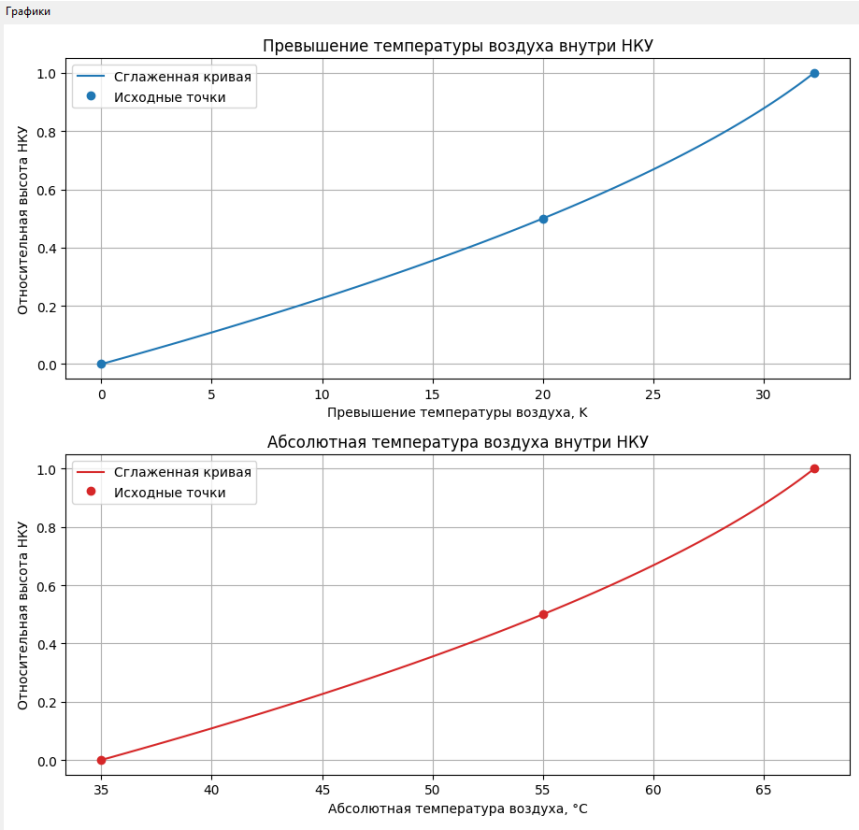


Рисунок 17. Абсолютное значение температуры и превышения температуры воздуха внутри НКУ

Результаты расчета отражены ниже:

- Общие потери мощности: 845.0 Вт
- Площадь поверхности с эффективным рассеиванием тепла (A_e): 6.94 м²
- Превышение температуры:
 - В средней части высоты: 20 К;
 - В верхней части: 32.3 К;
- Абсолютная температура:
 - В средней части высоты: 55.0 °С;
 - В верхней части: 67.3 °С;

Для оценки корректности выбранного воздушного автоматического выключателя необходимо произвести оценку дерейтинга с учетом абсолютного значения температуры на половине высоте НКУ (принимая в расчет, что воздушный автоматический выключатель установлен на половине высоты НКУ).

Согласно технической документации на АСВ габарит В 2000 А АРМАТ (выдвижное исполнение), дерейтинг при температуре 55 °С – отсутствует. Таким образом, выбранный воздушный автоматический выключатель, в условиях рабочего режима, будет работать корректно и штатно, замена на следующую ступень номинала – не требуется.