

Расчёт выделения тепла в бухте-удлинителе

Бенкевич Л. В.

13 марта 2025 г.

Задача. Нагреватель воды паспортной мощностью $P_H^* = 2200$ Вт подсоединён к сети напряжением $U = 220$ В через удлинитель, длинный двужильный кабель длиной $l = 50$ м и сечением каждой из двух жил $a = 0.75$ мм². Кабель-удлинитель смотан в бухту (размеры и число витков не имеют значения, пусть будет диаметр 20-30 см).

Найти тепловую мощность, выделяемую в бухте кабеля.

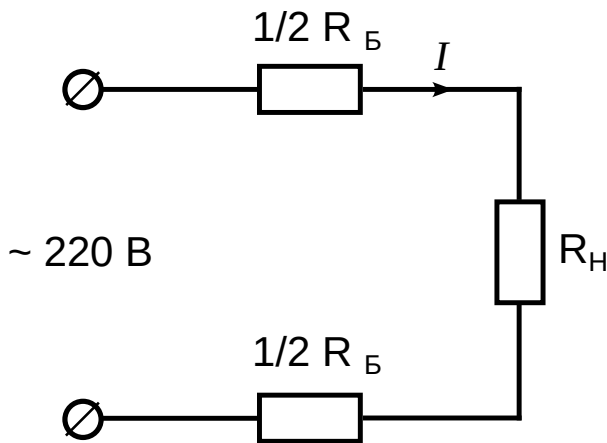


Рис. 1: Сопротивления одной жилы кабеля, $\frac{1}{2} R_B$, нагрузки (нагревателя воды), R_H , и другой жилы кабеля, $\frac{1}{2} R_B$, в бухте.

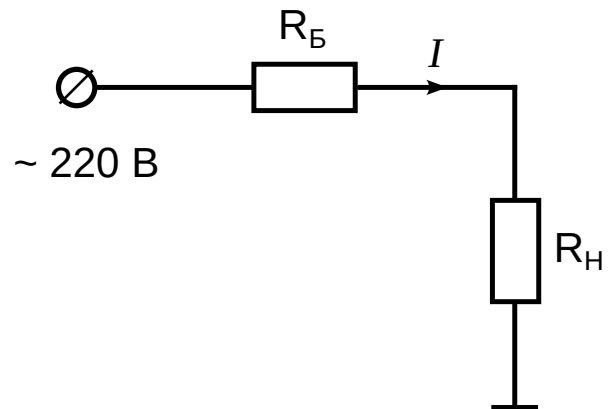


Рис. 2: Сопротивления обеих жил кабеля в бухте, R_B , и нагрузки (нагревателя воды), R_H .

Решение. Заметим, что ток последовательно протекает через три сопротивления (Рис. 1): жилу кабеля, $\frac{1}{2} R_B$, сопротивление нагревателя воды, R_H , и возвращается через другую жилу кабеля, $\frac{1}{2} R_B$. Поскольку последовательные сопротивления складываются, мы можем эту схему упростить, заменив эквивалентной, состоящей из полного сопротивления бухты, R_B , и нагревателя, R_H (Рис. 2).

Сначала найдём все сопротивления, затем ток через них, а потом – мощность P_B , выделяемую этим током в бухте.

Сопротивление провода определяется удельным сопротивлением меди, $\rho = 0.0172 \frac{\text{Ом мм}^2}{\text{м}}$, его сечением a и длиной l :

$$R = \rho \frac{l}{a}. \quad (1)$$

Полное сопротивление кабеля в бухте, то есть последовательное сопротивление обеих жил R_B ,

требует умножения длины кабеля на 2:

$$R_B = \rho \frac{2l}{a} = (0.0172 \frac{\text{Ом мм}^2}{\text{м}}) \times (2 \cdot 50\text{м}) / (0.75\text{мм}^2) = 2.293 \text{ Ом}. \quad (2)$$

Найдём сопротивление нагревателя R_H по его паспортной мощности P_H^* , то есть той его мощности, которую нагреватель развивает, когда к его клеммам приложено ровно 220 В. При напряжении U на концах сопротивления R в нём выделяется тепловая мощность P в соответствии с формулой

$$P = \frac{U^2}{R}; \quad \text{тогда} \quad R = \frac{U^2}{P}. \quad (3)$$

Подставим наши числа:

$$R_H = \frac{(220 \text{ В})^2}{2200 \text{ Вт}} = 22 \text{ Ом}. \quad (4)$$

По закону Ома, ток I через наши два сопротивления будет

$$I = \frac{U}{R_B + R_H} = \frac{220 \text{ В}}{2.293 \text{ Ом} + 22 \text{ Ом}} = (220/24.293) \text{ А} = 9.056 \text{ А}. \quad (5)$$

Хоть это в задаче и не спрашивается, но ради интереса можно найти теперь *реальное* напряжение на нагревателе,

$$U_H = R_H I = (22 \text{ Ом}) \times (9.056 \text{ А}) = 199.234 \text{ В}. \quad (6)$$

и его *реальную* выделяемую тепловую мощность:

$$P_H = I^2 R_H = (9.056 \text{ А})^2 \times (22 \text{ Ом}) = (82.013 \cdot 22) \text{ Вт} = 1804.287 \text{ Вт}. \quad (7)$$

Точно так же (хоть это и не спрашивалось в задаче) находим сумму напряжений, падающих на одну и другую жилы кабеля в бухте,

$$U_B = R_B I = (2.293 \text{ Ом}) \times (9.056 \text{ А}) = 20.766 \text{ В}. \quad (8)$$

И, наконец, вычисляем тепловую мощность, выделяемую в бухте сетевого удлинителя:

$$P_B = I^2 R_B = (9.056 \text{ А})^2 \times (2.293 \text{ Ом}) = (82.013 \cdot 2.293) \text{ Вт} = 188.055 \text{ Вт}. \quad (9)$$

Таким образом, длинный и компактно смотанный сетевой кабель выделяет почти 200 Вт в своём небольшом объёме, что и приводит к его перегреву.

Можно добавить, что на этом длинном кабеле падает десятая часть напряжения, почти 21 В из 220 В, и до нагревателя доходит лишь 199 В вместо 220 В "паспортных".