В ступени турбины происходит расширение пара и совершение им механической работы. При этом полезная работа в единицу времени (то есть мощность турбины) равна изменению теплосодержания пара с учётом относительного эффективного КПД (относительный эффективный КПД – отношение эффективной мощности к мощности идеальной турбины):

|  |  |
| --- | --- |
|  | (1) |

где – массовый расход пара;

– действительный теплоперепад в ступени (работа, которую 1 кг пара совершает внутри турбины);

– располагаемый теплоперепад.

Из (1) выразим действительный теплоперепад в ступени турбины через располагаемый теплоперепад:

|  |  |
| --- | --- |
|  | (2) |

После деления на время получим выражение для мощности ступени турбины:

|  |  |
| --- | --- |
|  | (3) |

где – располагаемая мощность.

Найдём располагаемую мощность. В курсе термодинамики при рассмотрении первого закона термодинамики для потока показывается справедливость следующего уравнения:

|  |  |
| --- | --- |
|  | (4) |

где – давление жидкости;

– удельный объём жидкости;

– скорость;

– ускорение свободного падения;

– высотная координата;

– техническая работа;

– работа на преодоление сил трения.

Уравнение (4) показывает, что работа на проталкивание потока, на изменение кинетической энергии, на изменение потенциальной энергии, на преодоление сил трения и механическая работа, совершаются за счёт работы расширения жидкости, движущейся в потоке.

С использованием (4) запишем элементарную располагаемую мощность:

|  |  |
| --- | --- |
|  | (5) |

Для интегрирования (5) в пределах ступени турбины предположим, что давление и плотность изменяются линейно, то есть:

|  |  |
| --- | --- |
|  | (6) |

Коэффициенты линейных уравнений (6) находятся из граничных условий:

|  |  |
| --- | --- |
|  | (7) |

Уравнение (5) перепишем в следующем виде:

|  |  |
| --- | --- |
|  | (8) |

Проинтегрируем (8) по x в пределах от 0 до L и найдём располагаемую мощность в ступени турбины:

|  |  |
| --- | --- |
|  | (9) |

После подстановки коэффициентов из (7) получаем

|  |  |
| --- | --- |
|  | (10) |

Таким образом, окончательно получаем уравнение для ступени турбины в виде

|  |  |
| --- | --- |
|  | (11) |

Способ расчёта следующий: в гидравлическую связь, следующую по ходу потока за ячейкой, в которой установлен блок «Ступень турбины», добавляется некоторое гидравлическое сопротивление. Вычисляются разности давлений и плотностей в текущей ячейке и следующей за ней, и находится отрицательный член в уравнении энергии для ячейки по формуле (11).

Заметим, что если плотность жидкости в ступени турбины не изменяется (то есть если жидкость ведёт себя как несжимаемая), то уравнение (11) применять нельзя. Вместо этого обратимся ещё раз к уравнению (4), считая, что изменение удельного объёма . Тогда

|  |  |
| --- | --- |
|  | (12) |

то есть в этом случае изменение кинетической и потенциальной энергии, преодоление трения и совершение технической работы будут осуществляться за счёт падения давления. Тогда располагаемая мощность запишется в виде

|  |  |
| --- | --- |
|  | (13) |

Проинтегрируем (13) в пределах ступени турбины. Тогда получим:

|  |  |
| --- | --- |
|  | (14) |

Исходя из мощности, передаваемой турбиной ротору, рассчитывается крутящий момент, действующий на ротор:

|  |  |
| --- | --- |
|  | (15) |

где – частота вращения ротора, об/с.

При этом если относительное изменение плотности то используем формулу для несжимаемой жидкости (14), а если относительное изменение плотности , то используем формулу для сжимаемой жидкости (10).