

ВЛИЯНИЕ МЕТОДИЧЕСКОЙ ПОГРЕШНОСТИ ГИДРОСТАТИЧЕСКИХ УРОВНЕМЕРОВ ПАРОГЕНЕРАТОРОВ АЭС НА КАЧЕСТВО СТАБИЛИЗАЦИИ УРОВНЯ ВОДЫ, КАЧЕСТВО ПАРА И НАДЕЖНОСТЬ ПАРОГЕНЕРАТОРА

Тодорцев Ю.К., Демченко В.А., Беглов К.В., Лянко Л.Д.
Одесский национальный политехнический университет,
Южно-Украинская АЭС.

Уровень воды в горизонтальных парогенераторах (ПГ) АЭС с ВВЭР измеряется гидростатическими уровнемерами двух типов. Уровнемеры с двухкамерными уравнительными сосудами и базой 0.63 или 1 м подключены на боковом днище ПГ в зоне с опускным движением теплоносителя. Такие уровнемеры используют для контроля и регулирования уровня воды с помощью автоматического регулятора.

Уровнемеры с однокамерным уравнительным сосудом и базой около 4 м подключены к ПГ так, что «минусовый» штуцер дифманометра-уровнемера расположен под греющим пакетом труб теплоносителя первого контура реактора, а «плюсовой» — в верхней части ПГ. Такие уровнемеры используются для контроля общего уровня воды и в системах технологических защит по понижению уровня воды.

Как известно, уровень жидкости определяется гидростатическим методом по давлению столба измеряемой жидкости. При этом сигнал дифманометра-уровнемера однозначно определяет уровень при постоянстве плотности измеряемой жидкости. Именно такое условие принято при расчете характеристик дифманометров-уровнемеров как малой, так и большой базы. При этом считается, что вода находится на линии насыщения. Однако в действительности это условие не соблюдается. Рассмотрим этот вопрос отдельно для уровнемеров различного типа.

Для организации естественной циркуляции в ПГ имеются подъемные участки в пределах греющего пакета труб и опускные участки между пакетами труб. Опускное движение воды организовано также в зоне подключения малого уровнемера, в

которой вода сливается с погруженного дырчатого листа под греющий пакет труб. Экспериментальными исследованиями организаций- разработчиков ПГ, проведенными на головном и серийных ПГ, установлено, что на номинальной нагрузке в зоне установки малого уровнемера паросодержание φ составляет 0.2 и даже 0.3 %, т.е. плотность пароводяной смеси меньше плотности воды на линии насыщения. Так для парогенератора ПГВ-1000 плотность пароводяной смеси при $\varphi = 0.2$ % составляет 609 кг/м^3 при плотности воды на линии насыщения $\rho' = 753 \text{ кг/м}^3$. Подобные исследования на промежуточных нагрузках не проводились. Тем не менее, зная общие закономерности парообразования при кипении и плотность смеси при номинальной нагрузке, можно задаться ожидаемым изменением плотности смеси до значения ρ при уменьшении нагрузки ПГ. Так, для ПГВ-1000 требуемую зависимость можно описать многочленом

$$\rho_{см} = 1,81 \cdot 10^{-9} N^6 - 5,7 \cdot 10^{-7} N^5 + 6,83 \cdot 10^{-5} N^4 - 3,91 \cdot 10^{-3} N^3 + 0,119 N^2 - 3,69 N + 753.3 ,$$

где нагрузка N выражена в относительных единицах.

Из приведенного анализа вытекают следующие выводы. Плотность пароводяной смеси в зоне установки малого уровнемера является переменной и зависит от нагрузки ПГ. Верхний предел шкалы и цена деления уровнемера являются также переменными и зависят от нагрузки. Штатная шкала показывающего уровнемера пригодна лишь для режима минимально контролируемого уровня мощности реактора (МКУ). При паросодержании $\varphi = 0.2\%$ и плотности воды 609 кг/м^3 верхний предел уровнемера составляет не 1, а 1.2 м. При этом уровнемер занижает показания, погрешность измерения является мультипликативной и зависит от величины измеряемого уровня, в частности, при показании уровнемера 360 мм действительный уровень воды равен 432 мм..

Для обеспечения возможности использования штатных показывающих уровнемеров на блочном щите управления (БЩУ) на рабочих нагрузках предложена универсальная шкала, состоящая из нескольких шкал для фиксированных нагрузок ПГ [1].

Изменение плотности пароводяной смеси при изменении нагрузки ПГ приводит к изменению стабилизируемого автоматическим регулятором действительного уровня в ПГ при неизменном задании регулятора, что объясняется следующим. Регулятор стабилизирует сигнал (ток) дифманометра, а поскольку плотность пароводяной смеси при увеличении нагрузки ПГ уменьшается, то для сохранения сигнала неизменным регулятор увеличивает уровень воды. Из сказанного следует, что использование показаний уровнемера малой базы для выставления сигнала задания автоматическому регулятору уровня воды приводит к поддержанию завышенного по сравнению с нормированным действительного уровня воды в ПГ.

Отмеченная особенность стабилизации уровня воды приводит, в свою очередь, к следующим последствиям. Как показали экспериментальные исследования сепарационных характеристик многих ПГ, влажность генерируемого насыщенного пара существенно зависит от уровня воды, причем, с увеличением уровня крутизна указанной характеристики возрастает. Учитывая, что на большинстве АЭС Украины отсутствуют влагомеры пара, поддержание завышенного уровня воды в ПГ приводит к увеличению влажности пара выше нормированного значения, равного 0.2 %. А это, в свою очередь, приводит к снижению мощности энергоблока. Известно, что увеличение влажности пара на 1 % приводит к снижению мощности турбогенератора также на 1 %.

Рассмотрим особенности измерения общего уровня воды с помощью уровнемеров с однокамерным сосудом и базой 4 м. В настоящее время перепад давления ΔP на дифманометре-уровнемере рассчитывают по выражению

$$\Delta P = H_B \rho_x g - [h \rho' g + (H_B - h) \rho'' g], \quad (1)$$

где H_B — база уровнемера;

h — действительный уровень воды в парогенераторе;

ρ_x — средняя плотность воды в "плюсовой" импульсной линии;

ρ', ρ'' — плотность воды и пара на линии насыщения соответственно;

g — ускорение свободного падения.

Однако в связи со спецификой подключения к ПГ штуцеров для отбора давления, описанный выше перепад давления на дифманометре необходимо определять по выражению

$$\Delta P = H_B \rho_x g - [h \rho_{см}(N, h) g + (H_B - h) \rho'' g + \Delta P_{г}(N, h) + \Delta P_{л}(N, h)], \quad (2)$$

$\rho_{см}$ — средняя плотность пароводяной смеси на вертикальном участке между верхним и нижним штуцерами отборных устройств рассматриваемого уровнемера;

$\Delta P_{г}$ — гидравлическое сопротивление при движении двухфазного потока через трубный пучок;

$\Delta P_{л}$ — гидравлическое сопротивление погруженного дырчатого листа;

Как видно из приведенного выражения, в расчете необходимо учитывать изменение с нагрузкой N плотности пароводяной смеси $\rho_{см}$, а также зависимость ее от величины самого уровня h . Последнее объясняется тем, что столб смеси высотой h фактически состоит из трех участков: участка высотой h_1 в пределах греющего пакета труб, участка высотой h_2 , соответствующего паровой подушке под погруженным дырчатым листом, и участка высотой h_3 над погруженным листом. При этом $h = h_1 + h_2 + h_3$. Плотность смеси на каждом из этих участков различна, поэтому при изменении общего уровня и неизменной нагрузке происходит перераспределение относительного влияния каждого участка на суммарную плотность смеси. Расчеты авторов показали, что плотность пароводяной смеси на номинальной нагрузке и номинальном уровне уменьшается до 450 кг/м^3 . Сопротивления трубки $\Delta P_{г}$ и $\Delta P_{л}$ с изменением нагрузки изменяются нелинейно и при номинальной нагрузке достигают значений $4500 \text{ и } 1200 \text{ Па}$ соответственно. Эти сопротивления зависят также от измеряемого уровня воды. Интересно отметить характер изменения всех трех переменных в выражении (2) при увеличении нагрузки ПГ. Давление измеряемого столба смеси h с плотностью $\rho_{см}$ уменьшается, а давления $\Delta P_{г}(N, h)$ и $\Delta P_{л}(N, h)$ возрастают,

поэтому суммарный перепад давлений на дифманометре ΔP изменяется не столь существенно, как это можно было предположить. Тем не менее градуировочные характеристики дифманометра, нелинейные и различные для различных нагрузок ПГ, отличаются от штатной, пригодной лишь для режима минимально контролируемого уровня мощности реактора (рис. 1.). Уровнемер общего уровня воды занижает показания. При этом изменяется верхний предел и цена деления уровнемера. Расчеты для одного из ПГ ЮУ АЭС показали, что если в режиме МКУ верхний предел шкалы составляет 4.375 м, то на 60 % $N_{ном}$ — 5.14 м, на 80 % — 5.38 м и на 100 % — 5.6 м (рис.2).

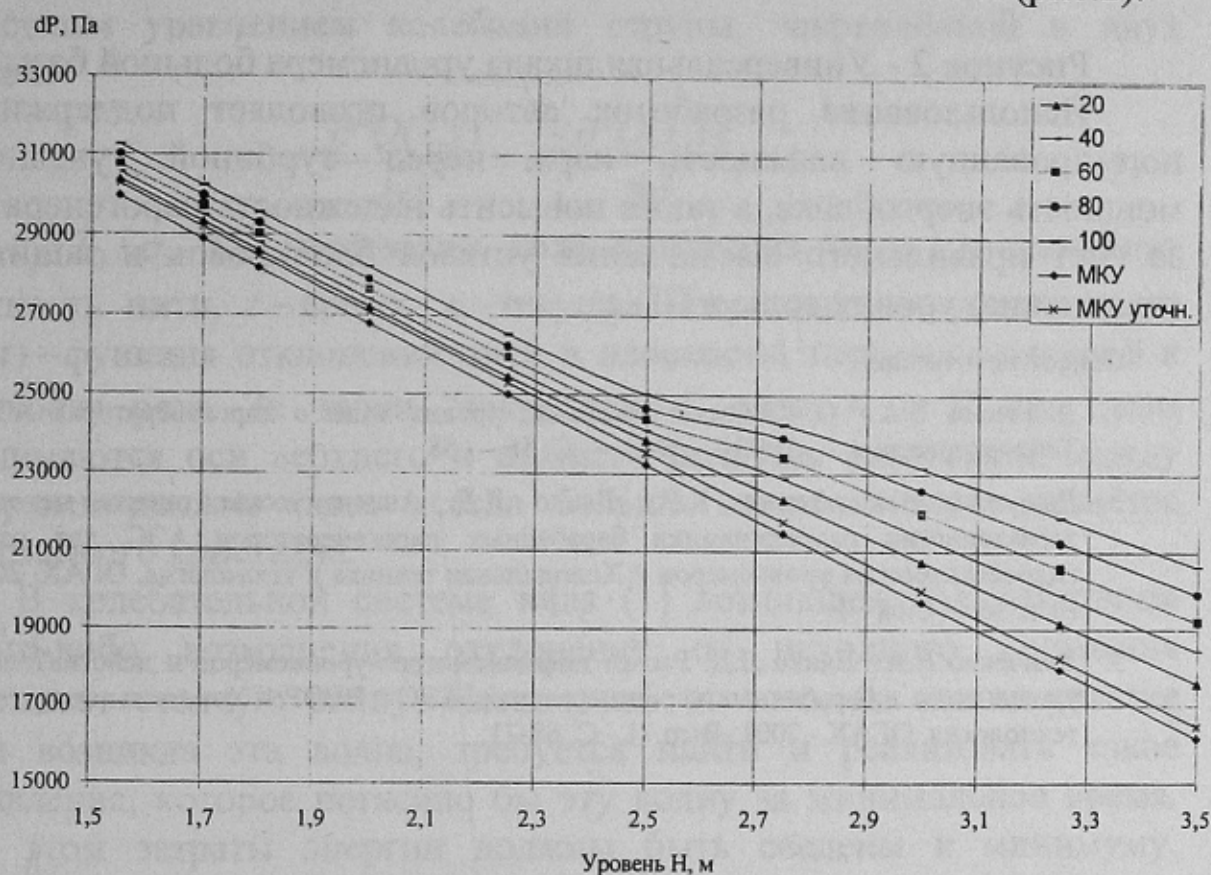


Рисунок 1 - Статическая характеристика дифманометра-уровнемера для различных нагрузок.

Авторами разработаны универсальные шкалы уровнемеров малой и большой базы для фиксированных нагрузок ПГ, позволяющие определять действительный уровень воды на любой нагрузке, а также выражения для расчета с помощью АСУ ТП блока действительного уровня воды по сигналам уровнемеров малой и большой базы с выводом информации на экран монитора оператора-

технолога. Однак проблема с выставлением уставок защит и блокировок по отклонению уровня воды в ПГ сохраняется [2,3].

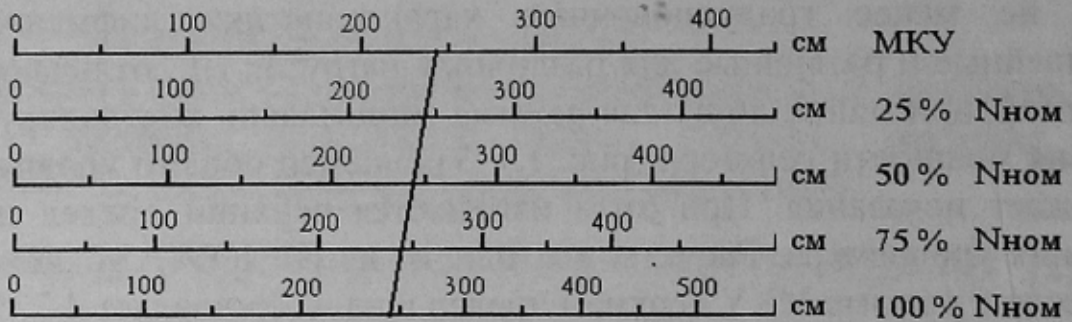


Рисунок 2 - Универсальная шкала уровнемера большой базы

Использование разработок авторов позволяет поддерживать нормированную влажность пара перед турбиной, увеличить мощность энергоблока, а также повысить надежность парогенератора за счет правильного выставления уставок блокировок и защит по отклонению уровня воды в ПГ.

Список источников

1. Демченко В.А. О точности измерения уровня воды в парогенераторах АЭС. // Теплоэнергетика, — 1999. — № 2. — С. 56 — 58.
2. Демченко В.А., Беглов К.В., Лянко Л.Д. Аналитическая оценка некоторых характеристик гидродинамики барабанных парогенераторов АЭС для расчета гидростатических уровнемеров // Холодильная техника и технология, ОГАХ, 2000. — Вып. 69. — С.68-71.
3. Демченко В.А., Лянко Л.Д. Расчет дифманометров-уровнемеров и действительного уровня воды в барабанных парогенераторах АЭС с ВВЭР.// Холодильная техника и технология, ОГАХ.- 2001.-Вып.71.- С. 68-71.

ОПТИМИЗАЦИЯ РАБОТЫ УСТАНОВКИ ДЛЯ ПОРЕЗКИ ВОДОРАСТВОРИМЫХ МОНОКРИСТАЛЛОВ

Рогачёв А.И.,

Национальный технический университет “ Харьковский политехнический институт”

В процессе разрезания водорастворимых монокристаллов вращающейся хлопчатобумажной нитью на поверхности реза могут