

ОПТИМИЗАЦИЯ ПЕРФОРАЦИИ ПАРОПРИЁМНОГО ДЫРЧАТОГО ЛИСТА ПГВ-1500

Ю.А. Безруков, В.В. Сотсков, Н.Б. Трунов,
ФГУП ОКБ «ГИДРОПРЕСС», Подольск
А.Д. Ефанов, Ю.Д. Левченко
ГНЦ РФ-ФЭИ, Обнинск

В настоящем докладе приведены основные результаты экспериментальных исследований на аэродинамической модели пароприемного дырчатого листа парогенератора ПГВ-1500

1. ВВЕДЕНИЕ

В парогенераторе ПГВ-1500 в отличие от ПГВ-1000 существенно изменилась схема вывода пара из парогенератора. Вместо 10 паропроводящих патрубков, распределенных равномерно по верхней поверхности ПГ-1000 [1], в ПГВ-1500 устанавливается 2 патрубка увеличенного диаметра, [2]. Это техническое решение, положительно влияющее на механические и гидравлические свойства ПГ, может привести к появлению продольных скоростей пара и ухудшению сепарационных характеристик ПГ. Установка пароприемного дырчатого листа (ППДЛ) с переменной по длине ПГ перфорацией позволяет перераспределить потоки пара, минимизировать продольные скорости (вдоль парогенератора) в паровом пространстве и унос влаги в паропровод.

2. РЕЗУЛЬТАТЫ ЭКСПЕРИМЕНТАЛЬНЫХ ИССЛЕДОВАНИЙ МОДЕЛИ ПАРОПРИЕМНОГО ДЫРЧАТОГО ЛИСТА ПГВ-1500

Экспериментальные исследования проводились на аэродинамической модели, имеющей линейный масштаб М1:5. Модель парового объема высотой $H_M=244$ мм между имитаторами погружного дырчатого листа (ПДЛ) и пароприемного дырчатого листа (ППДЛ) включала вытеснители - имитаторы раздающего и сборного коллекторов 1-го контура, трубопроводов питательной воды. Исходная величины перфорации дырчатых листов в ППДЛ-модели были следующими: $\varepsilon_{ПДЛ}=0,12$; $\varepsilon_{ППДЛ}=0,087$.

Экспериментальная ППДЛ-модель приведена на рисунке 1. При равномерной перфорации ППДЛ влияние выходных патрубков проявляется в значительной неравномерности скоростей пара через отверстия дырчатого листа, рисунок 2. На рисунке 2 дан профиль скоростных напоров, измеренных вдоль центральной оси ППДЛ передвижным зондом скорости. Этот результат стал подтверждением необходимости проведения исследований по оптимизации профилирования ППДЛ.

Из расчетно-теоретических исследований известно поле скоростей выхода пара с поверхности испарения. Эти данные задавались в экспериментальной ППДЛ-модели профилем скорости потока воздуха через отверстия ПДЛ, который был подобен профилю скорости пара. Гистограмма относительных скоростей вдоль центральной оси ППДЛ-модели дана на рисунке 3. Гистограмма сначала была получена расчетно с использованием справочных рекомендаций, а затем была уточнена в опытах.

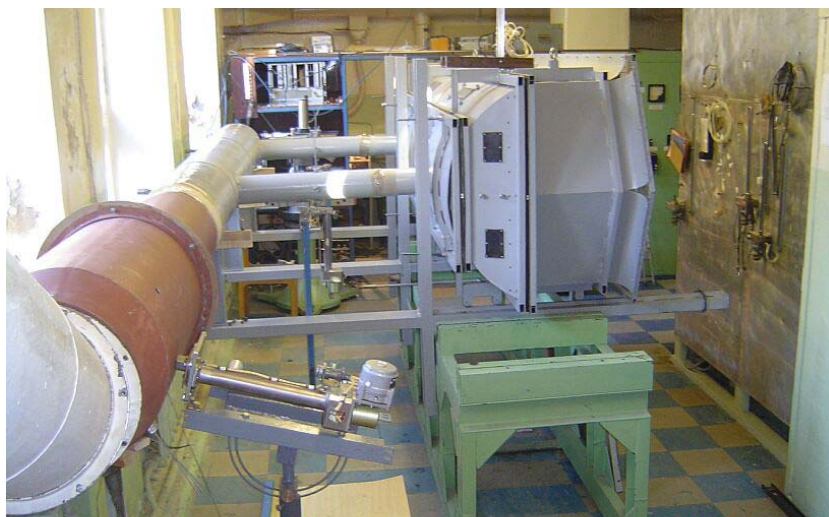


Рис. 1. Экспериментальная ППДЛ-модель в контуре аэродинамического стенда

Значение относительной скорости $W_i/\langle W \rangle$ примерно равно средней относительной скорости выхода пара по ширине натурального дырчатого листа. Одномерный профиль скоростей выбран из-за малых градиентов скоростей по длине парогенератора по сравнению с градиентами скоростей в поперечном направлении и, следовательно, менее интенсивных процессов перемешивания в продольном направлении. Профиль гистограммы подобран достаточно точно. Максимум скоростей смещен от оси ППДЛ модели в сторону расположения имитатора "горячего" коллектора

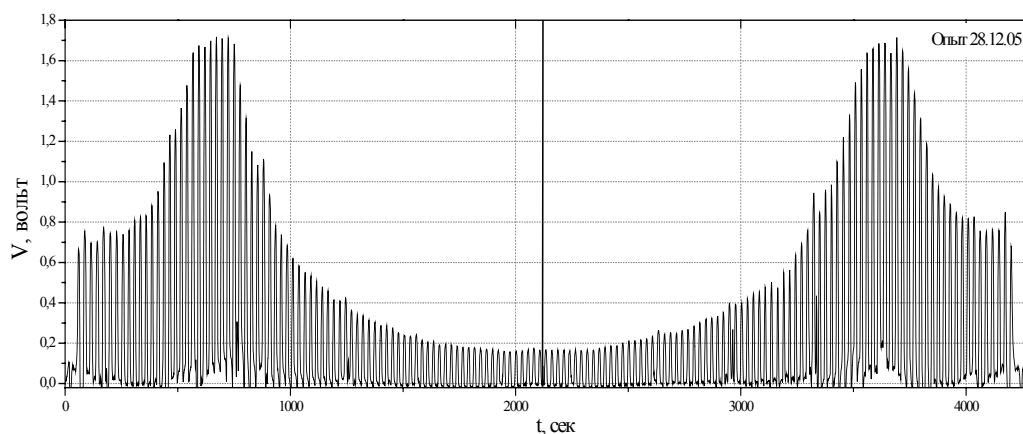


Рис. 2. Профиль электрических сигналов зонда скорости, пропорциональных скоростным напорам в отверстиях ППДЛ

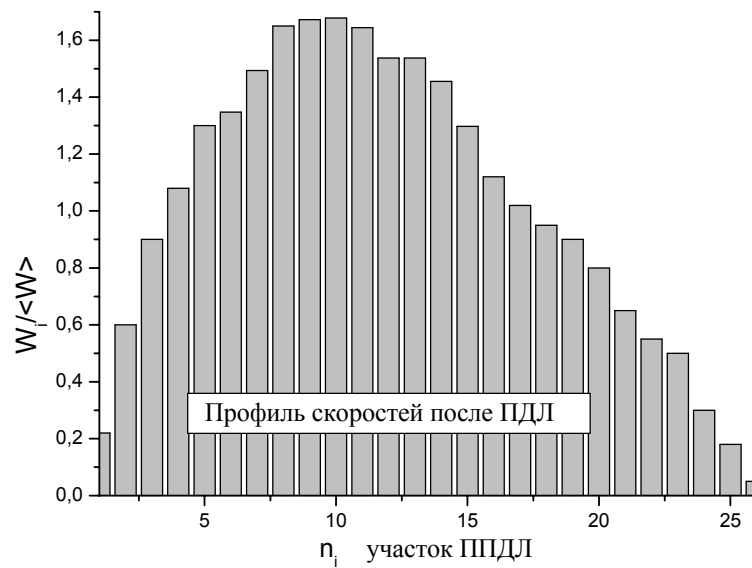


Рис.3. Гистограмма изменения скоростей потока воздуха вдоль продольной оси ПДЛ (ось "x")

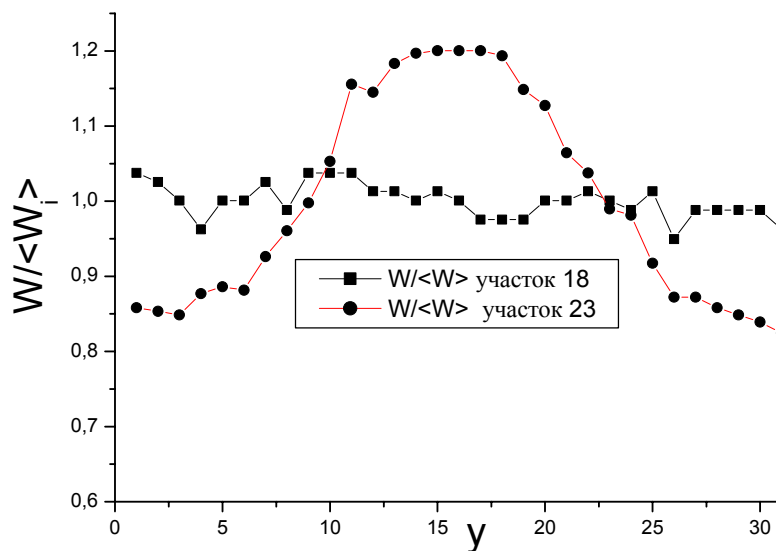


Рис.4. Профили скорости на участках 4 и 9 ПДЛ при равномерной перфорации дырчатого листа.

Расстояние "в свету" между дырчатыми листами модели равнялось $1220/5=244$ мм. Этого расстояния оказалось достаточно, чтобы профиль перфорации ПДЛ и соответственно профиль скоростей после этой решетки не зависел от профиля перфорации ППДЛ. Это объяснялось тем, что изменения в конструкции ППДЛ и естественно в поле скоростей перед ним распространяются против потока на расстояние, меньшее 244 мм. Это было важно в методическом

отношении, т.к. полученный профиль скоростей после ПДЛ, рисунок 3, уже не менялся в ходе опытов по подбору профиля перфорации ППДЛ.

Перфорированная поверхность ППДЛ условно разделялась на 26 поперечных участков, пронумерованных в направлении "x" со стороны "горячего" коллектора. Таким образом, участки 1-13 относились к "половине с "горячим" коллектором, 14-26 – с "холодным".

В дополнение к профилю скорости на продольной оси ППДЛ скорости потока воздуха измерялись в двух рядах отверстий, расположенных поперек ППДЛ. Один ряд отверстий располагался под выходным патрубком (участок 4), другой - на середине расстояния между осью выходного патрубка и серединой длины дырчатого (участок 9). При равномерной перфорации ППДЛ профили сигналов преобразователя перепада давления даны на рисунке 4. Под выходным патрубком (участок 4) поперечная максимальная неравномерность скоростей составляет $\pm 0,2$ от средней. На участке 9 профиль скорости плоский. Таким образом, выходные патрубки оказывают влияние на поперечную неравномерность профилей скорости в областях участков $1 \div 9$ и $18 \div 26$. На участках $9 \div 18$ поперечные профили скорости плоские.

В ходе последовательных приближений перфорации ППДЛ на выделенных участках перекрывались отверстия, расположенные симметрично относительно центральной оси. Ряды отверстий, вдоль которых производились измерения скоростей, не перекрывались.

Поток воздуха, прошедший через ПДЛ весь проходит через ППДЛ. Спроектируем отдельный участок ППДЛ на плоскость ПДЛ. Выделим линиями тока области потока в пространстве между дырчатыми листами соответствующие участки на ПДЛ и ППДЛ. Если расходы воздуха через соответствующие участки одинаковы, то скорость в направлении "x" равняется нулю из-за неразрывности. Отметим, что по высоте (направление "z") проходного сечения проходное сечение уменьшается из-за кривизны поверхности обечайки модели, скорости потока увеличиваются. При анализе потока рассматриваются профили относительных скоростей потока, как отношение средней на участке скорости к средней на всей поверхности дырчатого листа $(\bar{W}_i / \bar{W})_{ПДЛ} = f(x)$ или $(\bar{W}_i / \bar{W})_{ППДЛ} = f(x)$

Перфорация ППДЛ по длине подобрана таким образом, чтобы профиль скорости в отверстиях ППДЛ был примерно одинаковым с профилем в отверстиях ПДЛ. При совпадении профилей скорости (на участке проекции ППДЛ на ПДЛ) проекции векторов скорости воздуха (в модели) и пара в натурном ПГ на продольную ось минимизируются.

На рисунке 5 дан опытный профиль относительных средних скоростей по длине ППДЛ, который сопоставлен с исходным профилем по длине ПДЛ (сплошная кривая). На торцевых участках ППДЛ относительные скорости принимались равными значениям относительных скоростей ПДЛ. Для этого заданный профиль на ППДЛ нормировался на свою среднюю скорость. В результате относительное максимальное значение относительной скорости на ППДЛ было меньше, чем на ПДЛ. Из рисунка видим, что исходный и подобранный в опытах профили согласуются между собой.

Непрерывная кривая изменения величины перфорации ППДЛ по длине ППДЛ-модели дана на рисунке 6. Максимальное значение перфорации, равное 0,087, получено в центральной части ППДЛ, наименьшее значение, равное 0,005 на участке 1 – торцевом участке со стороны "холодного" коллектора. Под "выходным" патрубком на стороне "горячего" коллектора степень перфорации получена равной примерно 0,06, под другим патрубком – 0,022. Отмечаем, профиль перфорации существенно несимметричен - максимальные значения

сдвинуты в сторону "горячей" половины ППДЛ-модели. Если под патрубком на "горячей" стороне просматривается минимум значений перфорации, то на другой стороне под патрубком перфорация изменится монотонно, уменьшаясь к торцу ППДЛ. Причина заключается в различных количествах генерируемого пара на "горячей" и "холодной" сторонах парогенератора. Поэтому на "горячей стороне" ППДЛ перфорация и соответственно проходное сечение дырчатого листа больше, чем на "холодной".

В результате интегрирования полей скорости получено, что расходы воздуха через соответствующие половины модели различались примерно в 1,5 раза (на "горячей" стороне - 0,61 от всего расхода воздуха, на "холодной" - 0,39).

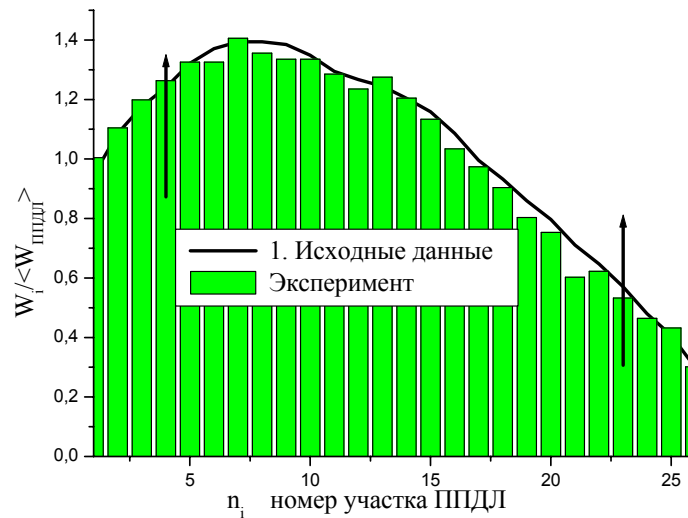


Рис. 5. Профили средних скоростей по длине ППДЛ. 1- профиль, полученный по исходным данным для ПДЛ

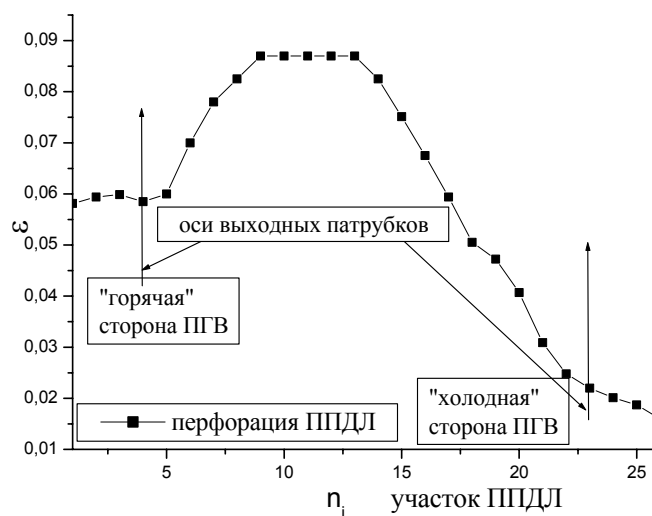


Рис.6. Экспериментальный профиль перфорации по длине ППДЛ для минимизации "x"-компоненты вектора скоростей потока пара в пространстве между дырчатыми листами

Отметим важное свойство парового пространства после ППДЛ, наблюдаемое в опытах. Несмотря на различные проходные сечения обеих половин ППДЛ, расходы воздуха в выходных патрубках экспериментальной модели были практически одинаковыми. Таким образом, избыточная часть воздуха, прошедшая через ППДЛ на "горячей" стороне попадала в выходной патрубок на "холодной" стороне модели. На стадии наладочных опытов было произведено выравнивание расходов по обоим патрубкам с помощью дросселей. При итерационном подборе перфорации ППДЛ от равномерной и равной 0,087 до неравномерной и равной в среднем 0,056 равенство расходов воздуха по обоим патрубкам сохранялось без корректировки. Причина этого факта в примерном равенстве гидравлических потерь на обоих участках ППДЛ-патрубок-сборный воздухопровод экспериментальной модели и незначительной доле изменения гидравлических потерь на ППДЛ при изменении перфорации с 0,087 до 0,056.

Кривая на рисунке 6 не является окончательной, т.к. она должна быть представлена в виде гистограммы перфорации, постоянной на площади отдельных листов натурной ППДЛ.

3. ЗАКЛЮЧЕНИЕ

- влияние выходных патрубков на течение пара в объеме между дырчатыми листами минимально при несимметричном профиле перфорации ППДЛ. При этом достигается минимизация продольных скоростей пара и обусловленный ими унос влаги;
- в опытах установлено, что через «горячую» и «холодную» стороны ППДЛ модели проходит 0,61 и 0,39 от всего расхода воздуха;
- несмотря на несимметричность перфорации и поля скоростей расходы воздуха через оба патрубка примерно одинаковы.

Список литературы

1. Н.Б. Трунов, С.А. Логвинов, Ю.Г. Драгунов. Гидродинамические и теплехимические процессы в парогенераторах АЭС с ВВЭР.-М.: Энергоатомиздат, 2001.-316 с.

2. Б.И. Лукаевич, Н.Б. Трунов, Ю.Г. Драгунов, С.Е. Давиденко. Парогенераторы реакторных установок для атомных электростанций. М.: ИКЦ "Академкнига", 2004 -391 с.