

**А. И. БАБАЕВ, В. Н. ГОЛОЩАПОВ**

## ИССЛЕДОВАНИЕ СТРУКТУРЫ ПОТОКА В ТРАКТЕ ПАРОВПУСКА ТУРБИНЫ МЕТОДОМ МАТЕМАТИЧЕСКОГО МОДЕЛИРОВАНИЯ

**АННОТАЦИЯ** В статье приводятся результаты численного исследования структуры потока в тракте, включающего регулирующий клапан, входной патрубок, сопловой сегмент. Определено, что суммарные потери располагаемой энергии при совместной работе данных элементов превышают потери при их изолированной работе. Основной причиной увеличения потерь энергии является наличие неравномерности параметров входного потока, сформированного в предвключённом элементе проточной части.

**Ключевые слова:** регулирующий клапан, входной патрубок, сопловой сегмент, неравномерность, парораспределение, паровая турбина.

**A. I. BABAYEV, V. N. GOLOSHCHAPOV**

## INVESTIGATION OF THE FLOW PATTERN IN THE INLET PART OF TURBINE USING METHOD OF MATHEMATIC MODELLING

**ABSTRACT** The article presents the results of a numerical investigation of the flow pattern in the input path of turbine K-200-12.7 including control valve, inlet pipe, nozzle segment. To determine the influence of each element in the total value of the energy loss, the calculations were carried out for the flow part of separate compartments: an isolated segment of the nozzle, inlet pipe-nozzle segment and the control valve-inlet pipe-nozzle segment. Each compartment was investigated for the modes, corresponding to the flow at low, medium and high valve opening. When calculating the model, a computational grid of tetrahedral type with prismatic sublayer and SST turbulence model was used. The results of the calculation showed that the total energy loss in the joint work of these elements exceed the loss in their isolated work. The main reason is the presence of increasing losses nonuniformity of input parameters generated in the previous path element. The most non-uniform distribution of flow parameters for all the investigated modes is observed in the outlet section of the valve diffuser. The stream thus formed enters the inlet pipe where it receives additional turbulence. As a result, the coefficient of irregularity of the total pressure at the nozzle inlet with a low valve opening reaches 0,137, and with a high valve opening – 0,035. In conclusion, it noted that the formation of the stream in the flow channel of the valve has a significant impact on the effective operation of the following elements of steam input path. An additional increase in the level of energy losses in the nozzles was 20.7–23.2 %. Increase internal loss coefficient in the inlet pipe was 33.6–83.3 %.

**Key words:** control valve, inlet channel, nozzle segment, nonuniformity, steam distribution and steam turbine.

### Введение

В настоящее время одним из актуальных направлений в совершенствовании проточных частей турбоустановок является снижение неучтенных потерь энергии, вызванных наличием неравномерных параметров входного потока [1–4].

Нарушение окружной симметрии течения, вследствие влияния регенеративных отборов, парциальности предвключенной ступени и неспособности входного патрубка обеспечить равномерную структуру потока в его выходном сечении, приводит к снижению эффективности последующего лопаточного аппарата. При этом, кроме снижения экономичности ступени, которое может составлять порядка нескольких процентов КПД, также возможно появление неуравновешенных поперечных сил, способных привести к изменению вибрационного состояния ротора.

Если вопросам влияния отбора рабочего тела и парциальности предвключенной ступени на эффективность последующих ступеней проведено значительное количество исследований, то о механизме формирования структуры потока перед первой ступенью цилиндра турбины известно недостаточно [2–4]. Дополнительно отмечается отсутст-

вие работ по оценке влияния регулирующего устройства на эффективность последующих элементов паровпускной части.

В результате, исследование тракта, состоящего из регулирующего клапана, входного патрубка и первой ступени турбины, имеет практический интерес.

### Цель работы

Цель работы – исследовать структуру потока в проточной части тракта регулирующий клапан–входной патрубок–сопловой сегмент и определить вклад каждого элемента в общую структуру потерь паровпускного отсека

### Изложение основного материала

В качестве объекта исследования выбрана проточная часть входного отсека цилиндра высокого давления турбины К-200-12,7, включающая неразгруженный регулирующий клапан (РК) № 1, входной патрубок (ВП) и сопловой сегмент (СС) регулирующей ступени.

Верификация результатов CFD моделирования газодинамических процессов в проточных

© А. И. Бабаев, В. Н. Голощачов, 2017

частях отдельных элементов паровпуска с результатами, полученными в процессе экспериментальных исследований, показали возможность с приемлемой точностью проводить исследование и совершенствование элементов турбоустановки на основании численных методов [5–7]. Таким образом, дальнейшее исследование газодинамических процессов, происходящих в паровпускном тракте турбины, выполнялось посредством *CFD* моделирования.

Для уменьшения объема расчетов регулирующая ступень исследовалась без рабочего колеса. Возможность применения такого подхода принята на основании результатов экспериментальных исследований, в которых показано, что при дозвуковом истечении присутствие рабочего венца не вызывает существенное изменение структуры потока перед направляющим аппаратом вследствие значительной конфузурности лопаточных каналов [2].

При определении влияния отдельного элемента паровпуска на величину суммарных потерь располагаемой энергии тракта расчеты выполнялись для моделей изолированных отсеков: отсек РК-ВП-СС, отсек ВП-СС и отсек СС (рис. 1).

Выбор расчетных режимов определялся на основании предположения о значительном влиянии величины подъема затвора РК на формирование структуры потока в тракте паровпуска. Исходя из этого, каждый отсек исследовался для режимов, соответствующих течению в отсеке при малом –  $\bar{h} = 0,064$ , среднем –  $\bar{h} = 0,137$  и большом –  $\bar{h} = 0,192$  относительном открытии клапана

$$\bar{h} = \frac{h}{D_{\text{п}}}, \quad (1)$$

где  $h$  – высота подъема основного затвора клапана;  $D_{\text{п}}$  – диаметр посадки затвора на седло.

При построении расчетной сетки основное внимание уделялось ее сгущению вблизи сопловой решетки. Вследствие большого объема и сложности геометрии расчетной области отсека РК-ВП-СС, с учетом ограничений на вычислительные ресурсы, параметр  $y^+$  для сопел удалось выдержать в диапазоне  $\leq 4$ , при наличии 20 призматических слоев по толщине пограничного слоя. В элементах клапанного канала РК величина  $y^+ \leq 10$ , в других зонах расчетной области  $y^+ \leq 30$ . Настройки сеточного построения для каждого элемента сохранялись при его включении в состав другого отсека. При исследовании течения в изолированном отсеке СС расчет проводился для одного канала с учетом задания свойств периодичности на смежных границах. Расстояние выходной границы от кромок направляющих лопаток составляло  $2/3b_c$ .

Исходные данные для расчетных режимов представлены в табл. 1 и соответствуют результатам теплового расчета парораспределения турбины.

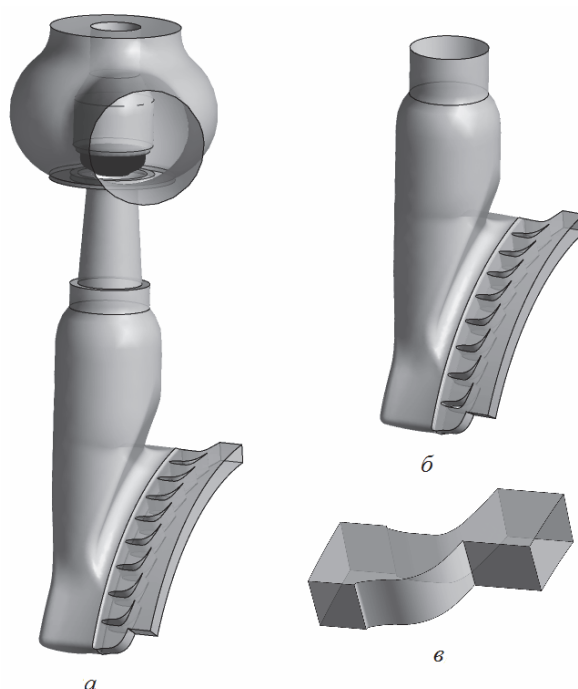


Рис. 1 – Модель проточной части отсека: а – РК-ВП-СС; б – ВП-СС; в – СС

Таблица 1 – Исходные данные для расчета

Параметр	Режим $\bar{h}$		
	0,064	0,137	0,192
Расход пара на входе в отсек, кг/с	33,3	62,604	51,3
Энтальпия заторможенного потока на входе в отсек, кДж/кг	3447,8	3447,8	3447,8
Степень турбулентности на входе в отсек, %	5	5	5
Давление на выходе из отсека, МПа	3,643	7,992	9,896
Тип рабочего тела	Вязкий теплопроводный водяной пар		
Модель турбулентности	SST		
Тип расчетной сетки	Тетраэдрическая с призматическим подслоем		

Основные геометрические характеристики элементов паровпускного тракта представлены в табл. 2.

Изменение потерь в соплах определялось по коэффициенту потерь кинетической энергии

$$\zeta_c = 1 - \frac{h_c}{h_{ct}}, \quad (2)$$

где  $h_{ct}$  – изоэнтропный теплоперепад на сопловую решетку;  $h_c$  – действительный теплоперепад на сопловую решетку.

Таблица 2 – Геометрические характеристики элементов паровпускного тракта

Параметр	Значение
Диаметр посадки РК, мм	125
Угол раскрытия диффузора РК, град	8
Отношение длины диффузора РК к диаметру горла седла	1,819
Степень расширения диффузора РК	1,579
Степень конфузурности ВП	1,036
Отношение проходной площади сопел к выходной площади ВП	4,095
Эффективный угол выхода потока из сопел, град	14,033
Количество сопловых каналов, шт	9
Веерность сопловой решетки	28,231
Отношение шага сопел к хорде	0,935

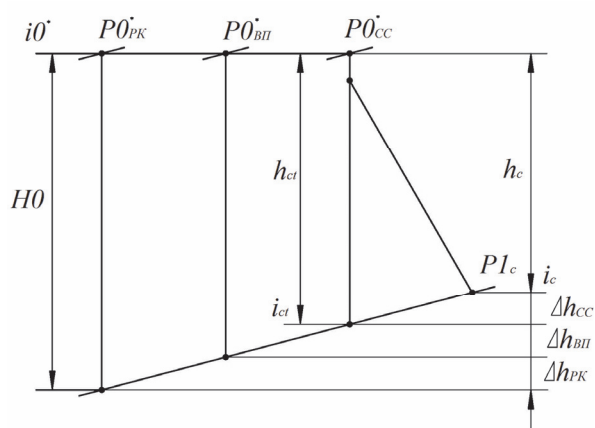


Рис. 2 – Процесс преобразования энергии в отсеке РК-ВП-СС

Потери в проточной части ВП определялись по величине коэффициента внутренних потерь

$$\zeta_{\text{вх}} = \frac{P0_{\text{вх}}^* - P0_{\text{вых}}^*}{P0_{\text{вх}}^* - P0_{\text{вх}}}, \quad (3)$$

где  $P0_{\text{вх(вых)}}^*$  – давление заторможенного потока во входном (выходном) сечении ВП;  $P0_{\text{вх}}$  – статическое давление на входе в ВП.

Степень неравномерности потока на входе в сопловой аппарат оценивалась по распределению полного давления перед соплами и сопоставлялась по величине коэффициента неравномерности

$$\chi_{P^*} = \frac{P_{\text{max}}^* - P_{\text{min}}^*}{\bar{P}^*}, \quad (4)$$

где  $P_{\text{max(min)}}^*$  – максимальное (минимальное) локальное значение полного давления перед соплами;  $\bar{P}^*$  – осредненная по расходу величина полного давления перед соплами.

При определении вклада отдельного элемента проточной части паровпуска в суммарную

долю потерь энергии в отсеке использовался коэффициент относительных потерь энергии

$$\Delta \bar{h}_i = \frac{\Delta h_i}{H0}, \quad (5)$$

где  $\Delta h_i$  – потери располагаемой энергии элемента паровпуска;  $H0$  – располагаемый теплоперепад на весь отсек (см. рис. 2).

Для определения возможного экономического эффекта от совершенствования конструкции РК, при котором будет сформировано равномерное поле скоростей перед последующим отсеком ВП-СС, выполнялся подсчет дополнительных потерь электрической мощности турбины

$$\Delta N = (\Delta M_{\text{ВП}}^{\text{ПК-ВП-СС}} + \Delta M_{\text{СС}}^{\text{ПК-ВП-СС}} - \Delta M_{\text{ВП}}^{\text{ВП-СС}} - \Delta M_{\text{СС}}^{\text{ВП-СС}}) G \eta, \quad (6)$$

где  $\Delta h_{\text{ВП}}^{\text{ПК-ВП-СС(ВП-СС)}}$  – потери энтальпии во ВП при работе в отсеке РК-ВП-СС (ВП-СС);  $\Delta h_{\text{СС}}^{\text{ПК-ВП-СС(ВП-СС)}}$  – потери энтальпии в СС при работе в отсеке РК-ВП-СС (ВП-СС);  $G$  – расчетный расход пара через турбину на режиме  $\bar{h}$ ;  $\eta$  – возможное КПД при срабатывании потерянного перепада в тракте ВП-СС, (принимается  $\eta = 0,75$ ).

В формуле (6) пренебрегается отличие в теплоперепадах других сопловых сегментов ввиду относительно малого различия в их величине на выбранных режимах  $\bar{h}$ .

### Результаты численного моделирования

Результаты визуализации структуры течения в проточной части РК-ПП-СС для трех режимов работы РК представлено на рис. 3.

Структура потока для исследованных режимов работы паровпуска имеет вихревую структуру. Наличие конструкции РК с односторонним боковым подводом приводит к формированию неравномерности потока перед входом в клапанный канал. При таком подводе нарушается осевая симметрия потока в проточной части диффузора, что вызывает отрыв потока и образование циркуляционного течения, которое получает дальнейшее развитие во ВП. Образовавшийся неравномерный поток воспринимается направляющим аппаратом СС и выравнивается в каналах решетки.

Для наглядного представления о формировании входного потока в предвключенном элементе проточной части на рис. 4 и рис. 5 представлено распределение скорости в продольном сечении ВП для отсеков РК-ВП-СС и ВП-СС на режимах, соответствующих малому ( $\bar{h} = 0,064$ ) и большому ( $\bar{h} = 0,192$ ) открытиям РК.

При малом открытии РК (см. рис. 4а) в зазоре между затвором и седлом происходит

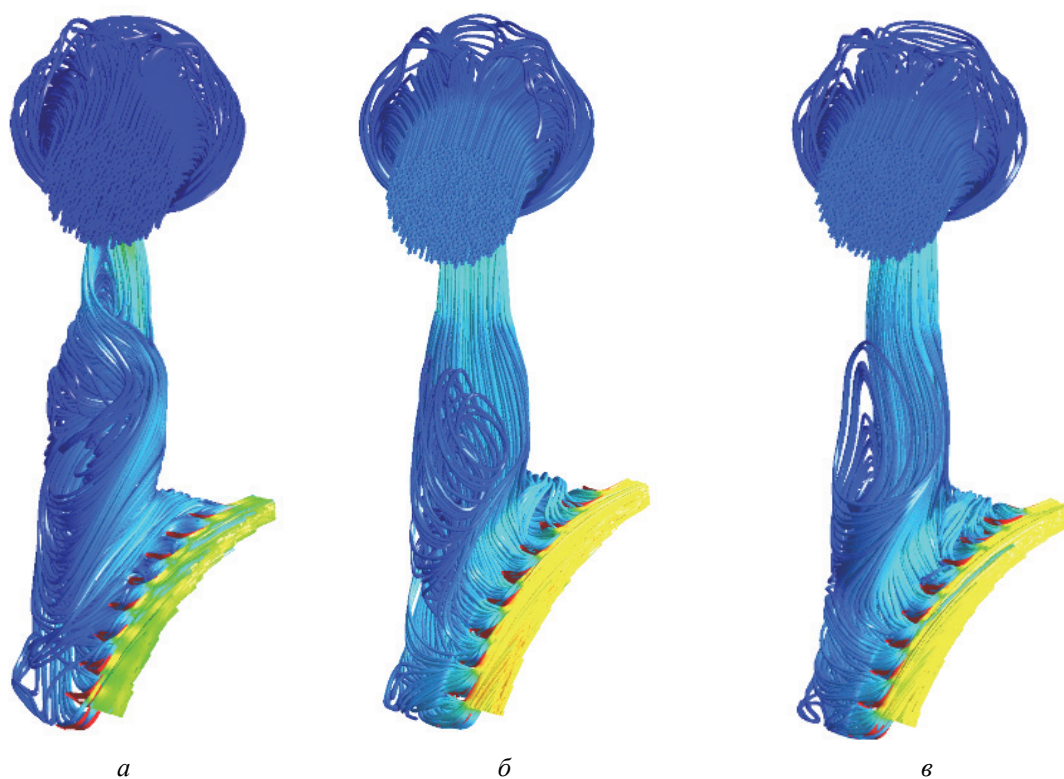


Рис. 3 – Визуалізація лінії току в тракті РК-ВІ-СС для режимів:  
 а –  $\bar{h} = 0,064$ ; б –  $\bar{h} = 0,137$ ; в –  $\bar{h} = 0,192$

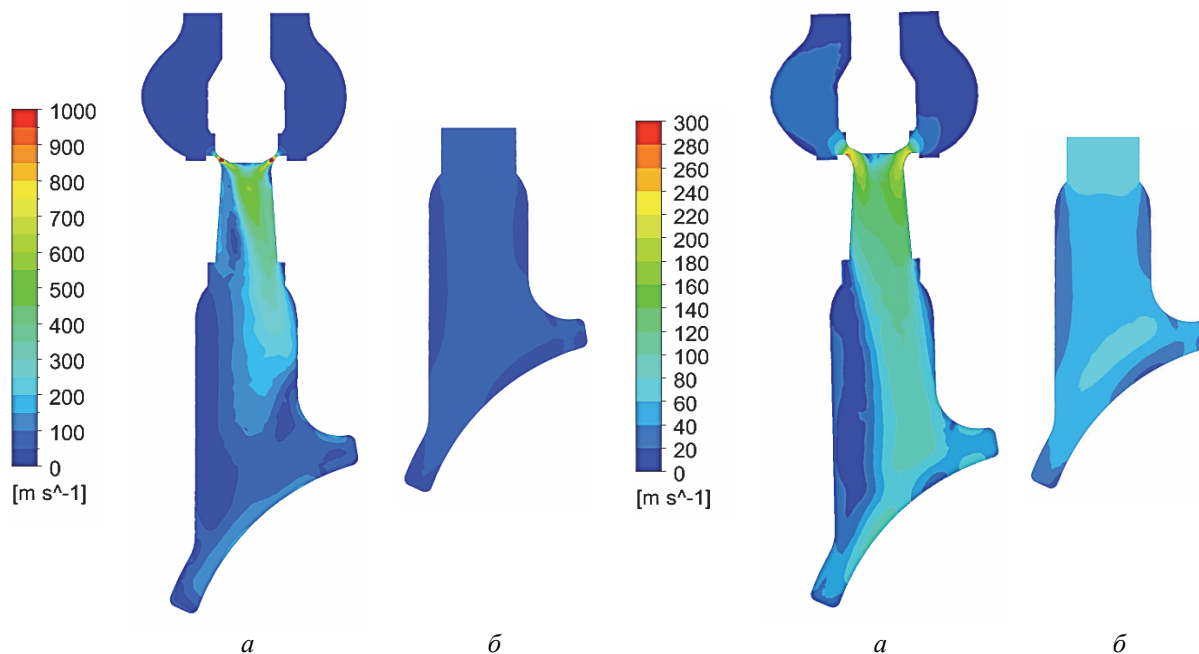


Рис. 4 – Распределение скорости на режиме  $\bar{h} = 0,064$  в проточной части отсека:  
 а – РК-ВІ-СС; б – ВІ-СС

Рис. 5 – Распределение скорости на режиме  $\bar{h} = 0,192$  в проточной части отсека:  
 а – РК-ВІ-СС; б – ВІ-СС

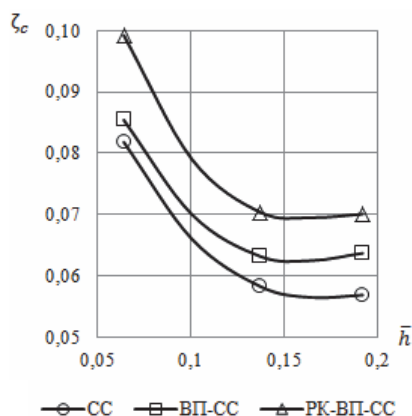


Рис. 6 – Изменение коэффициента потерь в соплах при работе в отсеках

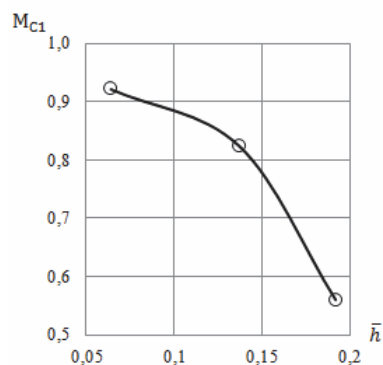


Рис. 7 – Изменение Числа Маха в соплах при работе в отсеке СС

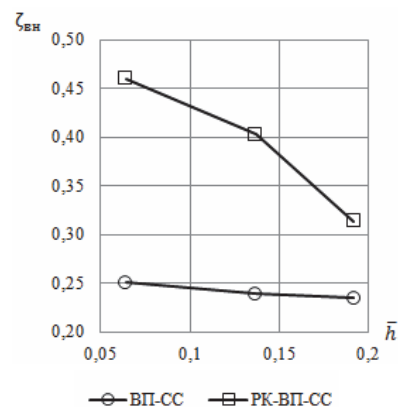


Рис. 8 – Изменение коэффициента внутренних потерь во ВП при работе в отсеках

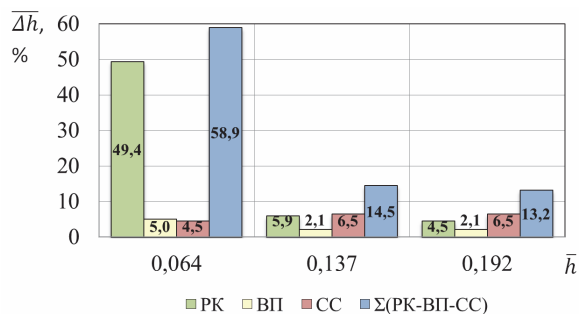


Рис. 9 – Распределение относительных потерь располагаемой энергии между элементами отсека РК-ВП-СС

значительно ускорение потока. Локальное число Маха в районе минимального сечения достигают 1,94, а срабатываемый перепад давления на клапане составляет 0,419. При таком режиме течения и резком увеличении проходной площади в клапанном канале неизбежно происходит отрыв потока как от донной поверхности затвора, так и от поверхности седла. Значительная зона циркуляционного течения образуется в диффузорной части клапанного канала со стороны входного патрубка, где поток имеет наибольшее локальную скорость. Сформировавшийся таким образом поток попадает во ВП, где получает дополнительную турбулизацию из-за влияния уступа за диффузором и дальнейшего резкого увеличения проходного сечения в его цилиндрической части. В результате коэффициент неравномерности полного давления на входе в сопла достигает  $\chi_{p^*} = 0,137$ .

При отсутствии предвключенного РК распределение скоростей в отсеке ВП-СС для режима характеризуется большей равномерностью (см. рис. 4б). Небольшой отрыв потока происходит при входе в цилиндрическую часть ВП. Наличие зон пониженных скоростей в крайних каналах решетки СС является следствием диффузорного течения, возникающего под воздействием уменьшения расхода при прохождении пара к крайним ка-

налам и наличием неизменной площади проходного сечения на выходном участке ВП. Коэффициент неравномерности полного давления перед соплами значительно уменьшился и составляет  $\chi_{p^*} = 0,044$ .

На режиме большого открытия (см. рис. 5а) РК работает в области дозвукового течения. Локальные числа Маха в зазоре между седлом и затвором составляют 0,45, а перепад давлений на РК – 0,972. При таком режиме отсутствуют отрывы потока от стенок клапанного диффузора и поток на выходе из клапана обладает большей равномерностью. Однако отсутствие полной осесимметричности течения при входе в проточную часть ВП и неудовлетворительное очертание его входного участка приводит к искажению потока и формированию отрывов. Коэффициент неравномерности перед соплами снижается и составляет  $\chi_{p^*} = 0,035$ .

Характер распределение скоростей в проточной части ВП на режиме  $\bar{h} = 0,192$  (см. рис. 5б) остается практически постоянным при изменении режима работы отсека ВП-СС и отсутствии предвключенного РК. Коэффициент неравномерности несколько уменьшился и составляет  $\chi_{p^*} = 0,027$ .

Изменение коэффициента потерь в соплах  $\zeta_c$  при работе в изолированных условиях в значительной мере зависят от числа Маха (рис. 6 и рис. 7). Наличие предвключенного ВП вызывает некоторую перестройку потока, что приводит к увеличению уровня потерь энергии на 4,3...11,9%. Исследование эффективности сопловой решетки при работе в составе отсека РК-ВП-СС показало более значительное увеличение уровня потерь до 20,7...23,2%, что напрямую связано с характером течения в проточной части клапанного канала.

На рис. 8 приведено изменение коэффициента внутренних потерь в тракте ВП при его рабо-

те в отсеке РК-ВП-СС и ВП-СС. Видно, что внутренние потери во ВП при его работе в отсеке ВП-СС изменяются незначительно, что также отмечается в работе [4]. Однако дополнительное влияние потока на выходе из РК приводит к значительному увеличению потерь внутри патрубков.

Анализ вклада каждого элемента паровпуска на величину суммарных потерь располагаемой энергии в отсеке (рис. 9) показал, что при режиме  $\bar{h} = 0,064$  основная доля потерь сосредоточена на РК – 49,9 %. Потери во ВП составляют 5,0 %, что сопоставимо с потерями в соплах – 4,5 %. Общий уровень потерь в отсеке достаточно большой и достигает 58,9 %. Это позволяет сделать вывод, что для паровых турбин с сопловым парораспределением на режимах частичных нагрузок более целесообразно регулировать изменение мощности турбоустановки методом «скользящего давления» при выведении из работы частично открытых РК.

Для режимов  $\bar{h} = 0,137$  и  $\bar{h} = 0,192$  структура потерь практически одинакова. Относительный вклад регулирующего клапана в суммарный уровень потерь значительно уменьшается и относительные потери в соплах становятся наиболее ощутимыми. Суммарный уровень относительных потерь в РК и ВП составляет 6,6 % при потерях 6,5 % в соплах на режиме  $\bar{h} = 0,192$ . Что говорит о необходимости совершенствования паровпускного тракта турбины совместно с ВП и РК.

Дополнительная недовыработка электрической мощности турбины К-200-130 вследствие наличия неучтенных потерь энергии от неравномерности параметров за клапаном для отсека ВП-СС, обслуживаемых РК № 1 при работе на режимах, соответствующих малому, среднему и большому открытию клапана может составлять соответственно 1099 кВт, 116 кВт и 218 кВт.

### Выводы

В результате численного исследования паровпускного тракта, состоящего из РК, ВП и СС определено, что суммарные потери энергии при совместной работе данных элементов превышают потери при их изолированной работе.

Основной причиной увеличения потерь является наличие неравномерности параметров входного потока, сформированного в предвключенном элементе паровпускного тракта.

В результате исследования отсека ВП-СС определено, что данная конструкция ВП не обеспечивает равномерную структуру потока перед СС, в результате чего коэффициент потерь в соплах увеличивается 4,3–11,9 %.

Исследование совместной работы отсека РК-ВП-СС показало, что формирование потока в проточной части клапанного канала оказывает значительное влияние на эффективную работу

последующих элементов паровпуска. Дополнительно увеличение уровня потерь энергии в соплах составило 20,7–23,2 %. Увеличения коэффициента внутренних потерь во ВП составило 33,6–83,3 %.

### Список литературы

- 1 **Грибин, В. Г.** Разработка методов воздействия на режим течения и потери энергии в каналах комбинированных турбоустановок : дис. ... д-ра. тех. наук : 05.04.12 / **Грибин Владимир Георгиевич** – Москва : Московский энергетический институт, 2002. – 343 с.
- 2 **Гоголев, И. Г.** Аэродинамические характеристики ступеней и патрубков тепловых турбин / **И. Г. Гоголев, А. М. Дроконов**. – Брянск : Брянское областное издательство «Грани», 1995. – 258 с. – ISBN 5-85343-038-6.
- 3 **Кудрявцев, И. А.** Аэродинамическое совершенствование входных устройств цилиндров высокого давления мощных паровых турбин на основе численного моделирования / **И. А. Кудрявцев, А. С. Ласкин** // Научно-технические ведомости Санкт-Петербургского государственного политехнического университета. – 2016. – № 1(238). – С. 7–18. – ISSN 1994-2354.
- 4 **Юрик, Е. А.** Разработка и исследование путей повышения экономичности цилиндров низкого давления конденсационных паровых турбин : дис. к. т. н. : 05.04.12 / **Юрик Елена Алексеевна**. – Москва, МЭИ, 2009. – 130 с.
- 5 **Кудрявцев, И. А.** Численное и экспериментальное исследование потока в подводящем тракте цилиндра высокого давления турбины АЭС / **И. А. Кудрявцев, А. С. Ласкин** // Научно-технические ведомости Санкт-Петербургского государственного политехнического университета. – 2013. – Т. 1, № 1(183). – С. 338–344. – ISSN 1994-2354.
- 6 **Бабаев, А. И.** Верификация результатов численного исследования движения потока в проточной части регулирующего клапана паровой турбины [Текст] / **А. И. Бабаев, В. Н. Голощанов** // Вісник НТУ «ХПІ». Серія: Енергетичні та теплотехнічні процеси й устаткування. – Харків : НТУ «ХПІ», 2016. – № 8(1180). – С. 88–93. – Бібліогр.: 13 назв. – ISSN 2078-774X. – doi: 10.20998/2078-774X.2016.08.12.
- 7 **Бойко, А. В.** Верификация численного расчета работы ступени осевой турбины с учетом периферийной протечки [Текст] / **А. В. Бойко, Д. И. Максютя** // Вісник НТУ «ХПІ». Серія: Енергетичні та теплотехнічні процеси та устаткування. – Х.: НТУ «ХПІ», 2013. – № 13(987). – С. 18–23. – Бібліогр.: 3 назв. – ISSN 2078-774X.

### Bibliography (transliterated)

- 1 **Gribin, V. G.** (2002), "Razrabotka metodov vozdeystviya na rezhim techeniya i poteri energii v kanalah kombinirovannykh turboustanovok [Development of methods of influence on the flow pattern and the loss of energy in the channels of the combined turbines]", D. Sc. Thesis, Turbomachines and combined turbine installation, Moscow Energetic Institute, Moscow, Russian.

- 2 **Gogolev, I. G. and Drokonov, A. M.** (1995), *Aerodinamicheskie karakteristiki stupeney i patrubkov teplovyykh turbin [Aerodynamic characteristics of stages and pipes of thermal turbines]*, Bryanskoe oblastnoe izdatelstvo «Grani», Bryansk, Russia, ISBN 5-85343-038-6.
- 3 **Kudryavtsev, I. A. and Laskin, A. S.** (2016), "Aerodinamicheskie karakteristiki stupeney i patrubkov teplovyykh turbin [Aerodynamic improvement of input devices, high-pressure cylinders of powerful steam turbines based on numerical simulation]", *St. Petersburg State Politechnical Universiti Journal*, Vol. 1, No. 1(238), pp. 7–18, ISSN 1994-2354.
- 4 **Yurik, E. A.** (2009) "Razrabotka i issledovanie putey povysheniya ekonomichnosti tsilindrov nizkogo davleniya kondensatsionnykh parovykh turbin [Development and research ways to improve the low-pressure cylinder efficiency of the condensing steam turbines]", Ph. D. Thesis, Turbomachines and combined turbine installation, Moscow Energetic Institute, Moscow, Russian.
- 5 **Kudryavtsev, I. A. and Laskin A. S.** (2013), "Chislennoye i eksperimentalnoye issledovaniye potoka v podvodyashchem trakte tsilindra vysokogo davleniya turbiny AES [Numerical and experimental research of the flow in inlet manifold HPC of the steam turbine for NPP]", *St. Petersburg State Politechnical Universiti Journal*, Vol. 1, No. 4(183), pp. 338–344.
- 6 **Babayev, A. and Goloshchapov, V.** (2016), "Verification of the Data of Numerical Investigations of the Flow Motion in the Control Valve Channel of Steam Turbine", *Bulletin of NTU "KhPI". Series: Power and heat engineering processes and equipment*, No. 8(1180), pp. 88–93, ISSN 2078-774X, doi: 10.20998/2078-774X.2016.08.12.
- 7 **Boiko, A. V. and Maksiuta, D. I.** (2013), "Verifikacija chislennogo rascheta raboty stupeni osevoj turbiny s uchetom periferijnoj protechki [The verification of axial turbine stage numerical experiment considering peripheral outflow]", *Bulletin of NTU "KhPI". Series: Power and heat engineering processes and equipment*, No. 13(987), pp. 18–23, ISSN 2078-774X.

#### Сведения об авторах (About authors)

**Бабаяев Артем Иванович** – аспирант, отдел моделирования и идентификации тепловых процессов, Институт проблем машиностроения им. А. Н. Подгорного Национальной академии наук Украины, г. Харьков, Украина; e-mail: babayev\_ai@mail.ru, ORCID: 0000-0002-7321-1584.

**Babayev Artem** – Postgraduate Student, Department for Modeling and Identification of Thermal Processes, Institute of Problems of Mechanical Engineering A. N. Podgorny NAS of Ukraine, Kharkov, Ukraine.

**Голошапов Владимир Николаевич** – кандидат технических наук, старший научный сотрудник, отдел моделирования и идентификации тепловых процессов, ИПМаш НАНУ, Харьков, Украина, e-mail: admi@ipmach.kharkov.ua.

**Goloshchapov Vladimir** – Candidate of Technical Sciences (Ph. D.), Senior Researcher, Department for Modeling and Identification of Thermal Processes, Institute of Problems of Mechanical Engineering A. N. Podgorny NAS of Ukraine, Kharkov, Ukraine.

*Пожалуйста ссылаетесь на эту статью следующим образом:*

**Бабаяев, А. И.** Исследование структуры потока в тракте паровпуска турбины методом математического моделирования / **А. И. Бабаяев, В. Н. Голошапов** // Вісник НТУ «ХПІ». Серія: Енергетичні та теплотехнічні процеси й устаткування. – Харків : НТУ «ХПІ», 2017. – № 9(1231). – С. 17–23. – Бібліогр.: 7 назв. – ISSN 2078-774X. – doi: 10.20998/2078-774X.2017.09.02.

*Please cite this article as:*

**Babayev, A. and Goloshchapov, V.** (2017), "Investigation of the Flow Pattern in the Inlet Part of Turbine Using Method of Mathematic Modelling", *Bulletin of NTU "KhPI". Series: Power and heat engineering processes and equipment*, No. 9(1231), pp. 17–23, ISSN 2078-774X, doi: 10.20998/2078-774X.2017.09.02.

*Будь ласка посилайтесь на цю статтю наступним чином:*

**Бабаяев, А. И.** Дослідження структури потоку в тракті паровпуска турбіни методом математичного моделювання / **А. И. Бабаяев, В. М. Голошапов** // Вісник НТУ «ХПІ». Серія: Енергетичні та теплотехнічні процеси й устаткування. – Харків : НТУ «ХПІ», 2017. – № 9(1231). – С. 17–23. – Бібліогр.: 7 назв. – ISSN 2078-774X. – doi: 10.20998/2078-774X.2017.09.02.

**АНОТАЦІЯ** У статті наводяться результати чисельного дослідження структури потоку в тракті, що включає регулюючий клапан, вхідний патрубок, сопловий сегмент. Визначено, що сумарні втрати наявної енергії при спільній роботі даних елементів перевищують втрати при їх ізольованій роботі. Основною причиною збільшення втрат енергії є наявність нерівномірності параметрів вхідного потоку, сформованого у попередньому елементі проточної частини.

**Ключові слова:** регулюючий клапан, вхідний патрубок, сопловий сегмент, нерівномірність, паророзподіл, парова турбіна.

Поступила (received) 14.02.2017