

ЭКСПЕРИМЕНТАЛЬНОЕ ИССЛЕДОВАНИЕ ПАРОВОЙ РОТОРНО-ПЛАСТИНЧАТОЙ РАСШИРИТЕЛЬНОЙ МАШИНЫ

И. Костанцо¹, С. Мурджиа¹, Г. Валенти², Ф. Фазани¹

¹Ing. Enea Mattei S.p.a, Италия

²Миланский политехнический университет, Италия

Перевод с английского

М. А. Федорова

Омский государственный технический университет,

Россия, 644050, г. Омск, пр. Мира, 11

Существует множество промышленных установок, использующих пар в качестве источника энергии при различных уровнях давления, в которых снижение давления обычно осуществляется при помощи дроссельного клапана, что приводит к необратимым потерям. Эту энергию можно рекуперировать с помощью расширительной машины, которая генерирует механическую или электрическую энергию. Эта работа посвящена анализу инновационного парового расширителя, разработанного на основе роторно-пластинчатой технологии. Представлены принципы проектирования роторно-пластинчатого расширителя и двух экспериментальных установок. Первая экспериментальная установка позволяет оценить надежность системы с паром в качестве рабочей жидкости, вторая установка позволяет оценить стабильность в течение длительного периода работы, а также производительность системы. Измеряется максимальная механическая мощность расширителя 28 кВт. Также представлена диаграмма зависимости давления от объема в процессе расширения.

Ключевые слова: рекуперация тепловой энергии, экспериментальный стенд, парогенератор, роторно-пластинчатый расширитель, механическая мощность, температура, индикаторная диаграмма.

Перевод публикуется с разрешения авторов и оргкомитета серии конференций IOP: «Материаловедение и инженерия» (IOP Conference Series Materials Science and Engineering) (Лондон, 2021).

1. Введение

Пар широко используется в промышленном секторе в качестве источника тепловой энергии для прямого и промежуточного применения. Как правило, пар вырабатывается в котлах при относительно высоком давлении, транспортируется и, в конечном счете, дросселируется в клапанах до требуемого давления, близкого к расчётной точке. Несмотря на то, что этот подход очень эффективен с точки зрения контроля и инвестиций, снижение давления путем регулирования является необратимым процессом, который, с термодинамической точки зрения, имеет негативный эксергетический эффект [1]. Риан и Эртесвог посредством анализа кейса демонстрируют, что этого можно избежать в значительной степени за счет замены дроссельных клапанов расширителями пара для выработки механической или электрической энергии [2]. Фрейт и др. также доказывают, что использование расширителей для снижения давления пара может быть технически и экономически целесообразным во многих случаях [3]. В своем исследовании Тянь и др. численно анализируют применение винтового двухроторного расширителя пара в качестве средства снижения давления при изменяющихся условиях эксплуатации, показывая, что при этом объемные характеристики и адиабатный КПД значительны

во всех анализируемых условиях [4]. В этом исследовании экспериментально изучены характеристики парового роторно-пластинчатого расширителя при различных условиях работы. Роторно-пластинчатые расширители, благодаря их низкой скорости, хорошим конструктивным характеристикам, высокому коэффициенту расширения, низкой стоимости и простоте изготовления, являются жизнеспособным вариантом для систем рекуперации энергии. Был реализован и испытан первый прототип парового расширителя со скользящими лопастями, способного работать с насыщенным паром. Авторы исследовали технологию расширителя с лопастями в системах рекуперации энергии на основе органического цикла Ренкина в предыдущих работах [5, 6], подробно изучив различные рабочие жидкости [7] и обобщиав автоматизированную систему управления [8].

В следующих разделах описываются эксперименты, организованные и проведенные в рамках этой работы, представлены результаты экспериментов и выводы на основе анализа полученных результатов.

2. Экспериментальное исследование

Целью экспериментального исследования является определение надежности и производительности



Рис. 1. Зона парогенератора (слева) и зона расширителя (справа) испытательного стенда, используемого в этой работе
 Fig. 1. Steam generator area (left) and expander area (right) of the test rig employed in this work

сти роторно-пластинчатого, использующего насыщенный пар из промышленного котла в качестве рабочего тела. Испытательный стенд и процедура испытаний описаны в последующих разделах.

2.1. Испытательный стенд

Компоновка испытательного стенда, используемого в этой работе, включает три основные зоны. Первая предназначена для выработки пара; в нем расположен парогенератор низкого давления со всем оборудованием, необходимым для производства насыщенного пара при переменном давлении. Вторая зона, отделенная стеной от первой, представляет собой расширительную камеру, где установлен расширитель и вспомогательные устройства, а также все устройства, предназначенные для контроля и измерения условий эксплуатации. В третьей изолированной зоне расположен оператор и оборудование, которое позволяет контролировать первую и вторую зоны в безопасных условиях, не вступая в контакт с паропроводами. Первые две зоны изображены на рис. 1.

2.1.1. Парогенератор

Пар вырабатывается в масляном диатермическом котле, основные технические характеристики которого приведены в табл. 1. Газовая горелка, питаемая природным газом, обеспечивает тепловую мощность, необходимую для нагрева диатермического масла. Горелка встроена в термомасляный нагреватель, который подает и направляет горячие газы к трубам, заполненным маслом. Горячее масло, вырабатываемое нагревателем термального масла, подается в парогенератор и передает тепло подаваемой воде. Диатермическое масло приводится в действие двумя центробежными насосами. Маслопровод непосредственно сообщается с закрытым расширительным баком, заполненным азотом под давлением. Резервуар с азотом питает расширительный сосуд, частично заполненный диатермическим маслом. Два вертикальных насоса, испаритель и расширитель реализуют открытый цикл Ренкина, используя подаваемую воду в качестве рабочей жидкости.

2.1.2. Зона расширителя

Зона расширителя характеризуется двумя основными трубопроводами, как показано на схеме

Таблица 1. Технические характеристики парогенератора
 Table 1. Steam generator technical specifications

Описание	Значение
Производитель	ICI CALDAIE
Тепловая мощность	465 кВт
Номинальное давление	12 бар
Поток пара	680 кг/ч

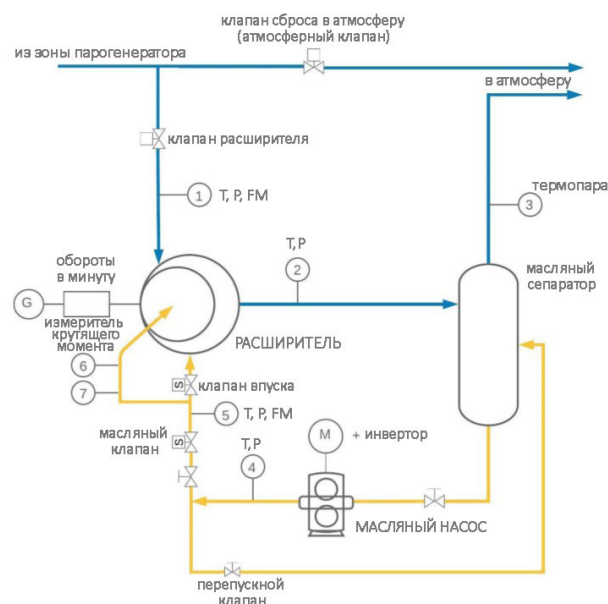


Рис. 2. Технологическая схема зоны расширителя с паровыми и масляными линиями
 Fig. 2. Process flow diagram of the expander area, with the steam and the oil lines

технологического процесса (рис. 2): паропровод и маслопровод. Первый представляет поток рабочей жидкости из котла в виде насыщенного пара в расширитель, который также может быть выпущен непосредственно в окружающую среду, когда условия несовместимы с процессом расширения,

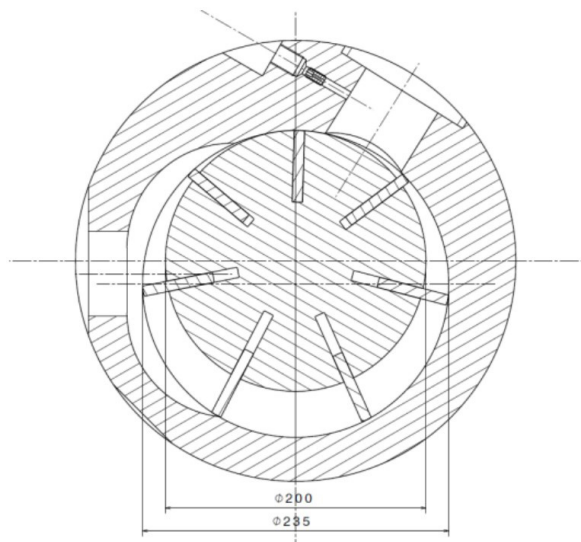


Рис. 3. Схема основных размеров роторно-пластинчатого расширителя (размеры приведены в миллиметрах)
Fig. 3. Schematic of the sliding-vane expander main dimensions in millimeters

например, во время запуска котла. Регулирование расхода осуществляется автоматически с помощью двух пневматических клапанов. Затем, после расширения, пар выпускается в окружающую среду. Маслопровод подает смазочное масло в расширитель, чтобы уменьшить трение между движущимися частями в процессе расширения. Расход масла регулируется шестеренчатым насосом, соединенным с электродвигателем, управляемым через инвертор. Используемое масло представляет собой смесь, совместимую с роторно-пластинчатыми машинами и рабочими температурами процесса расширения пара.

2.1.3. Роторно-пластинчатый расширитель

Технологическим компонентом, который реализует процесс расширения пара, является роторно-пластинчатый расширитель. Это роторная машина с принудительным перемещением, состоящая из внешнего цилиндрического корпуса, называемого статором, и внутреннего круглого ротора меньшего размера, чем статор. В расширителе ротор смещен эксцентрично по касательной к статору вдоль линии касания (или дуги). Линия контакта между ротором и статором представляет собой единственное уплотнение между всасывающей

и напорной сторонами машины. В роторе выполнены радиальные или наклонные пазы, в которых размещены пластины с возможностью свободного перемещения вдоль самого паза. Во время вращения под действием центробежной силы пластины выдвигаются из своих пазов до тех пор, пока их кончик не соприкоснется с внутренней поверхностью статора. Следовательно, каждая пара соседних лопастей, благодаря эксцентриситету ротора, создает объем, называемый ячейкой, который постепенно уменьшается (в компрессорах) или увеличивается (в расширителях), определяя, таким образом, изменение давления рабочего тела.

Впускные и выпускные окна предназначены для правильной подачи и отвода рабочего тела. В расширитель впрыскивается небольшое количество смазки, чтобы гарантировать смазку и герметизацию в процессе расширения. Смазка также используется для подшипников, которые поддерживают ротор во время вращения расширителя.

Схема расширителя и основные геометрические характеристики приведены на рис. 3. Расширитель напрямую соединен с генератором, который преобразует механическую мощность вала в электрическую.

2.1.4. Приборы

Диаграмма на рис. 1 показывает, где расположены приборы, указанные в табл. 2. Номер, указанный для обозначения позиции, также используется для отчета о результатах в следующем разделе. Что касается схемы, то буквы Т, Р и FM означают соответственно используемые приборы: термопару, датчик давления и расходомер, в то время как прогрессивное число указывает на различное положение в системе, в частности:

- 1 — пар Т и Р, вход расширителя;
- 2 — пар Т и Р, выход расширителя;
- 3 — пар Т, выход сепаратора;
- 4 — масло Т и Р, выход насоса;
- 5 — масло Т, Р и FM, линия впрыска;
- 6 — втулка Т, сторона двигателя;
- 7 — втулка Т, сторона, противоположная двигателю.

Четыре пьезоэлектрических датчика давления расположены вдоль торцевой крышки расширителя, что позволяет глубоко исследовать процесс расширения путем реконструкции указанного цикла.

2.2. Процедура испытания

Для проведения эксперимента была определена и соблюдена стандартная процедура, как для сбора данных, так и для запуска и завершения работы системы, что описано далее.

Таблица 2. Средства измерения
Table 2. Instrumentation list

Наименование	Модель	Единица измерения	Погрешность
Датчик относительного давления	Remag PR100	бар и.д.	0,04
Термопара	Терсид Т-образного типа	°С	0,5
Пьезоэлектрический датчик давления	Kistler	—	—
Измеритель расхода пара	Измерители контроля Ita1 M23	кг/ч	2 % от значения считывания
Расходомер масла	Omega FLR6115D	л/мин	0,289
Измеритель крутящего момента	Kistler 4504B1K1N1	Н м	0,1
Датчик оборотов	Kistler 4504B1K1N1	оборотов в минуту	12

2.2.1. Процедура запуска

Процедура запуска включает следующее.

1. Проверка приборов.

2. Настройка масляного контура. Клапан, открывающий подачу масла в расширитель, закрыт, так что масло циркулирует только через насос и сепаратор, увеличивая его давление. Насос включен, и клапан регулируется в соответствии с желаемым давлением впрыска масла с учетом дальнейшего падения давления при открытом клапане впрыска.

3. Запуск котла. Как предлагает производитель, котел включается при полностью закрытом паровом клапане, в противном случае весь поток будет сбрасываться в окружающую среду.

4. Проверка клапана. По соображениям безопасности и для следующих шагов клапаны внутри расширительного отделения настроены на выпуск всего потока пара в окружающую среду. Это означает, что расширительный клапан должен быть закрыт, в то время как внешний клапан должен быть открыт. На этом этапе поток пара в камере расширения все еще отсутствует.

5. Открытие парового клапана. Как только паровой котел достигает расчетного давления, паровой клапан частично открывается. На предыдущем этапе пар под давлением выпускается в окружающую среду. На этом этапе система готова направить поток пара в расширитель.

6. Открытие расширительного клапана. Как только оператор готов запустить паровой расширитель, клапан расширителя открывается, и поток пара начинает поступать в расширитель.

7. Открытие масляного клапана. Как только расширительный клапан открывается, открывается масляный клапан для смазки машины. В этих условиях поступающего потока пара недостаточно для преодоления всех механических сопротивлений и достижения положительной мощности. Фактически, большая часть расхода пара направляется в атмосферную линию из-за меньшего сопротивления потоку.

1. Закрытие внешнего клапана. Поскольку расход недостаточен для расширителя, внешний клапан поворачивается в закрытое положение, направляя весь поток пара в расширитель.

2. Подключение к электросети. На предыдущем шаге расширитель начинает вращаться и способен вращаться все быстрее и быстрее. В этом состоянии расширитель подключается к электрической сети и начинает вырабатывать электроэнергию. После процедуры запуска паровой расширитель достигает стабильного состояния по температуре и давлению. Тем не менее, во время испытания может потребоваться отрегулировать частоту вращения насоса с учетом ограничения температуры втулок.

2.2.2. Процедура отключения

Что касается процедуры завершения работы, выполняется следующее.

1. Открытие атмосферного клапана. При работе этого клапана часть потока пара попадает в окружающую среду.

2. Закрытие расширительного клапана. Чтобы отключить расширитель, весь поток пара должен быть направлен в окружающую среду. Следовательно, поток пара, поступающий в расширитель, останавливается.

3. Отключение от сети. Поскольку поток пара больше не поступает к расширителю, больше энергии вырабатываться не будет, следовательно, его отключают от сети.

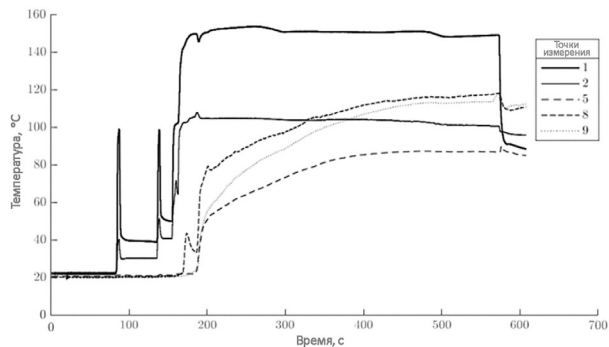


Рис. 4. Диаграмма зависимости температуры от времени во время первого эксперимента

Fig. 4. Temperature diagram during first experimental campaign as a function of time

Таблица 3. Данные первого эксперимента по температуре и давлению в установившемся режиме

Table 3. First experimental campaign temperature and pressure at steady state

Точка	Температура, °C	Давление, бар
1	150,9	4,41
2	103,5	0,23
3	88,2	—
4	99,9	5,5
5	86,9	5,32
6	115,4	—
7	111,9	—

Таблица 4. Дополнительные измерения во время первого эксперимента при установившемся режиме

Table 4. First experimental campaign additional measurements at steady state

Данные	Значение	Единица измерения
Механическая мощность	17,4	кВт
Крутящий момент	109,9	Нм
Скорость вращения	1513	оборотов в минуту
Расход пара	547	кг/ч
Расход масла	4,02	л/мин

4. Закрытие масляного клапана. Когда расширитель выключен, смазка больше не требуется. Кроме того, чересчур обильная смазка расширителя является проблемной для машины.

3. Результаты и обсуждение

В этом разделе представлены результаты испытаний, проведенных в соответствии с процедурами, описанными выше. Целью теста является измерение производительности и стабильности системы. Проводятся два эксперимента, как описано в следующих двух разделах.

3.1. Первый эксперимент

Во время первого эксперимента выполняется первый запуск системы, чтобы собрать данные и охарактеризовать состояние системы. Темпера-

Таблица 5. Данные второго эксперимента по температуре и давлению в установившемся режиме
Table 5. Second experimental campaign temperature and pressure at steady state

Точка	Температура, °С	Давление, бар
1	156,4	6,14
2	113,6	1,11
3	98	
4	101,5	15,46
5	88,3	15,03
6	134,4	
7	122,4	

Таблица 6. Дополнительные измерения во время второго эксперимента при установившемся режиме
Table 6. Second experimental campaign additional measurements at steady state

Данные	Значение	Единица измерения
Механическая мощность	28	кВт
Крутящий момент	175,8	Нм
Скорость вращения	1521	оборотов в минуту
Расход пара	1034,1	кг/ч
Расход масла	12,87	л/мин

туры в основных точках во время запуска представлены на рис. 4 в зависимости от времени, в то время как все значения температуры и давления во всех точках в установившемся режиме приведены в табл. 3; другие измеренные величины в установившемся режиме представлены в табл. 4. После первого запуска системы температура стабилизируется, и условия в расширителе практически постоянны. В стационарном состоянии на валу расширителя измеренная механическая мощность составляет около 17,4 кВт, она преобразуется в электрическую мощность посредством электродвигателя.

Температура повышается во время запуска расширителя, но стабилизируется после первых 200 секунд. На этапе запуска необходимо отрегулировать систему смазки, чтобы контролировать смазку и уплотнение и, следовательно, температуру в процессе расширения.

3.2. Второй эксперимент

Во время второго эксперимента были внесены некоторые изменения в систему: была улучшена теплоизоляция, чтобы избежать образования конденсата, что привело к повышению температуры и давления потока пара во время испытания. Кроме того, была выполнена точная настройка давления впрыска смазочного материала, что привело к улучшению условий смазки расширителя. Улучшения можно оценить количественно, сравнив данные в табл. 5 с данными в табл. 3.

Как и ранее, в табл. 5 и 6 показаны соответствующая температура, а также давление во всех точках и дополнительные измерения, все при установившемся режиме. Все упомянутые улучшения позволили повысить производительность, достигнув более высокой механической мощности, производимой

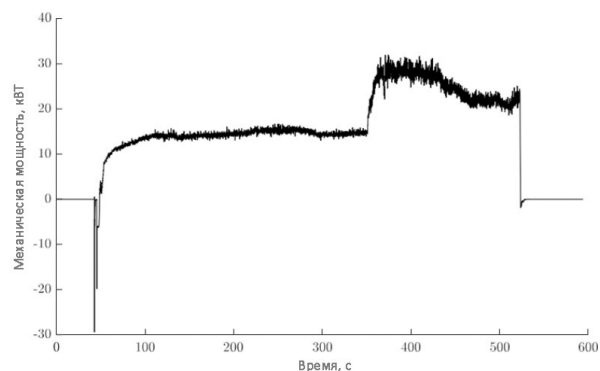


Рис. 5. Диаграмма зависимости механической мощности от времени во время второго эксперимента
Fig. 5. Mechanical power diagram during the second experimental campaign as a function of time

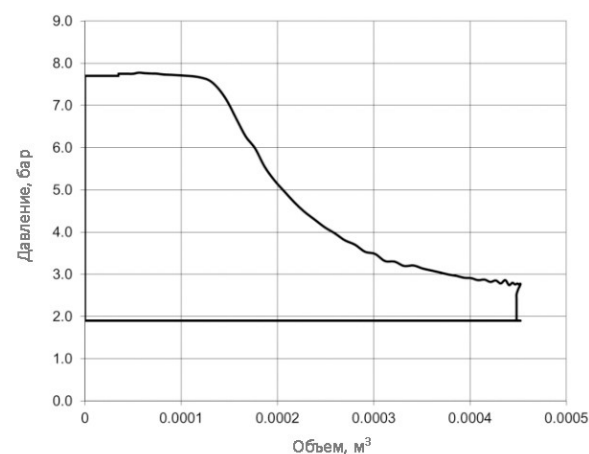


Рис. 6. Диаграмма зависимости давления от объема в процессе расширения
Fig. 6. Measured pressure-Volume diagram of the expansion process

расширителем благодаря процессу расширения пара, как представлено на рис. 5.

Рис. 6 иллюстрирует изменение давления внутри расширителя, измеренное четырьмя пьезоэлектрическими датчиками, которые способны собирать данные по давлению в течение всего процесса расширения, а также во время всасывания и нагнетания. На основе изменения объема внутри расширителей, определяемого исходя из геометрических особенностей машин, можно рассчитать указанную мощность расширения как площадь, охватываемую кривой давление-объем и, следовательно, механическую эффективность расширителя. При условиях проведенных испытаний достигается механическая эффективность 85 %.

Кроме того, на рис. 6 показано, что внутри машины происходит недостаточное расширение: в последней части процесса давление на выходе расширителя превышает атмосферное давление. Эти потери давления обусловлены наличием сепаратора паровой смазки и линии подачи пара.

4. Выводы и перспектива работы

Проведено экспериментальное исследование роторно-пластинчатого расширителя, использующего пар в качестве рабочей жидкости. Для обеспечения

безопасной эксплуатации системы была внедрена определенная процедура испытаний. В результате исследования мы пришли к следующим выводам:

— во время первого эксперимента выполняет первый запуск системы, чтобы собрать данные и охарактеризовать начальное состояние системы. Система способна правильно работать и рекуперировать энергию за счет расширения пара через расширитель со скользящими лопастями. Достигается механическая мощность 17,4 кВт.

— во время второго эксперимента были внесены некоторые изменения в систему (улучшена изоляция во избежание образования конденсата, проведена точная настройка системы впрыска смазки), что привело к повышению температуры и давления потока пара во время испытания. Благодаря этим усовершенствованиям достигается механическая мощность 28 кВт.

— измерение давления внутри расширительных камер позволило рассчитать механическую эффективность расширителя, которая составляет около 85 %.

Будущие работы будут посвящены совершенствованию системы: внедрению системы автоматического управления, способной адаптировать работу расширителя к условиям потока пара.

Список источников

1. Kotas T. J. The Exergt Method of Thermal Plant Analysis. Butterworths-Heinemann, Repring, 2013. DOI: 10.1016/C2013-0-00894-8.
2. Rian A. B., Ertesveg I. S. Exergy analysis of a steam production and distribution system including alternatives to throttling and the single pressure steam production // Energy Conversion and Management. 2013. Vol. 52. P. 703–712. DOI: 10.1016/j.enconman.2010.07.049.
3. Frate G. F., Ferrari L., Lensi R., Desideri U. Steam expander as a throttling valve replacement in industrial plants: A techno-economic feasibility analysis // Applied Energy. 2019. Vol. 238. P. 11–21. DOI: 10.1016/j.apenergy.2019.01.005.
4. Tian Y., Xing Z., He Z., Wu H. Modeling and performance analysis of twin-screw steam expander under fluctuating operating conditions in steam pipeline pressure energy recovery applications // Energy. 2017. Vol. 141. P. 692–701. DOI: 10.1016/j.energy.2017.09.128.
5. Murgia S., Colletta D., Costanzo I., Contaldi G. Experimental investigation on ORC-based lowgrade energy recovery systems using Sliding-Vane Rotary Expanders // 3rd International Rotating Equipment Conference. 2016.

6. Murgia S., Valenti G., Colletta D., Costanzo I., Contaldi G. Experimental investigation into an ORC-based low-grade energy recovery system equipped with sliding-vane expander using hot oil from an air compressor as thermal source // Energy Procedia. 2017. Vol. 129. P. 339–346. DOI: 10.1016/j.egypro.2017.09.204.

7. Murgia S., Costanzo I., Valenti G., Manfreda P. P. Optimization of sliding-vane expanders for a low-enthalpy ORC energy recovery system // IOP Conference Series Materials Science and Engineering. 2019. Vol. 604 (1). 012042. DOI: 10.1088/1757-899X/604/1/012042.

8. Murgia S., Costanzo I., Valenti G., Fasani F., Fumagalli C. Test and Validation of a Control System for a Small-scale Energy Recovery System based on Sliding-vane Technology, 2020. DOI: 10.18462/IIR.RANKINE.2020.1194.

Сведения о переводчике

ФЕДОРОВА Мария Александровна, кандидат филологических наук, доцент (Россия), доцент кафедры «Иностранные языки» Омского государственного технического университета, г. Омск.

SPIN-код: 5636-7474

AuthorID (РИНЦ): 636900

ORCID: 0000-0002-0899-6303

AuthorID (SCOPUS): 57193409850

ResearcherID: D-7718-2014

Адрес для переписки: sidorova_ma79@mail.ru

Источник перевода: Costanzo I., Murgia S., Valenti G., Fasani F. Experimental investigation on a sliding-vane expander for steam applications // IOP Conference Series: Materials Science and Engineering. 2021. Vol. 1180. 012031. DOI: 10.1088/1757-899X/1180/1/012031. Ссылка на полный текст статьи: <https://iopscience.iop.org/article/10.1088/1757-899X/1180/1/012031>

Для цитирования

Костанцо И., Мурджиа С., Валенти Г., Фазани Ф. Экспериментальное исследование паровой роторно-пластинчатой расширительной машины = Costanzo I., Murgia S., Valenti G., Fasani F. Experimental investigation on a sliding-vane expander for steam applications / пер. с англ. М. А. Федоровой // Омский научный вестник. Сер. Авиационно-ракетное и энергетическое машиностроение. 2022. Т. 6, № 2. С. 71–77. DOI: 10.25206/2588-0373-2022-6-2-71-77.

Статья поступила в редакцию 28.03.2022 г.

© И. Костанцо, С. Мурджиа, Г. Валенти, Ф. Фазани

EXPERIMENTAL INVESTIGATION ON A SLIDING-VANE EXPANDER FOR STEAM APPLICATIONS

I. Costanzo¹, S. Murgia¹, G. Valenti², F. Fasani¹

¹Ing. Enea Mattei S.p.a, Italy

²Politecnico di Milano, Italy

Translated from English

M. A. Fedorova

Omsk State Technical University,
Russia, Omsk, Mira Ave., 11, 644050

There are many industrial plants that use steam as an energy vector at different pressure levels, in which pressure reduction is commonly performed by a throttling valve, resulting a totally irreversible process. It is possible to recover this energy through an expander that generates mechanical or electric energy. This work is focused on the analysis of a highly innovative steam expander based on sliding-vane technology. The design principles of the sliding-vane expander and two experimental campaigns are presented. The first experimental campaign allows to assess the reliability of the system with steam as working fluid, the second campaign leads to assess the stability during long-run and the performance of the system. A maximum expander mechanical power of 28 kW is measured. The pressure-volume diagram of the expansion process is also measured and presented.

Keywords: thermal energy recuperation, experimental campaign, boiler, sliding-vane expander, mechanical power, temperature, pressure-volume diagram.

Printed by permission from the authors and the Centre for IOP Conference Series Materials Science and Engineering (International Conference on Compressors and their Systems) (London, 2021).

References

1. Kotas T. J. The Exergt Method of Thermal Plant Analysis. Butterworths-Heinemann, Repring, 2013. DOI: 10.1016/C2013-0-00894-8. (In Engl.).
2. Rian A. B., Ertesveg I. S. Exergy analysis of a steam production and distribution system including alternatives to throttling and the single pressure steam production // Energy Conversion and Management. 2013. Vol. 52. P. 703–712. DOI: 10.1016/j.enconman.2010.07.049. (In Engl.).
3. Frate G. F., Ferrari L., Lensi R., Desideri U. Steam expander as a throttling valve replacement in industrial plants: A techno-economic feasibility analysis // Applied Energy. 2019. Vol. 238. P. 11–21. DOI: 10.1016/j.apenergy.2019.01.005. (In Engl.).
4. Tian Y., Xing Z., He Z., Wu H. Modeling and performance analysis of twin-screw steam expander under fluctuating operating conditions in steam pipeline pressure energy recovery applications // Energy. 2017. Vol. 141. P. 692–701. DOI: 10.1016/j.energy.2017.09.128. (In Engl.).
5. Murgia S., Colletta D., Costanzo I., Contaldi G. Experimental investigation on ORC-based low-grade energy recovery systems using Sliding-Vane Rotary Expanders // 3rd International Rotating Equipment Conference. 2016. (In Engl.).
6. Murgia S., Valenti G., Colletta D., Costanzo I., Contaldi G. Experimental investigation into an ORC-based low-grade energy recovery system equipped with sliding-vane expander using hot oil from an air compressor as thermal source // Energy Procedia. 2017. Vol. 129. P. 339–346. DOI: 10.1016/j.egypro.2017.09.204. (In Engl.).
7. Murgia S., Costanzo I., Valenti G., Manfreda P. P. Optimization of sliding-vane expanders for a low-enthalpy ORC

energy recovery system // IOP Conference Series Materials Science and Engineering. 2019. Vol. 604 (1). 012042. DOI: 10.1088/1757-899X/604/1/012042. (In Engl.).

8. Murgia S., Costanzo I., Valenti G., Fasani F., Fumagalli C. Test and Validation of a Control System for a Small-scale Energy Recovery System based on Sliding-vane Technology. 2020. DOI: 10.18462/IIR.RANKINE.2020.1194. (In Engl.).

About the translator

FEDOROVA Maria Aleksandrovna, Candidate of Philological Sciences, Associate Professor of Foreign Languages Department, Omsk State Technical University, Omsk.

SPIN-code: 5636-7474

AuthorID (RSCI): 636900

ORCID: 0000-0002-0899-6303

AuthorID (SCOPUS): 57193409850

ResearcherID: D-7718-2014

Correspondence address: sidorova_ma79@mail.ru

For citations

Costanzo I., Murgia S., Valenti G., Fasani F. Experimental investigation on a sliding-vane expander for steam applications / trans. from Engl. M. A. Fedorova // Omsk Scientific Bulletin. Series Aviation-Rocket and Power Engineering. 2022. Vol. 6, no. 2. P. 71–77. DOI: 10.25206/2588-0373-2022-6-2-71-77.

Received March 28, 2022.

© I. Costanzo, S. Murgia, G. Valenti, F. Fasani