



ФЕДЕРАЛЬНАЯ СЛУЖБА
ПО ИНТЕЛЛЕКТУАЛЬНОЙ СОБСТВЕННОСТИ,
ПАТЕНТАМ И ТОВАРНЫМ ЗНАКАМ

(12) ОПИСАНИЕ ИЗОБРЕТЕНИЯ К ПАТЕНТУ

(21), (22) Заявка: 2000132144/06, 20.12.2000

(24) Дата начала действия патента: 20.12.2000

(30) Приоритет: 21.12.1999 US 09/467,956

(43) Дата публикации заявки: 20.11.2002

(45) Опубликовано: 27.06.2005 Бюл. № 18

(56) Список документов, цитированных в отчете о поиске: US 5167489 A, 01.12.1992. SU 418618 A, 26.08.1974. SU 1370320 A1, 30.01.1973. GB 1335757 A, 31.10.1973. DE 2606891 A1, 23.09.1976. EP 0926312 A2, 30.06.1999.

Адрес для переписки:

129010, Москва, ул. Б.Спасская, 25, стр.3,
ООО "Юридическая фирма Городисский и
Партнеры", пат.пов. Е.В.Томской

(72) Автор(ы):

ДЕКЕР Джон Джаред (US),
БРИЗ-СТРИНГФЕЛЛОУ Эндрю (US),
ШТЕЙНМЕТЦ Грегори Тодд (US),
СУЧ Питер Николас (US)

(73) Патентообладатель(ли):

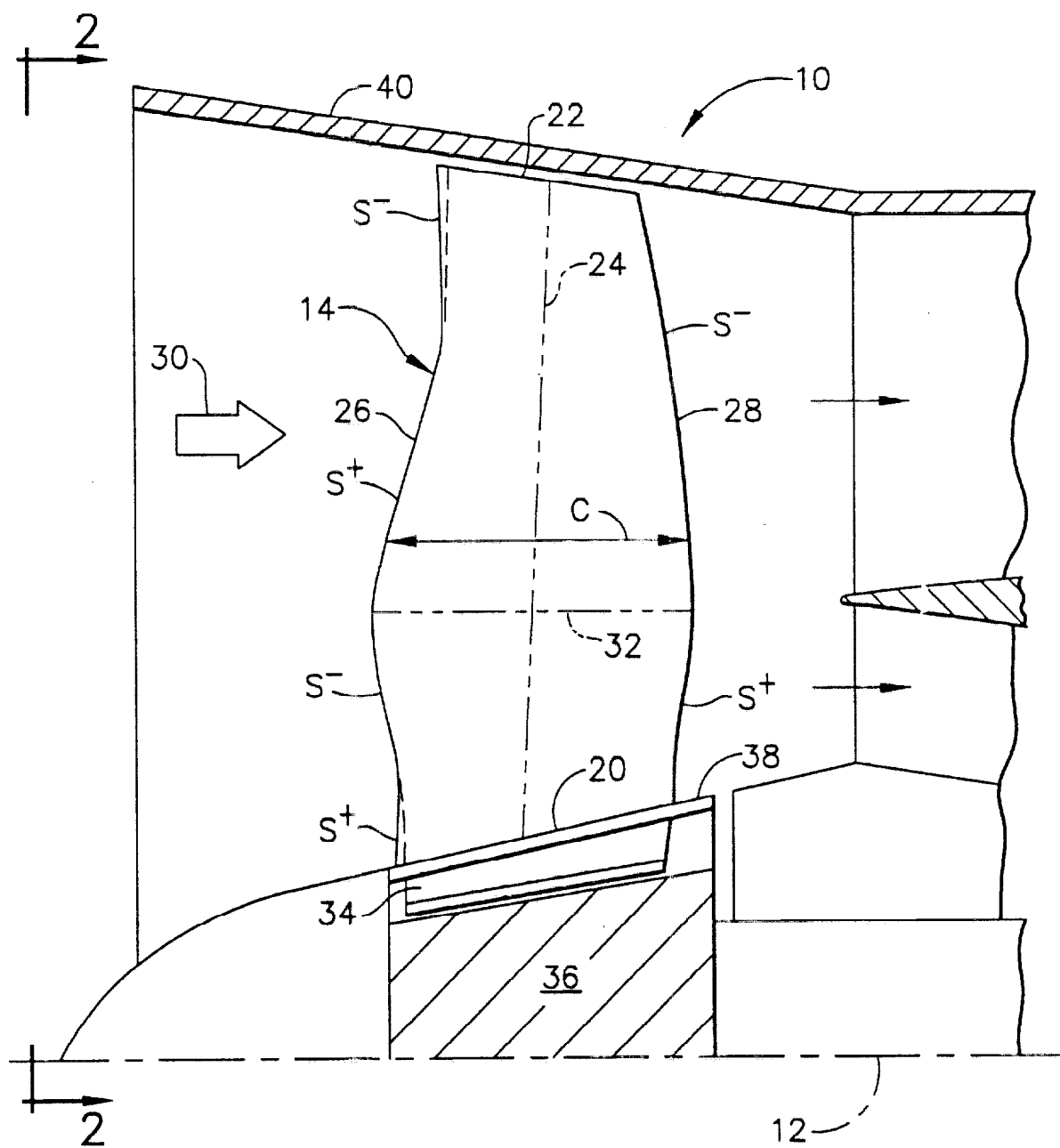
ДЖЕНЕРАЛ ЭЛЕКТРИК КОМПАНИ (US)

(54) СТРЕЛОВИДНАЯ ВЫПУКЛАЯ ЛОПАТКА (ВАРИАНТЫ)

(57) Реферат:

Изобретение относится к газотурбинным двигателям и, более конкретно, к их вентиляторам и компрессорам, и обеспечивает при своей работе хорошее нагнетание потока и производительность при высокой скорости. Лопатка (14) включает выпуклость хорд на передней кромке между

корневой частью (20) и оконечностью (22) и имеет обратную аэродинамическую стреловидность у оконечности. В варианте исполнения указанные хорды увеличиваются по длине при удалении наружу от корневой части (20) до выпуклости лопатки (14). 2 н. и 18 з.п. ф-лы, 3 ил.



ФИГ. 1



FEDERAL SERVICE
FOR INTELLECTUAL PROPERTY,
PATENTS AND TRADEMARKS

(12) ABSTRACT OF INVENTION

(21), (22) Application: 2000132144/06, 20.12.2000

(24) Effective date for property rights: 20.12.2000

(30) Priority: 21.12.1999 US 09/467,956

(43) Application published: 20.11.2002

(45) Date of publication: 27.06.2005 Bull. 18

Mail address:

129010, Moskva, ul. B.Spasskaja, 25, str.3,
OOO "Juridicheskaja firma Gorodisskij i
Partnery", pat.pov. E.V.Tomskoj

(72) Inventor(s):

DEKER Dzhon Dzhared (US),
BRIZ-STRINGELLOU Ehndrju (US),
ShTEJNMETTs Gregori Todd (US),
SUCH Piter Nikolas (US)

(73) Proprietor(s):

DZhENERAL EhLEKTRIK KOMPANI (US)

(54) SWEEPED CONVEX BLADE (VERSION)

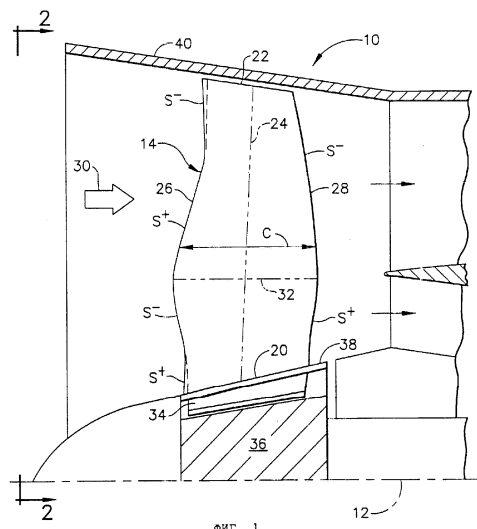
(57) Abstract:

FIELD: mechanical engineering; gas-turbine engines.

SUBSTANCE: invention relates to fans and compressors of gas-turbine engines. Blade 14 includes convexity of chords on leading edge between root part 20 and end 22 being swept-forward at end. In other design version chords are increased in length at distance outwards from root part 20 to convexity of blade 14.

EFFECT: provision of good delivery of flow and capacity at high velocity.

20 cl, 3 dwg



Настоящее изобретение в целом относится к газотурбинным двигателям и, более конкретно, к их вентиляторам и компрессорам.

Турбовентиляторный газотурбинный двигатель включает вентилятор, за которым следует многоступенчатый осевой компрессор, каждый из которых включает ряд
5 разнесенных по окружности лопаток рабочего колеса, обычно взаимодействующих с лопатками статора. Лопатки работают со скоростями вращения, которые могут вызывать поток воздуха, скорость которого переходит от дозвуковой к сверхзвуковой с возникновением соответствующего скачка уплотнения. Скачок уплотнения вызывает потерю давления и генерирует нежелательный шум при работе двигателя.

10 В патенте США № 5167489, выданном Wadia и др., описана лопатка рабочего колеса с обратной стреловидностью для уменьшения аэродинамических потерь при работе, включающих потери вследствие взаимодействия воздуха в пограничном слое скачка уплотнения с оконечностями лопаток.

Однако конструкция лопаток вентилятора и компрессора обычно требует многих
15 компромиссов, связанных с аэродинамическими, механическими и аэромеханическими аспектами. Двигатель работает с разными скоростями вращения, и лопатки должны иметь конструкцию, доводящую до максимума нагнетание проходящего через них воздушного потока, и одновременно также доводящую до максимума эффективность сжатия. Скорость вращения лопаток влияет на их конструкцию и необходимую эффективность нагнетания
20 потока и сжатия.

При высокой скорости вращения, числа Маха потока относительно лопаток имеют их максимально высокие значения, и взаимодействие со скачком уплотнения и пограничным слоем наиболее сильно. Механические напряжения в лопатке также сильны при высоких
25 скоростях вращения рабочего колеса, при этом значительное воздействие оказывают вибрационные и центробежные нагрузки. Лопатка также должна быть приспособленной к аэромеханическим нагрузкам, включая флаттер под воздействием потока.

Соответственно, известный уровень техники включает много конфигураций лопаток вентилятора и компрессора, которые отличаются аэродинамической стреловидностью, распределением поперечных сечений, закруткой, распределением хорд и основными
30 принципами проектирования, которые применяются для повышения эффективности рабочего колеса. Некоторые конструкции отличаются хорошей производительностью рабочего колеса или нагнетанием при максимальной скорости с соответствующей эффективностью, и другие конструкции работают с улучшенной эффективностью при неполной скорости, например, в крейсерском режиме работы с соответственно
35 пониженным нагнетанием потока или производительностью при максимальной скорости.

Соответственно, необходимо создать усовершенствованную лопатку вентилятора или компрессора, имеющую как увеличенную эффективность при работе с неполной скоростью, такой как скорость в крейсерском режиме, так и обеспечивающую хорошее нагнетание
40 потока или производительность при высокой скорости, наряду с хорошими пределами работоспособности по срыву и флаттеру.

Лопатка согласно изобретению включает выпуклость хорды по передней кромке между корневой частью и оконечностью и обратную аэродинамическую стреловидность оконечности.

Изобретение, в соответствии с предпочтительными и примерными вариантами его
45 осуществления наряду с другими его задачами и преимуществами, более конкретно описано в следующем подробном описании, данном в сочетании с прилагаемыми чертежами, на которых:

Фиг.1 изображает вертикальный вид сбоку осевой проекции ряда лопаток вентилятора согласно примерному варианту осуществления настоящего изобретения.

50 Фиг.2 изображает вид спереди части вентилятора, показанного на фиг.1, данный по линии 2-2.

Фиг.3 изображает вид сверху в плане лопаток вентилятора, показанного на фиг.2, данный по линии 3-3.

На фиг.1 показан вентилятор 10 типового турбовентиляторного газотурбинного двигателя, изображенный частично. Вентилятор 10 симметричен относительно центральной оси 12.

Вентилятор включает ряд разнесенных по окружности лопаток 14, выполненных в
 5 примерном варианте лопаток рабочего колеса, показанных на фиг.1-3. Как показано в первую очередь на фиг.3, каждая лопатка 14 включает в целом вогнутую сторону 16 давления и по окружности противоположную, в целом выпуклую сторону 18 разрежения, проходящую в продольном направлении или радиально по размаху вдоль поперечных или радиальных сечений от радиально внутренней корневой части 20 до радиально наружной
 10 оконечности.

Как показано на фиг.1, каждая лопатка 14 проходят радиально наружу вдоль радиальной оси 24, вдоль которой могут быть образованы изменяющиеся радиальные или поперечные сечения лопатки. Лопатка также включает разнесенные в направлении оси или хорды переднюю и заднюю кромки 26, 28, между которыми в осевом направлении проходит
 15 сторона давления и сторона разрежения.

Как показано на фиг.3, каждое радиальное или поперечное сечение лопатки имеет хорду, представленную длиной C, измеренной между передней и задней кромками. Эта лопатка закручивается от корневой части до оконечности для взаимодействия с воздухом 30, обтекающим ее при работе. Хорды сечений различаются относительно угла A
 20 закручивания от корневой части до оконечности известным образом.

Как показано на фиг.1 и 3, хорды сечений лопатки увеличиваются по длине по ходу наружу от корневой части 20 в направлении оконечности 22, образуя выпуклость лопатки над корневой частью. Согласно предпочтительному варианту осуществления настоящего изобретения, выпуклость хорды выполнена вдоль передней кромки 26 лопатки для
 25 выдвижения осевой проекции передней кромки против потока или вперед от прямой линии, проходящей между корневой частью и оконечностью передней кромки.

Лопатка или выпуклость хорды имеет максимальную протяженность между передней и задней кромками 26, 28 в осевой или боковой проекции сторон давления и разрежения, что лучше всего видно на фиг.1. Максимально выпуклая форма происходит в среднем
 30 поперечном сечении 32 в надлежащем радиальном местоположении вдоль размаха лопатки, которое в показанном примере воплощения находится сразу под серединой размаха или сечением симметрии лопатки.

Предпочтительно, передняя кромка 26 в выпуклом районе проходит в осевом направлении вперед от корневой части 20, и задняя кромка 28 соответственно расширена
 35 и проходит в осевом направлении назад от корневой части 20. Таким образом, расширение лопатки происходит вдоль обеих - передней и задней - кромок 26, 28 в боковой проекции.

В соответствии с другим признаком настоящего изобретения, как показано на фиг.1, лопатка имеет обратную или отрицательную аэродинамическую стреловидность на ее оконечности 22, а также прямую или положительную аэродинамическую стреловидность
 40 внутрь от нее. Аэродинамическая стреловидность это известный параметр, представленный локальным углом стреловидности, который является функцией направления набегающего потока воздуха и ориентации поверхности лопатки как в осевом направлении, так и в направлении вдоль окружности или тангенциальном направлении. Угол стреловидности подробно определен в упомянутом выше патенте США № 5167489 и
 45 это определение включено сюда путем ссылки. Аэродинамический угол стреловидности представлен заглавной буквой S, как показано, например, на фиг.1, и он имеет отрицательное значение (-) для обратной стреловидности и положительное значение (+) для прямой стреловидности.

Как показано на фиг.1, оконечность 22 лопатки, предпочтительно, имеет обратную
 50 стреловидность (S) как на передней, так и на задней кромках оконечности 22.

Как предпочтительное расширение (выпуклость) хорды, так и стреловидность лопаток вентилятора могут быть получены известным способом, посредством составления в радиальном направлении отдельных поперечных сечений лопатки вдоль оси составления,

которая соответственно отклоняется от прямой радиальной оси либо в осевом направлении, либо вдоль окружности, либо в обоих направлениях с соответствующей нелинейной кривизной. Кроме того, конфигурация лопатки дополнительно определяется радиальным распределением хорд в каждом из поперечных сечений, включая длину хорды С, и углом А закручивания, показанным на фиг.3.

Выпуклость хорд лопатки в сочетании с обратной стреловидностью оконечности дает значительные преимущества. Главным преимуществом является увеличение рабочей площади передней кромки лопатки, что соответственно понижает среднее для передней кромки относительное число М. Кроме того, процесс сжатия, осуществляемый лопаткой, инициируется или начинается в более переднем положении по сравнению с лопаткой без расширения передней кромки. Соответственно, повышается эффективность лопатки с точки зрения ее производительности при высокой или максимальной скорости с одновременным улучшением также эффективности при неполной скорости и пределов устойчивости.

Эти преимущества особенно важны для лопатки 14 в варианте применения в качестве лопатки вращающегося рабочего колеса вентилятора. Однако соответствующие преимущества могут быть получены для лопаток статора вентилятора или компрессора, которые не вращаются. В варианте выполнения лопатки, показанном на фиг.1, составляющий с ней единое целое замок 34 типа "ласточкин хвост" известным способом прикрепляет лопатку к опорному диску рабочего колеса или втулке 36, и отдельные плоскости 38 установлены между соседними лопатками у соответствующих корневых частей для образования радиально внутренней границы прохода для потока воздуха 30. Наружный кожух 40 окружает ряд лопаток и образует радиально наружную границу потока воздуха.

Для получения лопатки в конфигурации лопатки рабочего колеса, показанной на фиг.1-3, хорды С сечений, предпочтительно, увеличиваются по всей длине по направлению от корневой части 20 до оконечности 22, где хорда имеет максимальную длину. Расширение лопатки получено как радиальным распределением хорд, так и изменением углов закручивания, показанных на фиг.3, для получения предпочтительной осевой проекции или вида сбоку, показанного на фиг.1.

Как схематически показано на фиг.1, обратная стреловидность оконечности лопатки применена, предпочтительно, на задней кромке 28, а также на передней кромке 26. Обратная стреловидность оконечности лопатки предназначена для поддержания эффективности сжатия при неполной скорости и пределов устойчивости при дросселировании. Обратная стреловидность задней кромки оконечности наиболее эффективна для обеспечения того, что перемещающийся радиально наружу воздух будет покидать заднюю кромку до перемещения к оконечности лопатки, и будет уменьшаться количество воздуха в пограничном слое у оконечности, и при работе там будут снижаться потери от скачка уплотнения. Воздушный поток у оконечностей лопаток также испытывает меньшее возрастание статического давления для среднего возрастания статического давления данного рабочего колеса, чем то, которое возникает с обычными лопатками.

Обратная стреловидность передней кромки лопатки у оконечности также способствует устойчивости потока.

Предпочтительно, обратная стреловидность задней кромки 28 вблизи оконечности лопатки больше, чем обратная стреловидность передней кромки 26 вблизи оконечности.

Обратная стреловидность задней кромки 28, как показано на фиг.1, предпочтительно, уменьшается от оконечности к корневой части, при этом максимальное значение она имеет у оконечности и уменьшается к максимальной выпуклости хорды в среднем сечении 32. Задняя кромка 28 должна иметь обратную стреловидность, как можно более протяженную по размаху вниз, к корневой части 20, насколько позволяют механические ограничения, такие как допустимое центробежное напряжение при работе. В типовом варианте, показанном на фиг.1, задняя кромка 28 имеет прямую стреловидность на участке, проходящем радиально внутрь от максимальной выпуклости, которая переходит в

обратную стреловидность на участке, проходящем радиально наружу от него.

Поскольку утолщение лопатки применяется в комбинации с желательной обратной стреловидностью оконечности лопатки, передняя кромка 26, показанная на фиг.1, имеет обратную стреловидность, которая по ходу от оконечности 22 переходит в прямую стреловидность между оконечностью и максимальной выпуклостью в районе среднего сечения 32. Прямая стреловидность передней кромки затем переходит в обратную стреловидность в районе, отнесенном внутрь от максимальной выпуклости в среднем сечении 32. Внутренняя обратная стреловидность передней кромки может продолжаться вниз до корневой части 20.

Однако, согласно предпочтительному варианту осуществления изобретения, передняя кромка 26 вновь переходит от обратной стреловидности к прямой стреловидности снаружи от корневой части 20 и внутрь от максимальной выпуклости в среднем сечении 32. Таким образом, передняя кромка лопатки объединяет как выпуклость хорд, так и обратную стреловидность оконечности для значительного улучшения аэродинамических характеристик как при неполной скорости, так и при максимальной скорости.

Трехмерный вычислительный анализ предсказал, что выпуклая лопатка 14 с обратной стреловидностью, описанная выше, имеет рабочие площади передней кромки, которые приблизительно на один процент превышают площади известных лопаток с радиально составленными сечениями. Это соответствует увеличению на один процент расхода потока при таком же или более высоком уровнях эффективности сжатия.

Кроме того, может быть достигнута эффективность при неполной или крейсерской скорости, которая приблизительно на 0,8% выше эффективности известных лопаток. Значительная часть прироста эффективности при неполной скорости можно приписать обратной стреловидности оконечности, которая уменьшает концевые потери, и прямой стреловидности в средней части размаха лопатки вследствие выпуклости хорды, которая приводит к уменьшению интенсивности скачка уплотнения и, соответственно, к уменьшению потерь вследствие скачка уплотнения.

Модификация лопатки вентилятора для увеличения передней рабочей площади посредством нерадиального составления поперечных сечений и выпуклости хорды наряду с локальным использованием обратной стреловидности кромок лопатки дает преимущество не только для лопаток вентилятора, но может применяться к лопаткам статора околосзвукового вентилятора также для повышения расхода потока и уменьшения аэродинамических потерь.

Хотя здесь описано то, что рассматривается как предпочтительные и примерные варианты осуществления настоящего изобретения, для специалиста в данной области техники из изложенного здесь будут очевидны другие модификации изобретения и, таким образом, все такие модификации зафиксированы в прилагаемой формуле изобретения как лежащие в пределах сущности и объема изобретения.

Формула изобретения

1. Лопатка 14, содержащая стороны 16, 18 давления и разрежения, проходящие по размаху вдоль поперечных сечений от корневой части 20 до оконечности 22 и по хордам сечений между передней и задней кромками 26, 28, причем указанные хорды увеличиваются по длине при удалении наружу от корневой части до выпуклости лопатки и указанная лопатка имеет обратную аэродинамическую стреловидность у оконечности и прямую аэродинамическую стреловидность на участке, проходящем внутрь от нее.

2. Лопатка по п. 1, в которой обратная стреловидность у оконечности осуществлена на задней кромке 28.

3. Лопатка по п. 2, в которой обратная стреловидность у оконечности осуществлена на передней кромке 26.

4. Лопатка по п. 3, в которой хорды сечений меняются по углу закручивания между корневой частью 20 и оконечностью 22 и выпуклость имеет максимальную протяженность между передней и задней кромками 26, 28 в осевой проекции сторон 18, 20.

5. Лопатка по п. 4, в которой передняя кромка 26 в выпуклости выступает в осевом направлении вперед от корневой части 20 и задняя кромка 28 в выпуклости выступает в осевом направлении назад от корневой части.

5 6. Лопатка по п. 5, в которой хорды увеличиваются по длине от корневой части до оконечности 22.

7. Лопатка по п. 5, в которой обратная стреловидность задней кромки 28 больше, чем обратная стреловидность передней кромки 26.

8. Лопатка по п. 5, в которой обратная стреловидность задней кромки 28 уменьшается от оконечности к максимальной выпуклости.

10 9. Лопатка по п. 8, в которой задняя кромка 28 имеет прямую стреловидность в районе, проходящем внутрь от точки максимальной выпуклости.

10. Лопатка по п. 5, в которой обратная стреловидность передней кромки 26 переходит в прямую стреловидность между оконечностью 22 и точкой максимальной выпуклости.

15 11. Лопатка по п. 10, в которой прямая стреловидность передней кромки переходит в обратную стреловидность в районе, отступающем внутрь от точки максимальной выпуклости.

12. Лопатка по п. 11, в которой передняя кромка 26 имеет прямую стреловидность снаружи от корневой части 20 и внутрь от максимальной выпуклости.

13. Лопатка по п. 5, выполненная в форме лопатки рабочего колеса вентилятора.

20 14. Лопатка 14, имеющая выпуклость хорды по передней кромке между корневой частью 20 и оконечностью 22 и обратную аэродинамическую стреловидность у оконечности.

15. Лопатка по п. 14, дополнительно содержащая стороны 16, 18 давления и разрежения, проходящие в осевом направлении между передней и задней кромками 26, 28, и имеющая между ними хорды в соответствующих сечениях лопатки от корневой части 20 до оконечности 22, причем указанные хорды различаются по углу закручивания, и выпуклость имеет максимальную протяженность в осевой проекции сторон.

16. Лопатка по п. 15, в которой обратная стреловидность у оконечности осуществлена на обеих - передней и задней - кромках 26, 28.

30 17. Лопатка по п. 16, в которой передняя кромка 26 в выпуклости выступает в осевом направлении вперед от корневой части 20 и задняя кромка 28 в выпуклости в осевом направлении назад от корневой части.

18. Лопатка по п. 17, в которой обратная стреловидность задней кромки 28 больше обратной стреловидности передней кромки 26.

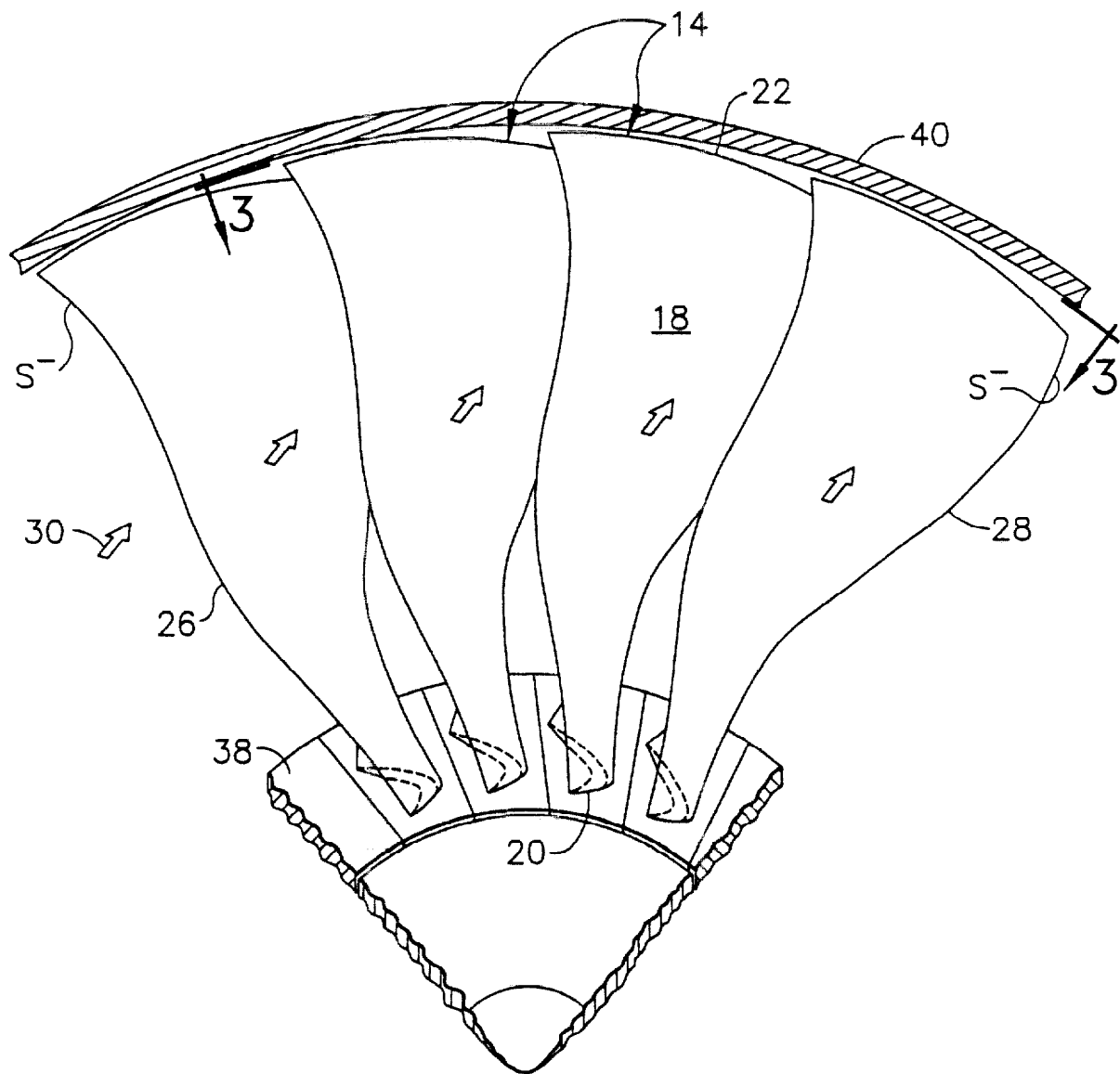
35 19. Лопатка по п. 18, в которой обратная стреловидность задней кромки 28 уменьшается от оконечности 22 к корневой части 20.

20. Лопатка по п. 19, в которой обратная стреловидность передней кромки 26 переходит по ходу от оконечности 22 в прямую стреловидность и снова в обратную стреловидность в районе, отступающем внутрь от точки максимальной выпуклости.

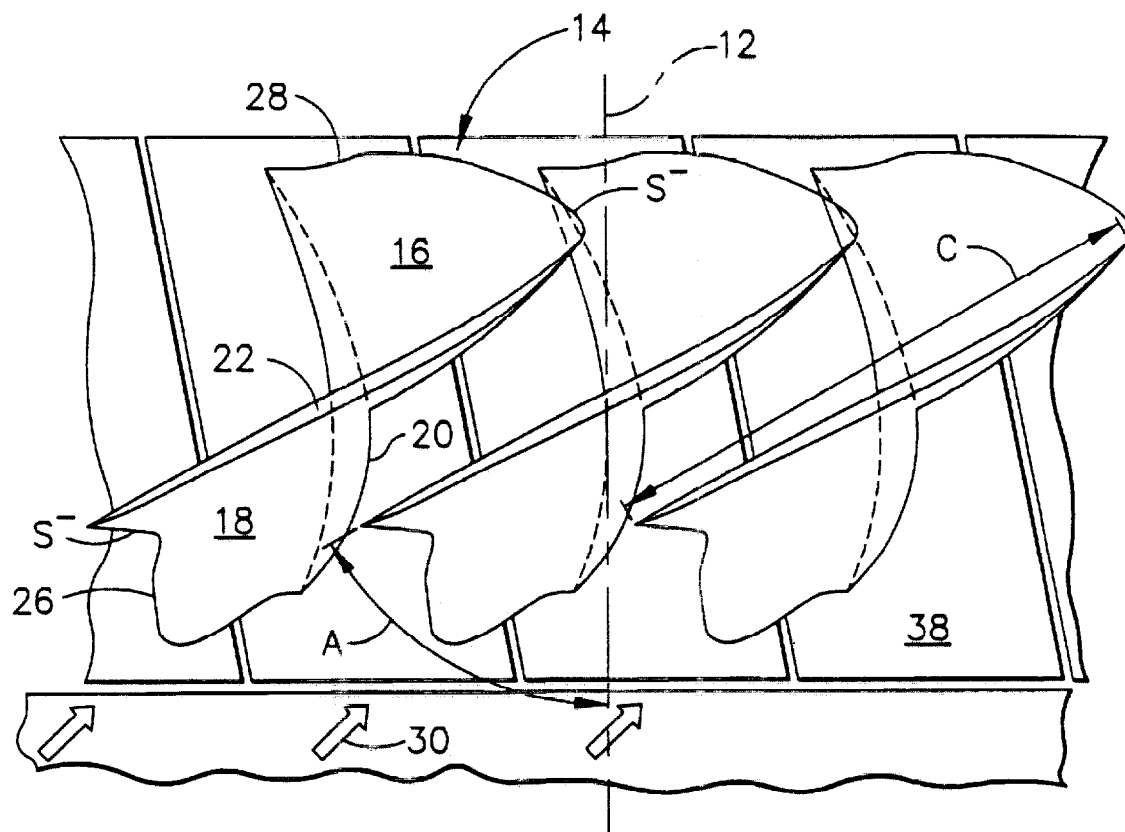
40

45

50



ФИГ. 2



ФИГ. 3