

(12) МЕЖДУНАРОДНАЯ ЗАЯВКА, ОПУБЛИКОВАННАЯ В  
СООТВЕТСТВИИ С ДОГОВОРОМ О ПАТЕНТНОЙ КООПЕРАЦИИ (РСТ)

(19) Всемирная Организация  
Интеллектуальной Собственности  
Международное бюро



(43) Дата международной публикации  
28 ноября 2024 (28.11.2024)

(10) Номер международной публикации  
WO 2024/242589 A2

(51) Международная патентная классификация:  
F04D 29/38 (2006.01)

TJ, TM, TN, TR, TT, TZ, UA, UG, US, UZ, VC, VN, WS,  
ZA, ZM, ZW.

(21) Номер международной заявки: PCT/RU2024/000234

(22) Дата международной подачи:  
19 июля 2024 (19.07.2024)

(25) Язык подачи: Русский

(26) Язык публикации: Русский

(30) Данные о приоритете:  
2023113086 20 мая 2023 (20.05.2023) RU

(72) Изобретатель; и

(71) Заявитель: МАТАФОНОВ, Владислав Викторович  
(MATAFONOV, Vladislav Viktorovich) [RU/RU]; ул.  
Вокзальная, д. 9А, кв. 4 район Хасанский, Приморский  
край, пгт. Хасан, 692730, район Hasanskij, Primorskij kraj,  
pgt. Hasan (RU).

(72) Изобретатель: ХОЛОСТЕНКО, Андрей Юрьевич  
(HOLOSTENKO, Andrej Jur'evich); ул. Медынская 5,  
к. 6, кв. 86 г. Москва, 117546, g. Moskva (RU).

(81) Указанные государства (если не указано иначе, для  
каждого вида национальной охраны): AE, AG, AL, AM,  
AO, AT, AU, AZ, BA, BB, BG, BH, BN, BR, BW, BY, BZ,  
CA, CH, CL, CN, CO, CR, CU, CV, CZ, DE, DJ, DK, DM,  
DO, DZ, EC, EE, EG, ES, FI, GB, GD, GE, GH, GM, GT,  
HN, HR, HU, ID, IL, IN, IQ, IR, IS, IT, JM, JO, JP, KE, KG,  
KH, KN, KP, KR, KW, KZ, LA, LC, LK, LR, LS, LU, LY,  
MA, MD, MG, MK, MN, MU, MW, MX, MY, MZ, NA,  
NG, NI, NO, NZ, OM, PA, PE, PG, PH, PL, PT, QA, RO,  
RS, RU, RW, SA, SC, SD, SE, SG, SK, SL, ST, SV, SY, TH,

(84) Указанные государства (если не указано иначе, для  
каждого вида региональной охраны): ARIPO (BW, CV,  
GH, GM, KE, LR, LS, MW, MZ, NA, RW, SC, SD, SL, ST,  
SZ, TZ, UG, ZM, ZW), евразийский (AM, AZ, BY, KG,  
KZ, RU, TJ, TM), европейский патент (AL, AT, BE, BG,  
CH, CY, CZ, DE, DK, EE, ES, FI, FR, GB, GR, HR, HU,  
IE, IS, IT, LT, LU, LV, MC, ME, MK, MT, NL, NO, PL, PT,  
RO, RS, SE, SI, SK, SM, TR), OAPI (BF, BJ, CF, CG, CI,  
CM, GA, GN, GQ, GW, KM, ML, MR, NE, SN, TD, TG).

Опубликована:

- без отчёта о международном поиске и с повторной  
публикацией по получении отчёта (правило 48.2(g))
- с информацией о просьбе восстановления прав на  
приоритет в отношении одного или более чем одного  
притязания на приоритет (правила 26bis.3 и 48.2(b)  
(vii))

(54) Title: FAN BLADE CONFIGURATION

(54) Название изобретения: ФОРМА ЛОПАСТЕЙ ВЕНТИЛЯТОРА

(57) Abstract: The invention relates to gas-turbine engine fans. The technical result is achieved by the use of a one-piece blade structure with a variable angle of inclination of the chord of the airfoil in relation to the direction of the airflow from the edge to the root section of the blade, in a limited range of ratios of the outside diameter of the impeller to the inside diameter thereof, D2 to D1; the design of the airfoil of the blade such as to be described by arcs of circles, the geometric cross-sectional centres of which lie in a line along the length of the blade, provides for ease of manufacture, while the angles of inclination of the chord of the airfoil to the airflow, together with the chord length, the radii of the concave part of the section, the radii of the root part and the width of the blade in the root section and the tip section, provide for high blade efficiency at speeds greater than the speed of sound, while also providing sufficient strength across a wide range of rotational speeds of the fan.

(57) Реферат: Изобретение относится к вентиляторам газотурбинных двигателей. Технический результат обеспечивается применением цельной конструкцией лопасти с переменным углом наклона хорды профиля по отношению к направлению воздушного потока от кромки к корневому сечению лопасти, в ограниченном диапазоне отношений наружного диаметра рабочего колеса к внутреннему D2 к D1; конструктивное исполнение профиля лопасти описанного дугами окружностей с геометрически ми центрами сечений по длине лопасти расположенными на одной прямой обеспечивает относительную простоту технологии производства при этом углы наклона хорды профиля к потоку в сочетании с длиной хорды; радиусами вогнутой части сечения и радиусами корневой части толщиной лопасти в корневом сечении и концевом сечении обеспечивают высокий КПД лопасти на скоростях выше скорости звука при достаточной прочности в широком диапазоне скоростей вращения вентилятора.



WO 2024/242589 A2

### Форма лопастей вентилятора

Изобретение относится к вентиляторам газотурбинных двигателей, в частности к вентиляторам турбореактивных вентиляторных двигателей. Наиболее эффективно применение в турбореактивных вентиляторных двигателях малой мощности с тягой от 1000 до 5000 Н.

Газотурбинный двигатель как правило содержит вентилятор нагнетающий воздушный поток в компрессор двигателя, в двухконтурном двигателе вентилятор также служит источником дополнительной тяги за счёт нагнетания воздушного потока во внешний контур двигателя. Колесо вентилятора состоит из основания, на котором размещается множество лопастей, составляющих с основанием неразъёмную конструкцию или лопаток, закрепляемых на основании с возможностью съёма без разрушения конструкции и даже поворота относительно своей оси, для изменения тяги двигателя. Дальнейшее развитие технических характеристик турбовентиляторных двигателей приводит к необходимости использования вентиляторов с лопастями или лопатками, работающими на сверхзвуковых скоростях, при этом имеющих высокий КПД и приемлемую прочность.

Известна конструкция лопатки (авторское свидетельство на изобретение RU №2255248 С2). Лопатка включает выпуклость хорд на передней кромке между корневой частью и оконечностью и имеет обратную аэродинамическую стреловидность у оконечности.

Недостатками данной конструкции являются: сложная для изготовления геометрия лопатки, разъёмная конструкция вентилятора обуславливает дороговизну и существенную сложность применения в двигателях малой мощности, установка лопатки в конфузоре корпуса двигателя понижает КПД вентилятора в целом.

Известна конструкция лопасти вентилятора с согласованной платформой (авторское свидетельство на изобретение RU №2272180 С2). Лопасть вентилятора содержит аэродинамическую поверхность, имеющую хвостовик, и выполненную за одно целое с платформой. Платформа включает передний и задний края и дугообразные первую и вторую стороны между ними. Хвостовик аэродинамической поверхности смещен в поперечном направлении ближе к первой стороне платформы, чем ко второй стороне.

Недостатками данной конструкции являются: сложная в производстве геометрия лопатки, разъёмная конструкция вентилятора обуславливает дороговизну и существенную сложность применения в двигателях малой мощности, установка лопатки в конфузоре относительно наружного корпуса двигателя понижает КПД вентилятора в целом,

скруглённая передняя кромка ограничивает максимальные скорости вращения лопатки создавая высокое сопротивление потоку при скоростях Маха выше 1.

Известна конструкция лопасти вентилятора турбореактивного двигателя (авторское свидетельство на изобретение RU №2486346C2). Лопасть вентилятора турбореактивного двигателя с двойным потоком, содержащая внутреннюю аэродинамическую часть и внешнюю аэродинамическую часть, совмещенные в радиальном направлении и разделенные платформой, причем внутренняя аэродинамическая часть содержит один аэродинамический профиль, а внешняя аэродинамическая часть содержит, по меньшей мере, два аэродинамических профиля, причем ребра атаки указанных аэродинамических профилей указанной аэродинамической части лопасти аксиально выровнены в ряд. Достигается уменьшение количества лопастей вентилятора при сохранении удовлетворительного качества за счет сохранения повышенного относительного шага внутренней аэродинамической части лопасти вентилятора.

Недостатками данной конструкции являются: сложная конструкция лопасти обуславливающая сложную технологию изготовления и практическую сложность применения в турбореактивных двигателях малой тяги.

Известна лопасть осевого вентилятора (авторское свидетельство на изобретение RU №2516739 C1) принятая по ряду признаков за наиболее близкий аналог. Лопасть содержит выпуклый набегающий край, вогнутый сбегающий край, корневую часть и верхнюю кромку. Радиус кривизны вогнутого сбегающего края выполнен равным радиусу кривизны средней линии лопасти, а радиус кривизны выпуклого набегающего края выбран исходя из обеспечения необходимой толщины лопасти в среднем по ее длине сечении. Угол входа воздушной массы в межлопастной канал и угол выхода из него связаны соотношением:  $\gamma = \tan^{-1}(\varphi / \cos \alpha)$ , где  $\gamma$  - угол выхода воздушной массы из межлопастного канала;  $\varphi$  - коэффициент, учитывающий потери скорости воздушной массы в межлопастном канале, составляющий от 1 до 0,9;  $\alpha$  - угол входа воздушной массы в межлопастной канал. Параметры лопасти выполнены в соответствии со следующими выражениями:  $R = a / (\cos \alpha - \cos \gamma)$ , где  $R$  - радиус кривизны средней линии лопасти;  $a$  - ширина лопасти в осевом направлении,  $l = (2\pi R(\gamma - \alpha)) / 360$ , где  $l$  - общая длина лопасти,  $b = R(\sin \gamma - \sin \alpha)$ , где  $b$  - ширина лопасти по фронту. Повышаются производительность, напор и КПД работы вентилятора при сохранении необходимой прочности и жесткости лопасти в процессе эксплуатации.

Недостатками данного решения являются: работа при низких, дозвуковых окружных скоростях лопасти, геометрия лопасти рассчитана на относительно низкие скорости осевого воздушного потока, не учтено соотношение между наружным диаметром колеса вентилятора и внутренним диаметром на котором применимо данное решение.

Целью данного изобретение является разработка простой конструкции лопасти вентилятора для газотурбинного двигателя, преимущественно турбовентиляторного типа, работающего в малом диапазоне тяг от 1000 до 5000 N с кромкой лопасти, движущейся на скорости, в том числе, выше скорости звука, число Маха  $>1$ , с относительно простой технологией производства и относительно низкой себестоимостью.

Поставленная цель достигается: использованием простых геометрических форм при построении профиля лопасти, оптимизацией углов наклона лопасти к воздушному потоку и оптимизация количества лопастей на рабочем колесе вентилятора по максимальной производительности и максимальному коэффициенту полезного действия рабочего колеса вентилятора, поиском зависимости для толщины лопатки для обеспечения достаточной её прочности при работе на окружных скоростях кромки лопасти, превышающих скорость звука. Геометрические размеры лопасти связаны следующим образом: лопасть вентилятора содержит выпуклый край профиля, определяемый посредством геометрического построения описываемый радиусом окружности  $R1a$  для корневой части профиля 3 лопасти и  $R1b$  для концевой части лопасти 4; передняя кромка лопасти 1 и задняя кромка лопасти 2 выполнены прямыми; углы наклона хорды к потоку воздуха приняты для корневой части  $A=53...55^\circ$ , для концевой части профиля лопасти  $B=77...79^\circ$ , причём отношение наружного диаметра рабочего колеса к внутреннему  $D2/D1$  лежит в диапазоне 2,4...2,6; длина хорды профиля корневого сечения  $L1 = k1 \cdot \pi \cdot D1/N$ ; где  $k1$  – коэффициент учитывающий свойства материала лопасти от 2 до 3,1;  $\pi$  – математическая константа  $\sim 3,1415$ ;  $N$  количество лопастей рабочего колеса чётное число в диапазоне от 14 до 24; для концевой части лопасти длина хорды  $L2 = k2 \cdot \pi \cdot D2/N$ ; где  $k2$  – коэффициент свойств материала лежит в диапазоне от 1,3 до 1,5; радиусы кривизны вогнутой части профиля определяются соотношением  $R2a = \beta1 \cdot L1$ ;  $\beta1$  – коэффициент свойств потока от 7,0 до 7,3 для корневой части,  $R2b = \beta1 \cdot L1$ ; для концевой части, причём наибольшая толщина лопасти -  $t1$  в корневом сечении определяется из выражения:  $t1 = L1/\gamma$ ; где  $\gamma$  – коэффициент учитывающий материал лопасти от 15,5 до 15,7; соответственно для концевой части  $t2 = L2/\gamma$ .

Сущность изобретения поясняется чертежами: фиг.1 вид лопаточного колеса вентилятора в изометрии; фиг.2 главный вид лопаточного колеса с обозначением основных размеров профиля конца лопасти; фиг.3 вид лопаточного колеса справа с указанием обозначений диаметров и обозначением места корневого сечения; фиг.4 корневое сечение лопасти с обозначениями основных размеров.

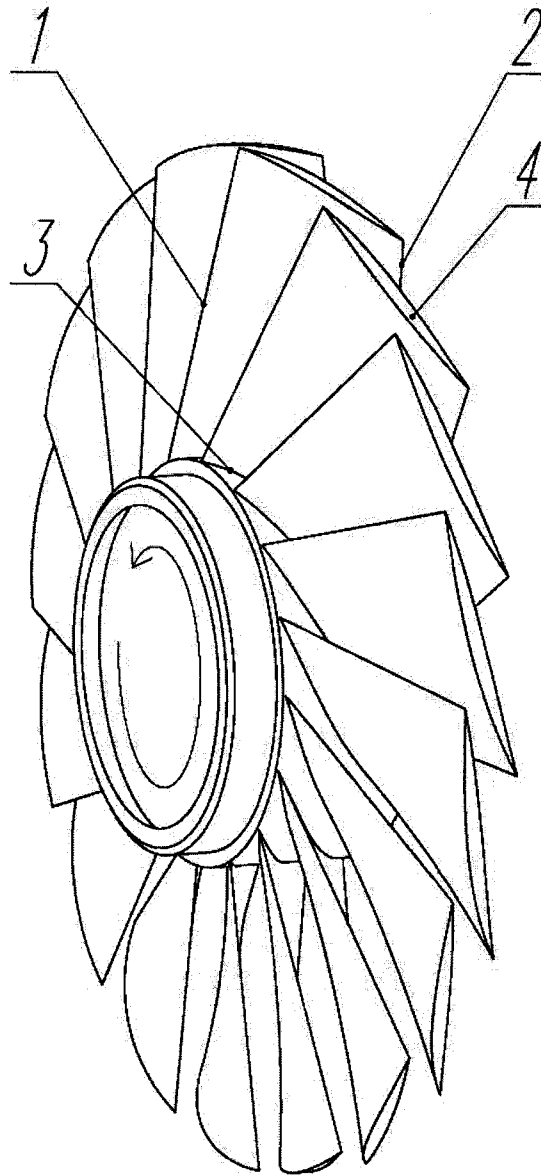
Таким образом предлагаемое техническое решение профиля лопасти рабочего колеса вентилятора турбореактивного двигателя позволяет выполнить лопаточное колесо цельным с использованием, например, фрезерного ЧПУ станка с четырьмя степенями свободы или больше, что является в настоящее время широко распространённым технологическим процессом, сократив стоимость производства колеса вентилятора до минимума при этом обеспечивается высокая жёсткость колеса вентилятора и как следствие обеспечивается возможность его эксплуатации при высоких, вплоть до сверхзвуковых на кромке окружных скоростях. Жёсткость конструкции также обеспечивает возможность эксплуатации вентилятора при значительных угловых ускорениях ротора при быстром изменении режима работы турбореактивного двигателя. Выбор геометрии лопатки в границах приведённых параметров позволяет получить максимально возможный КПД колеса вентилятора.

**Формула изобретения**

Лопасть вентилятора турбовентиляторного двигателя, содержащая выпуклый набегающий край описываемой радиусом окружности  $R1a$  для корневой части профиля и  $R1б$  для концевой части лопасти, вогнутый сбегающий край, описанный радиусом окружности  $R2a$  для корневой части профиля и  $R2б$  для концевой части лопасти, переднюю кромку, выполненную по прямой и заднюю кромку, выполненную по прямой, угол наклона хорды профиля в корневой части по отношению к направлению потока воздуха - А лежит в диапазоне  $53...55^\circ$ , угол наклона хорды профиля в концевой части по отношению к направлению потока воздуха - Б лежит в диапазоне  $77...79^\circ$ , причём отношение наружного диаметра рабочего колеса с лопастями  $D2$  к внутреннему  $D1$  составляет от 2,4 до 2,6; при этом в корневом сечении длина хорды  $L1$  определяется зависимостью:

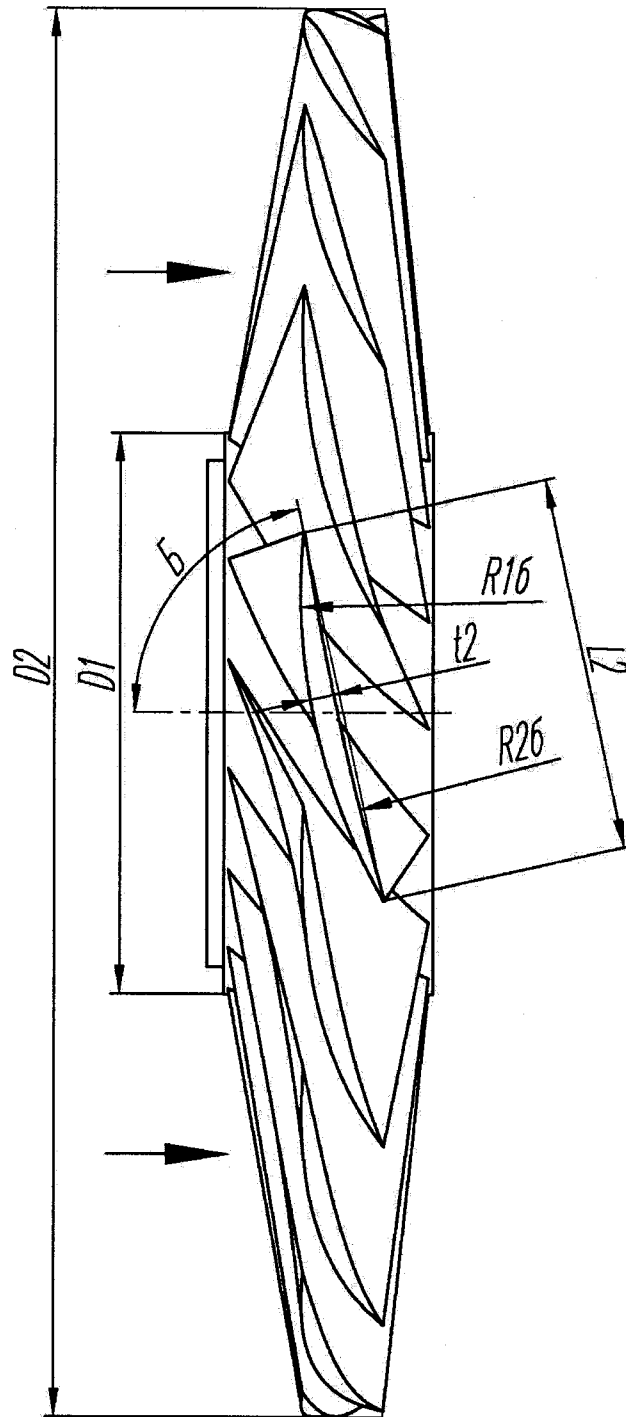
5  $L1 = k1 \cdot \pi \cdot D1 / N$ ; где  $k1$  – коэффициент учитывающий свойства материала лопасти от 2 до 3,1;  $\pi$  – математическая константа  $\sim 3,1415$ ;  $N$  количество лопастей рабочего колеса чётное число в диапазоне от 14 до 24; соответственно для концевой части лопасти длина хорды  $L2 = k2 \cdot \pi \cdot D2 / N$ ; где  $k2$  – коэффициент свойств материала лежит в диапазоне от 1,3 до 1,5; причём радиус кривизны вогнутой части определяется из выражения:  $R2a = \beta1 \cdot L1$ ;  $\beta1$  – коэффициент свойств потока от 7,0 до 7,3 для корневой части,  $R2б = \beta1 \cdot L1$ ; для концевой части, причём наибольшая толщина лопасти -  $t1$  в корневом сечении определяется из выражения:  $t1 = L1 / \gamma$ ; где  $\gamma$  – коэффициент учитывающий материал лопасти от 15,5 до 15,7; соответственно для концевой части  $t2 = L2 / \gamma$ ; радиусы выпуклой поверхности профиля лопасти в корневой и концевой частях определяются геометрическим построением.

1/4

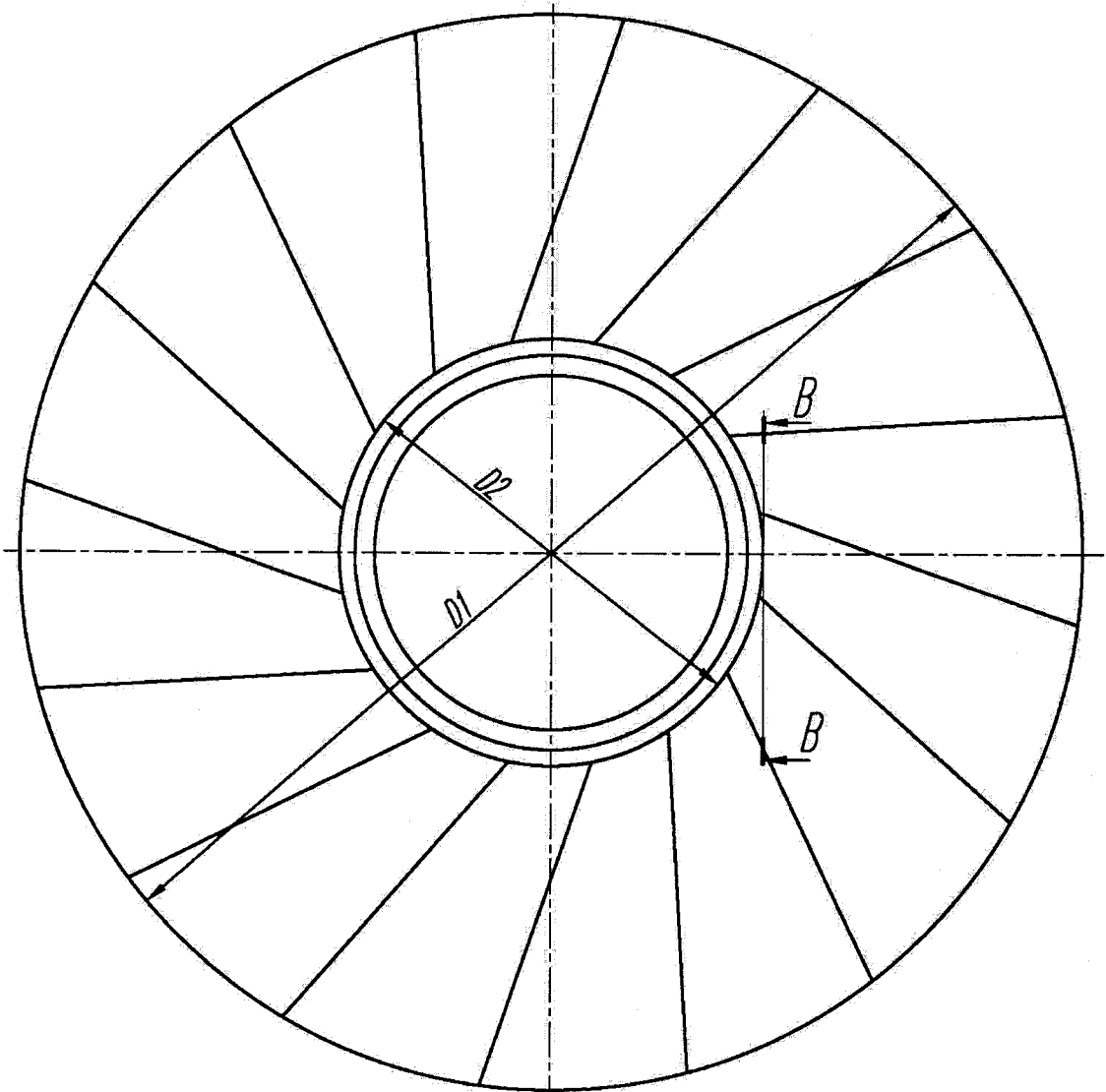


Фиг. 1

*Профиль конца лопасти*

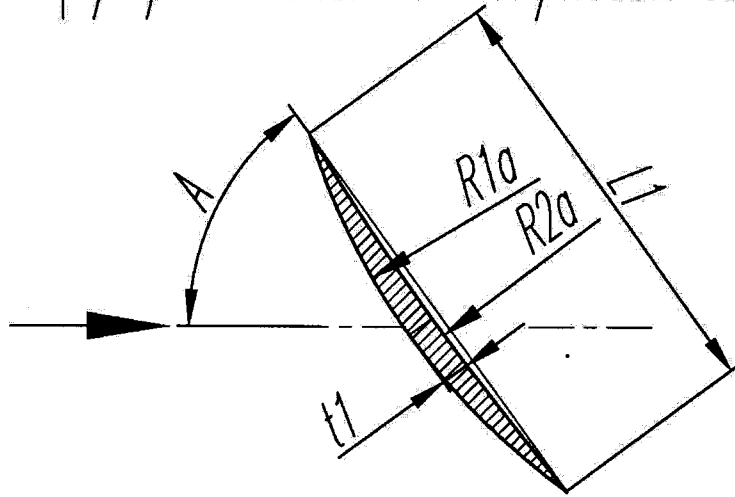


Фиг. 2



Фиг. 3

*B-B (профиль лопасти в корневом сечении)*



Фиг. 4