

## Схема армирования детали сложной геометрической формы на примере осевого вентилятора

**В. А. Поляков**

Санкт-Петербургский государственный электротехнический университет  
«ЛЭТИ» им. В. И. Ульянова (Ленина), Санкт-Петербург, Россия

vapoliakov@etu.ru

**Аннотация.** Рассматривается проектирование схемы армирования сложной детали, в качестве которой был выбран осевой вентилятор. При проектировании детали или конструкции перед разработчиком встает задача – определить какой из способов производства детали стоит выбрать, литой или сборный. Для сравнения рассмотрены два случая построения геометрической формы. В первом варианте вентилятор выполнен из единого материала без склеек, во втором представлена конструкция из сборки компонентов. При сравнении картин напряжения и смещения двух вентиляторов была замечена разница в местах крепления лопаток к рабочему колесу. Во втором варианте из-за вклеивания лопаток в их основании возникают дополнительные напряжения, что, в свою очередь, ведет к дополнительным траекториям армирования. При изготовлении детали как сборочной единицы траектории армирования должны связывать соседние компоненты для снижения напряжения в местах их скрепления.

**Ключевые слова:** деталь сложной геометрической формы, деформация осевого вентилятора, Siemens NX, траектории армирования

**Для цитирования:** Поляков В. А. Схема армирования детали сложной геометрической формы на примере осевого вентилятора // Изв. СПбГЭТУ «ЛЭТИ». 2023. Т. 16, № 8. С. 36–41. doi: 10.32603/2071-8985-2023-16-8-36-41.

Original article

## Scheme of Reinforcement of a Part of a Complex Geometric Shape on the Example of an Axial Fan

**V. A. Polyakov**

Saint Petersburg Electrotechnical University, Saint Petersburg, Russia

vapoliakov@etu.ru

**Abstract.** The article discusses the design of a reinforcement scheme for a complex part, which was chosen as an axial fan. When designing a part or structure, the developer is faced with the task of determining which of the methods of manufacturing the part should be chosen, cast or prefabricated. For comparison, two cases of constructing a geometric shape are considered. In the first version, the fan is made of a single material without gluing; in the second, the design is made from the assembly of components. Comparing the stress and displacement patterns of the two fans, a difference was noticed in the attachment points of the blades to the impeller. In the second variant, due to the gluing of the blades, additional stresses arise at their base. Which in turn leads to additional reinforcement trajectories. It should also be taken into account that when manufacturing a part as an assembly unit, reinforcement trajectories must connect adjacent components to reduce stress at the points of their bonding.

**Keywords:** detail of complex geometric shape, deformation of an axial fan, Siemens NX, reinforcement trajectories

**For citation:** Polyakov V. A. Scheme of Reinforcement of a Part of a Complex Geometric Shape on the Example of an Axial Fan // LETI Transactions on Electrical Engineering & Computer Science. 2023. Vol. 16, no. 8. P. 36–41. doi: 10.32603/2071-8985-2023-16-8-36-41.

**Введение.** Предметы простой формы в своей основе имеют одну геометрическую фигуру, а предметы сложной формы – несколько. Более сложные объекты обычно называют комбинированными, имея в виду, что данный объект в своей основе представляет сумму геометрических тел [1]. К таким объектам можно отнести, например, токарный станок, двигатель постоянного тока и т. д. Моделирование детали сложной геометрической формы начинается с анализа геометрической формы – деталь мысленно представляется в виде простейших геометрических фигур. Представление сложной детали в виде комбинации простых тел помогает не только при создании 3D-модели.

В отличие от простых видов деформации (растяжение, сжатие, изгиб, сдвиг и т. п.), где смещение материала и напряжение элементов имеет линейный характер, сложная деформация представляет собой совокупность нескольких видов деформации. Основная проблема армирования сложных деталей заключается в том, что деформацию детали (конструкции) сложно описать аналитически, а траектории армирования зачастую представляют собой кривые, строящиеся на двух-трех точках [2].

Армирование сложной детали сводится к поиску траекторий армирования для сборочной единицы или конструкции, имеющих сложную геометрическую форму. Зачастую проблема построения модели заключается в том, что за внешними очертаниями предмета необходимо увидеть ее конструкцию, а затем построить форму предмета в виде упрощенных геометрических фигур, комбинируя их до получения изначальной детали [3].

**Постановка задачи.** При проектировании детали или конструкции перед разработчиком встает задача: определить, какой из способов производства детали стоит выбрать – литой или сборный. Учитывается много факторов эксплуатационная среда, материал, способ изготовления и т. п. Разработка схемы возможна в двух вариантах: схема армирования для изделия в целом или схема армирования для каждого компонента, входящего в состав изделия. Второй вариант не совсем удобен, поскольку при моделировании из отдельных компонентов собирается сборка, детали в которой имеют склейку друг с другом. Т. е. при проведении анализа на прочность могут возникать помехи в местах стыка деталей. С другой стороны, если деталь имеет большие размеры, то выгоднее производить отдельные компоненты конструкции.

В качестве объекта изучения сложной детали выбирается осевой вентилятор. Для сравнения будут рассмотрены два варианта построения геометрической формы. В первом форма выполнена из единого материала без склеек, во втором вентилятор будет представлен как конструкция из сборки компонентов. Модель симуляции для первого случая представлена на рис. 1.

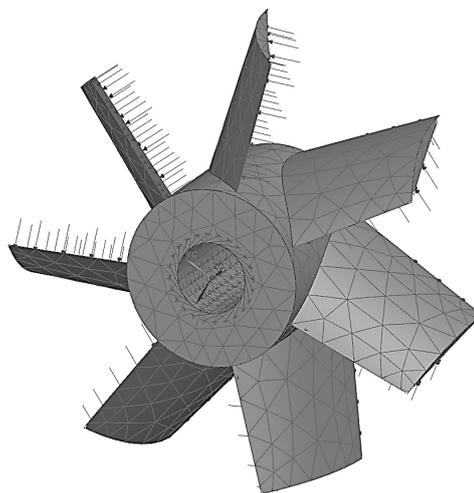


Рис. 1. Модель симуляции  
Fig. 1. Simulation model

Создав конечно-элементную модель и установив граничные условия, выполняют симуляцию. Для получения траекторий армирования необходимо проанализировать полученные результаты (рис. 2–3).

Результаты анализа смещения (рис. 2) показывают, что максимальное смещение 0.03 мм происходит на концах лопаток при их длине 25 мм, а напряжения (рис. 3) – что максимальное напряжение испытывают лопатки в месте стыка с рабочим колесом.

Максимальное главное напряжение означает, что напряжение действует на главную площадку, т. е. на площадку, на которой отсутствуют касательные напряжения. На главных площадках нормальные (главные) напряжения принимают свои экстремальные значения – максимум  $\sigma_1$ , минимум  $\sigma_3$  и минимакс  $\sigma_2$  ( $\sigma_1 \geq \sigma_2 \geq \sigma_3$ ) [4].

**Определение направления траекторий.** Отображение результатов в виде тензоров поможет определить результирующее направление векторов напряжения – именно в направлении векторов строится траектория укладки арматуры. Рассмотрим общую картину тензоров напряжения, а также каждый компонент нормали отдельно.

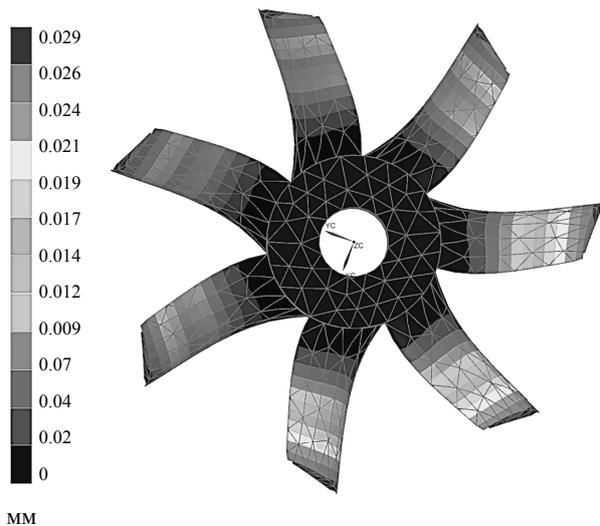


Рис. 2. Смещение материала вентилятора  
Fig. 2. Fan material displacement

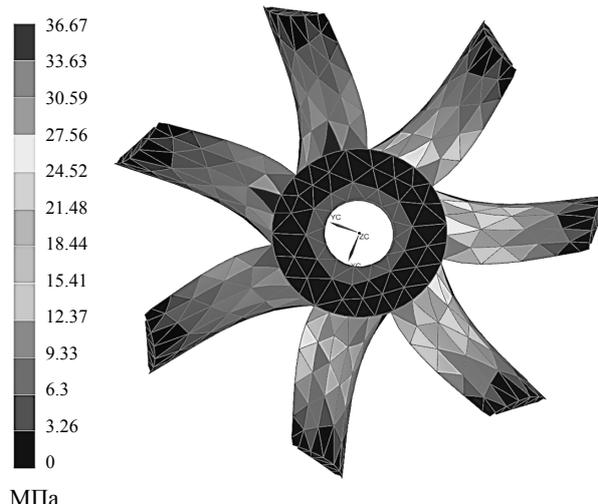


Рис. 3. Напряжение элементов вентилятора  
Fig. 3. Fan element tension

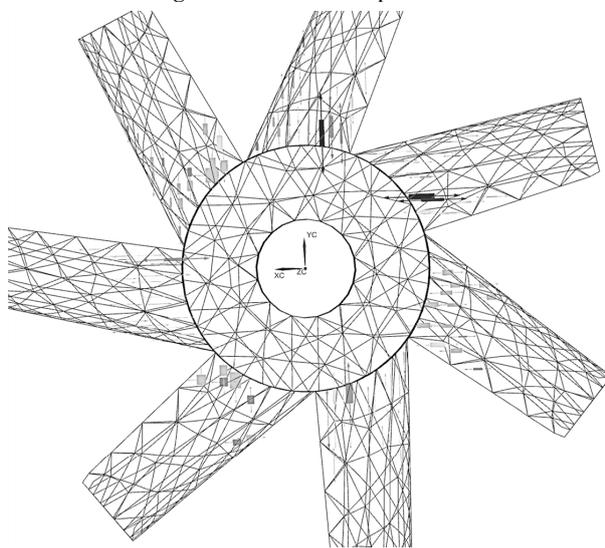


Рис. 4. Общая картина напряжений  
Fig. 4. Overall picture tension

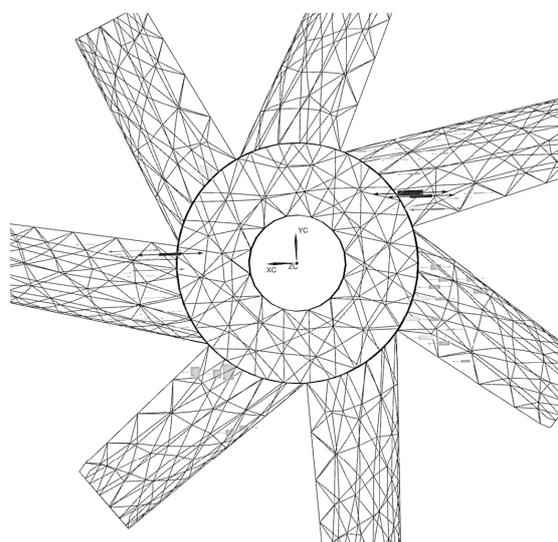


Рис. 5. Напряжения в направлении оси X  
Fig. 5. Tension in the direction of the X-axis

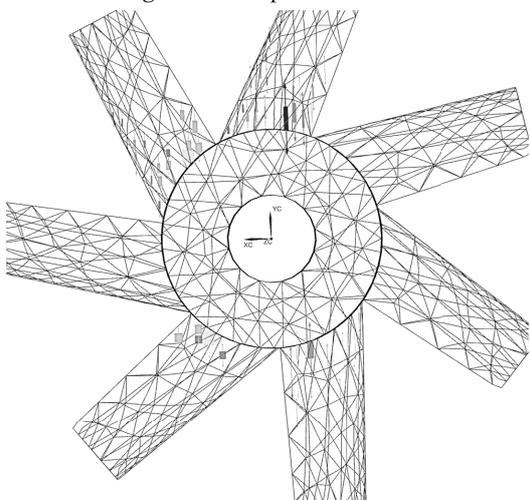


Рис. 6. Напряжения в направлении оси Y  
Fig. 6. Tension in the direction of the Y-axis

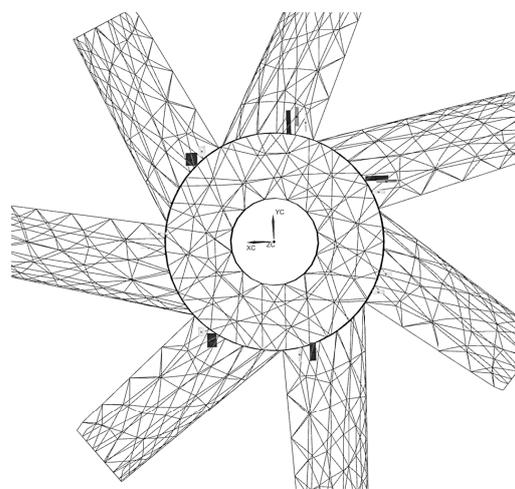


Рис. 7. Напряжения в направлении оси Z  
Fig. 7. Tension in the direction of the Z-axis

На рис. 4–7 показаны тензоры, направление которых будет использовано как направление траекторий армирования. Алгоритм поиска настроен на выбор элементов, напряжение которых выше 60 % максимального значения. Видно, что все тензоры находятся на лопатках, рассмотрим детальнее одну из них.

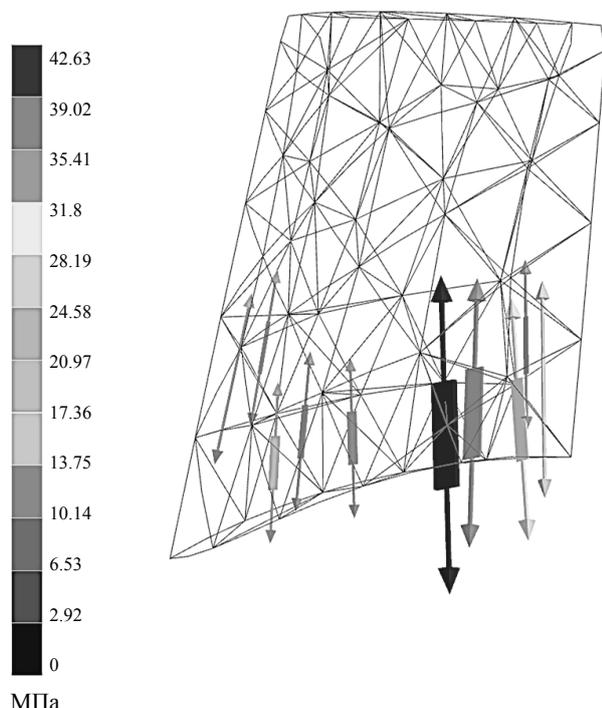


Рис. 8. Напряжения на лопатке вентилятора  
Fig. 8. Tension on the fan blade

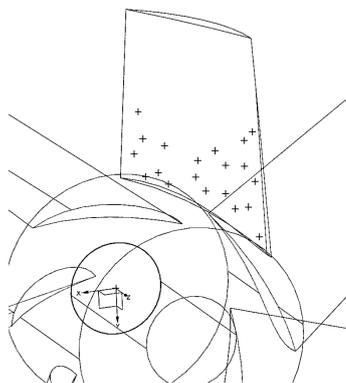


Рис. 9. Точки армирования на лопатке  
Fig. 9. Reinforcement points on the blade

На рис. 8 видно, что тензоры начинаются у основания и направлены вдоль лопатки. Следующим шагом для построения траекторий необходимо определить координаты выбранных элементов.

**Определение координат элементов.** Координаты будущей траектории определяются, исходя из того, где значения напряжений максимальны. Алгоритм поиска элементов генерирует таблицу, в которой выводит данные координат центроидов

(поскольку выбраны результаты по элементам) элементов, в которых напряжение больше 60 % от максимального. В таблице находится 20 точек центроидов. Для составления траекторий осталось только связать эти точки.

На рис. 9 отмечены точки на лопатке вентилятора, которые необходимо связать между собой, чтобы получить схему армирования.

**Составление схемы армирования.** При составлении траекторий возникает вопрос: какие из полученных точек необходимо связать между собой? Связываются близлежащие точки между собой так, чтобы было учтено направление тензоров (см. рис. 8).

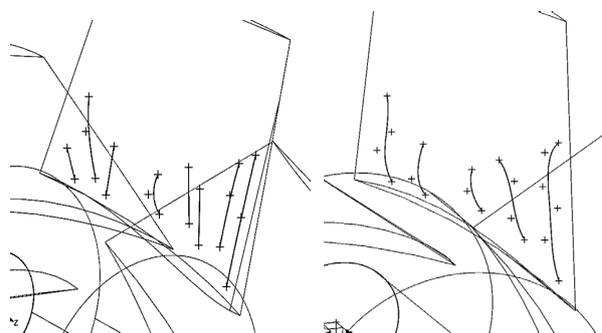


Рис. 10. Варианты траектории армирования  
Fig. 10. Reinforcement path options

В процессе составления траектории получилось, что возможны два варианта набора траекторий. На левой лопатке (рис. 10) сплайн траектории имеет максимальную степень кривизны 2 – значит, траектории можно представить прямыми линиями. На правой степень кривизны сплайна имеет степень 4.

Оба набора имеют право на существование. Выбор конкретного набора будет зависеть от поставленных задач. Если нет критерия массы, можно добавить дополнительную арматуру, с увеличением количества арматуры уменьшается и деформация.

**Армирование вентилятора в случае сборочной единицы.** В данном случае лопатки будут приклеены (поверхность к поверхности) к рабочему колесу, начальные условия действующих сил и сопряжений остаются не именными. Рабочая модель представлена на рис. 11.

Выполнив симуляцию, необходимо провести анализ полученных результатов смещения (рис. 12) и напряжения (рис. 13).

Необходимо определить траектории армирования для данной модели. Определяем направления траекторий и координаты укладки. Рассмотрим детально, как направлены тензоры на лопатке в данном случае.

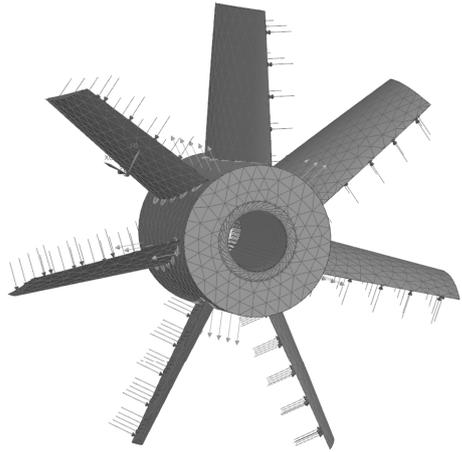


Рис. 11. Модель симуляции  
 Fig. 11. Simulation model

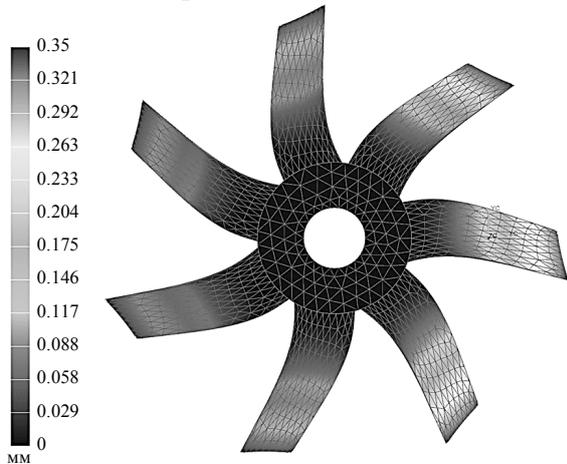


Рис. 12. Смещение материала вентилятора  
 Fig. 12. Fan material displacement

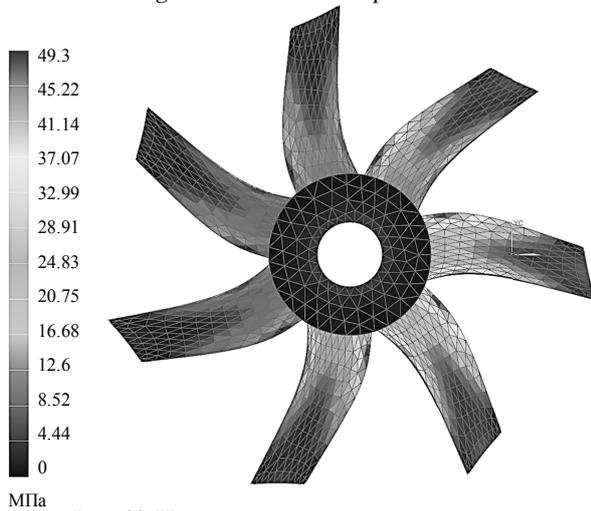


Рис. 13. Напряжение элементов вентилятора  
 Fig. 13. Fan element tension

На рис. 14 видно, что тензоры начинаются у основания и направлены вдоль лопатки аналогично рис. 8. Однако в данном случае тензоров больше. Это обусловлено тем, что лопатка приклеена к корпусу рабочего колеса, вследствие чего в месте склейки возникает дополнительное

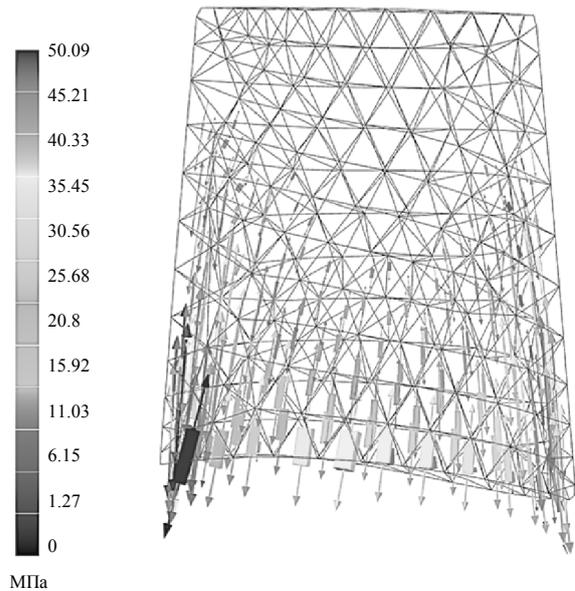


Рис. 14. Напряжения на лопатке вентилятора  
 Fig. 14. Tension on the fan blade

напряжение. В таком случае необходимо ответить на вопрос: «Как это повлияет на количество траекторий армирования?».

**Схема армирования для сборного вентилятора.** Построение точек и траекторий армирования в данном случае не отличается от предыдущего, однако точки находят не только на лопатке, но и на рабочем колесе. При построении траекторий это необходимо учитывать (рис. 15).

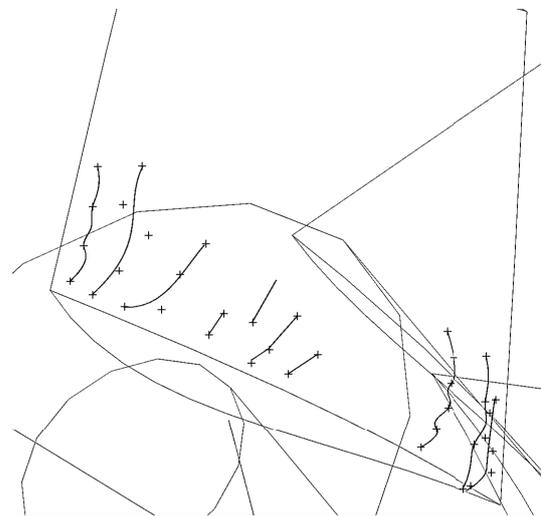


Рис. 15. Траектории армирования  
 Fig. 15. Reinforcement path options

В процессе составления траектории получилось так, что несколько точек находится на рабочем колесе. При соединении точек колеса и точек лопатки следует учитывать, что траектория должна лежать внутри или на поверхности, но никак не выходить за пределы исследуемой детали.

Можно также заметить, что существуют траектории, имеющие 1–2 точки. Возможны два варианта построения: продолжить построение в заданном направлении или увеличить количество отбора точек. Первый вариант – это простое решение, и если нет заданных ограничений и критериев, он вполне может применяться. Второй вариант несет в себе сложность дальнейшего построения. Например, при выборе следующей точки их может быть две, равноценные как по расстоянию до предыдущей, так и по значению напряжения. В таком случае, если рядом нет аналогичной траектории, чтобы включить в нее одну точку, выбирается средняя точка.

**Выводы.** В данной статье были рассмотрены два случая нахождения траекторий армирования для сложной детали. В качестве такой детали был выбран осевой вентилятор. Сравнивая картины

напряжения и смещения двух вентиляторов, можно заметить разницу в месте крепления лопаток к рабочему колесу. Во втором варианте из-за вклеивания лопаток в их основаниях возникают дополнительные напряжения, что ведет к дополнительным траекториям армирования. Если перед разработчиком стоит задача: используя как можно меньше арматуры, достичь заданного критерия напряжения, то способ изготовления детали как целого выглядит рациональным. Другой момент: если деталь имеет большие размеры или изготовление ее как целого невозможно, то необходимо увеличить критерий отбора количества точек для увеличения количества траекторий армирования. Стоит также учесть, что при изготовлении детали как сборочной единицы траектории армирования должны связывать соседние компоненты для снижения напряжения в местах их скрепления.

#### Список литературы

1. Сокольникова Н. М. Основы рисунка. М.: Изд-во «Титул». 1996 г. 32 с.
2. Жернаков В. С. Сопротивление материалов – механика материалов и конструкций / УГАТУ. Уфа, 2012. 495 с.

3. Черноуцкий И. Г. Методы оптимизации в теории управления. СПб.: Питер, 2004. 256 с.
4. Шимкович Д. Г. Расчет конструкций в NX/Nastran for Windows. М.: ДМК, 2003, 448 с.

#### Информация об авторе

**Поляков Владимир Александрович** – аспирант гр. 9943, ассистент кафедры робототехники и автоматизации производственных систем СПбГЭТУ «ЛЭТИ».  
E-mail: vapoliakov@etu.ru

#### References

1. Sokol'nikova N. M. Osnovy risunka. M.: Izd-vo «Titul». 1996 g. 32 s. (In Russ.).
2. Zhernakov V. S. Soprotivlenie materialov – mehanika materialov i konstrukcij / UGATU. Ufa, 2012. 495 s. (In Russ.).

3. Chernoruckij I. G. Metody optimizacii v teorii upravlenija. SPb.: Piter, 2004. 256 s. (In Russ.).
4. Shimkovich D. G. Raschet konstrukcij v NX/Nastran for Windows. M.: DMK, 2003, 448 s. (In Russ.).

#### Information about the author

**Vladimir A. Polyakov** – postgraduate student gr. 9943, assistant of the Department of Robotics and Automation of Production Systems, Saint Petersburg Electrotechnical University.  
E-mail: vapoliakov@etu.ru

Статья поступила в редакцию 27.04.2023; принята к публикации после рецензирования 21.07.2023; опубликована онлайн 19.10.2023.

Submitted 27.04.2023; accepted 21.07.2023; published online 19.10.2023.