

## Метод количественной оценки уровня интегральности композитных конструкций агрегатов планера вертолета в зависимости от их проектных параметров

© И.Д. Кисин<sup>1</sup>, О.А. Завалов<sup>2</sup>

<sup>1</sup> АО «Национальный центр вертолетостроения им. М.Л. Миля и Н.И. Камова», Люберцы, раб. пос. Томилино, 140070, Российская Федерация

<sup>2</sup>Московский авиационный институт (национальный исследовательский университет), Москва, 125993, Российская Федерация

*На примере проектируемого из полимерных композиционных материалов (ПКМ) цельнокомпозитного агрегата планера вертолета рассмотрены подход и комплекс мер, принятых для разработки метода количественной оценки уровня интегральности. Актуальность решения такой задачи можно обосновать следующими объективными обстоятельствами: общей тенденцией перехода от многодетальности к цельнокомпозитным интегральным конструкциям, с целью снижения массы агрегатов и недостаточной изученностью процесса интегральности и проработки как методической, так и расчетной базы для количественной оценки уровня интегральности. Анализ научных работ свидетельствует о том, что в настоящее время нет четких методик количественной оценки уровня интегральности, а разработчики при проектировании цельнокомпозитных агрегатов из ПКМ оценивают ее степень интегральности, опираясь в основном на собственный опыт. В соответствии с разработанным планом в качестве объекта исследования был выбран каркас фонаря кабины пилотов вертолета Ми-171А3. В развитие идей по применению ПКМ и конструкций интегрального типа в авиационной технике, изложенных в работах ученых и специалистов МАИ, ФГУП ВИАМ, КНИТУ–КАИ, а также с учетом ограничений, заложенных в техническом задании на проектирование выбранного объекта, были сформулированы цели и задачи, заключающиеся в выборе подхода для количественной оценки уровня интегральности, разработке расчетной базы, определении уровня интегральности изготовленного из ПКМ цельнокомпозитного каркаса фонаря кабины пилотов вертолета МИ-171А3.*

**Ключевые слова:** полимерные композиционные материалы, композиты, проектирование, агрегат, конструкции, уровень интегральности, расчетная модель, планер

**Введение.** При проработке подхода и комплекса мер, принимаемых с целью разработки метода количественной оценки уровня интегральности, учитывались направления развития отечественной вертолетной техники, включая расширение применения цельнокомпозитных интегральных конструкций из полимерных композиционных материалов (ПКМ), а также развитие компетенций в области проектирования.

Если для расширения использования ПКМ и цельнокомпозитных конструкций в вертолетостроении отечественные ученые [1–3] достаточно полно проработали вопросы научного и производственного характера, то проблемы, связанные с применением конструкций со

структурой интегрального типа и с количественной оценкой уровня интегральности, были разрешены в меньшей степени.

Сложившаяся ситуация, возможно, была обусловлена следующими причинами:

1) сложностью процесса формирования интегральной структуры на основе углепластиков, создаваемой одновременно с выбором материала, технологии и изготовлением конструкции из ПКМ;

2) интегральностью конструкции, являющейся неразъемным изделием, включающим несколько деталей, собранных из предварительно отвержденных элементов [4], количество которых определяет уровень интегральности и влияет на массу агрегата вертолета;

3) отсутствием современных методик и расчетной базы для количественной оценки уровня интегральности [5]. Анализ практик проектирования позволяет отметить, что в настоящее время разработчики при создании конструкций интегрального типа оценивают уровень интегральности, опираясь в основном на собственный опыт;

4) невозможностью прямого переноса результатов отдельных исследований [4–6], в которых прорабатывались вопросы интегральности, в практику проектирования цельнокомпозитных агрегатов из ПКМ планера вертолетов и количественной оценки уровня интегральности на начальных этапах проектирования;

5) недостаточным опытом исследования комплексной взаимосвязи уровня интегральности не только с массой агрегата, но и с другими проектными параметрами [3] в цельнокомпозитных конструкциях со структурой интегрального типа на основе углепластиков.

Вышеизложенные причины дают основания считать, что разработка метода количественной оценки уровня интегральности в качестве одной из составляющих развития компетенций проектирования является актуальной и востребованной как в научном, так и в прикладном плане.

В развитие идей, изложенных в работах [1–6], был подготовлен и реализован план разработки метода количественной оценки уровня интегральности на примере агрегатов вертолетов семейства МИ. В качестве объекта исследования был выбран имеющий структуру интегрального типа каркас фонаря кабины пилотов вертолета Ми-171А3. Этот фонарь изготавливается как цельнокомпозитная конструкция из препрега на основе эпоксидного связующего и углеродной ткани.

Цель работы — разработка метода количественной оценки уровня интегральности и выбор подхода для такой оценки, а также разработка расчетной базы и вычисление уровня интегральности цельнокомпозитного каркаса из ПКМ фонаря кабины пилотов вертолета МИ-171А3.

**Объект исследования.** В качестве объекта исследования был выбран каркас фонаря кабины пилотов проектируемого гражданского вертолета Ми-171А3, предназначенного для полетов на шельфовые буровые установки и проведения поисково-спасательных работ в сложных климатических условиях, в том числе и в Арктике. С учетом назначения вертолета и условий эксплуатации, в его конструкцию внедрены новые конструкторские решения, включая широкое применение композиционных материалов, а также усиленный фюзеляж, способный выдерживать перегрузки до 20g, Х-образный рулевой винт и несущий винт с лопастями из ПКМ усовершенствованной аэродинамической конструкции.

Исходя из назначения вертолета и требований к эксплуатации, в техническом задании на исследуемый каркас фонаря были указаны соответствующие значения проектных параметров, достичь которые необходимо для того, чтобы агрегат выполнял свои эксплуатационные функции в составе вертолета, за счет следующего:

- изготовления из ПКМ по действующей технологии автоклавного формования;
- обеспечения заданной трудоемкости производства, массы конструкции и прочностных свойств в заданных диапазонах;
- выполнения требований по минимальным деформациям при перевороте вертолета на крышу.

С целью выполнения требований технического задания для исследования была выбрана цельнокомпозитная конструкция агрегата на основе углепластиков со структурой интегрального типа, применение которой позволяет обеспечить существенное снижение массы с одновременным повышением жесткости, прочности и технологичности.

При проработке решений, касающихся массы агрегата, были учтены рекомендации специалистов ФГУП ВИАМ [4], допускающие снижение массы проектируемой конструкции из ПКМ в диапазоне 15...30 % по сравнению с аналогичной конструкцией вертолета-прототипа, детали которой изготавливают из металлических материалов.

Для сравнительного анализа в качестве агрегата-аналога был взят фонарь кабины пилотов среднего многоцелевого гражданского вертолета семейства Ми-171 (рис. 1), в конструкции которого использованы детали из магниевых сплавов, прессованные и гнутые профили, штампованные, фрезерованные детали и крепежные элементы по ОСТам и ГОСТам.

По результатам проведенного комплексного анализа условий эксплуатации агрегата-прототипа в составе конструкции планера вертолета и технологии изготовления каркаса фонаря для кабины пилотов гражданского вертолета Ми-171 был сформирован приведенный ниже перечень основных характеристик, включая трудоемкость изготовления:

Масса конструкции, кг .....	72
Количество деталей, ед. ....	250
Количество соединений, ед. ....	632
Количество крепежных изделий, ед. ....	1220
Количество металлических деталей, ед. ....	451
Количество композитных деталей, ед. ....	0



Рис. 1. Каркас фонаря кабины пилотов вертолета Ми-171

**Метод количественной оценки уровня интегральности.** Для того чтобы реализовать план работы и решить целевые задачи, разработка метода количественной оценки уровня интегральности была построена на принципах сравнительного анализа и включала в себя следующее:

- 3D-проектирование каркаса фонаря кабины пилотов из ПКМ;
- формирование основных характеристик в количественном виде, что позволит количественно оценить как состояние исследуемой конструкции, так и достижение поставленных целей;
- выбор подхода к исследованию проектируемого агрегата;
- разработку математической модели количественной оценки уровня интегральности для варианта зависимости от единичной основной характеристики в рамках данного исследования;
- исследование зависимости уровня интегральности конструкции от нескольких основных характеристик и выбора лучшего конструкторского решения.

В качестве представительных основных характеристик цельно-композитного каркаса фонаря кабины пилотов Ми-171А3 были выбраны масса, количество деталей, количество соединений, трудоемкость изготовления.

Поскольку каркасы фонаря кабины пилотов вертолета Ми-171А3 и фонаря кабины пилотов Ми-171 идентичны по своим функциям, но различаются технологией проектирования, применяемыми материалами, структурой и массой агрегатов, наиболее подходящим для оценки влияния данных факторов был выбран подход на основе сравнительного анализа уровня интегральности исследуемого объекта с прототипом.

С учетом особенностей интегральных конструкций из ПКМ, изложенных в [1–3], для разработки расчетной базы были заимствованы заключения о зависимости уровня интегральности от количества деталей в конструкции, а также об отсутствии методики для ее количественной оценки и выбора лучшего конструкторского решения при использовании интегральных конструкций на основе углепластиков. Руководствуясь данными заключениями как ориентирами, было принято допущение, что изменение степени интегральности от количества деталей можно рассматривать как переменную величину с заданными границами. Исходя из данного допущения, на основе метода интервалов [7] был установлен интервал (0; 1) рассмотрения изменения данных, где 0 соответствует критерию  $x_{\min}$  минимальной степени интегральности с большим количеством деталей, 1 — критерию  $x_{\max}$  максимальной степени интегральности с малым количеством деталей.

Используя метод нормирования критериев [8], можно определять их изменения в диапазоне от 0 до 1 по формуле

$$y = \frac{x - x_{\min}}{x_{\max} - x_{\min}}. \quad (1)$$

На основе изложенного была выведена формула для расчета уровня интегральности при оценке влияния единичной основной характеристики:

$$I_i = 1 - \frac{k_{\text{дет}i}}{k_{\text{дет max}}}, \quad (2)$$

где  $k_{\text{дет}i}$  — количество деталей исследуемого агрегата;  $k_{\text{дет max}}$  — количество деталей в агрегате-прототипе;

и формула для рассмотрения влияния нескольких основных характеристик:

$$I_i = \frac{I_{i1} + I_{i2} + \dots + I_{ij}}{k} \text{ при } 0 \leq I \leq 1, \quad (3)$$

где  $I_{ij}$  — уровень интегральности по определенной характеристике, проектируемого агрегата;  $k$  — общее количество учитываемых основных характеристик.

Используя формулу (2) для расчета уровня интегральности конструкции, а также результаты сравнительного анализа основных характеристик проектируемого цельнокомпозитного каркаса фонаря кабины пилотов (рис. 2) с основными характеристиками агрегата прототипа, был определен уровень интегральности, при котором достигается масса конструкции, вписывающаяся в допустимый диапазон массы, обозначенной в техническом задании, и отвечающая научным рекомендациям [4].



**Рис. 2.** Цельнокомпозитный каркас фонаря со структурой интегрального типа для кабины пилотов вертолета Ми-171А3

Расчет трудоемкости производства интегральной конструкции на основе углепластиков каркаса фонаря для кабины пилотов проводится с учетом результатов анализа изделия, производственных аспектов изготовления и формированием нормы посредством хронометражных наблюдений и путем расчета трудоемкости. Полученные данные по трудоемкости изготовления деталей из ПКМ на производстве включают в себя ремонт оправок, механическую обработку заполнителей, изготовление монолитных деталей и сэндвич-панелей.

Для расчета предварительной трудоемкости изготовления изделия вводится понятие коэффициента его габаритных размеров, рассчитываемого по формуле

$$K_{\text{разм}} = \frac{l + w + h}{3}, \quad (4)$$

где  $l$  — длина, мм;  $w$  — ширина, мм;  $h$  — высота, мм.

Затем с использованием данных по трудоемкости изготовления и известных габаритных размеров представленных деталей можно рассчитать коэффициент габаритных размеров на 1 нормо-час ( $K_{\text{разм/н-ч}}$ ). Далее с помощью отношения  $K_{\text{разм}}$  к  $K_{\text{разм/н-ч}}$  можно вычислить предварительную трудоемкость изготовления, с учетом проектно-конструкторских решений, фонаря разных конфигураций для кабины пилотов, чтобы определить оптимальный уровень интегральности конструкции.

Значения основных характеристик спроектированного каркаса фонаря для кабины пилотов со структурой интегрального вертолета Ми-171А3 по сравнению с характеристиками агрегата-прототипа у вертолета Ми-171 приведены ниже:

	Ми-171	Ми-171А3
Масса, кг .....	72	58
Количество деталей, ед. ....	250	23
Количество соединений, ед. ....	632	62
Уровень интегральности $I_1$ .....	—	0,668
Трудоемкость, н-ч .....	415	370

В качестве обоснования работоспособности рассмотренного метода количественной оценки уровня интегральности можно принять с учетом допущений приведенные выше сравнительные оценки значений основных характеристик.

В спроектированной конструкции снижена масса на 19,4 % (при допуске 15...30 %), уменьшено количество соединений в 10 раз, трудоемкость снижена на 10,8 %.

Анализируя значения полученных основных характеристик и опираясь на опыт применения ПКМ в вертолетостроении, можно на качественном уровне оценивать их влияние на ряд экономических составляющих процесса создания интегральной конструкции на начальных этапах проектирования, учитывая следующее:

— по представленным в ряде работ прогнозным оценкам, снижение стоимости изделий из углепластиков будет на уровне 0,5 % на каждый процент уменьшения массы, а снижение массы одного агрегата из ПКМ на 1 кг для стоимости самолетов составит 150 долл., для вертолетов — 300 долл. [11];

– уменьшение количества деталей ведет к сокращению количества соединений и крепежных элементов, что позволит снизить затраты на сборочные работы.

Таким образом, полученные результаты позволяют сделать вывод о том, что затраты на производство интегральной конструкции на основе углепластиков будут меньше, чем на производство аналогичной металлической конструкции, несмотря на высокую трудоемкость ручной выкладки препрегов.

**Заключение.** Поставленные в работе на примере каркаса фонаря из ПКМ для кабины пилотов вертолета Ми-171А3 задачи, включающие выбор подхода для количественной оценки уровня интегральности, разработку математической модели, расчет уровня интегральности цельнокомпозитной интегральной конструкции, выполнены.

Работоспособность разработанного метода количественной оценки уровня интегральности обосновывается достигнутым показателем снижения массы, который вписывается в допустимый диапазон, указанный в техническом задании, и соответствует научным рекомендациям. Полученные результаты работы рекомендуется использовать при разработке методологии определения лучшего конструкторского решения при проектировании агрегатов из ПКМ планера вертолета.

#### ЛИТЕРАТУРА

- [1] Тищенко М.Н., Некрасов А.В., Радин А.С. *Вертолеты: выбор параметров при проектировании*. Москва, Машиностроение, 1976, 368 с.
- [2] Завалов О.А., Михеев С.В., ред. *Конструкция вертолетов*. Москва, Изд-во МАИ, 2004, 316 с.
- [3] Башаров Е.А., Вагин А.Ю. Анализ применения композиционных материалов в конструкции планеров вертолетов. *Труды МАИ*, 2017, вып. 92. URL: [https://trudymai.ru/upload/iblock/3a2/basharov\\_vagin\\_rus.pdf](https://trudymai.ru/upload/iblock/3a2/basharov_vagin_rus.pdf) (дата обращения: 19.03.2024).
- [4] Тимошков П.Н., Хрульков А.В., Язвенко Л.Н. Композиционные материалы в автомобильной промышленности (обзор). *Труды ВИАМ*, 2017, вып. 6, с. 7. URL: [http://viam-works.ru/ru/articles?art\\_id=1117](http://viam-works.ru/ru/articles?art_id=1117) (дата обращения: 12.03.2024).
- [5] Батраков В.В., Халиулин В.И., Константинов Д.Ю. *Технология производства изделий из композитов. Трансферные методы формования*. Казань, КНИТУ–КАИ, 2018, 184 с.
- [6] Зобнин В.А. Разработка методики проектирования под заданную стоимость. *Сборник трудов VIII Форума Российского вертолетного общества. Секция «Проектирование и конструирование вертолетов»*. Москва, МАИ, 2008, с. 20.
- [7] Шарый С.П. *Интервальные алгебраические задачи и их численное решение: дис. ... д-ра физ.-мат. наук: 01.01.07*. Новосибирск, 2000, 266 с.
- [8] Старовойтов В.В., Голуб Ю.И. Нормализация данных в машинном обучении. *Информатика*, 2021, №3, с. 83–96.
- [9] Кисин И.Д. Разработка методики проектирования деталей ЛА из полимерных композиционных материалов. *«Гагаринские чтения–2020»: Сборник тезисов докладов*. Москва, МАИ, 2020, с. 67–68.

- URL: <https://gagarin.mai.ru/files/2020/abstracts2020.pdf> (дата обращения: 12.03.2024).
- [10] Кисин И.Д. Методика проектирования носовой части вертолета из ПКМ. *Сборник тезисов работ международной молодежной научной конференции XLVII Гагаринские чтения 2021*. Москва, Изд-во «Перо», 2021, с. 42–44. URL: <https://gagarin.mai.ru/files/2021/abstracts2021.pdf> (дата обращения: 12.03.2024).
- [11] Зеленский Э.С., Куперман А.М., Горбаткина Ю.А., Иванова-Мумжиева В.Г., Берлин А.А. Армированные пластики — современные конструкционные материалы. *Рос. хим. ж (Ж. Рос. хим. об-ва им.Д.И. Менделеева)*, 2001, № 2, с. 56–74.

Статья поступила в редакцию 23.05.2024

Ссылку на эту статью просим оформлять следующим образом:

Кисин И.Д., Завалов О.А. Метод количественной оценки уровня интегральности композитных конструкций агрегатов планера вертолета в зависимости от их проектных параметров. *Инженерный журнал: наука и инновации*, 2025, вып. 2. EDN ULJGRX

**Кисин Иван Дмитриевич** — аспирант кафедры 102 «Проектирование вертолетов», Московский авиационный институт (национальный исследовательский университет); инженер-конструктор 1-й категории, АО «Национальный центр вертолетостроения им. М.Л. Миля и Н.И. Камова». Область научных интересов: разработка конструкций агрегатов планера вертолетов из полимерных композиционных материалов. e-mail: [kisimid@mail.ru](mailto:kisimid@mail.ru)

**Завалов Олег Анатольевич** — канд. техн. наук, доцент, ведущий инженер кафедры 102 «Проектирование вертолетов», Московский авиационный институт (национальный исследовательский университет). Автор более 90 научных работ, из которых более 30 опубликовано в печати, а также двух статей в Энциклопедии «Машиностроение» (2004). Награжден медалью «В память 850-летия Москвы» (1997), Почетной грамотой Минобрнауки России (2001), почетным знаком «Почетный работник высшего профессионального образования РФ» (2006). Область научных интересов: исследование несущего винта с управляемой циркуляцией и его применение на винтокрылых летательных аппаратах; аэродинамические исследования системы «винт в кольце»; разработка методологии применения компьютерных технологий при проектировании винтокрылых летательных аппаратов; проектирование и разработка беспилотных вертолетов. e-mail: [zavalov\\_oa@mail.ru](mailto:zavalov_oa@mail.ru)

## Quantitative method in assessing the integrity level of composite structures in the helicopter airframe units depending on their design parameters

© I.D. Kisin<sup>1</sup>, O.A. Zavalov<sup>2</sup>

<sup>1</sup>National Helicopter Center “Mil and Kamov”,  
Lyubertsy, Tomilino, 140070, Russian Federation

<sup>2</sup>Moscow Aviation Institute (National Research University),  
Moscow, 125993, Russian Federation

*The paper uses an example of the designed polymer composite material (PCM) for all-composite helicopter airframe unit to consider an approach and a set of measures taken to develop a method for quantitative assessment of the integrity level. Relevance of solving this problem could be justified by the following objective circumstances: general trend in transition from the multi-part to the all-composite integral structures in order to reduce the unit mass and insufficient study of the integrality process and development of both the methodological and computation base in quantitative assessment of the integrity level. Analysis of the scientific papers shows that currently clear methods for quantitative assessment of the integrity level are missing, and the developers, when designing the PCM all-composite units, assess the integrity level based mainly on their own experience. In accordance with the developed work plan, the Mi-171A3 helicopter cockpit canopy frame is selected as the study object. Development of the ideas on application of the polymer composite materials and integral-type structures in the aviation engineering is based on the works of scientists and specialists from MAI, FSUE VIAM, KNITU – KAI, and also taking into account limitations laid down in technical specifications for design of the selected object. Goals and objectives are formulated, they consist in selecting an approach for quantitative assessment of the level of integrity, developing a computation base and determining the level of integrity of the all-composite frame of the MI-171A3 helicopter cockpit canopy made of the polymer composite materials.*

**Keywords:** polymer composite materials, composites, design, unit, structures, integrity level, computation calculation model, airframe

### REFERENCES

- [1] Tishchenko M.N., Nekrasov A.V., Radin A.S. *Vertolety: vybor parametrov pri proektirovanii* [Helicopters: selection of parameters during design]. Moscow, Mashinostroenie Publ., 1976, 368 p.
- [2] Zavalov O.A., Mikheev S.V., eds. *Konstruktsiya vertoletov* [Helicopter Design]. Moscow, MAI Publ., 2004, 316 p.
- [3] Basharov E.A., Vagin A.Yu. Analiz primeneniya kompozitsionnykh materialov v konstruktsii vertoletov [Analysis of polymeric composite materials application for helicopter airframe design]. *Trudy MAI*, issue 92. Available at: [https://trudymai.ru/upload/iblock/3a2/basharov\\_vagin\\_rus.pdf](https://trudymai.ru/upload/iblock/3a2/basharov_vagin_rus.pdf) (accessed March 19, 2024).
- [4] Timoshkov P.N., Khrulkov A.V., Yazvenko L.N. Kompozitsionnye materialy v avtomobilnoy promyshlennosti (obzor) [Composite materials in automotive industry (review)]. *Trudy VIAM — Proceedings of VIAM*, 2017, issue 6, p. 7. Available at: [http://viam-works.ru/ru/articles?art\\_id=1117](http://viam-works.ru/ru/articles?art_id=1117) (accessed March 12, 2024).

- [5] Batrakov V.V., Khaliulin V.I., Konstantinov D.Yu. *Tekhnologiya proizvodstva izdeliy iz kompozitov. Transferynye metody formirovaniya* [Technology of manufacturing products from composites. Transfer molding method]. Kazan, KNITU–KAI Publ., 2018, 184 p.
- [6] Zobnin V.A. Razrabotka metodiki proektirovaniya pod zadannuyu stoimost [Development of a design methodology for a given cost]. In: *Sbornik trudov VIII Foruma Rossiyskogo vertoletnogo obshchestva. Sektsiya "Proektirovanie i konstruirovaniye vertoletov"* [Collection of works of the VIII Forum of the Russian Helicopter Society. Section "Design and construction of helicopters"]. Moscow, MAI Publ., 2008, p. 20.
- [7] Sharyi S.P. *Integralnye algebraicheskie zadachi i ikh chislennoe reshenie Dis. ... d-ra fiz.-mat. nauk: 01.01.07* [Interval algebraic problems and their numerical solution. Diss. ... Dr. Sci. (Phys.-Math.): 01.01.07]. Novosibirsk, 2000, 266 p.
- [8] Starovoytov V.V., Golub Yu.I. Normalizatsiya dannyykh v mashinnom obuchenii [Data normalization in machine learning]. *Informatika — Informatics*, 2021, no. 3, pp. 83–96.
- [9] Kisin I.D. Razrabotka metodiki proektirovaniya detaley LA iz polimernyykh kompozitsionnykh materialov [Development of a methodology for designing aircraft parts from the polymer composite materials]. In: *"Gagarinskie chteniya-2020": Sbornik tezisov dokladov* ["Gagarin Readings – 2020": Collection of abstracts of reports]. Moscow, MAI Publ., 2020, pp. 67–68. Available at: <https://gagarin.mai.ru/files/2020/abstracts2020.pdf> (accessed March 12, 2024).
- [10] Kisin I.D. Metodologiya proektirovaniya nosovoy chasti vertoleta iz PKM [Methodology for designing the nose section of a helicopter from the polymer composite materials]. In: *Sbornik tezisov rabot Mezhdunarodnoy molodezhnoy nauchnoy konferentsii XLVII Gagarinskie chteniya 2021* [Collection of abstracts of the International Youth Scientific Conference XLVII Gagarin Readings 2021]. Moscow, Pero Publ., 2021. pp. 42–44. Available at: <https://gagarin.mai.ru/files/2021/abstracts2021.pdf> (accessed March 12, 2024).
- [11] Zelensky E.S., Kuperman A.M., Gorbatkina Yu.A., Ivanova-Mumzhiyeva V.G., Berlin A.A. Armirovannyye plastiki – sovremennyye konstruksionnyye materialy [Reinforced plastics as modern construction materials]. *Ros. khim. zh. (Zh. Ros. zim. ob-va im. D.I. Mendeleeva) — Russian Journal of General Chemistry*, 2001, no. 2, pp. 56–74.

**Kisin I.D.**, Postgraduate, Department 102 "Helicopter Design", Moscow Aviation Institute (National Research University); Design Engineer of the 1st category, National Helicopter Center "Mil and Kamov". Scientific interests: design of the helicopter airframe units from the polymer composite materials. e-mail: [kisid@mail.ru](mailto:kisid@mail.ru)

**Zavalov O.A.**, Cand. Sc. (Eng.), Associate Professor, Leading Engineer, Department 102 "Helicopter Design", Moscow Aviation Institute (National Research University); author of more than 90 scientific papers, more than 30 of them were published. Also, he is the author of two articles in the Mechanical Engineering Encyclopedia (2004). Awarded the medal "In Memory of the 850th Anniversary of Moscow" (1997), Certificate of Honor from the Ministry of Education of Russia (2001), honorary badge "Honorary Worker of Higher Professional Education of the Russian Federation" (2006). Scientific interests: study of a main rotor with controlled circulation and its application in the rotary-wing aircraft, aerodynamic studies of the "rotor in ring" system, development of a methodology for the use of computer technology in design of the rotary-wing aircraft, design and development of the unmanned helicopters. e-mail: [zavalov\\_oa@mail.ru](mailto:zavalov_oa@mail.ru)