

Научная статья / Original research article

УДК 622.276.5

DOI: <https://doi.org/10.31660/0445-0108-2026-1-85-97>

EDN: VQKXWS



### Использование композитных материалов в элементах балансирного привода ШСНУ

Г. И. Бикбулатова, С. Л. Сабанов, Т. А. Ганиев, И. А. Меньшиков,  
А. В. Малышева\*

Альметьевский государственный технологический университет «Высшая школа  
нефти», Альметьевск, Российская Федерация

\*[nastyamalysheva9566@gmail.com](mailto:nastyamalysheva9566@gmail.com)

**Аннотация.** В статье рассматривается возможность применения композитных материалов в конструкции балансирного привода штанговых скважинных насосных установок. Отмечается, что эти элементы традиционно изготавливаются из стали с высокой прочностью и надежностью. Однако современные требования к энергоэффективности и снижению эксплуатационных затрат побуждают к активному поиску альтернативных решений. Одно из них — использование композитных материалов, обладающих рядом значительных преимуществ: низкой плотностью, высокой удельной прочностью, коррозионной стойкостью и устойчивостью к агрессивным средам. В качестве конструктивных решения предложены гибридные элементы — траверса, шатун и балансир, выполненные из композитных профилей с металлическими вставками в зонах креплений, соединенные с помощью клееболтовых соединений. Такой подход обеспечивает как надежность соединений, так и возможность взаимодействия материалов с различными физико-механическими свойствами. Особое внимание уделено конструктивным особенностям металло-композитных узлов, их потенциальной стойкости к изгибающим и растягивающим нагрузкам. Существуют и связанные с применением композитов ограничения: высокая стоимость, чувствительность к температурным воздействиям, сложности ремонта. Тем не менее сочетание композитных и металлических компонентов считается перспективным направлением развития, способным повысить эффективность и долговечность оборудования в нефтедобывающей отрасли. Статья представляет собой обзорный этап проектирования без расчетной части.

**Ключевые слова:** балансирный привод ШСНУ, станок-качалка, композитные материалы, гибридная конструкция, клееболтовое соединение

**Для цитирования:** Бикбулатова Г. И., Сабанов С. Л., Ганиев Т. А., Меньшиков И. А., Малышева А. В. Использование композитных материалов в элементах балансирного привода ШСНУ. *Известия высших учебных заведений. Нефть и газ.* 2026;30(1):85–97. <https://doi.org/10.31660/0445-0108-2026-1-85-97> EDN: VQKXWS

### The use of composite materials in the elements of the beam-balanced pumping unit

Golia I. Bikbulatova, Sergey L. Sabanov, Tair A. Ganiev, Ivan A. Menshikov,  
Anastasia V. Malysheva\*

**Abstract.** The article discusses the potential of using composite materials in the construction of the beam-balanced pumping unit. Traditionally, these constructions are made from steel with high strength and reliability. However, modern requirements for energy efficiency and cost reduction encourage to active search for alternative solutions. One such solution is the use of composite materials with several significant advantages: low density, high specific strength, corrosion resistance, and the ability to withstand aggressive environments. As an optimal solution, the authors of this article suggest hybrid elements — traverse, connecting rod, and beam. These elements are made from composite profiles with metal inserts in the fastening zones and connected using bonded-bolted joints. Use of hybrid elements ensures both reliable connections and the material's opportunity to interact with different physical and mechanical properties. The article particularly focuses on construction features of metal-composite joints and their potential resistance to bending and tensile loads. The authors further enumerate limitations to the use of composites: high cost, sensitivity to temperature effects, and complexity of repairs. Nevertheless, they consider the combination of composite and metal components as a promising line of development that may enhance the efficiency and durability of equipment in the oil production industry. The article serves as a review of the design phase without a detailed calculation section.

**Keywords:** the beam-balanced pumping unit, rocking machine, composite materials, hybrid construction, bonded-bolted joints

**For citation:** Bikbulatova G. I., Sabanov S. L., Ganiev T. A., Menshikov I. A., Malysheva A. V. The use of composite materials in the elements of the beam-balanced pumping unit. *Oil and Gas Studies*. 2026;30(1):85–97 (In Russ.) <https://doi.org/10.31660/0445-0108-2026-1-85-97>

## Введение

В современной нефтедобывающей отрасли особое внимание уделяется повышению эффективности технологического оборудования, сокращению эксплуатационных затрат и увеличению срока службы основных узлов. Одним из таких ключевых компонентов являются балансирующие приводы штанговых скважинных насосных установок (ШСНУ), обеспечивающие преобразование вращательного движения электродвигателя в возвратно-поступательное движение штанг, необходимое для подъема нефти на поверхность. Традиционно эти приводы изготавливаются из стали, поскольку она имеет высокую прочность, доступна и технологии ее изготовления отработаны. Однако у стальных конструкций есть ряд ограничений, таких как значительная масса и подверженность коррозии при воздействии агрессивных сред, характерных для условий нефтедобычи.

В условиях ужесточающихся требований к энергоэффективности и надежности, а также в стремлении к снижению эксплуатационных издержек возрастает интерес к применению новых материалов, в том числе композитов. Композитные материалы представляют собой сочетание армирующих волокон (углеродных, стеклянных или арамидных) и полимерной матрицы (например, эпоксидной смолы), что обеспечивает высокие прочностные характеристики при значительно меньшей массе [1].

Использование таких материалов в конструкции элементов ШСНУ открывает перспективы для оптимизации их массы, повышения коррозионной стойкости и увеличения ресурса эксплуатации [2]. Особенно актуально исследование возможности применения композитов в наиболее нагруженных элементах привода, где важно не только снизить вес конструкции, но и обеспечить необходимую прочность и надежность соединений, в том числе за счет внедрения клееболтовых технологий.

#### **Объект и методы исследования**

Объектом настоящего исследования выступают три элемента балансирующего привода ШСНУ — траверса, шатун и балансир, который наиболее нагружен. Именно эти элементы входят в состав преобразующего механизма и осуществляют передачу усилия от редуктора и кривошипно-шатунного механизма к головке балансира, а затем — к колонне штанг, обеспечивая эффективную работу насосной установки. На них приходится основные растягивающие и изгибающие нагрузки, обусловленные характером возвратно-поступательного движения и переменной нагрузкой в процессе эксплуатации. Их надежность и прочность критически важны для общей эффективности и ресурса работы всей установки [3].

В рамках исследования изучаются возможность замены традиционно применяемых стальных конструкций на более современные и технологичные элементы из композиционных материалов. Основное внимание уделено анализу перспективности применения гибридных металло-композитных решений с использованием клееболтовых соединений [4]. Такие конструкции предусматривают использование композитных профилей в качестве несущей основы, а также внедрение металлических вставок в зонах соединения, что позволяет объединить достоинства обоих типов материалов: легкость и коррозионную стойкость композитов с прочностными характеристиками металлов на участках соединений.

Методологической основой исследования служит комплексный сравнительный анализ характеристик конструкций из различных материалов. Анализ включает оценку прочности, жесткости, устойчивости к изгибающим и растягивающим нагрузкам, а также работоспособности узлов в условиях вибрационного и ударного воздействия, типичных для работы ШСНУ. Рассматриваются как геометрические параметры композитных профилей, так и свойства применяемых армирующих волокон (углеродных, стеклянных) и полимерной матрицы (эпоксидной смолы), определяющие основные физико-механические показатели материала [5]. Анализируются рабочие условия, в том числе температурные воздействия, химическая агрессивность среды и цикличность нагрузки, с целью выявления ограничений применения композитов в нефтедобывающем оборудовании.

В рамках проектирования предложены новые конструкции траверсы, шатуна и балансира, предусматривающие использование комбинации металла и композита. Как показали аналитические расчеты и

моделирование, простая замена материала без изменения конфигурации элементов привела бы к недостаточной прочности и надежности.

Траверса реализована в виде сборного элемента из двух параллельных композитных швеллеров с интеграцией стальных вставок на концах и в центральной зоне. Такая конфигурация обеспечивает достаточную жесткость и устойчивость конструкции при минимальной массе.

Шатун выполнен из композитного двутаврового профиля с металлическими наконечниками для надежного сопряжения с кривошипом и траверсой.

Балансир выполнен из композитного двутавра, на концевых участках и на месте соединения со стойкой двутавр снабжен двумя металлическими швеллерами, размещенными на проемах между полками. Длина сопрягаемого с двутавром участка швеллера не менее 1,5 высоты двутавра.

Для обеспечения надежности и долговечности соединений между разнородными материалами применена технология клееболтовых соединений, сочетающая преимущества клеевых композиций и механического крепежа. Это решение позволило обеспечить равномерное распределение напряжений в зонах сопряжения и повысить общую надежность конструкции.

### **Результаты**

Применение композитных материалов в конструкции траверсы, шатуна и балансира привода ШСНУ — эффективное и перспективное решение, способствующее модернизации нефтедобывающего оборудования. Одним из важнейших факторов, обуславливающих актуальность данного подхода, является необходимость повышения энергоэффективности, увеличения срока службы элементов и сокращения эксплуатационных расходов. Из анализа конструкций следует, что использование композитов открывает значительный потенциал для улучшения характеристик приводного механизма без потери прочности или надежности.

Перечислим ключевые преимущества задействованных в исследовании композитных материалов.

Во-первых, это низкая плотность. У композитов, используемых в конструкции привода, она в 3–5 раз ниже, чем у традиционной конструкционной стали. Благодаря этому достигается значительное снижение массы конструкции, что особенно важно для подвижных частей оборудования, находящихся в постоянном рабочем цикле. Снижение массы, в свою очередь, уменьшает инерционные нагрузки на вращающиеся и поступательно движущиеся элементы, способствует снижению износа и позволяет облегчить монтаж и демонтаж узлов.

Во-вторых, стоит выделить высокую удельную прочность — соотношение прочности к массе. Несмотря на меньший вес, композитные материалы демонстрируют прочностные характеристики, сопоставимые с металлическими аналогами. В ряде случаев механические свойства, такие как предел прочности на растяжение или изгиб, превышают аналогичные

показатели для стали. Это делает возможным применение композитов в нагруженных участках, где ранее использовались исключительно металлические элементы.

Следующее значительное преимущество — коррозионная стойкость. Композиты устойчивы к воздействию агрессивных сред, характерных для нефтедобычи, таких как сероводород, соленая вода, кислотные или щелочные растворы. Это свойство позволяет существенно увеличить срок службы элементов конструкции в условиях повышенной влажности и химической агрессии, снижая потребность в частом обслуживании, ремонте или замене деталей.

Немаловажным преимуществом выступает снижение энергопотребления. Уменьшение массы элементов приводит к снижению нагрузки на электродвигатель и механические части привода, благодаря чему возможно оптимизировать потребление электроэнергии и повысить общую энергоэффективность установки. В долгосрочной перспективе это может серьезно повлиять на экономические показатели эксплуатации оборудования.

Тем не менее, несмотря на очевидные достоинства, композитные материалы обладают рядом ограничений, которые необходимо учитывать при проектировании и эксплуатации. Один из основных недостатков — высокая стоимость производства, обусловленная сложностью технологий и стоимостью исходного сырья, в том числе армирующих волокон и полимерных смол [6]. Кроме того, у композитов ограниченная ремонтпригодность и термостойкость — при перегреве возможно снижение механических характеристик, а повреждение структуры нередко требует полной замены элемента. Эти факторы предъявляют повышенные требования к проектировочным расчетам, выбору режима эксплуатации и организации технического обслуживания.

#### *Стеклопластиковый узел без использования металла*

Шатун испытывает напряжения от растяжения-сжатия и изгиба. Исходя из известных свойств конструкционной стали (Сталь 3сп, СЧ 32-14) и стеклопластика проведем сравнительный анализ габаритов и удельной массы узлов.

#### *Шатун, испытывающий растяжение и сжатие*

При динамическом характере нагружения узлов допускаемые напряжения на растяжение и сжатие вдоль волокон составляют

$$[\sigma_{ор}] = m_{дин} \cdot \frac{\sigma_{ор}}{[n]} = 0,35 \cdot \frac{320}{1,8} = 62 \text{ МПа.}$$

Допускаемые напряжения шатуна и ног стоек, изготовленных из стали Ст3сп, составляют

$$[\sigma_c] = \frac{\sigma_{т}}{[n]} = \frac{245}{1,32} = 186 \text{ МПа.}$$

Отношение площадей сечений узлов из стали и композита равно обратному отношению допускаемых напряжений

$$\frac{F_c}{F_k} = \frac{[\sigma_{op}]}{[\sigma_c]},$$

где  $F_c, F_k$  — площади сечения узла из стали и композита.

Определим относительную площадь сечения узла из композита:

$$F_k = F_c \cdot \frac{[\sigma_c]}{[\sigma_{op}]} = F_c \cdot \frac{186}{62} = 3,0 \cdot F_c.$$

Отношение массы погонного метра узлов из композита и стали составит

$$K_q = \frac{F_k \cdot \rho_k}{F_c \cdot \rho_c} = \frac{3,0 \cdot F_c \cdot 2}{F_c \cdot 7,85} = \frac{3,0 \cdot 2}{7,85} = 0,76,$$

где  $\rho_c = 7,85 \frac{\text{г}}{\text{см}^3}$ ,  $\rho_k = 2 \frac{\text{г}}{\text{см}^3}$  — плотность стали и композита.

Выполнение шатуна композита может привести к снижению массы в 1,32 раза при условии непревышения допускаемых габаритов.

Величина деформации узлов при растяжении и сжатии прямо пропорциональна напряжению и обратно пропорциональна модулю упругости.

Относительная по стали деформация композита

$$K_d = \frac{[\sigma_{op}] \cdot E_c}{[\sigma_c] \cdot E_k} = \frac{62 \cdot 2,1}{186 \cdot 0,23} = 3,04.$$

Фактическая деформация узлов при выполнении их из композита увеличивается в 3,04 раза. Вследствие этого работа упругих сил также возрастает в 3 раза.

#### *Многослойный узел станка-качалки композит-сталь*

Рассмотрим варианты многослойной конструкции узла, в которых средняя часть узла выполнена в виде многослойной конструкции с чередованием металлических слоев и слоев из композита.

При совместной деформации слоев при растяжении — сжатии в стали и композите возникают следующие напряжения:

$$\sigma_c = \varepsilon \cdot E_c \quad \sigma_k = \varepsilon \cdot E_k,$$

где  $E_{kp}$ ;  $E_c$  — модули упругости композита на растяжение и стали;  $\varepsilon$  — относительная деформация стали и композита.

При приложении внешней нагрузки  $T_0$  она воспринимается сечениями металла и композита

$$T_0 = \sigma_c \cdot F_c + \sigma_k \cdot F_k = \varepsilon \cdot E_c \cdot F_c + \varepsilon \cdot E_{kp} \cdot F_k = \varepsilon \cdot (E_c \cdot F_c + E_{kp} \cdot F_k),$$

где  $F_{kc}$ ;  $F_{cc}$  — площади сечений по композиту и стали.

Поскольку отношение модулей упругости стали и композита составляет  $\frac{E_c}{E_k} = \frac{2,1 \cdot 10^5}{0,2310^5} = 9,1$ , то и напряжение в слоях композита будет в 9,1 раз меньше, то есть композитный материал будет сильно недогружен.

*Шатун, испытывающий растяжение — сжатие*

Максимальные напряжения в слоях композита

$$\sigma_{кр} = \sigma_c \cdot \frac{E_{кр}}{E_c} = \sigma_c \cdot \frac{0,23 \cdot 10^5}{2,1 \cdot 10^5} = 0,11 \sigma_c.$$

Для узлов станка-качалки, изготовленных из стали 3сп, допускаемые максимальные напряжения составляют около 186 МПа. Тогда максимальные напряжения в слоях композита составят  $\sigma_{кр} = 20$  МПа.

*Балансир и траверса, испытывающие изгиб*

При одинаковой высоте сечений узла из стали и композита сопрягаемые между собой слои из металла и композита деформируются одновременно.

Учитывая, что модуль упругости композита на изгиб составляет  $E_{ки} = 0,12 \cdot 10^5$  МПа, напряжения в слоях композита при изгибе составят

$$\sigma_{ки} = \sigma_c \cdot \frac{E_{ки}}{E_c} = \sigma_c \cdot \frac{0,12 \cdot 10^5}{2,1 \cdot 10^5} = 0,057 \sigma_c.$$

Таким образом, в результате анализа различных конструкций составных узлов из композита и металла можно сделать следующие выводы:

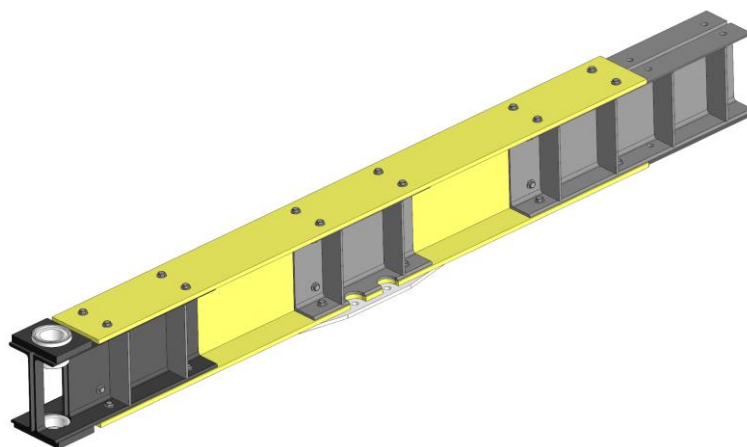
- 1) выполнение узлов составными по всей их длине приводит к существенному увеличению массы при значительной недогруженности композитного слоя;
- 2) с целью ограничения массы узлов и рационального их нагружения основную (среднюю) часть узлов целесообразно выполнить из композита;
- 3) деформация узлов из композита по сравнению со стальными увеличивается приблизительно в 3 раза при условии рациональной нагрузки узлов.

Для подтверждения целесообразности применения композитов в элементах балансирного привода была предложена модифицированная конструкция, выполненная из металло-композитных элементов.

Конструкция металло-композитного балансира (рис. 1) представляет собой композитные двутавры размерами 400×250×20 мм. На концевых участках и в местах соединения со стойкой двутавр был усилен двумя металлическими швеллерами размерами 360×110×12,6×7,5 мм, размещенными на проемах между полками. Соединение двутавра с швеллерами выполнено клееболтовым методом с использованием болтов М16×1,5, что обеспечивает высокую прочность соединений.

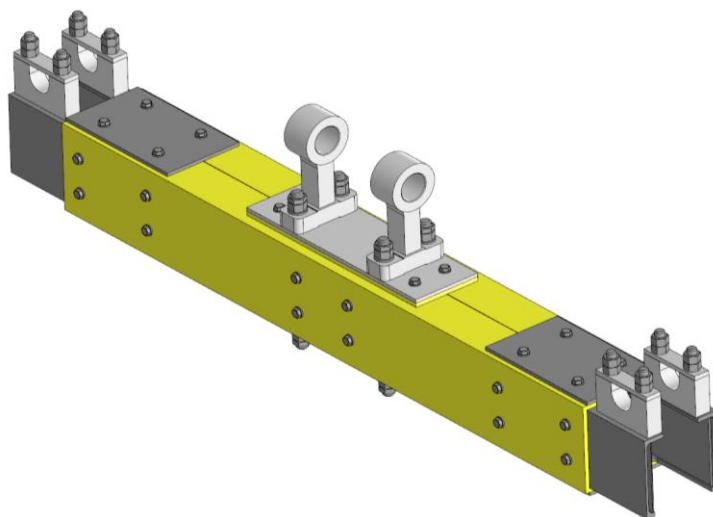
Дополнительно переднее и заднее плечо балансира в средней части были снабжены участками швеллера длиной 80–100 мм для повышения устойчивости полок. В зоне расположения болтов между полками

швеллеров были установлены косынки из листа, что дополнительно повысило прочность соединений и устойчивость конструкции к динамическим нагрузкам.



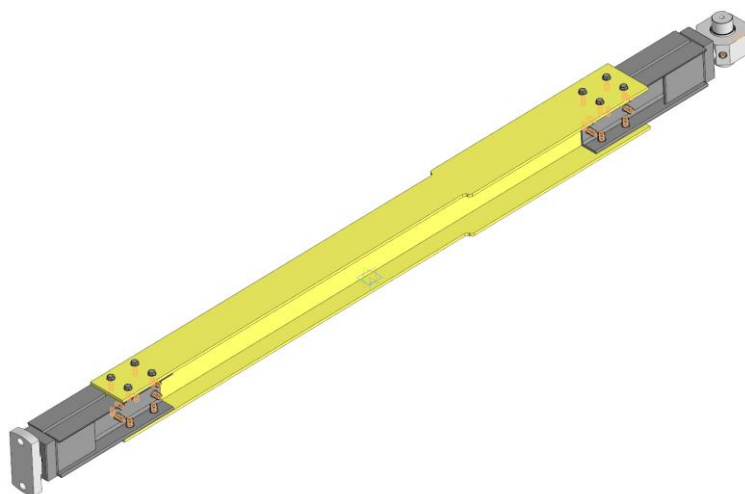
*Рис. 1. Балансир металло-композитный*  
*Fig. 1. A metal-composite balance-beam*

Траверса (рис. 2) представляет собой сборную конструкцию из спаренных композитных швеллеров с интегрированными вставками из стального швеллера, расположенными по концам и в средней части. Такие вставки обеспечивают жесткое и прочное соединение с другими элементами установки. Расчеты показали, что полученная конструкция удовлетворяет требованиям по прочности и жесткости, демонстрируя устойчивость к изгибу и касательным напряжениям.



*Рис. 2. Траверса металло-композитная*  
*Fig. 2. A metal-composite traverse*

Аналогичная методика применена при разработке шатуна (рис. 3). Его основная часть выполнена из композитного двутавра, а по концам установлены вставки из стали, предназначенные для соединения с кривошипом и траверсой. Расчетные исследования подтвердили, что такая конструкция выдерживает растягивающие нагрузки, изменяющиеся в зависимости от положения головки балансира. Были учтены различные рабочие положения и режимы работы, характерные для циклов нагружения в условиях эксплуатации ШСНУ.



*Рис. 3. Шатун металло-композитный*  
*Fig. 3. A metal-composite connecting rod*

Для обеспечения надежности соединения металлических и композитных элементов применены клеebolтовые соединения, сочетающие преимущества клеевых составов и механических креплений. Такая компоновка обеспечивает равномерное распределение напряжений, минимизирует риск разрушения в местах стыков и позволяет компенсировать разницу в тепловом расширении между материалами. Кроме того, клеebolтовые соединения демонстрируют устойчивость к вибрационным и ударным нагрузкам, что критически важно для непрерывной работы оборудования в тяжелых условиях.

В результате проведенного анализа можно утверждать, что использование композитных материалов в конструкции траверсы, шатуна и балансира привода ШСНУ позволяет одновременно улучшить эксплуатационные характеристики оборудования, снизить его массу и энергопотребление, повысить долговечность при работе в агрессивных средах. Несмотря на наличие определенных технологических ограничений, предложенное решение выступает перспективным направлением развития нефтедобывающих установок с акцентом на инновационные и ресурсосберегающие технологии.

## **Выводы**

Проведенное исследование подтвердило высокую перспективность применения композитных материалов в конструкции элементов балансирного привода штанговых скважинных насосных установок. Предложенные варианты гибридных конструкций, выполненных с использованием композитных профилей и металлических вставок, продемонстрировали высокие показатели прочности, жесткости и надежности, благодаря чему можно рассматривать их как эффективную альтернативу традиционным стальным аналогам.

Модернизированная траверса из спаренных композитных швеллеров с интегрированными металлическими вставками демонстрирует устойчивость к изгибающим и касательным нагрузкам, возникающим в процессе работы механизма. Такая конструкция позволяет достичь оптимального распределения напряжений, при этом значительно снижая массу элемента, что особенно важно для повышения энергоэффективности и уменьшения износа сопряженных деталей. Аналогично композитный шатун с металлическими концевыми вставками показывает высокую устойчивость к переменным растягивающим нагрузкам, образующимся в условиях циклической работы. Подобная реализация делает возможным сохранение требуемых характеристик надежности даже при длительной эксплуатации в агрессивных средах, характерных для нефтедобычи.

К ключевым преимуществам композитных материалов в этих условиях относятся их низкая плотность, высокая удельная прочность, коррозионная стойкость и возможность работы в агрессивной среде. Существенное снижение массы конструкции не только облегчает монтаж и демонтаж, но и позволяет уменьшить инерционные нагрузки, тем самым снижая уровень вибраций, энергопотребление и общий износ оборудования.

Однако необходимо учитывать и ряд ограничений, связанных с применением композитов. В частности, высокая стоимость, сложность в ремонте и чувствительность к термическому воздействию требуют более внимательного подхода на этапе проектирования и эксплуатации. Точные инженерные расчеты, в том числе напряженно-деформированного состояния и устойчивости элементов, моделирование поведения конструкции в различных режимах остаются актуальной задачей для последующих этапов работы. Кроме того, необходимо провести экспериментальные исследования проверки работоспособности предложенных конструкций в реальных условиях эксплуатации.

В перспективе возможно развитие концепции гибридных конструкций, в которых композиты будут сочетаться с металлом таким образом, чтобы каждый материал использовался в наиболее подходящих условиях. К примеру, сталь может быть задействована в зонах с высокими ударными или температурными нагрузками, в то время как композиты —

в участках, подверженных коррозии или требующих снижения веса. Этот подход позволит более полно реализовать потенциал обоих материалов, повысить эффективность и долговечность оборудования, а также сократить эксплуатационные издержки.

Таким образом, представленное в статье конструктивное решение траверсы, шатуна и балансира на основе композитных материалов с использованием клеболтовых соединений не только отвечает современным требованиям к прочности и надежности, но и открывает возможности для совершенствования нефтедобывающего оборудования. Это направление видится крайне актуальным и перспективным и требует дальнейшего научно-практического изучения и промышленной апробации.

#### **Вклад авторов**

*Бикбулатова Г. И.:* концептуализация исследования; проведение эксперимента; валидация данных; администрирование проекта; общее руководство.

*Сабанов С. Л.:* разработка методологии; формальный анализ данных; написание первоначального текста (черновика).

*Ганиев Т. А.:* концептуализация исследования; проведение эксперимента; валидация данных; администрирование проекта.

*Меньшиков И. А.:* концептуализация идеи; разработка методологии; проведение исследования.

*Мальшева А. В.:* курирование данных; редактирование и доработка текста; администрирование проекта.

Все авторы приняли участие в обсуждении результатов и утверждении финальной версии рукописи.

#### **Author contributions**

*Golia I. Bikbulatova:* conceptualization; experiment; data validation; project administration; general supervision.

*Sergey L. Sabanov:* methodology; formal analysis; writing – original draft.

*Tair A. Ganiev:* conceptualization; experiment; data validation; project administration.

*Ivan A. Menshikov:* conceptualization; methodology, study.

*Anastasia V. Malysheva:* data curation; editing and revising; project administration.

All authors participated in the discussion of the results and approval of the final manuscript version.

**Конфликт интересов.** Авторы заявляют об отсутствии конфликта интересов.

**Conflict of interests.** The authors declare no conflicts of interest.

#### **Список источников**

1. Кулик В. И., Нилов А. С. *Композиционные материалы. Классификация, технологии, опыт применения.* Москва: Инфра-Инженерия; 2024. 428 с.

2. Степанова В. Ф., Степанов А. Ю., Жирков Е. П. *Арматура композитная полимерная.* Москва: Бумажник; 2013. 200 с.

3. Арсланов Р. И., Бикбулатова Г. И., Галеев А. С., Ермилов П. П., Сабанов С. Л., Сулейманов Р. Н. *Вопросы эффективности эксплуатации промышленного оборудования.* Уфа: Изд-во УГНТУ; 2017. 84 с.

4. Соловьев В. Г., Коровяков В. Ф., Ларсен О. А., Гальцева Н. А. *Композиционные материалы в строительстве*. Москва: МИСИ–МГСУ; 2020. 85 с.
5. Шевченко В. Г. *Основы физики полимерных композиционных материалов*. Москва: МГУ; 2010. 99 с.
6. Гутников С. И., Лазорьяк Б. И., Селезнев А. Н. *Стекланные волокна*. Москва: МГУ; 2010. 53 с.

#### **References**

1. Kulik V. I., Nilov A. S. *Composite materials. Classification, technologies, application experience*. Moscow: Infra-Engineering; 2024. (In Russ.).
2. Stepanova V. F., Stepanov A. Yu., Zhirkov E. P. *Composite polymer reinforcement*. Moscow: Wallet; 2013. (In Russ.).
3. Arslanov R. I., Bikbulatova G. I., Galeev A. S., Ermilov P. P., Sabanov S. L., Suleymanov R. N. *Issues of efficiency of operation of fishing equipment*. Ufa: USNTU Publishing House; 2017. 84 p. (In Russ.).
4. Solovyov V. G., Korovyakov V. F., Larsen O. A., Galtseva N. A. *Composite materials in construction*. Moscow: MISI – MGSU; 2020. (In Russ.).
5. Shevchenko V. G. *Fundamentals of physics of polymer composite materials*. Moscow: Moscow State University; 2010. (In Russ.).
6. Gutnikov S. I., Lazoryak B. I., Seleznev A. N. *Glass fibers*. Moscow: Moscow State University; 2010. 53 p. (In Russ.).

#### **Информация об авторах / Information about the authors**

**Бикбулатова Голия Ильдусовна**, кандидат технических наук, доцент кафедры нефтегазового оборудования и технологии машиностроения, Альметьевский государственный технологический университет «Высшая школа нефти», г. Альметьевск, bikbulatovagi@agni-rt.ru

**Сабанов Сергей Леонидович**, кандидат технических наук, доцент кафедры нефтегазового оборудования и технологии машиностроения, Альметьевский государственный технологический университет «Высшая школа нефти», г. Альметьевск, s.sabanov@agni-rt.ru

**Ганиев Таир Айратович**, руководитель группы 3D сканирования специального конструкторско-технологического бюро, Альметьевский государственный технологический университет «Высшая школа нефти», г. Альметьевск, t.ganievt@agni-rt.ru

**Golia I. Bikbulatova**, Candidate of Engineering Sciences, Associate Professor at the Department of Oil and Gas Equipment and Mechanical Engineering Technology, Almeteyevsk State Technological University "Petroleum Higher School" bikbulatovagi@agni-rt.ru

**Sergey L. Sabanov**, Candidate of Engineering Sciences, Associate Professor at the Department of Oil and Gas Equipment and Mechanical Engineering Technology, Almeteyevsk State Technological University "Petroleum Higher School", Almeteyevsk, s.sabanov@agni-rt.ru

**Tair A. Ganiev**, Head of the 3D Scanning Group of the Special Design and Technology Bureau, Almeteyevsk State Technological University "Petroleum Higher School", Almeteyevsk, t.ganievt@agni-rt.ru

**Меньшиков Иван Александрович**, инженер СКТБ, Альметьевский государственный технологический университет «Высшая школа нефти», г. Альметьевск, [i.menshikov@agni-rt.ru](mailto:i.menshikov@agni-rt.ru)

**Малышева Анастасия Владимировна**, студент, член рабочей группы 3D сканирования специального конструкторско-технологического бюро, Альметьевский государственный технологический университет «Высшая школа нефти», г. Альметьевск, [nastyamalysheva9566@gmail.com](mailto:nastyamalysheva9566@gmail.com)

**Ivan A. Menshikov**, Engineer SKTB, Almeteyvsk State Technological University "Petroleum Higher School", [i.menshikov@agni-rt.ru](mailto:i.menshikov@agni-rt.ru)

**Anastasia V. Malysheva**, Student, Member of the 3D Scanning Working Group of the Special Design and Technology Bureau, Almeteyvsk State Technological University "Petroleum Higher School", Almeteyvsk

*Поступила в редакцию / Received 27.08.2025*

*Поступила после рецензирования / Revised 23.09.2025*

*Принята к публикации / Accepted 29.09.2025*