

НОВЫЕ ТЕХНОЛОГИЧЕСКИЕ ПРОЦЕССЫ И ОБОРУДОВАНИЕ

NEW TECHNOLOGICAL PROCESSES AND EQUIPMENT

ISSN 1995-2732 (Print), 2412-9003 (Online)

УДК 691.342:378.147

DOI: 10.18503/1995-2732-2021-19-1-75-82



ИЗЫСКАНИЕ НОВЫХ КОНСТРУКЦИОННЫХ МАТЕРИАЛОВ И ТЕХНОЛОГИИ ИЗГОТОВЛЕНИЯ ПРОЧНЫХ КОРПУСОВ РЕДУКТОРОВ И ЦЕНТРОБЕЖНЫХ НАСОСОВ

Елемесов К.К., Наурызбаева Д.К., Крупник Л.А., Басканбаева Д.Д., Игбаева А.Е.

Казахский национальный технический университет им. К.И. Сатпаева, Алматы, Казахстан

Аннотация. Постановка задачи. Доказательство возможности и целесообразности использования полимербетона и фибробетона в качестве конструкционных материалов в машиностроении для изготовления корпусов редукторов и центробежных насосов. **Использованные методы.** При проведении исследований использованы: теоретические исследования с экспериментальной проверкой их результатов в лабораторных условиях, методика рационального планирования экспериментов со статистической обработкой результатов, стендовые испытания образцов оборудования. **Новизна** проведенных исследований заключается в обосновании возможности и целесообразности использования полимербетона и фибробетона в качестве конструкционных материалов для машиностроения. **Результаты.** В результате исследований впервые разработаны методики проектирования рациональных составов смеси с прерывистой гранулометрией заполнителей для производства полимербетона и фибробетона, технология приготовления смесей и отливки готовых изделий. Выявлен ряд закономерностей влияния основополагающих факторов на прочность полимербетона и фибробетона, позволивших разработать двухстадийную технологию изготовления корпусов редукторов и центробежных насосов с высокой степенью готовности, не требующих дополнительной обработки. Результаты теоретических и лабораторных исследований проверены при стендовых испытаниях, изготовленных образцов редуктора Ц2-250 с корпусом из полимербетона и центробежного насоса 4К6 из фибробетона. Эти испытания подтвердили ряд преимуществ по сравнению с изделиями из металла. **Практические значимость.** Изученные нами закономерности поведения новых конструкционных материалов – полимербетона и фибробетона – позволяют рекомендовать их в качестве эффективных конструкционных материалов для использования в машиностроении при изготовлении ряда машин и механизмов, которые будут обладать рядом преимуществ: высокой прочностью, возможностью работы в сложных условиях (агрессивная среда, высокая запыленность, работа с высокоабразивным материалом и др.), меньшей в 2–2,5 раза массой по сравнению с изделиями из металла, высокой технологичностью изготовления изделий и меньшей на 18–20% стоимостью.

Ключевые слова: полимербетон, фибробетон, заполнитель, связующее, фибра, корпус редуктора, центробежный насос, частота вращения, время перемешивания, методика, технология, прочность.

© Елемесов К.К., Наурызбаева Д.К., Крупник Л.А., Басканбаева Д.Д., Игбаева А.Е., 2021

Для цитирования

Изыскание новых конструкционных материалов и технологии изготовления прочных корпусов редукторов и центробежных насосов / Елемесов К.К., Наурызбаева Д.К., Крупник Л.А., Басканбаева Д.Д., Игбаева А.Е. // Вестник Магнитогорского государственного технического университета им. Г.И. Носова. 2021. Т.19. №1. С. 75–82. <https://doi.org/10.18503/1995-2732-2021-19-1-75-82>



Контент доступен под лицензией Creative Commons Attribution 4.0 License.
The content is available under Creative Commons Attribution 4.0 License.

RESEARCH ON NEW STRUCTURAL MATERIALS AND MANUFACTURING TECHNOLOGIES FOR ROBUST GEARBOX AND CENTRIFUGAL PUMP HOUSINGS

Yelemessov K.K., Nauryzbayeva D.K., Krupnik, L.A., Baskanbayeva D.D., Igbayeva A.E.

Satbayev University, Almaty, Kazakhstan

Abstract. Problem statement. To prove that it is possible and feasible to use polymer concrete and fiber concrete as structural materials in mechanical engineering for manufacturing gearbox and centrifugal pump housings. **Methods applied.** When carrying out the research, we used theoretical studies with an experimental verification of their results in laboratory conditions, methods of the rational planning of experiments with a statistical processing of results, and bench tests of equipment samples. **The novelty** of the research is to justify the possibility and feasibility of using polymer concrete and fiber concrete as structural materials for mechanical engineering. **Results.** As a result of the research, for the first time the authors developed the methods for designing rational compositions of mixtures with a discontinuous granulometry of aggregates for the production of polymer concrete and fiber concrete and the technology for preparing mixtures and casting finished products. The paper describes how fundamental factors influenced the strength of polymer concrete and fiber concrete, which allowed us to develop a two-stage technology for manufacturing gearbox and centrifugal pump housings with a high degree of readiness, not requiring an additional processing. The results of theoretical and laboratory studies were verified during bench tests of manufactured samples of the TS2-250 gearbox with a polymer concrete body and the 4K6 centrifugal pump made of fiber concrete. These tests proved a number of advantages over metal products. **Practical relevance.** We have studied the behavior patterns of new structural materials (polymer concrete and fiber concrete) and recommend them as efficient structural materials to be used in machinery to manufacture some machines and mechanisms that will have several advantages: high strength, ability to work under rough conditions (corrosive environment, high dust levels, working with highly abrasive materials, etc.), weighing 2–2.5 times less than metal products, high technological efficiency of manufacturing products and a lower cost (by 18–20%).

Keywords: polymer concrete, fiber concrete, aggregate, binder, fiber, gearbox housing, centrifugal pump, speed, mixing time, technique, technology, strength.

For citation

Yelemessov K.K., Nauryzbayeva D.K., Krupnik, L.A., Baskanbayeva D.D., Igbayeva A.E. Research on New Structural Materials and Manufacturing Technologies for Robust Gearbox and Centrifugal Pump Housings. *Vestnik Magnitogorskogo Gosudarstvennogo Tekhnicheskogo Universiteta im. G.I. Nosova* [Vestnik of Nosov Magnitogorsk State Technical University]. 2021, vol. 19, no. 1, pp. 75–82. <https://doi.org/10.18503/1995-2732-2021-19-1-75-82>

Введение

На предприятиях горно-металлургического комплекса значительное количество оборудования работает в тяжелых условиях эксплуатации – это химическая агрессивная среда, высокая запыленность, резкая смена температуры, перекачка высокоабразивных жидкостей и др. На сегодняшний день для учёта влияния этих факторов при изготовлении оборудования используют дорогостоящие легированные стали, увеличивающие толщину стенок механизмов и оборудования и т.д.

Все это приводит к существенному удороожанию оборудования, необходимости повышенных затрат на запасные части и ремонтные работы.

В то же время в ряде промышленных отраслей, в частности в строительстве, широко используются такие композиционные материалы, как полимербетоны и фибробетоны. Они обладают рядом положительных качеств, которые позволяют исключить влияние на изделия указанных выше негативных факторов.

Замена металла на композиты при изготовлении машин и механизмов, сопровождающаяся улучшением их технических характеристик является актуальной проблемой.

Новизной настоящих исследований является доказательство технической возможности и экономической целесообразности получения нового композиционного материала, который может быть использован в машиностроении при изготовлении оборудования для горно-металлургического комплекса.

Цель исследований заключается в изыскании рациональных составов полимербетона и фибробетона и технологии изготовления из них различного оборудования.

Для реализации указанной цели было необходимо решить ряд задач, среди которых основными были:

- изучение опыта использования полимербетона и фибробетона с целью оценки возможности использования этих композитов в машиностроении;

- изыскание рациональных материалов для полимербетона и фибробетона;
- разработка методики выбора рационального соотношения компонентов в смесях;
- разработка технологии, обеспечивающей простоту изготовления изделий из полимербетона и фибробетона.

Все эти задачи решались применительно к оборудованию, используемому на предприятиях горно-металлургического комплекса. В качестве такого оборудования авторами исследований были выбраны:

- корпус редуктора, для изготовления которого использовался полимербетон;
- рабочее колесо и корпус (улитка) одноступенчатого центробежного насоса из фибробетона.

В строительной индустрии при использовании композитных материалов предпочтение отдается использованию смесей, способных отверждаться холодным способом, то есть без привлечения дополнительных энергетических затрат. Композиционные материалы на основе полимерных вяжущих являются перспективными для работы в условиях агрессивной среды, что позволяет предполагать их целесообразность использования в машиностроении.

Одной из актуальных задач широкого использования композиционных материалов является изыскание рациональных составов смесей с заданными свойствами [1]. При решении задач, возникающих при этом, можно выделить два аспекта: материаловедческий и технологический. Первый заключается в установлении количественной и качественной связей между заполнителем, наполнителем и связующими компонентами полимербетонной и фибробетонной смеси. Второй аспект касается технологии приготовления полимербетонной и фибробетонной смеси, изготовления из нее деталей и элементов машин и механизмов. Методологической основой для решения указанных задач является модель смеси, которая рассматривается как сложноорганизованная материальная система [2, 3]. Это позволяет всесторонне оценивать роль каждого из элементов и их комплекса на свойства полимербетона и фибробетона и изделий из них.

Формирование структуры и качественных характеристик полимербетона и фибробетона происходит на стадиях подбора компонентов смеси, их перемешивания для получения гомогенного материала, отверждения изделий. Причем режимы каждой конкретной стадии должны обеспечивать необходимое качество изделия по комплексу эксплуатационных показателей [4].

Улучшениям механических свойств композитных материалов посвящена работа [5]. Основная цель этого исследования состояла в том, чтобы установить роль различных типов пропитки волокон и измельченных базальтовых волокон на свежие и отверждаемые свойства самоуплотняющегося бетона. Эффект воздействия волокон наблюдался в улучшении прочности на изгиб и растяжение, а также на улучшенной пластичности. Базальтовые волокна показали лучшую технологичность, чем стальные волокна.

Проведенный анализ литературных источников по данному вопросу [6, 7] показал, что используемая технология приготовления полимербетона и фибробетона и предлагаемые методы определения их механических характеристик пригодны только для строительных изделий. Не выявлены работы, связанные с исследованиями по их использованию в качестве материала для изготовления корпусных деталей насосов и корпусов редукторов. Подбор оптимального состава компонентов и технология приготовления полимербетона и фибробетона, удовлетворяющих условиям эксплуатации оборудования, требует новых исследований. Механические характеристики полимербетона и фибробетона в принципе удовлетворяют возможности использовать их в машиностроении, но необходимо провести специальные исследования возможности их использования в машиностроении.

Полученные результаты и их обсуждение

Методы исследования. При проведении исследований был использован комплексный метод, включающий теоретические исследования по установлению рациональной структуры полимербетонных и фибробетонных смесей, лабораторные экспериментальные исследования по установлению оптимальных составов смесей и режимов их приготовления.

Проведена конструкторско-технологическая подготовка оснастки для отливки опытных образцов корпусов редукторов Ц2-250 из полимербетона и насоса 4К – 6 из фибробетона и их испытаний на специальных стендах. С целью минимизации количества экспериментов при их проведении был использован метод крутого восхождения Бокса-Уилсона [8]. При проведении экспериментов были использованы апробированные стандартные методики и приборы для фиксации физико-механических характеристик предложенных композиционных материалов и

характеристик изделий из них в процессе стендовых испытаний.

Это позволило получить ряд новых закономерностей, которые были использованы в рекомендациях по конструктивным и технологическим параметрам.

Результаты исследований. Одной из основных задач для получения полимербетона и фибробетона с характеристиками, обеспечивающими возможность их применения в машиностроении, был выбор исходных материалов и установление их рационального соотношения в смеси. Теоретическими исследованиями установлено, что наиболее рациональными являются смеси из трехкомпонентного заполнителя с прерывистой гранулометрией. В таких смесях пустоты в крупном заполнителе заполняются мелкой фракцией, а пустоты в последней заполняются тонкой фракцией. Причем крупная, мелкая и тонкая фракции по своим размерам должны отличаться на порядок.

Проведенный анализ показал, что по своим характеристикам для получения полимербетона и фибробетона в качестве конструкционного материала наиболее предпочтительны бутовый и гранитный щебень.

В лабораторных экспериментах использовались:

- в качестве крупного заполнителя – бутовый и гранитный щебень;
- в качестве мелкого заполнителя – кварцевый песок;
- в качестве тонкого наполнителя – кварцевая мука, индезитовая мука;
- в качестве армирующего элемента – стальная фибра (проволочная и анкерного типа), стекловолоконная;
- в качестве связующего элемента – эпоксидная смола ЭДН-20;
- отвердитель.

Стальная фибра имела следующие характеристики: диаметр – 0,6 мм, длина – 23,0 мм. Подвижность готовой смеси по осадке конуса СТРОЙЦНИЛ составляла 8–9 см.

Максимальный исходный размер бутового и гранитного щебня составлял 10 мм.

Проведенные эксперименты позволили рекомендовать рациональные составы полимербетона и фибробетона (**табл. 1**).

При минимальном расходе компонентов образцы полимербетона и фибробетона приведенных составов обладают высокими показателями прочности на изгиб и сжатие (**табл. 2**).

Таблица 1. Рациональные составы полимербетона и фибробетона

Table 1. Rational compositions of polymer concrete and fiber concrete

Наименование компонента	Содержание, % по массе	
	Полимербетон	Фибробетон
Бутовый щебень	51,0	-
Гранитный щебень	-	48,0
Кварцевый песок	25,5	25,0
Кварцевая мука	11,0	10,0
Стальная фибра	-	4,0
Смола ЭД	10,5	11,0
Отвердитель	2,0	2,0

Таблица 2. Показатели прочности образцов полимербетона и фибробетона

Table 2. Strength of polymer concrete and fiber concrete samples

Материал	Прочность, МПа	
	на сжатие	на изгиб
Полимербетон	188,0	63,0
Фибробетон	230,0	90,0

Показатели прочности полимербетона и фибробетона в 6–8 раз превосходят аналогичные показатели для металла, из которого изготавливаются корпуса редукторов и насосов.

Исследованиями установлено, что рациональной технологией изготовления корпусов редукторов из полимербетона и насосов из фибробетона является их отливка. Такая технология наиболее совершенна, малозатратна, исключает необходимость механической обработки деталей и обеспечивает высокую точность их изготовления.

Главной особенностью изготовления литых деталей является то, что все их свойства (физические, химические, механические и др.) формируются только при одном переделе – заливке смеси компонентов в литейную форму и ее кристаллизации в ней. Технология изготовления отливки в значительной мере формирует и определяет ее качество, а значит, и качество литой детали. Несовершенства конструирования литой детали из металла и неправильность выбора способа литья ведут к образованию значительных припусков на механическую обработку. Это вызывает создание излишнего станочного парка, инструментария, технологической оснастки, производственных площадей и пр. Причем все это направлено на перевод металла в стружку. При литье поверхностный слой отливки из ме-

талла имеет более мелкозернистую структуру повышенной твердости, а механической обработкой этот слой снимается. Чем больше предусмотрен припуск на механическую обработку, тем больше снимается упрочненный поверхностный слой, что ухудшает прочностные характеристики изделия и снижает срок его службы. Этих недостатков лишены полимербетон и фибробетон.

Однако процесс технологии и режимов отливки изделий из этих композитных материалов практически не исследован. Поэтому одной из задач исследований было установление ряда влияющих факторов на конечный показатель полимербетона и фибробетона – их прочность. Проведенный анализ показал, что основными влияющими факторами следует считать: частоту вращения рабочего органа смесителя, время перемешивания компонентов, температуру смолы, содержание фибры и температуру сушки отформованных изделий [9].

Частота вращения рабочего органа смесителя обеспечивает эффективное распределение компонентов смеси с равномерным их размещением во всем объеме. Это позволяет получить полимербетон с гарантированными характеристиками. При определенных частотах вращения смешиваемая масса отбрасывается к стенкам емкости и «завоздушивается». При последующей отливке не все пузырьки выделяются из смеси при вибрационном уплотнении, а следовательно, уменьшается живое сечение образцов. Поэтому важно установить частоту вращения рабочего органа, исключающую негативные явления.

По результатам экспериментов установлена зависимость прочности нового материала от частоты вращения рабочего органа n , об/мин:

- для полимербетона

$$\sigma_{сж}^n = 0,0125 \cdot n + 68,896 \text{ МПа}, R^2 = 0,9865; \quad (1)$$

- для фибробетона

$$\sigma_{сж}^{\Phi} = 8,6471 \cdot n + 747,844 \text{ МПа}, R^2 = 0,9352. \quad (2)$$

Одним из важнейших факторов, влияющих на качество полимербетонной смеси, является время перемешивания. Учитывая различие в характеристиках исходных материалов, оно должно быть достаточным для равномерного размещения всех компонентов в объеме смеси. Это обеспечит ее гомогенность, что, в свою очередь, дает возможность рационального ее размещения в формах без образования внутренних пустот (раковин), снижающих прочность затвердевшего материала.

Влияние на прочность полимербетона и фибробетона времени перемешивания компонентов t , мин, описывается следующими закономерностями:

- для полимербетона

$$\sigma_{сж}^n = 7,597 \cdot t + 56,988 \text{ МПа}, R^2 = 0,9114; \quad (3)$$

- для фибробетона

$$\sigma_{сж}^{\Phi} = 2,1257 \cdot t + 93,212, \text{ МПа}, R^2 = 0,8702. \quad (4)$$

Важную роль в связывании компонентов смеси является температура смолы. Эпоксидно-дионовая смола ЭНД-20 представляет собой плавный реакционно-способный продукт на основе дифенилолпропана и эпихлоргидрина. ЭНД-20 комбинируется с разными отвердителями. Для ускорения пропитки рекомендуется нагревать смолу перед процессом смешивания. Для лучшего режима работы смолы как связующего было проведено исследование влияния температуры смолы на конечный результат – прочность затвердевшего полимербетона и фибробетона.

Прочность затвердевшего полимербетона и фибробетона зависит от температуры смолы T , °C, по следующим зависимостям:

- для полимербетона

$$\sigma_{\tau}^n = 7,5966 \cdot T + 56,988 \text{ МПа}, R^2 = 0,9104; \quad (5)$$

- для фибробетона

$$\sigma_{\tau}^{\Phi} = 0,305 \cdot T + 51,82 \text{ МПа}, R^2 = 0,9672. \quad (6)$$

При отвердевании изделий из полимербетона очень важно соблюдать температурный режим в определенных пределах, который обеспечивает заданные прочностные характеристики. Сушка изделий происходит при достаточно высокой температуре, что требует большого расхода теплоты, а значит, и расхода электроэнергии.

С этой целью были проведены эксперименты с рекомендованными составами из полимербетона и фибробетона, определившие связь прочности полимербетона и фибробетона от температуры тепловой обработки готового изделия τ , °C:

- для полимербетона

$$\sigma_{сж}^n = 0,1542 \cdot \tau + 62,274, R^2 = 0,9842; \quad (7)$$

- для фибробетона

$$G_{сж}^{\Phi} = 0,1707 \cdot \tau + 67,831, R^2 = 0,7244. \quad (8)$$

Использование стальной фибры в изделиях из фибробетона служит для повышения прочностных характеристик изделий из этого мате-

риала. Фибра является армирующим элементом и от ее расхода в объеме фибробетона зависят его прочностные характеристики.

Теоретическими исследованиями установлено, что недостаточное количество фибры не приносит желаемого результата по увеличению прочности фибробетона. В то же время избыток фибры делает смесь неудобоукладываемой, что не позволяет получить повышенную прочность изделия [10].

Проведенные результаты исследования по установлению оптимальной величины добавки фибры m , %, показали, что прочность фибробетона описывается уравнением

$$G_{\text{сж}}^{\phi} = 0,8285m + 64,267. \quad (9)$$

Обсуждение результатов. Проведенные исследования позволили установить рациональное соотношение компонентов в полимербетонной и фибробетонной смесях, а также закономерности влияния на прочность затвердевших образцов ряда факторов.

Анализ полученных закономерностей позволяет сделать вывод о том, что прочность полимербетона растет пропорционально увеличению частоты вращения рабочего органа. Это объясняется гомогенизацией смеси, что обеспечивает изотропность затвердевшего полимербетона. Однако для получения необходимой прочности полимербетона 75–80 МПа достаточно частота вращения 600–900 мин⁻¹. Дальнейшее увеличение частоты вращения приведет к немотивированному перерасходу электроэнергии и увеличению стоимости полимербетона и фибробетона.

Для достижения требуемой прочности полимербетона и фибробетона вполне достаточно времени перемешивания компонентов 3–4 мин. Увеличение времени перемешивания не приводит к существенному росту прочности, поэтому его нерационально увеличивать.

Для достижения необходимой прочности изделий из полимербетона необходимо подогревать эпоксидную смолу до температуры 60°C.

Готовые изделия из полимербетона и фибробетона для окончательного набора прочности должны подвергаться сушке при определенной температуре. Проведенные исследования показали, что температура сушки существенно влияет на интенсивность набора прочности. Вместе с тем, как видно из полученных закономерностей, избыточная температура выше 200°C не приводит к существенному росту прочности и вполне достаточно для технологии сушки изделий из полимербетона и фибробетона с температурой $T_{\text{суш}}=120\text{--}130^{\circ}\text{C}$.

Важным с точки зрения получения оптимальной структуры фибробетона является необходимое количество фибры. Экспериментально доказано, что для получения конструкционного материала, который возможно использовать для изготовления насосов, достаточно 4–5% содержания фибры в смеси.

Толщина стенок корпуса редуктора из полимербетона составляла 15 мм, а улитки насоса – 12 мм.

Отлитые образцы корпуса редуктора Ц2-250 из полимербетона (рис. 1) и центробежного насоса 4К6 из фибробетона (рис. 2) были испытаны на специальных стендах и показали хорошую работоспособность и улучшенные технические показатели: снижение массы изделия в 2–2,5 раза, высокую прочность, позволившую уменьшить толщину стенок изделий на 12–15%, снизить себестоимость изготовления на 20%.



Рис. 1. Отлитые образцы корпуса редуктора

Ц2-250 из полимербетона

Fig. 1. Cast samples of the TS2-250 gearbox

housing made of polymer concrete



Рис. 2. Отлитые образцы корпуса центробежного насоса 4К6 из фибробетона

Fig. 2. Cast samples of the 4K6 centrifugal pump housing made of fiber concrete

Заключение

Проведенные исследования позволили сделать следующие выводы:

1. Доказано, что полимербетон и фибробетон по своим техническим характеристикам и по экономическим показателям целесообразно ис-

пользовать в качестве эффективных материалов для изготовления корпусов редукторов и центробежных насосов.

2. Разработана методика подбора рациональных составов полимербетона и фибробетона, обеспечивающих физико-механические характеристики новых конструкционных материалов для машиностроения.

3. Предложена двухстадийная технология приготовления полимербетона и фибробетона и установлены закономерности влияния на прочность затвердевших смесей ряда влияющих факторов, что позволило рекомендовать рациональные параметры этого процесса.

4. Приведенные стендовые испытания редуктора Ц2-250 с корпусом из полимербетона и насоса 4К6 из фибробетона показали их высокое качество и улучшенные характеристики.

Исследования проводились в рамках проекта грантового финансирования Республики Казахстан на 2018–2020 годы «Транспортное, сельскохозяйственное, нефтегазовое и горно-металлургическое оборудование. Прикладные исследования» по теме АР 05131236 «Модернизация горно-металлургического оборудования с использованием инновационных материалов и компоновок приводов».

Список литературы

1. Современное состояние производства полимербетонов / В.А. Горячева, А.А. Крещик, А.И. Христофоров и др. // Международный студенческий научный вестник. 2015. № 3–2. С. 230–231.
2. Исследование физико-механических свойств дисперсно-армированных бетонов / Р.Ф. Серова, Г.М. Рахимова, Е.А. Стасилович, С.Ж. Айдарбекова // Эпоха науки. 2018. №14. С. 192–200. DOI: 10.1555/2409-3203-2018-0-14-192-200
3. Figovsky O., Beilin D. Advanced Polymer Concretes and Compounds: монография. Boca Raton, 2013. 267 с.
4. Берсенева О.А., Кулемина О.А. Полимеры нового поколения // Современная химия: Успехи и достижения: материалы II Междунар. науч. конф. Чита, 2016. С. 27–29.
5. Мирошниченко К.К. Влияние технологии перемешивания и состава фибробетона на его долговечность и усадку // Современное промышленное и гражданское строительство. 2012. №1. С. 15–20. Т. 8. ISSN:1993-3495.
6. Клюев С. Высокопрочный фибробетон для промышленного и гражданского строительства // Инженерно-строительный журнал. 2012. № 8. С. 61–66.
7. Wang J., Ma Y., Zhang Y., Chen W. Experimental research and analysis on mechanical properties of chopped Basalt fiber reinforced concrete Gongcheng Lixue // Engineering Mechanics. 2014. 31 (SUPPL). Pp. 99–102.
8. Пухаренко Ю.В., Жаворонков М.И., Пантелеев Д.А. Совершенствование методов определения силовых и энергетических характеристик трещиностойкости фибробетона // Вестник МГСУ. 2019. Т. 14. Вып. 3. С. 301–310. DOI: 10.22227/1997-0935.2019.3.301-310
9. Studying fiber – reinforced concrete for casting housing parts of pumps / Krupnik L.A, Yelemessov K.K, Bortebayev S.A, Baskanbayeva D.D. // Eastern-European Journal of Enterprise Technologies. 2018. ISSN 1729-3774. 6/12. doi: <https://doi.org/10.15587/1729-4061.2018.151038>
10. Use of air bellows for low-speed drive mechanisms / Krupnik L., Yelemessov K., Beisenov B., Baskanbayeva D., Sarybaev E. // International Journal of Scientific & Engineering Research. 2018. Vol. 9. Iss. 11. Pp.1106–1112. ISSN: 2229-5518.

References

1. Goryacheva V.A., Kreshchik A.A., Khristoforov A.I. et al. A current state of polymer concrete production. *Mezhdunarodnyi studencheskii nauchnyi vestnik* [International Student Scientific Bulletin], 2015, no. 3–2, pp. 230–231. (In Russ.)

2. Serova R.F., Rakimova G.M., Stasilovich E.A., Aidarbekova S.Zh. Research on physical and mechanical properties of fiber reinforced concrete. *Epokha nauki* [Era of Science], 2018, no. 14, pp. 192–200. DOI 10.1555/2409-3203-2018-0-14-192-200.
3. Figovsky O., Beilin D. Advanced Polymer Concretes and Compounds: Monograph. Boca Raton, 2013, 267 p.
4. Berseneva O.A., Kulemina O.A. Polymers of a new generation. *Sovremennaya khimiya: Uspekhi i dostizheniya: materialy II Mezhdunar. nauch. konf.* [Modern chemistry: Success and achievement: proceedings of the 2nd International Scientific Conference]. Chita, 2016, pp. 27–29. (In Russ.)
5. Miroshnichenko K.K. Influence of the mixing technology and the fiber concrete composition on its durability and shrinkage. *Sovremennoe promyshlennoe i grazhdanskoe stroitelstvo* [Modern Industrial and Civil Construction], 2012, no. 1, pp. 15–20. Volume 8. ISSN:1993-3495. (In Russ.)
6. Klyuev S.V. High-strength fiber-reinforced concrete for industrial and civil construction. *Inzhenerno-stroitelnyi zhurnal* [Civil Engineering Journal], 2012, no. 8, pp. 61–66. (In Russ.)
7. Wang J., Ma Y., Zhang Y., Chen W. Experimental research and analysis on mechanical properties of chopped Basalt fiber reinforced concrete. *Gongcheng Lixue*. Engineering Mechanics. 2014. 31 (SUPPL). pp. 99–102.
8. Pukharenko Yu.V., Zhavoronkov M.I., Panteleev D.A. Improvement of methods for determining the strength and energy characteristics of fiber concrete crack resistance. *Vestnik MGSU* [Vestnik MGSSU. Monthly Journal on Construction and Architecture], 2019, vol. 14, no. 3, pp. 301–310. DOI: 10.22227/1997-0935. 2019.3.301-310.
9. Krupnik L.A., Yelemessov K.K., Bortebayev S.A., Baskanbayeva D.D. Studying fiber-reinforced concrete for casting housing parts of pumps. *Eastern-European Journal of Enterprise Technologies*. ISSN 1729-3774. 6/12. DOI: <https://doi.org/10.15587/1729-4061.2018.151038>.
10. L. Krupnik, K. Yelemessov, B. Beisenov, D. Baskanbayeva, E. Sarybaev. Use of air bellows for low-speed drive mechanisms. *International Journal of Scientific & Engineering Research*. 2018, volume 9, issue 11, pp. 1106–1112. ISSN 2229-5518.

Поступила 17.12.2020; принята к публикации 28.01.2021; опубликована 25.03.2021
Submitted 17/12/2020; revised 28/01/2021; published 25/03/2021

Елемесов Касым Коптлеуович – кандидат технических наук, доцент, ведущий научный сотрудник, Казахский национальный технический университет им. К.И. Сатпаева, Алматы, Казахстан.
Email: k.yelemessov@satbayev.university. ORCID 0000-0001-6168-2787

Наурызбаева Дильда Кенжекановна – доктор PhD по специальности «Нефтегазовое дело», проректор по научно-образовательной деятельности, ведущий научный сотрудник, Казахский национальный технический университет им. К.И. Сатпаева, Алматы, Казахстан.
Email: d.nauryzbayeva@satbayev.university. ORCID 0000-0002-8397-3267

Крупник Леонид Андреевич – доктор технических наук, профессор, ведущий научный сотрудник, Казахский национальный технический университет им. К.И. Сатпаева, Алматы, Казахстан.
Email: leonkr38@mail.ru. ORCID 0000-0002-8813-231X

Басканбаева Динара Джумабаевна – магистр технических наук, старший научный сотрудник, Казахский национальный технический университет им. К.И. Сатпаева, Алматы, Казахстан.
Email: baskanbaeva@mail.ru. ORCID 0000-0003-1688-0666

Игбаева Акжаркын Есентаева – магистр технических наук, младший научный сотрудник, Казахский национальный технический университет им. К.И. Сатпаева, Алматы, Казахстан.
Email: akzharkin91-91@mail.ru. ORCID 0000-0002-4825-454X

Kassym K. Yelemessov – PhD (Eng.), Associate Professor, Lead Researcher, Satbayev University, Almaty, the Republic of Kazakhstan.
Email: k.yelemessov@satbayev.university. ORCID 0000-0001-6168-2787

Dilda K. Nauryzbayeva – PhD in Oil and Gas Engineering, Vice-Rector for Research and Academic Affairs, Lead Researcher, Satbayev University, Almaty, the Republic of Kazakhstan.
Email: d.nauryzbayeva@satbayev.university. ORCID 0000-0002-8397-3267

Leonid A. Krupnik – DrSc (Eng.), Professor, Lead Researcher, Satbayev University, Almaty, the Republic of Kazakhstan.
Email: leonkr38@mail.ru. ORCID 0000-0002-8813-231X

Dinara D. Baskanbayeva – Master of Engineering, Senior Researcher, Satbayev University, Almaty, the Republic of Kazakhstan.
Email: baskanbaeva@mail.ru. ORCID 0000-0003-1688-0666

Akzharkyn E. Igbayeva – Master of Engineering, Junior Researcher, Satbayev University, Almaty, the Republic of Kazakhstan.
Email: akzharkin91-91@mail.ru. ORCID 0000-0002-4825-454X