



<https://doi.org/10.21122/1683-6065-2026-2-33-38>
УДК 621.743; 62.9

Поступила 27.04.2026
Received 27.04.2026

УСОВЕРШЕНСТВОВАНИЕ ТЕХНОЛОГИИ ИЗГОТОВЛЕНИЯ ЛИТЫХ КОРПУСОВ АГРЕГАТОВ МАШИН ПУТЕМ ПРИМЕНЕНИЯ ОБОЛОЧКОВЫХ ЛИТЕЙНЫХ ФОРМ

*В. В. ВОЙТЕНКО, В. Е. БРЕШЕВ, Г. О. ВОЙТЕНКО, Луганский государственный университет им. В. Даля, г. Луганск, Луганская Народная Республика, Россия, кв. Молодёжный, 20А.
E-mail: valery.voytenko@outlook.com*

Резервы дальнейшего повышения технологичности изготовления литых корпусов агрегатов машин связаны с применением новой технологии изготовления литейных форм, представляющих собой целлюлозно-жидкостеклянную оболочку, помещенную в опоку, причем объем между оболочкой и опокой заполнен сухим кварцевым песком либо сухой оборотной смесью, без связующего вещества. Оболочковая целлюлозно-жидкостеклянная литейная форма и литниковая система обладают хорошей термической стойкостью до 800 °С, причем составы с большим содержанием жидкого стекла могут выдерживать в течение некоторого времени температуры до 1200 °С. Эксперименты показывают, что применение целлюлозно-жидкостеклянной смеси для изготовления оболочки литейной формы и литниковой системы позволяет получить более чистые отливки, с высоким качеством поверхности и высокой точностью благодаря отсутствию непосредственного контакта формовочной смеси с расплавом. За счет этого возможно уменьшение припуска на механическую обработку для повышения технологичности изготовления литых корпусов агрегатов машин.

Ключевые слова. Корпус агрегата машины, припуск, оболочковая литейная форма, отливка, связующее вещество, жидкое стекло.

Для цитирования. Войтенко, В. В. Усовершенствование технологии изготовления литых корпусов агрегатов машин путем применения оболочковых литейных форм / В. В. Войтенко, В. Е. Брешев, Г. О. Войтенко // *Литье и металлургия*. 2026. № 2. С. 33–38. <https://doi.org/10.21122/1683-6065-2026-2-33-38>.

IMPROVEMENT OF MANUFACTURING TECHNOLOGY FOR CAST MACHINE UNIT CASINGS USING SHELL MOLDING

V. V. VOYTENKO, V. E. BRESHEV, G. O. VOYTENKO, Vladimir Dal Lugansk State University, Lugansk, Lugansk People's Republic, Russia, 20A, Molodozhnyy Block. E-mail: valery.voytenko@outlook.com

Potential for further improving the manufacturability of cast machine housings is associated with the use of a new technology for producing casting molds consisting of a cellulose-water glass shell placed in a flask. The space between the shell and the flask is filled with dry quartz sand or a dry recycled mixture without a binder. The cellulose-water glass shell mold and gating system exhibit good thermal stability at approximately 800 °C, while compositions with a high liquid glass content can withstand temperatures up to 1200 °C for some time. Experiments show that using a cellulose-water glass mixture to produce the mold shell and gating system produces cleaner castings with high surface quality and high precision due to the absence of direct contact between the molding sand and the melt. This allows for a reduction in machining allowance, improving the manufacturability of cast machine housings.

Keywords. Machine unit body, allowance, shell casting mold, casting, binder, liquid glass.

For citation. Voytenko V. V., Breshev V. E., Voytenko G. O. Improvement of manufacturing technology for cast machine unit casings using shell molding. *Foundry production and metallurgy*, 2026, no. 2, pp. 33–38. <https://doi.org/10.21122/1683-6065-2026-2-33-38>.

Введение

При производстве корпусных изделий и корпусов, являющихся неотъемлемой частью агрегатов машин различного назначения, широко применяется литье, обеспечивающее высокую производительность, технологичность, малые припуски на механическую обработку, экономию металла и энергии [1–3]. Наиболее часто для изготовления отливок корпусов агрегатов машин применяются опоки, заполненные утрамбованной формовочной смесью, в которых при помощи деревянных моделей формируются полости, соответствующие форме будущей отливки. Аналогичным образом изготавливается

литниковая система [4, 5]. Несмотря на преимущества данной технологии изготовления литейных форм, существуют резервы для ее усовершенствования. Поэтому исследования в данном направлении являются актуальными.

Главный недостаток песчаных литейных форм – необходимость достаточно большого припуска на механическую обработку ответственных поверхностей, что связано со сложностью получения очень точной литейной формы из-за использования формовочной земли [6, 7]. Применение специальных покрытий не решает обозначенную проблему в полной мере. К тому же при заполнении литейной формы расплавом, при его контакте с внутренними поверхностями литниковой системы и самой литейной формой существует вероятность попадания кварцевого песка непосредственно в расплав и образования пригара и песчаных раковин, что требует использования дополнительного припуска на механическую обработку и может приводить к повышенному износу режущего инструмента.

Предварительные исследования, проведенные авторами, показали, что повысить технологичность изготовления корпусов агрегатов машин можно путем использования новой оболочечной целлюлозно-жидкостекольной технологии, примененной для изготовления внутренней полости литейной формы, пространство между которой и опокой заполнено формовочным кварцевым песком либо оборотной смесью. Применение целлюлозы в форме пульперкартона (кашеобразная масса, состоящая из 5 мас. % бумажного волокна и 95 мас. % воды) позволяет изготавливать оболочки литейных форм для литья корпусов агрегатов машин с использованием известной технологии изготовления упаковочных изделий из пульперкартона, обладающей высокой производительностью. При этом в качестве связующего вещества наилучшим образом подходит жидкое стекло, обладающее сравнительно высокой термической стойкостью, например, марки СНЖ1 [8–10]. Кроме того, пульперкартон благодаря своей волокнистой структуре позволяет получать прочные, обладающие высокой точностью и низкой шероховатостью поверхности оболочки, пригодные для получения отливок с минимальными припусками на механическую обработку. Улучшению термической стойкости поверхности оболочечной формы способствует применение покрытий на основе пергидрополисилазана.

Цель работы – разработка новой технологии получения оболочечных целлюлозно-жидкостекольных литейных форм для литья корпусов агрегатов машин.

Методика проведения исследований

Для достижения поставленной цели усовершенствования технологии изготовления корпусов агрегатов машин были проведены: анализ резервов повышения технологичности изготовления корпусов агрегатов машин; анализ возможностей по уменьшению припусков на механическую обработку ответственных поверхностей корпусов агрегатов машин и уменьшению объема механической обработки; анализ сплавов, применяемых для изготовления отливок корпусов агрегатов машин, включая традиционные литейные сплавы на основе алюминия, латунь, бронзу, чугун и сталь, труднообрабатываемые сплавы на основе никеля, молибдена, алюминия и кремния. Проводили экспериментальные исследования термической стойкости целлюлозно-жидкостекольной оболочки литейной формы в зависимости от массовой доли связующего вещества – жидкого стекла, прочности оболочки и ее жесткости при наличии наружного заполнителя опоки – формовочного кварцевого песка либо оборотной смеси. Были выполнены экспериментальные исследования влияния толщины оболочки литейной формы на ее термическую стойкость и поиск оптимальных значений.

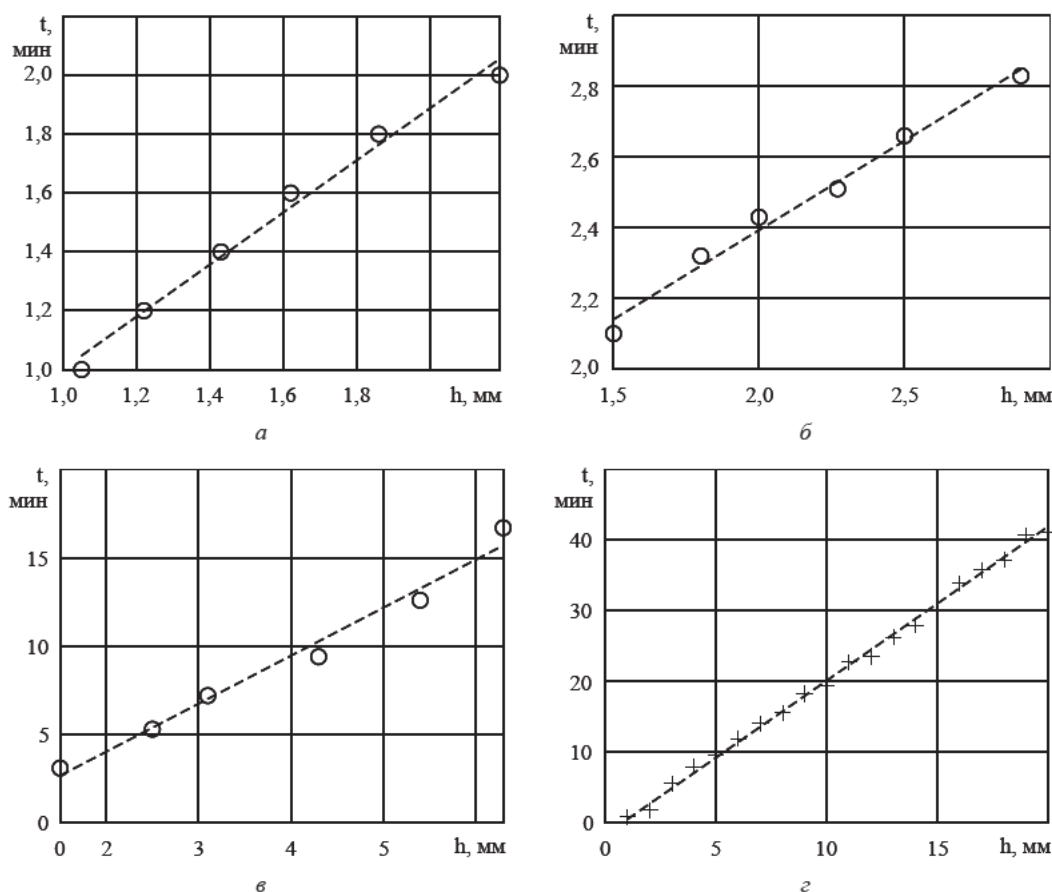
Результаты исследований и их обсуждение

Анализ существующих технологий изготовления литейных форм для крупносерийного производства отливок корпусов агрегатов машин показал, что такие формы изготавливают в стальных опоках, заполненных формовочной смесью, уплотненных вибрацией. Для получения полости, соответствующей будущей отливке, используют модели из дерева либо пластмассы. Внутренняя поверхность такой литейной формы покрывается при помощи пульверизатора специальной антипригарной смесью, после высыхания которой форма через литниковую систему заполняется расплавом. При этом внутренняя поверхность литниковой системы не покрывается антипригарным слоем и непосредственно контактирует с расплавом. К тому же существует высокая вероятность попадания формовочной смеси в расплав. Несмотря на достаточно хорошую точность изготовления отливки по данной технологии, требуется необходимость в припуске 2–3 мм под механическую обработку ответственных поверхностей, включая отверстия. Часто для формирования отверстий и внутренних полостей используются песчаные литейные стержни на

основе кварцевого песка, а в качестве связующего вещества – фурановые и эпоксидные смолы, реже – неорганические связующие вещества, в том числе жидкое стекло.

Проведенные эксперименты подтвердили возможность усовершенствования технологии изготовления корпусов агрегатов машин за счет использования целлюлозно-жидкостекольной технологии изготовления оболочки литейной формы, которая является результатом адаптации широко применяемой технологии изготовления упаковочных изделий из пульперкартона, в которой в качестве связующего вещества используется жидкое стекло [11]. Изготовленная таким образом целлюлозно-жидкостекольная оболочка будущей литейной формы помещалась в стальную опоку, в которой наружная полость между оболочкой и опокой заполнялась формовочным кварцевым песком либо оборотной смесью, которая уплотнялась за счет вибрации либо вакуума. Это обеспечивало достаточную жесткость оболочки, необходимую для соблюдения размеров. Термическая стойкость оболочки литейной формы определялась ее толщиной и массовой долей связующего вещества в целлюлозно-жидкостекольной смеси.

Зависимости термической стойкости целлюлозно-жидкостекольной оболочки от ее толщины и массовой доли жидкого стекла в целлюлозно-жидкостекольной смеси, применяемой для изготовления оболочки литейной формы, приведены на рисунке.



Зависимость термической стойкости целлюлозно-жидкостекольной оболочки литейной формы от ее толщины при температуре 1200 °С для различных массовых долей жидкого стекла в целлюлозно-жидкостекольной смеси: а – 15 мас.%; б – 25; в – 35; г – 45 мас. %

Увеличения массовой доли жидкого стекла в целлюлозно-жидкостекольной смеси, а также толщины оболочки литейной формы, изготовленной из такой смеси, приводят к увеличению термической стойкости оболочки литейной формы (см. рисунок). В качестве оптимальной термической стойкости целлюлозно-жидкостекольной оболочки может быть принята величина, при которой при термическом воздействии со стороны расплава целлюлоза, содержащаяся в целлюлозно-жидкостекольной оболочке, будет подвержена термическому разложению на всю толщину оболочки в момент полной кристаллизации расплава в литейной форме. Это обеспечит легкое разрушение оболочки при очистке отливки.

Для алюминиевых и алюминий-кремниевых сплавов толщина оболочки литейной формы может находиться в пределах 5–6 мм, при литье латуни и бронзы толщина оболочки составляет 8–10 мм, при

литье чугуна она должна быть более 10–12 мм. При этом толщина стенки отливки корпуса агрегата составляет 5–10 мм. Результаты проведенных экспериментов показывают, что в этом случае целесообразно использовать увеличенную массовую долю жидкого стекла для достижения большей термической стойкости оболочки литейной формы. Также можно комбинировать два слоя с различным содержанием жидкого стекла в количестве 35 мас. % для внутреннего слоя и 45 мас. % для внешнего слоя. Величина силикатного модуля выбирается 2,6 для внешнего слоя для повышения газопроницаемости и 3,0 для внутреннего слоя для повышения термической стойкости. Однако точное значение толщины оболочки и массовой доли связующего вещества в целлюлозно-жидкостекляной смеси может быть подобрано только опытным путем с учетом температуры расплава, геометрической формы, массы и толщины стенок отливки корпуса агрегата машины. Для алюминиевых сплавов может быть рекомендована толщина оболочки 5–6 мм, для латуни – 6–8, для бронзы – 8–10, для чугуна 10–16 мм при толщине стенки отливки 5–16 мм. При термическом разложении целлюлозы, кроме водяного пара и углекислого газа, образуется углеродный остаток, что уменьшает пригар на поверхности отливки.

Экспериментальные данные аппроксимированы по методу МНК выражением:

$$t(h) = a + bh,$$

где t – время, в течение которого оболочка целлюлозно-жидкостекляной литейной формы толщиной h выдерживает тепловое воздействие при 1200 °С; c ; h – толщина оболочки целлюлозно-жидкостекляной литейной формы, мм; a , b – коэффициенты регрессионной модели (см. таблицу).

Коэффициенты регрессионной модели

Рецептура целлюлозно-жидкостекляной смеси			Коэффициенты регрессионной модели	
Массовая доля жидкого стекла марки СНЖ1, мас %	Массовая доля целлюлозы, мас %	Массовая доля воды, мас %	a	b
15	35	50	1,38	0,51
25	35	40	-1,67	2,18
35	35	30	-1,40	2,71
45	35	20	-1,42	3,21

Увеличение массовой доли воды в целлюлозно-жидкостекляной смеси делает ее более пластичной, что удобно при нанесении на поверхность модели, однако это требует более длительного процесса сушки оболочковой литейной формы. Наиболее часто пульперкартон содержит до 90–95 мас. % воды для получения высокой пластичности пульпы при ее нанесении на поверхность модели. Поэтому массовая доля воды в целлюлозно-жидкостекляной смеси выбирается с учетом массовой доли воды, содержащейся в жидком стекле. Эксперименты показали, что ускорить процесс сушки оболочечной литейной формы на поверхности модели можно путем применения комбинации вакуумной сушки с последующей выдержкой в смеси воздуха и углекислого газа, используемого в качестве катализатора процесса отверждения жидкого стекла в целлюлозно-жидкостекляной смеси. При этом предварительную сушку проводили при температурах 90–120 °С в течение 20 мин при избыточном давлении газа 0,7–0,9 атм, а окончательную – при температурах 140–160 °С при избыточном давлении газа 0,9–1,0 атм. В случае применения модели из пластмассы нагрев поверхности целлюлозно-жидкостекляной оболочки осуществляли при помощи инфракрасного излучения в форвакууме либо путем нагрева воздушной смеси в сушильном шкафу при температуре смеси воздуха и углекислого газа 90–100 °С. После высыхания целлюлозно-жидкостекляной оболочки и отверждения связующего вещества (жидкого стекла) предел прочности оболочковой литейной формы составляет 0,6–0,9 МПа, что соответствует требованиям к размерной стабильности металлической отливки. Целлюлозно-жидкостекляная оболочковая форма позволяет получать алюминиевые отливки с толщиной стенки 10–16 мм с точностью по 6-му классу и припусками на механическую обработку не более 0,7 мм. При повышении температуры расплава увеличивается интенсивность газовыделения из оболочки оболочковой формы, что приводит к увеличению толщины дефектного слоя, который должен быть удален за один проход режущего инструмента, в результате этого припуск на механическую обработку увеличивается до 1,5–2,0 мм.

Следует отметить, что повышенное содержание воды в целлюлозно-жидкостекляной смеси может приводить к неравномерному распределению жидкого стекла в оболочке литейной формы, что усложняет отделение оболочки от модели. В случае применения модели из металла, например алюминия, для

облегчения отделения оболочки литейной формы от поверхности модели поверхность металла перед нанесением целлюлозно-жидкостекольной смеси следует покрыть слоем силиконового масла, либо, как показали проведенные эксперименты, могут быть применены составы, используемые для покрытия поверхности подогреваемого стола при 3D-печати. При термическом разложении целлюлозно-жидкостекольной оболочковой литейной формы сначала разлагается целлюлоза с выделением воды до 34 мас. %, углекислого газа до 20 мас. %, углеродного остатка до 22 мас. % и дыма, содержащего фенолы и другие ароматические углеводороды [12]. Затем происходит деструкция и термолит жидкого стекла сначала с выделением до 35 мас. % водяного пара и далее до разложения твердых и жидких компонентов при температуре 1000–1200 °С с образованием до 30 мас. % оксида кремния. Образующийся дым имеет запах горелой бумаги, что менее неприятно и менее вредно, чем летучие выделения при термическом разложении фурановых и эпоксидных смол, традиционно применяемых в качестве связующих веществ в стержневых и формовочных технологиях, который имеет резкий неприятный запах и вреден для здоровья человека.

Остатки оболочки литейной формы легко отделяются от поверхности отливки, а в случае оболочковых литейных форм повышенной сложности могут быть удалены путем увлажнения отливки водой. Невыгоревшие остатки целлюлозы быстро набухают и теряют прочность. Поэтому после изготовления целлюлозно-жидкостекольные оболочки литейных форм должны храниться в сухом месте. Применение оболочковых целлюлозно-жидкостекольных литейных форм позволяет повысить точность изготовления отливок корпусов агрегатов машин до 6-го класса, уменьшить технологические припуски на механическую обработку ответственных поверхностей отливок до 0,7 мм. Применение покрытий на основе пергидрополисилана с добавлением 0,5–2,0 мас. % измельченного кварца для оболочковых литейных форм повышает термическую стойкость поверхности и уменьшает пригар, поэтому такой состав может быть использован в качестве термостойкого антипригарного покрытия, повышающего класс шероховатости отливки, и позволяющий снизить технологические припуски. Добавление измельченного кварца в жидкое стекло в аналогичном количестве позволяет повысить термическую стойкость оболочковой литейной формы.

Выводы

Анализ технологий изготовления корпусов агрегатов машин показал, что дальнейшее снижение объемов механической обработки корпусов может быть достигнуто за счет снижения припусков на механическую обработку до 6-го класса точности, что требует повышения точности изготовления отливок. Трудоемкость механической обработки ответственных поверхностей корпусов агрегатов машин зависит от применяемых материалов для изготовления отливок, соответствующих степени нагруженности агрегата и условиям его работы. При механической обработке отливок корпусов агрегатов, изготовленных из высокопрочных кремний-алюминиевых сплавов, повышение точности изготовления отливок достигается за счет применения оболочковых целлюлозно-жидкостекольных литейных форм, что также позволяет уменьшить трудоемкость механической обработки. Исследования показали, что повысить точность изготовления отливок корпусов агрегатов машин можно путем замены формовочного песка, как основного компонента стержневых и формовочных смесей, на целлюлозу в виде пульперкартона, обладающую волокнистой структурой, подходящей для изготовления оболочковых литейных форм с высокой точностью геометрических размеров и поверхностью, хорошо повторяющей рельеф рабочей поверхности модели. При этом термическая стойкость оболочковой целлюлозно-жидкостекольной литейной формы обеспечивается жидким стеклом, термическое разложение которого заканчивается при температуре 1000–1200 °С с образованием до 30 мас. % оксида кремния, с более высокой температурой плавления. Применение в качестве связующего вещества жидкого стекла – доступного, дешевого, нетоксичного неорганического вещества, обладающего сравнительно высокой термической стойкостью, – позволяет улучшить рабочие условия в литейном цехе, достигнуть сравнительно высокой производительности технологического процесса изготовления оболочковых целлюлозно-жидкостекольных литейных форм и снизить экологическую нагрузку на окружающую среду. Изменяя массовую долю жидкого стекла в целлюлозно-жидкостекольной смеси в диапазоне 25–45 мас. % и толщину оболочки в диапазоне 5–16 мм, можно получить требуемую термическую стойкость оболочковой литейной формы для тонкостенного литья корпусов агрегатов из алюминиевых сплавов, латуни, бронзы и хорошую извлекаемость отливки из нее. При литье алюминиевых сплавов рекомендуемая толщина оболочки литейной формы составляет 5–6 мм, при литье латуни – 6–8 мм, при литье бронзы – 8–10 мм при доле жидкого стекла марки СНЖ1 с силикатным модулем 3,0 в целлюлозно-жидкостекольной смеси 30–35 мас. %. При тонкостенном литье чугуна допускается использование толщины оболочки 10–16 мм при доле жидкого стекла

в целлюлозно-жидкостекольной смеси до 45 мас.%, либо двухслойной оболочки с разной массовой долей жидкого стекла – 35 мас.% для наружного слоя и 45 мас.% для внутреннего слоя с силикатным модулем соответственно 2,6 и 3,0. Оболочковые литейные формы дают точность отливок по 6 классу, что позволяет уменьшить припуски на механическую обработку корпусов агрегатов машин до 0,7 мм и таким образом уменьшает долю механической обработки и ее стоимость.

ЛИТЕРАТУРА

1. **Papadimitriou, I.** Manufacturing of Structural Components for Internal Combustion Engine, Electric Motor and Battery Using Casting and 3D Printing / I. Papadimitriou, M. Just // *Advances in Engine and Powertrain Research and Technology. Mechanisms and Machine Science*. – 2022. – Vol. 114. – P. 383–418.
2. **Patil, S.** Casting Method Design of Gear Box Housing for Yield Improvement through Simulation: A Case Study / S. Patil, G. Naik, P. Naik // *International Journal of Mechanical Engineering and Technology*. – 2023. – Vol. 8, iss. 1. – P. 19–26.
3. Quality improvement of an aluminum gearbox housing by implementing additive manufacturing / P. Barreiro [et al.] // *Forschung im Ingenieurwesen*. – 2022. – Vol. 86. – P. 605–616.
4. **Patel, V.** Review of Casting Processes, Defects, and Design / V. Patel // *International Journal for Research in Engineering Application & Management*. – 2021. – Vol. 7, iss. 7.
5. Intelligent casting: Empowering the future foundry industry / Jw. Kang [et al.] // *China Foundry*. – 2024. – Vol. 21. – P. 409–426.
6. **Sahoo, P. K.** A State-of-the-Art Review on Manufacturing and Additive Influences on Sand-Cast Components / P. K. Sahoo, S. Pattnaik, M. K. Sutar // *Arabian Journal for Science and Engineering*. – 2019. – Vol. 44. – P. 9805–9835.
7. Characterisation of the decoring behaviour of inorganically bound cast-in sand cores for light metal casting / F. Ettemeyer [et al.] // *Journal of Materials Processing Technology*. – 2021. – Vol. 296. – Article No. 117201.
8. Жаростойкий бетон для огнезащитных покрытий строительных конструкций / В. Е. Румянцева [и др.] // *Современные проблемы гражданской защиты*. – 2024. – № 4.
9. Термогравиметрические исследования жидкого стекла в различных средах / Е. А. Сиплатов [и др.] // *Современные проблемы гражданской защиты*. – 2024. – № 2.
10. **Зелиг, М. П.** Жаростойкие бетоны на жидком стекле / М. П. Зелиг, С. С. Радаев, В. А. Юмина // *Евразийский союз ученых*. – 2014. – № 8–5. – С. 41–43.
11. Экспериментальные исследования возможностей технологии изготовления оболочечных литейных стержней на основе целлюлозы / В. В. Войтенко [и др.] // *Литье и металлургия*. – 2025. – № 4. – С. 35–39.
12. **Дейнеко, И. П.** Химические превращения целлюлозы при пиролизе / И. П. Дейнеко // *Известия ВУЗов. Лесной журнал*. – 2004. – № 4.

REFERENCES

1. **Papadimitriou I., Just M.** Manufacturing of Structural Components for Internal Combustion Engine, Electric Motor and Battery Using Casting and 3D Printing. *Advances in Engine and Powertrain Research and Technology. Mechanisms and Machine Science*, 2022, vol. 114, pp. 383–418.
2. **Patil S., Naik G., Naik P.** Casting Method Design of Gear Box Housing for Yield Improvement through Simulation: A Case Study. *International Journal of Mechanical Engineering and Technology*, 2023, vol. 8, iss. 1, pp. 19–26.
3. **Barreiro P., Armutcu G., Pfrimmer S., Hermes J.** Quality improvement of an aluminum gearbox housing by implementing additive manufacturing. *Forschung im Ingenieurwesen*, 2022, vol. 86, pp. 605–616.
4. **Patel V.** Review of Casting Processes, Defects, and Design. *International Journal for Research in Engineering Application & Management*, 2021, vol. 7, iss. 7.
5. **Kang Jw., Liu Bl., Jing T., Shen Hf.** Intelligent casting: Empowering the future foundry industry. *China Foundry*, 2024, vol. 21, pp. 409–426.
6. **Sahoo P. K., Pattnaik S., Sutar M. K.** A State-of-the-Art Review on Manufacturing and Additive Influences on Sand-Cast Components. *Arabian Journal for Science and Engineering*, 2019, vol. 44, pp. 9805–9835.
7. **Ettemeyer F., Schweinefuß M., Lechner P.** [et al.] Characterisation of the decoring behaviour of inorganically bound cast-in sand cores for light metal casting. *Journal of Materials Processing Technology*, 2021, vol. 296, art. no. 117201.
8. **Rumyantseva V. E., Ovchinnikov A. A., Obruchev D. V., Khodova I. A.** Zharostojkij beton dlya ogneshchitnyh pokrytij stroitel'nyh konstrukcij [Heat-resistant concrete for fire-protective coatings of building structures]. *Sovremennye problemy grazhdanskoj zashchity = Modern problems of civil protection*, 2024, no. 4.
9. **Siplatov E. A., Naganovsky Yu. K., Nikiforov A. L., Novozhilova K. A.** Termogravimetrichekie issledovaniya zhidkogo stekla v razlichnyh sredah [Thermogravimetric studies of liquid glass in various environments]. *Sovremennye problemy grazhdanskoj zashchity = Modern problems of civil protection*, 2024, no. 2.
10. **Zelig M. P., Radaev S. S., Yumina V. A.** Zharostojkie betony na zhidkom stekle [Heat-resistant concretes on liquid glass]. *Evrziskij soyuz uchenyh = Eurasian Union of Scientists*, 2014, no. 8–5, pp. 41–43.
11. **Voytenko V. V., Medvedchuk S. A., Breshev V. E., Voytenko G. O.** Eksperimental'nye issledovaniya vozmozhnostej tekhnologii izgotovleniya obolocheknyh litejnyh stержnej na osnove cellyulozy [Experimental research into feasibility of cellulosebased shell coremaking technology]. *Lit'e i metallurgiya = Foundry production and metallurgy*, 2025, no. 4, pp. 35–39.
12. **Deineko I. P.** Himicheskie prevrashcheniya cellyulozy pri pirolize [Chemical transformations of cellulose during pyrolysis]. *Izvestiya VUZov. Lesnoj zhurnal = News of higher education institutions. Forestry magazine*, 2004, no. 4.