

УДК 624
МРНТИ 59.14.17

<https://doi.org/10.51488/1680-080X/2021.2-06>

Е.Б. Утепов^{1,2}, А.С.Тулбекова^{1*}, Ш.Ж. Жарасов², Д.О.Базарбаев²

¹ТОО «CSI Research & Lab», Нур-Султан, Казахстан

² НАО Евразийский национальный университет им. Л.Н. Гумилева, Нур-Султан, Казахстан

*Corresponding author: krasavka5@mail.ru

Информация об авторах:

Утепов Елбек Бахитович – PhD, доцент, начальник отдела НИОКР, ТОО «CSI Research & Lab», Нур-Султан, Казахстан

<https://orcid.org/0000-0001-6723-175x>, email: utepov-elbek@mail.ru

Тулбекова Асель Сериковна – PhD, доцент, старший научный сотрудник отдела НИОКР, Нур-Султан, Казахстан

<https://orcid.org/0000-0001-8553-3081>, email: krasavka5@mail.ru

Жарасов Шынгыс Жарасович – докторант, НАО Евразийский национальный университет им. Л.Н. Гумилева, Нур-Султан, Казахстан

<https://orcid.org/0000-0002-0468-8362>, email: zhshzh95@gmail.com

Базарбаев Данияр Омарович- PhD, доцент, НАО Евразийский национальный университет им. Л.Н. Гумилева, Нур-Султан, Казахстан

<https://orcid.org/0000-0001-8547-5440>, email: phdd84@mail.ru

РАЗРАБОТКА КОРПУСА ДЛЯ БЕСПРОВОДНОГО ДАТЧИКА МОНИТОРИНГА ЖЕЛЕЗОБЕТОННЫХ КОНСТРУКЦИЙ

Аннотация. *Дизайн корпуса – важнейший этап разработки изделия. Корпус собственного изготовления обладает как многими преимуществами, так и недостатками. Важнейшая часть разработки корпуса электронного устройства – этап предварительных исследований. У каждого устройства свои технологические особенности, что учитывается при разработке концептов. В статье представлены особенности разработки корпуса для беспроводного датчика мониторинга железобетонных конструкций, обсуждаются важные аспекты каждого этапа.*

Ключевые слова: *силиконовая форма, жидкий пластик, заливка формы, разработка корпуса, 3D печать.*

Введение

Все электронные устройства совершенно разные по своему функционалу и набору задач. Несмотря на это существует общий набор правил, которые могут быть применены при разработке корпуса изделия. Разработка корпуса состоит из нескольких этапов [1]:

– Создание концепции продукта. На этом этапе идея проходит через анализ коммерческого успеха. Выясняется наличие конкурентной продукции и составляется карта технического уровня. Карта технического уровня (КТУ) – это сравнительная таблица, где выбирается уникальное сочетание функционально-технических характеристик продукта и бизнес-модель для обеспечения коммерческого успеха создаваемого устройства. Специалистами и экспертами в необходимой отрасли подготавливается технико-коммерческое предложение и концепт-дизайн продукта с описанием функциональных особенностей и пре-

имущества. Параллельно бизнес-аналитики на основе выбранной бизнес-модели и экспертных оценок создают бизнес-план. Как правило, результатом данного этапа является готовый продукт [1].

– Техническая проработка изделия. На этом этапе создается эскизный проект (ЭП), разрабатывается техническое задание (ТЗ), создаются спецификации и анализируются примеры использования продукта. Осуществляется проверка на реализуемость устройства, часто этот этап заканчивается сборкой и тестированием прототипа изделия. Идет оценка выбранных аппаратных и программно-технических решений, изучаются проблемные моменты с точки зрения последующей технической реализации, производительность платформы и других важных характеристик. Результатом технической проработки изделия является принятие решения о правильности выбранной платформы и обоснование технических решений.

– Разработка электронного устройства, включающее уточнение списка используемых компонентов, проектируется принципиальная электрическая схема, формируется список компонентов. Производится проектирование интерфейса, выстраивается дерево функций и создается концепция управления. Параллельно с разработкой схемы техники производится проектирование корпуса устройства. На основе скетча разрабатывается модель и конструкция устройства. Реализуется, разработанная на предыдущем этапе программная архитектура, адаптируется и дорабатывается программное обеспечение. Разрабатываются все виды тестов, которые позволят проверить корректность работы как программного, так и аппаратного обеспечения.

– Опытные образцы. На этом этапе создаются опытные образцы для проверки их работоспособности и устранения возможных ошибок, допущенных на предыдущих стадиях проектирования. Преимуществом опытных образцов является решение маркетинговых задач. На данном этапе идет закуп компонентов, размещается производство на изготовление и монтаж печатных плат. После монтажа печатных плат образцов происходит портирование операционной системы и загрузчика, доработка драйверов, низкоуровневых процедур и прикладного ПО. Все компоненты изделия собираются вместе и производится интеграционное тестирование. Результатом данного этапа является получение действующих опытных образцов и внесение изменений в конструкторскую документацию по результатам интеграционного тестирования.

– Сертификационные испытания. На этой стадии определяется класс устройства и необходимость проведения испытаний. На основе предварительных результатов сертификации, формируются протоколы с результатами проведенных измерений и при необходимости вносятся изменения в конструкторскую документацию.

– Подготовка к производству и выпуск установочной партии. Установочная партия – это начало к серийному производству и проверка технологичности устройства на реальном производстве. На этом этапе выявляются недочёты продукции, которые не были выявлены на небольшом количестве опытных об-

разцов и произведена незначительная корректировка схемы, конструкции корпуса, печатной платы.

– Серийное производство. Полное сопровождение разработчиком промышленного выпуска продукции, который готов к реализации.

Особенности проектирования корпуса. Одной из важных особенностей является проектирование корпуса после завершения работы над «начинкой» [2].

В целом, пластиковые детали изготавливаются на специальных станках – термопластавтоматах (ТПА), на которые устанавливаются соответствующие деталям пресс-формы [3]. Расплавленный пластик под давлением впрыскивается в формообразующую полость пресс-формы, после чего она охлаждается и раскрывается для извлечения детали [4]. Типовая конструкция формы показана на рисунке 1.

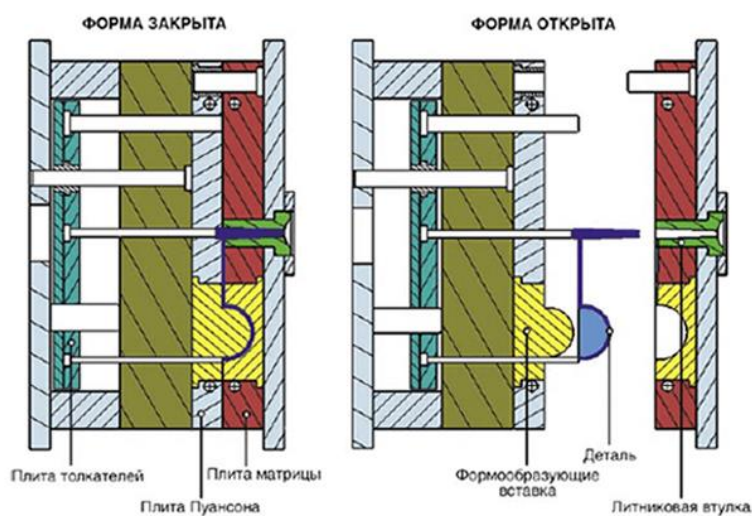


Рисунок 1 – Типовая конфигурация пресс-формы

Ускорение и удешевление себестоимости производства пресс-форм привело к тому, что их элементы максимально стандартизованы. Благодаря этому, изготовление пресс-форм сводится в основном к созданию формообразующих вставок. Большую часть себестоимости пресс-форм составляет высококачественная сталь, на долю которой приходится около 80% стоимости всей формы. Собственно, качество стали используемая в пресс-формах, определяет срок службы формы [5].

Лидером по производству пресс-форм является Китай. Цена за пресс-формы в Китае, сильно различается в зависимости от уровня производителя, но она все же в несколько раз меньше, чем в Европе. Если же говорить о сроках изготовления пресс-форм, Европа так же уступает Китаю. Основные проблемы при работе с китайскими производителями заключается в трудности контроля сроков доставки и качества [6].

Как основной материал для изготовления корпусов распространение в электротехнической промышленности получил пластик АБС. Широкое использование он получил из-за хорошего внешнего вида, блестящей поверхности, достаточной

пластичности и сохранения своих свойств в широком диапазоне температур. Следует заметить, что детали с особыми свойствами требуют более тщательного подбора материала. Наряду с пластиком АБС часто используются такие материалы, как полистирол, поликарбонат, стеклонаполненный полиамид [7].

Вышеописанные материалы окрашиваются при помощи добавления пигмента определенного цвета. Таким образом можно получить любой цвет, однако технология окраски требует использования специализированного оборудования. Во избежание таких проблем используется суперконцентрат – гранулы пластика, окрашенные избыточным количеством пигмента [8]. Литье пластмасс – может показаться достаточно простым процессом, а с выходом недорогих китайских и тайваньских станков он стал еще и доступным. Однако эффективность и надежность такого производства будут очень низкими. С таким же успехом можно заливать корпус в полиуретановой или силиконовой форме собственного изготовления [2]. Полиуретановые и силиконовые формы часто используются для производства различных изделий. В них возможно заливать не только пластик, но и гипс и даже бетон. Силиконовую форму можно изготовить своими руками. Базовой составляющей для формы является - силиконовый компонент. Он представляет из себя набор из жидкого силикона и катализатора, то есть отвердителя. Принцип работы прост – смешиваются 2 компонента в определенных пропорциях и получившейся смесью заливается предмет, форму с которого нужно снять.

Разработка корпуса БДМ ЖБК

Разработка корпуса осуществлялась для беспроводного датчика мониторинга железобетонных конструкций. Для визуализации была использована компьютерная программа САПР (CAD). Аналогов таких программ на рынке большое множество, классификация представлена в таблице 1 [6].

Таблица 1 – Классификация программ САПР

№	Программа	Сложность задачи для исполнения	Уровень пользователя	Не рекомендуется к использованию
1	Google SketchUp	Простые корпуса	Новичок	Проекты для серийного производства
2	Blender	Любые корпуса	Новичок и выше	Проекты со сложной геометрией или поверхностью
3	КОМПАС-3D	Любые корпуса	Новичок и выше	Проекты со сложной геометрией
4	SolidWorks	Любые корпуса	Новичок и выше	Проекты со сложной поверхностью или дизайном
5	Inventor	Любые корпуса	Специалист	-
6	NX	Любые корпуса	Специалист	-
7	CATIA	Любые корпуса	Новичок и выше	-

После выбора программы для компьютерной визуализации моделируется плата и основные компоненты устройства в 3D. Вокруг полученной 3D модели выполняется построение корпуса. Важную роль на этапе построения 3D модели

играют размеры деталей, которые следует предусмотреть в 2D (рисунок 2, а, б). Точность измерения исключает возможные переделки [9].

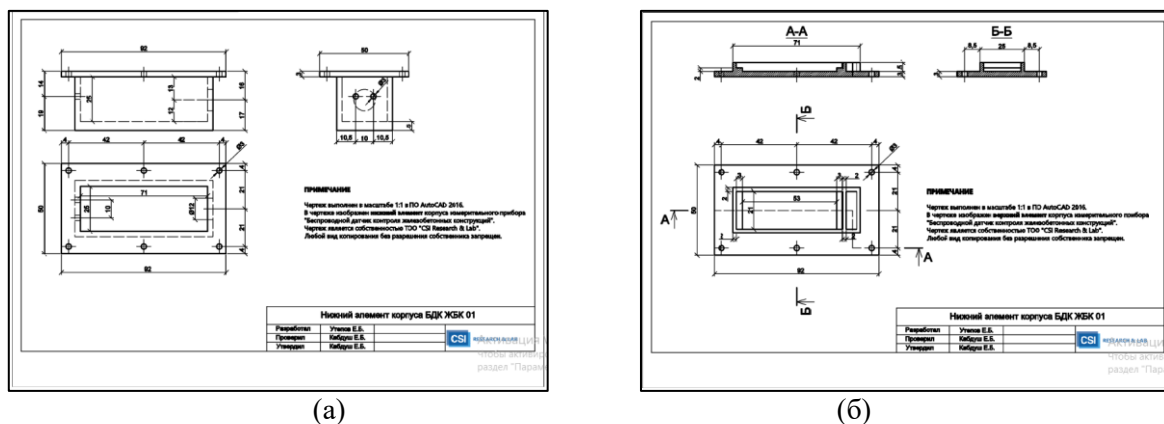


Рисунок 2 – Чертеж будущей модели в 2D с видами:
а – виды верхней части корпуса, б – виды нижней части корпуса.

Для проверки точности размеров на раннем этапе эскиза в 2D выполняется развертка на плотной бумаге (рисунок 3).



Рисунок 3 – Готовая развертка по 2D чертежам.

Для визуализации будущей модели корпуса датчика в 3D используется программа Blender [10]. В Blender построение корпуса начинается вокруг платы от самых больших размеров и постепенно переходит к более малым (рис. 4) [9].



Рисунок 4 – 3D Модель построения квадратного корпуса вокруг платы

Согласно начальному эскизу, на верхней части корпуса предусмотрен механизм активации и отверстие для ввода кабеля, а также ребро, через которое будет проходить хомут для удержания датчика в неподвижном положении. Для обеспечения герметичности корпуса используются резиновые прокладки (Рисунок 5, а) и сальник для отверстия, через которое вводится кабель в корпус датчика. Сальник состоит из корпуса, уплотнителя, гайки уплотнения, прокладки и фиксирующей гайки (рисунок 5, б). Уплотнитель и прокладка выполнены из неопрена. Корпус, гайка уплотнения и фиксирующая гайка выполнены из нейлона. Установка сальника производится при помощи трубного (газового) ключа.



(а)



(б)

Рисунок 5 – Элементы для герметичности корпуса:
а – резиновая прокладка, б – сальник для кабеля PG7.

Для печати используется 3D принтер «TEVO Tarantula i3» (рисунок 6).



Рисунок 6 – 3D принтер «TEVO Tarantula i3».

3D-модель в формате STL передается в программное обеспечение 3D-принтера. Программа дает возможность автоматически или же вручную расположить модель в виртуальном пространстве рабочей камеры [11]. После этого все вспомогательные элементы генерируются и проводится расчет количества расходных материалов, а также время печати (рисунок 7).

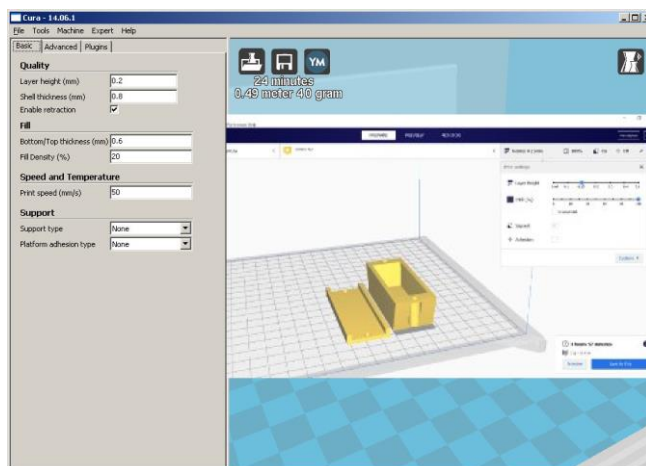


Рисунок 7 – ПО 3D-принтера для расчета количества расходных материалов и времени для печати.

Вспомогательными элементами при печати считаются материалы для поддержки деталей при расположении деталей над печатающей областью. Перед началом печати процесса модель автоматически разделяется на горизонтальные слои и производится расчет путей перемещения печатающей головки. Затем запускается процесс 3D-печати: нагревающая головка с фильерами (экструдер) расплавляет тонкую пластиковую нить (леску) и послойно укладывает ее согласно данным математической 3D-модели (рисунок 8) [12].



Рисунок 8 – Процесс печати на 3D-принтере

После завершения печати изделия вспомогательные конструкции удаляются вручную или растворяются при помощи специального раствора.

По итогам напечатанной модели можно увидеть недочеты в конструкции и дизайне корпуса. При попытке собрать корпус была обнаружена недостаточная жесткость стенок корпуса. Поэтому следующее решение – возврат на предыдущую стадию и внесение правки в модель. Готовую модель можно дорабатывать путем использования подручных материалов, например, для наращивания толщины детали или добавления нового элемента использовать жид-

кий пластик, пластилин или картонную бумагу. Чем больше прототипов будет изготовлено, тем больше недочетов будет выявлено, и конечный продукт будет максимально продуманным (рисунок 9, а, б).



(а)



(б)

Рисунок 9 – Доработка напечатанной модели:
а – доливка пластика по краям верхней части корпуса;
б – наращивание высоты бортика нижней части корпуса при помощи бумаги.

При заливке силикона необходимо чтобы формы можно было ровно состыковать между собой (рисунок 10). Для состыковки в первой части формы должны быть отверстия, а во второй выступы.



(а)



(б)

Рисунок 10 – Процесс заливки силикона для получения составной формы квадратного корпуса: а – верхняя часть корпуса, б – нижняя часть корпуса.

Время твердения пластика после схватывания около 20 минут.

В процессе проектирования и заливки, корпус потерпел немало изменений. На момент виртуальной модели края корпуса было принято увеличить, чтобы примыкание верхней части и нижней было плотное, а после 3D печати были добавлены ребра жесткости (рисунок 11).

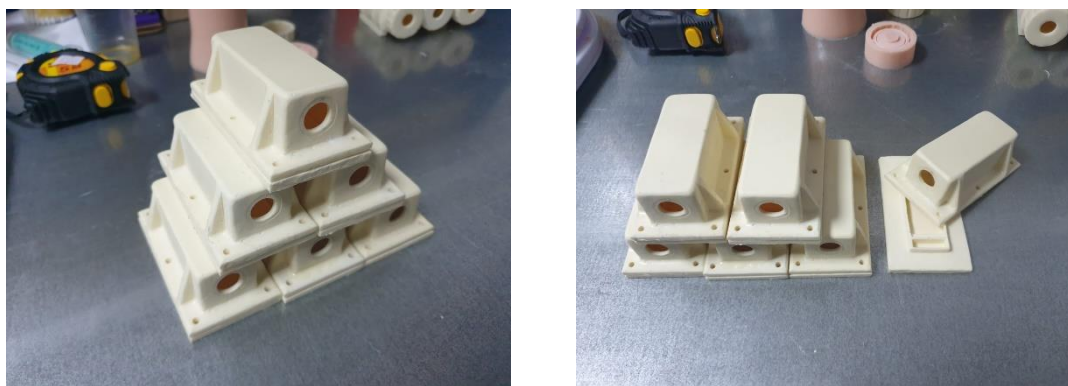


Рисунок 11 – Готовый корпус датчика

После того как корпус готов, необходимо провести тестирование для проверки характеристик.

Выводы

По результатам работы выявлено, что форма корпуса играет немаловажную роль при создании электронного устройства. Технические характеристики и требования к эксплуатации устройства напрямую отражаются на себестоимости продукта, где значительную часть составляют расходы на создание, испытание и серийное производство корпуса.

Каждый этап разработки корпуса является ответственным моментом, и одним из которых является построение 3D модели, где необходимо соблюдать несколько основных правил: не должно быть коллизии и пересекающихся деталей; каждая деталь должна собираться и полностью «сопргаться» друг с другом; использовать унифицированные размеры для стенок корпуса и повторяющихся деталей; использовать симметрию и зеркальное расположение деталей.

Информация о финансировании

Данное исследование финансировано Комитетом науки Министерства образования и науки Республики Казахстан (грант №AP08052033).

Литература:

1. *Teslatec. Этапы разработки электроники. [Электрон. ресурс] – 2020. – URL: <http://teslatec.ru/stages-of-development>*
2. *Boothroyd G. Product design for manufacture and assembly // Computer-Aided Design. – 1994. – No 26(7). – P. 505-520. (в международном журнале)*
3. *Heckele M., Schomburg W. K. Review on micro molding of thermoplastic polymers // Journal of Micromechanics and Microengineering. – 2003. – No 14(3). – P. R1–R14. (в международном журнале)*
4. *Emerson. Опыт применения беспроводных технологий в промышленности. Брошюра. [Электрон. ресурс] – 2020. – URL: [применения-беспроводных-технологий-в-промышленности-ru-ru-61746.pdf](#)*
5. *Thiriez A., Gutowski T. An Environmental Analysis of Injection Molding // Proceedings of the 2006 IEEE International Symposium on Electronics and the Environment. – 2006. doi:10.1109/isee.2006.1650060*

6. *Как спроектировать корпус для прибора: полное руководство. [Электрон. ресурс] - 2019.- URL: <https://vc.ru/tech/96263-kak-sproektirovat-korpus-dlya-pribora-polnoe-rukovodstvo>*
7. Sun J., Frazer J.H., Mingxi T. Shape optimization using evolutionary techniques in product design // *Computers & Industrial Engineering*. – 2007. – No 53(2). – P. 200-205. (в международном журнале)
8. Rodrigues E., Amaral A.R., Gaspar A.R., Gomes A. An approach to urban quarter design using building generative design and thermal performance optimization // *Energy Procedia*. – 2015. – No 78. – P.2899-2904. (в международном журнале)
9. Alcaide-Marzal J., Diego-Mas J.A., Acosta-Zazueta G.A. 3D shape generative method for aesthetic product design // *Design Studies*. – 2019. doi:10.1016/j.destud.2019.11.003
10. Tovey M., Porter S., Newman, R. Sketching, concept development and automotive design // *Design Studies*. – 2003. – No 24(2). – P.135-153. (в международном журнале)
11. Szilvsi-Nagy M., Mátyási G. Analysis of STL files // *Mathematical and Computer Modelling*. – 2003. – No 38(7-9). – P. 945-960. (в международном журнале)
12. Утепов Y., Khudaibergenov O., Kabdush Y., Kazkeev A. Prototyping an embedded wireless sensor for monitoring reinforced concrete structures // *Comput. Concr.* – 2019. – No 24. – P. 95-102. (в международном журнале)

References:

1. Teslatec. Stages of electronics development. [Electronic resource]. - 2020.- URL: <http://teslatec.ru/stages-of-development> (In Russian)
2. Boothroyd G. Product design for manufacture and assembly // *Computer-Aided Design*. – 1994. – No 26(7). – P. 505–520. doi:10.1016/0010-4485(94)90082-5 .
3. Hecke M., Schomburg W. K. Review on micro molding of thermoplastic polymers // *Journal of Micromechanics and Microengineering*. – 2003. – No 14(3). – P. R1–R14. doi:10.1088/0960-1317/14/3/r01 .
4. Emerson. Experience of wireless technology in industry. Brochure. [Electronic resource]. - 2020.- URL: [применения-беспроводных-технологий-в-промышленности-ru-ru-61746.pdf](#) (In Russian)
5. Thiriez A., Gutowski T. An Environmental Analysis of Injection Molding // *Proceedings of the 2006 IEEE International Symposium on Electronics and the Environment*. – 2006. doi:10.1109/isee.2006.1650060.
6. How to design an enclosure for an appliance: a complete guide. [Electronic resource]-. 2019.- URL: <https://vc.ru/tech/96263-kak-sproektirovat-korpus-dlya-pribora-polnoe-rukovodstvo> (In Russian)
7. Sun J., Frazer J. H., Mingxi T. Shape optimization using evolutionary techniques in product design // *Computers & Industrial Engineering*. – 2007. – No 53(2). – P. 200-205. <https://doi.org/10.1016/J.CIE.2007.06.010>.
8. Rodrigues E., Amaral A. R., Gaspar A. R., Gomes A. An approach to urban quarter design using building generative design and thermal performance optimization // *Energy Procedia*. – 2015. – No 78. – P.2899-2904. <https://doi.org/10.1016/j.egypro.2015.11.662>.
9. Alcaide-Marzal J., Diego-Mas J. A., Acosta-Zazueta G. A 3D shape generative method for aesthetic product design // *Design Studies*. – 2019. doi:10.1016/j.destud.2019.11.003
10. Tovey M., Porter S., Newman, R. Sketching, concept development and automotive design // *Design Studies*. – 2003. – No 24(2). – P.135-153. [https://doi.org/10.1016/S0142-694X\(02\)00035-2](https://doi.org/10.1016/S0142-694X(02)00035-2).
11. Szilvsi-Nagy M., Mátyási G. Analysis of STL files // *Mathematical and Computer Modelling*. – 2003. – No 38(7-9). – P. 945-960. doi:10.1016/s0895-7177(03)90079-3.
12. Утепов Y., Khudaibergenov O., Kabdush Y., Kazkeev A. Prototyping an embedded wireless sensor for monitoring reinforced concrete structures // *Comput. Concr.* – 2019. – No 24. – P. 95-102. doi:10.1038/srep39852.

Е.Б. Утепов^{1,2}, А.С.Тулбекова^{1*}, Ш.Ж. Жарасов², Д.О.Базарбаев²

¹«CSI Research & Lab» ЖШС ҒЗТҚЖ, Нұр-Сұлтан, Қазақстан

² Л.Н. Гумилев атындағы Еуразия ұлттық университеті, Нұр-Сұлтан, Қазақстан

*Corresponding author: krasavka5@mail.ru

Авторлар жайлы ақпарат:

Утепов Елбек Бахитович – PhD, доцент, «CSI Research & Lab» ЖШС ҒЗТҚЖ бөлімінің бастығы, Нұр-Сұлтан, Қазақстан

<https://orcid.org/0000-0001-6723-175x>, email: utepov-elbek@mail.ru

Тулбекова Асель Сериковна – PhD, доцент, «CSI Research & Lab» ЖШС ҒЗТҚЖ бөлімінің аға ғылыми қызметкері, Нұр-Сұлтан, Қазақстан

<https://orcid.org/0000-0001-8553-3081>, email: krasavka5@mail.ru

Жарасов Шыңғыс Жарасович – докторант, Л.Н.Гумилев ат. Еуразия Ұлттық университеті, Нұр-Сұлтан, Қазақстан

<https://orcid.org/0000-0002-0468-8362>, email: zhshzh95@gmail.com

Базарбаев Данияр Омарович- PhD, доцент, Л.Н. Гумилев атындағы Еуразия ұлттық университеті, Нұр-Сұлтан, Қазақстан

<https://orcid.org/0000-0001-8547-5440>, email: phdd84@mail.ru

**ТЕМІРБЕТОН КОНСТРУКЦИЯЛАРЫН СЫМСЫЗ БАҚЫЛАУ СЕНСОРЫНА
АРНАЛҒАН КОРПУСТЫ ДАМУ**

Андатпа. Корпустың дизайны – өнімді жасаудың ең маңызды кезеңі. Үй жағдайында жасалған корпусың көптеген артықшылықтары да, кемшіліктері де бар. Электрондық құрылғы корпусының дамуының маңызды бөлігі алдын ала зерттеу кезеңі болып табылады. Әр құрылғының өзіндік технологиялық ерекшеліктері бар, ол тұжырымдамаларды әзірлеу кезінде ескеріледі. Мақалада темірбетон конструкцияларын бақылауға арналған сымсыз сенсорға арналған корпусың даму ерекшеліктері келтірілген және әр кезеңнің маңызды аспектілері қарастырылған.

Түйін сөздер: силикон зең, сұйық пластик, зең толтыру, тұрғын үй жобалау, 3D басып шығару.

Ye.Utepov^{1,2}, A.Tulebekova^{1*}, Sh.Zharassov², D.Bazarbayev²

¹ R&D Department, «CSI Research & Lab» LLP, Nur-Sultan, Kazakhstan

² L.N. Gumilyov Eurasian National University, Nur-Sultan, Kazakhstan

*Corresponding author: krasavka5@mail.ru

Авторлар жайлы ақпарат:

Utepov Yelbek – PhD, Associate Professor, Head of R&D Department, «CSI Research & Lab» LLP, Nur-Sultan, Kazakhstan

<https://orcid.org/0000-0001-6723-175x>, email: utepov-elbek@mail.ru

Tulebekova Asel – PhD, Associate Professor, Senior Researcher of the R&D Department, «CSI Research & Lab» LLP, Nur-Sultan, Kazakhstan

<https://orcid.org/0000-0001-8553-3081>, email: krasavka5@mail.ru

Zharassov Shyngys – PhD Student, L.N. Gumilyov Eurasian National University, Nur-Sultan, Kazakhstan

<https://orcid.org/0000-0002-0468-8362>, email: zhshzh95@gmail.com

Bazarbayev Daniyar - PhD, Associate Professor, L.N. Gumilyov Eurasian National University, Nur-Sultan, Kazakhstan

<https://orcid.org/0000-0001-8547-5440>, email: phdd84@mail.ru

**DEVELOPMENT OF A CASE FOR A WIRELESS SENSOR FOR MONITORING
OF REINFORCED CONCRETE STRUCTURES**

Abstract. Enclosure design is the most important stage of product development. A proprietary enclosure has many advantages as well as disadvantages. The most important part of the design of an electronic device enclosure is the preliminary research stage. Each device has its own technological peculiarities, which are taken into account during the development of concepts. This article presents the peculiarities of development of enclosure for wireless sensor for monitoring of reinforced concrete structures, discusses the important aspects of each stage.

Keywords: silicone mold, liquid plastic, mold casting, enclosure design, 3D printing.