

УДК 69.05.04

[https://doi.org/10.37538/2224-9494-2023-2\(37\)-136-150](https://doi.org/10.37538/2224-9494-2023-2(37)-136-150)

EDN: YDILFM

# ОПТИМИЗАЦИЯ АРМИРОВАНИЯ ЖЕЛЕЗОБЕТОННЫХ КОНСТРУКЦИЙ ЗДАНИЙ И СООРУЖЕНИЙ ПРИ АВТОМАТИЗАЦИИ ПРОЦЕССОВ ПРОЕКТИРОВАНИЯ

А.А. КВАСНИКОВ, канд. техн. наук

Е.В. СУМАРКОВ✉

*Научно-исследовательский, проектно-конструкторский и технологический институт бетона и железобетона (НИИЖБ)  
им. А.А. Гвоздева АО «НИЦ «Строительство», 2-я Институтская ул., д. 6, к. 5, г. Москва, 109428, Российская Федерация*

## Аннотация

**Введение.** Армирование – один из важнейших процессов при проектировании железобетонных конструкций. Необходимость оптимизации процесса армирования возникает из-за постоянного увеличения объемов и сложности строительных проектов, а также в свете требований экономичности и эффективности. В связи с этим автоматизация процессов проектирования становится все более актуальной, позволяя существенно ускорить и улучшить качество выполнения этих работ. Автоматизировать процесс проектирования пытаются и в других областях гражданского и промышленного строительства, чтобы обеспечить уменьшение издержек при строительстве и производстве работ. Обычно применяют методы Mixed Integer Programming (MIP), Симплекс-метод и Генетический алгоритм (ГА).

**Цель:** разработать алгоритм оптимизации процесса армирования железобетонных конструкций зданий и сооружений и создать программу для автоматизации процесса.

**Материалы и методы.** В работе использовались результаты расчета, выполненные авторами и полученные в программе Lira. Также авторами была создана цифровая информационная модель здания, построенная в программе Revit. Для тестовой обработки результатов использовался язык программирования python. Готовое решение выполнялось на языке C# с использованием RevitAPI.

**Результаты.** В работе обоснована необходимость и продемонстрирована возможность оптимизации технологических решений при проектировании зданий и сооружений из железобетона по критерию «надежность – эффективность». Для этого проведена интеграция существующих программных средств проектирования в единый модуль моделирования и проектирования и предложено к разработке необходимое программное обеспечение. Генетический алгоритм выбран основным методом для оптимизации армирования конструкций. Разработаны инструменты по обработке результатов расчета, созданию дубликата расчетной модели в среде проектирования и инструменты для анализа расчета.

**Выводы.** Выбранный генетический алгоритм оптимизации позволяет ускорить процесс проектирования, экономить время при проектировании железобетонных конструкций. Результаты исследования позволяют разработать программное обеспечение по автоматизации армирования.

**Ключевые слова:** проектирование, железобетон, снижение расхода материалов, устойчивое развитие, армирование, оптимизация, моделирование, автоматизация, расчеты, генетические алгоритмы, ТИМ

**Для цитирования:** Квасников А.А., Сумарков Е.В. Оптимизация армирования железобетонных конструкций зданий и сооружений при автоматизации процессов проектирования. *Вестник НИЦ «Строительство»*. 2023;37(2):136–150. [https://doi.org/10.37538/2224-9494-2023-2\(37\)-136-150](https://doi.org/10.37538/2224-9494-2023-2(37)-136-150)

## Вклад авторов

Все авторы внесли равноценный вклад в подготовку публикации.

**Финансирование**

Исследование не имело финансовой поддержки.

**Конфликт интересов**

Авторы заявляют об отсутствии конфликта интересов.

Поступила в редакцию 13.12.2022

Поступила после рецензирования 21.02.2023

Принята к публикации 07.03.2023

## OPTIMIZING THE REINFORCEMENT OF BUILDINGS AND STRUCTURES IN AUTOMATIC DESIGN PROCESSES

A.A. KVASNIKOV, Cand. Sci. (Engineering)

E.V. SUMAROKOV✉

*Research Institute of Concrete and Reinforced Concrete (NIIZHB) named after A.A. Gvozdev, JSC Research Center of Construction, 2nd Institut'skaya str., 6, bld. 5, Moscow, 109428, Russian Federation*

**Abstract**

*Introduction.* Reinforcement is one of the most important processes in designing reinforced concrete structures. The need to optimize the reinforcement process arises from the constant increase in the volume and complexity of construction projects, as well as from the economy and efficiency requirements. In this regard, automatic design processes are becoming increasingly relevant, being conducive to significant acceleration and improvement of the quality of these works. Other areas of civil and industrial construction are also adopting automatic design processes in order to reduce construction and production costs. Mixed Integer Programming (MIP), Simplex Method (SM), and Genetic Algorithm (GA) are commonly used.

*Aim:* to develop an algorithm for optimizing the reinforcement process of reinforced concrete structures of buildings and structures and to design a program for automating the process.

*Materials and methods.* The paper relies upon the results of the calculations performed by the authors in the Lira program. Furthermore, the authors created a digital information model of the building in the Revit program. The Python programming language was used to test the results. A ready-made solution was created in C# using RevitAPI.

*Results.* The paper substantiates the relevance and demonstrates the feasibility of optimization of technological solutions in the process of designing buildings and structures made of reinforced concrete according to the criterion "reliability – efficiency". To this end, existing design software was integrated into a single modeling and design module, and the necessary software was proposed for development. The genetic algorithm was chosen as the main method for optimizing the reinforcement of structures. Tools for processing the calculation results, creating a duplicate of the calculation model in the design environment and analyzing the calculations were elaborated.

*Conclusion.* The selected genetic algorithm accelerates the design process, and saves time when designing reinforced concrete structures. The results of the study are instrumental in developing the software for the automation of reinforcement.

**Keywords:** design, reinforced concrete, reduced materials consumption, sustainable development, reinforcement, optimization, modeling, automation, calculations, genetic algorithms, BIM

**For citation:** Kvasnikov A.A., Sumarokov E.V. Optimizing the reinforcement of buildings and structures in automatic design processes. *Vestnik NIC Stroitel'stvo = Bulletin of Science and Research Center of Construction*. 2023;37(2):136–150. (In Russian). [https://doi.org/10.37538/2224-9494-2023-2\(37\)-136-150](https://doi.org/10.37538/2224-9494-2023-2(37)-136-150)

**Author contribution statements**

All authors made equal contributions to the study and the publication.

### **Funding**

No funding support was obtained for the research.

### **Conflict of interest**

The authors declare no conflict of interest.

*Received 13.12.2022*

*Revised 21.02.2023*

*Accepted 07.03.2023*

## **Актуальность темы, реальность и осознанность проблематики**

Армирование железобетонных конструкций – комплексная задача. Количество информации, которое необходимо учитывать при проектировании, серьезно усложняет данную задачу. В процессе выпуска документации проектировщик сталкивается с огромным количеством проблем и старается принять оптимальное решение, но, как правило, оценить эффективность этого решения – непосильная задача для всех участников проектирования. Решение по армированию железобетонных конструкций ведется на основании их расчета в специализированном программном обеспечении, на основании сводов правил и личного опыте проектировщика. Как правило, заказчик сталкивается уже с конечным результатом и не может корректно оценить другие возможные результаты армирования. Таким образом, у подрядчика есть только одно решение и нет возможности оценить оптимальность данного решения.

Вероятно, есть решения задач проекта, которые лучше принятых, но из-за сжатых сроков проектирования они никогда не будут найдены. Чтобы улучшить решение этой проблемы, необходима возможность создания нескольких вариантов армирования конструкций для выбора проектировщиком или заказчиком для получения более оптимального результата. Основная идея состоит в том, чтобы находить все возможные оптимальные решения и предлагать их на выбор или же по заранее установленным ограничениям сразу принимать оптимальный результат, который необходим проектировщику для уменьшения трудозатрат при проектировании.

Автоматизация процесса проектирования используется и в других областях гражданского строительства, чтобы обеспечить уменьшение издержек при проектировании. Обычно используются методы Mixed Integer Programming (MIP), симплекс-метод и генетический алгоритм (ГА) [1].

Еще одна сложность состоит в том, что оптимальное решение сложно определить. Такие параметры, как количество допустимых различных типов арматуры, порядок строительства и другие данные, связанные с производством работ, варьируются в зависимости от проекта и подрядчика. Эту несколько произвольную задачу нужно решать, моделируя процесс принятия решений человеком [2].

Процесс проектирования железобетонных конструкций заключается в следующих этапах:

- концептуальное проектирование;
- стадия проект;
- разработка рабочей документации.

На каждом этапе происходит итерационная разработка документации с увеличением дополнительной информации о конструкциях на каждой итерации.

Подходы для автоматизации процесса проектирования основаны на получении готовых результатов армирования из расчетного комплекса с последующим получением оптимального решения на их основе.

Проектирование железобетонных конструкций – это процесс, состоящий из нескольких этапов. На начальном этапе у нас есть приблизительное понимание того, как будет выглядеть раскладка арматуры. Сделать выводы проектировщик может на основе визуального представления числовых значений арматуры.

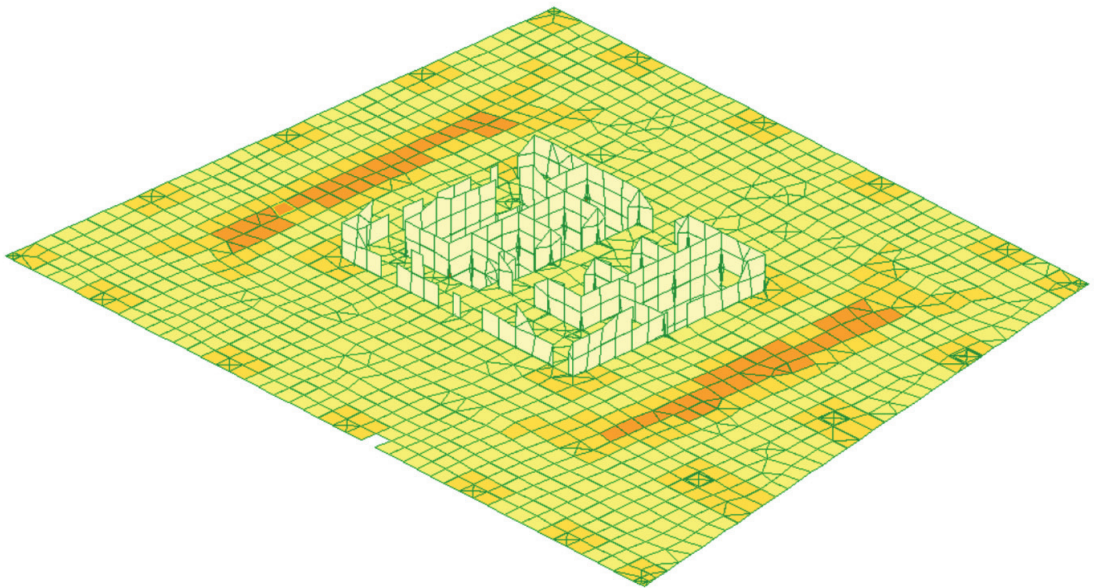
Выбор размещения требуемых стержней арматуры выбирается исходя из опыта и на основе требуемых значений по расчету (рис. 1). Это очень трудоемкий процесс, поэтому, как правило, выполняется только один вариант раскладки арматуры.

После раскладки арматуры выполняются чертежи и оформляется документация [3–5] (рис. 2, 3).

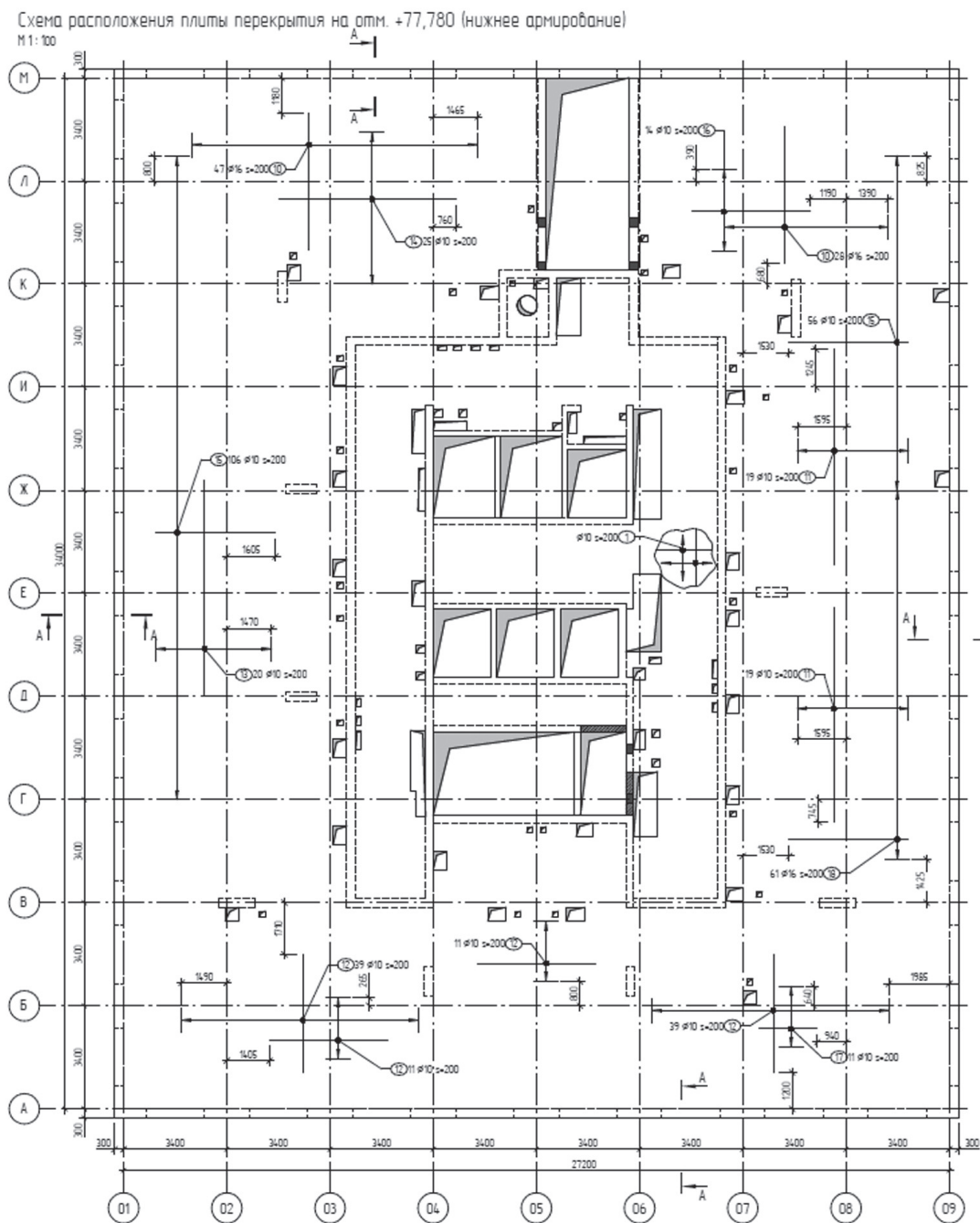
Расчет армирования производится в расчетных комплексах. Арматура раскладывается таким образом, что необходимое количество арматуры на любом участке плиты равно количеству, требуемому армированию по расчету. Требуемое армирование обозначается  $A_{s, req}$  и изменяется по конструкции в зависимости от распределения усилий в конструкции.

Арматуру, которую необходимо укладывать в плиту, подбирают исходя из формулы (1), в которой вычисляется площадь поперечного сечения стержней, укладываемых на метр длины конструкции.

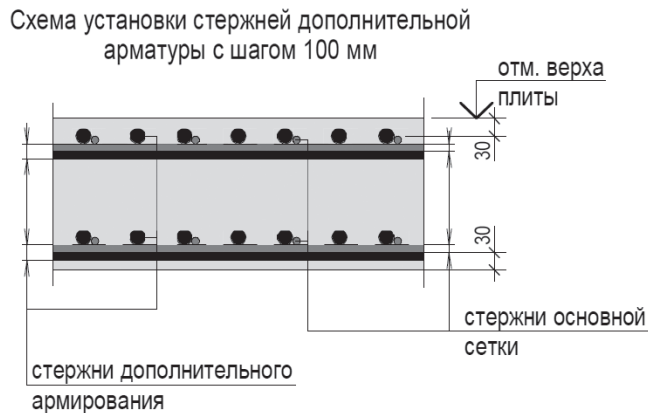
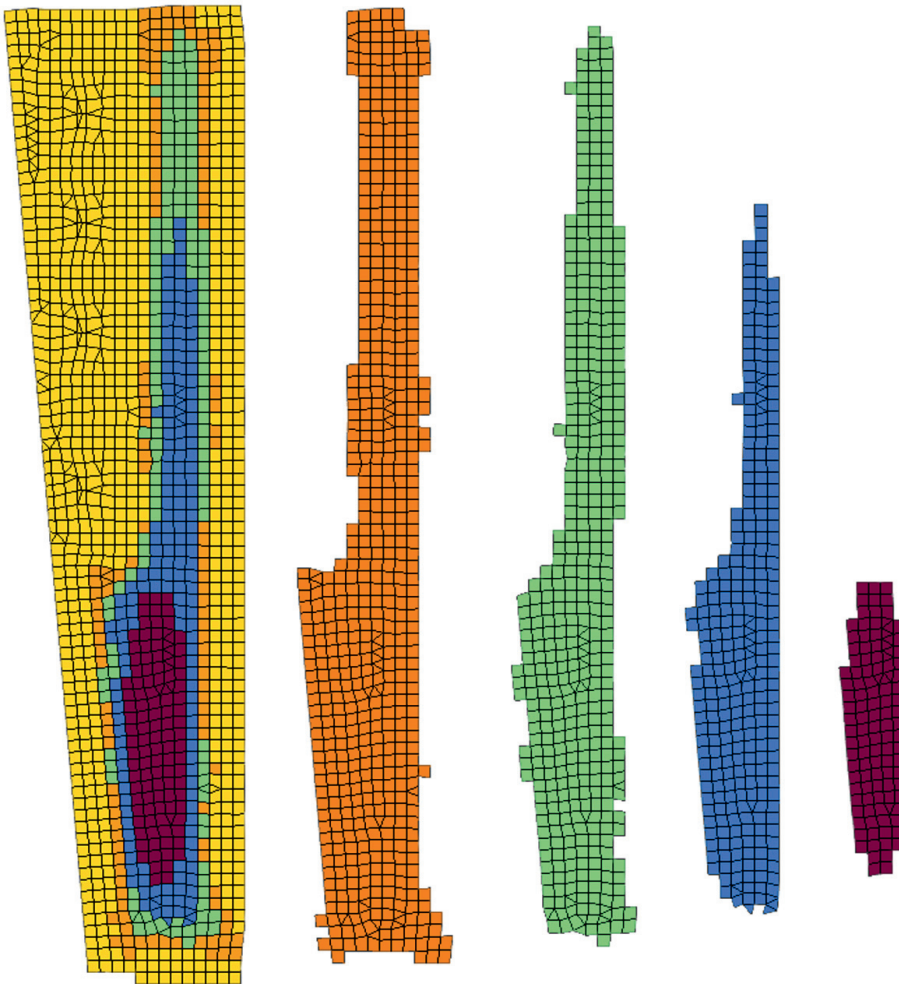
$$A_s = \frac{\pi \sigma^2}{4c} \quad (1)$$



**Рис. 1.** Пример результатов распределения арматуры в конструкции  
**Fig. 1.** Example of reinforcement distribution results in the structure



**Рис. 2.** Пример получаемого чертежа  
**Fig. 2.** Example of the resulting drawing

**Рис. 3.** Пример возможной укладки стержней в конструкции**Fig. 3.** Example of possible setting of the reinforcement bars**Рис. 4.** Пример разбиения на уровни раскладки армирования**Fig. 4.** Example of breakdown into reinforcement layout levels

Задача проектировщика – найти комбинацию арматуры, которая удовлетворяет требованиям расчета. Также комбинации стержней ограничены размерами конструкции, а расстояние между стержнями ограничено возможностями монтажа и заливки бетона.

Необходимо также учитывать унификацию арматурных стержней, т. к. это усложнит проектирование и производство работ на стройке.

Из формулы (1) делается вывод, что комбинация вариантов происходит за счет изменения диаметров стержней и их шага. Подбор арматуры происходит до тех пор, пока не выполняются условия расчета.

Для уменьшения расхода арматуры в плите результаты армирования разбиваются на различные уровни и участки, где на каждый участок подбираются свои комбинации арматуры (рис. 4).

## **Процесс проектирования и цифровая информационная модель**

ЦИМ – это цифровая модель, в которой объекты в модели представляют объекты в реальности, такие как стена, перекрытие или фундамент.

Объекты в модели соответствуют как геометрическим, так и их физическим характеристикам, и таким образом можно использовать эту информацию для различных целей.

Использование ЦИМ дает множество преимуществ, например более эффективное координирование проекта.

В настоящее время также используется ЦИМ для выпуска проектной документации для раздела железобетонных конструкций.

Процесс создания модели состоит из следующих шагов.

- Конструктор создает модель железобетонных конструкций в расчетной программе. Задает нагрузки и их сочетания в соответствии с нормативными документами, проводит расчет конструкций.

- Проводится анализ расчетной схемы, а затем, если устраивают полученные результаты, проводится расчет армирования конструкций.

- После подбора армирования по расчету арматура экспортируется в ЦИМ программу, где инженер по результатам расчета выполняет армирование конструкций и оформление чертежа.

На данный момент в этом процессе используется несколько программ, процесс создания модели не согласован. Например, чтобы получить расчетную модель, приходится ее условно заново моделировать в отдельной программе, хотя она уже существует в ЦИМ программе. А также результаты расчета обратно в ЦИМ программу импортируются только в формате *jreg* или *dxg*, что влечет за собой потерю информации о результате расчета, что снижает пространство для маневра конструктору и добавляет дополнительный риск возникновения ошибок.

Кроме того, подрядчики или заказчики часто хотят быстро внести изменения в чертежи, чтобы исправить ошибки или выбрать другое решение.

Этому может препятствовать тот факт, что все изменения необходимо пересматривать несколькими участниками, и информация, передаваемая на перечисленных этапах получения результата, не хранится на постоянной основе.

Программное обеспечение, рассматриваемое в данной статье, предлагает способ устранения проблемы с передачей информации, т. к. позволяет соединить две модели, расчетную и физическую, в одной программе.

## Методы оптимизации

При проектировании зданий всегда необходимо стремиться минимизировать затраты, влияние на окружающую среду, уменьшить сроки или риски для максимизации прибыли, качества или эффективности.

Чтобы найти наиболее оптимальное или эффективное решение среди всех возможных решений, можно использовать различные методы глобальной оптимизации.

Существует множество различных методов решения задач глобальной оптимизации, которые можно разделить на два класса: точные и эвристические.

Точные – это строгие методы, которые могут найти решение, которые гарантированно будут оптимальными или которые могут показать, что не существует допустимого решения. Они выполняют исчерпывающий поиск в пространстве возможных решений, что требует большого количества шагов. Для сложных или больших комплексных моделей это может быть чревато чрезмерной вычислительной нагрузкой.

Эвристические методы основаны на подсознательном мышлении и характеризуются неосознанным (интуитивным) способом действий для достижения осознанных целей. Эвристические методы еще называют методами инженерного (изобретательного) творчества.

В самом общем случае решить оптимизационную задачу – это значит найти наилучшее решение среди возможных вариантов [6–8].

Если оптимизация связана с расчетом оптимальных значений параметров при заданной структуре объекта, то она называется параметрической. Задача выбора оптимальной структуры является структурной оптимизацией.

Решение любой оптимизационной задачи основано на построении математической модели исследуемого объекта и проведении вычислительного эксперимента. Проведение вычислительного (компьютерного) эксперимента не с самим объектом, а с его моделью дает возможность эффективно исследовать его свойства в любых ситуациях.

На первом этапе эксперимента строится некий эквивалент объекта, его модель, отражающая в математической форме важнейшие свойства объекта.

Второй этап – разработка алгоритма для реализации модели на компьютере.

Модель представляется в форме, удобной для применения численных методов, определяется последовательность вычислительных и логических операций, которые нужно провести, чтобы найти искомые величины с заданной точностью. На третьем этапе создаются программы, реализующие алгоритмы на доступном компьютеру языке. Нахождение оптимальных значений параметров – это один из этапов вычислительного эксперимента, позволяющий выработать управляющее воздействие на объект исследования.

## Создание программы для обработки и чтения результатов расчета

В процессе работ по данной теме была разработана программа, позволяющая объединить данные из расчетной модели с данными физической модели, выполненной в программе Revit.

Программа состоит из двух частей. Первая часть была выполнена для загрузки результатов расчета в программе Revit. Также данная часть программы позволит визуально контролировать раскладку арматуры в конструкциях (рис. 5).

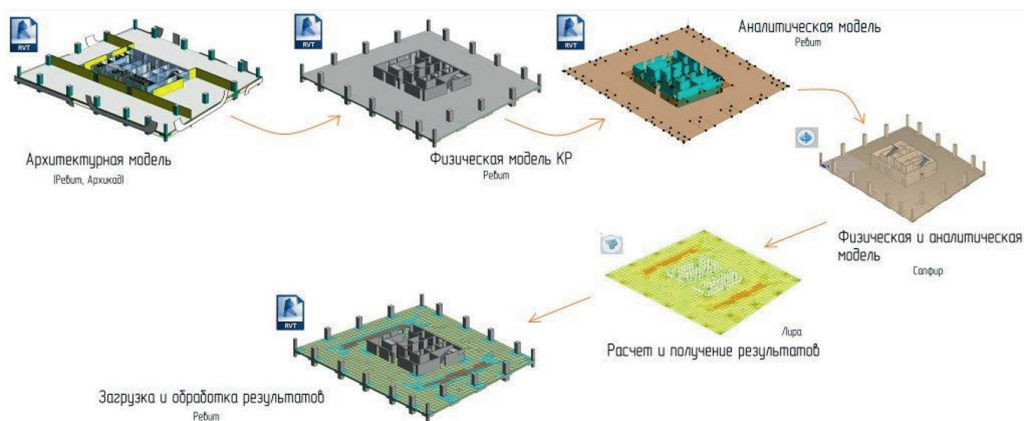


Рис. 5. Схема работы приложения  
Fig. 5. Operation scheme of the application

В качестве исходных данных для загрузки в Revit используются текстовые отчеты из расчетной программы.

## Обработка отчета из расчетного комплекса Lira-SAPR

Ввиду отсутствия методов, позволяющих собирать необходимую информацию автоматизировано, был выбран путь получения необходимых данных через текстовые отчеты.

Расчетная модель представляет из себя двух-, трех- и четырехузловые конечные элементы. Результаты расчета хранятся во внешнем файле.

Перечень необходимых данных для создания дубликата модели в Revit:

- координаты узлов;
- тип элемента и принадлежащие ему узлы;
- информация о результатах расчета для элемента.

Вся эта информация была получена из расчетного комплекса с помощью команды «книга отчетов».

На основе этих данных создается сводная реляционная база данных (таблица), позволяющая на следующем шаге ускорить построение дубликата расчетной модели в Revit.

## Элементы

Свойство **элемента**, порядковый номер, может измениться, если пользователь проведет перенумерацию элементов в схеме, не рекомендуется проводить данную команду в Lira-SAPR, это приведет к необходимости повторной выгрузки всех данных.

**Тип элемента** отображает, что это за элемент:

- 10 – стержень;
- 42 – трехузловая пластина;
- 44 – четырехузловая пластина.

**Номер жесткости** – числовое значение, которое является ключом для типа жесткости из связанных таблиц.

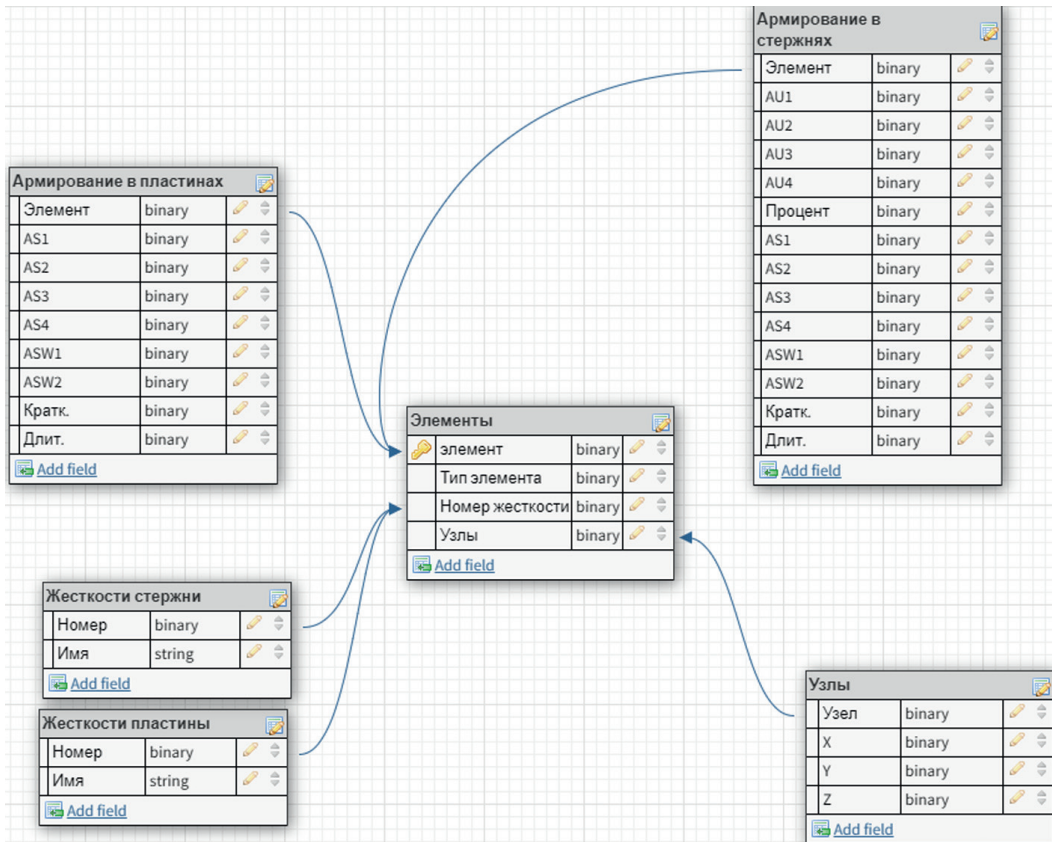


Рис. 6. Логическая схема данных

Fig 6. Logical schema

**Узлы** – список точек, на основе которых строится элемент, является ключом для таблицы «узлы».

## Узел

**Узел** – порядковый номер точки.

**XYZ** – координаты.

## Армирование в пластинах

**Элемент** – зависимое поле для таблицы «элементы».

Все оставшиеся колонки являются необходимыми данными для армирования.

## Армирование в стержнях

Отличием данной таблицы, помимо свойств, является разбивка каждого элемента на дополнительные сечения.

Было необходимо предусмотреть сохранение свойств по всем сечениям.

- Также каждое сечение обладает свойствами:
- 1 строка – полная;
  - 2 строка – прочность;
  - 3 строка – кручение.

**Создание копии модели в Revit**

Исходными данными являются объединенные данные из предыдущего шага по выгрузке и сведению в единую таблицу результатов.

Для создания дубликатов был выбран способ создания не редактируемой геометрии в Revit DirectShape. Данный способ позволяет создавать наиболее легкую с точки зрения обработки модель, а также позволяет быть уверенным, что ни один из пользователей не изменит модель при работе в программе.

**Чтение и визуализация результатов расчета в Revit**

Результатом предыдущего шага является создание дубликата расчетной модели, которая обладает всеми свойствами результатов расчета.

Для удобства чтения результатов расчета, как правило, используется цветовая шкала на базе числовых значений в элементах.

Для создания цветовой шкалы необходимо выбрать инструмент Analysis Visualisation Framework Revit. Данный фреймворк является системным инструментом Revit и полностью удовлетворяет требованиям проектировщика (рис. 7, 8).

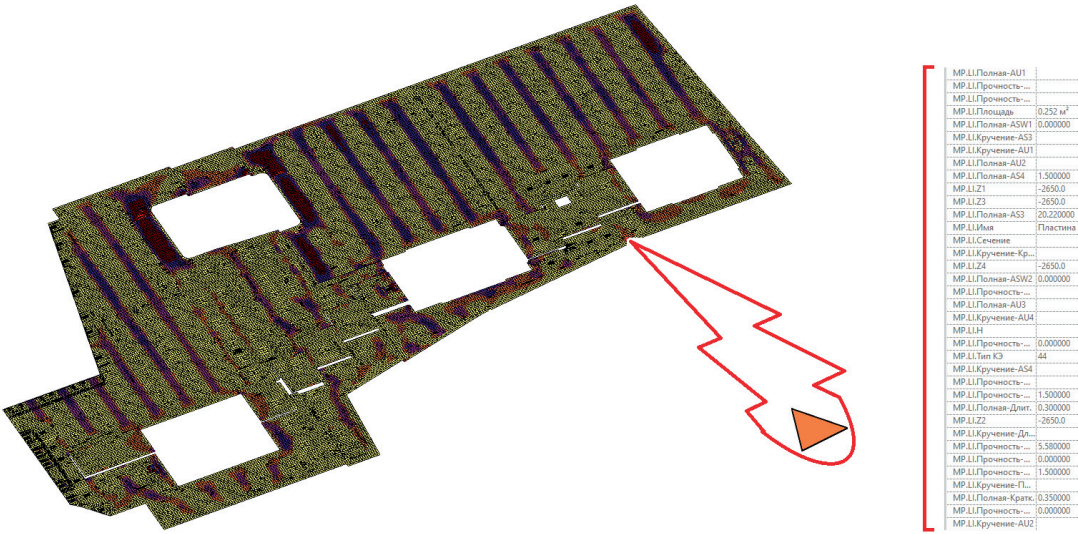
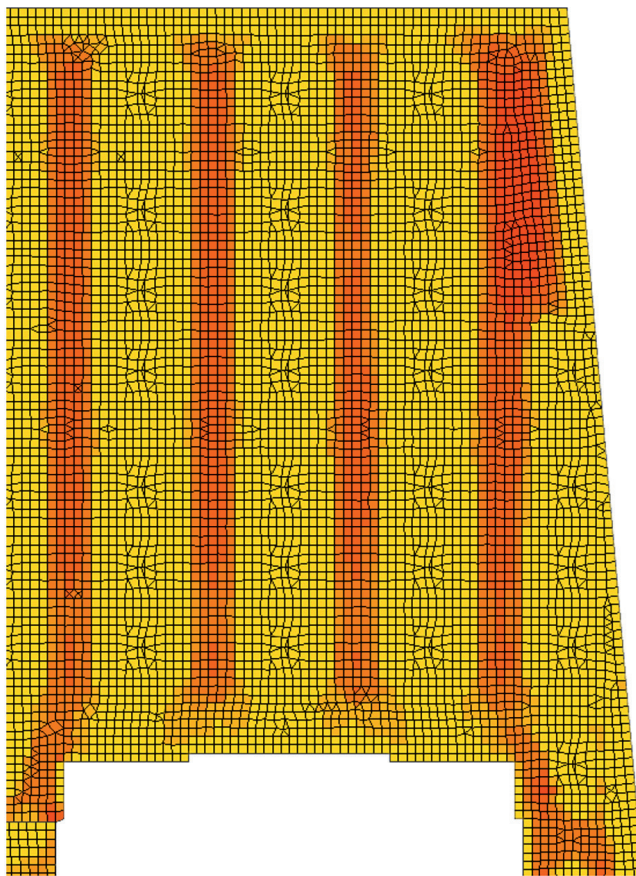


Рис. 7. Созданный дубликат расчетной схемы в Revit  
Fig. 7. Created duplicate of the calculation scheme in Revit



Визуализация армирования Lira

Параметры шкалы

$s200\varnothing10+s200\varnothing10+s200\varnothing12+s200\varnothing16+s200\varnothing20+s200\varnothing25+s200\varnothing28+s200\varnothing32$

$s$  200  $\varnothing$  40

|                                       | Площадь | Скрыть?                  |
|---------------------------------------|---------|--------------------------|
| $s200\varnothing10$                   | 3.93    | <input type="checkbox"/> |
| $s200\varnothing10+s200\varnothing10$ | 7.85    | <input type="checkbox"/> |
| $s200\varnothing10+s200\varnothing12$ | 9.58    | <input type="checkbox"/> |
| $s200\varnothing10+s200\varnothing16$ | 13.98   | <input type="checkbox"/> |
| $s200\varnothing10+s200\varnothing20$ | 19.63   | <input type="checkbox"/> |
| $s200\varnothing10+s200\varnothing25$ | 28.47   | <input type="checkbox"/> |
| $s200\varnothing10+s200\varnothing28$ | 34.71   | <input type="checkbox"/> |
| $s200\varnothing10+s200\varnothing32$ | 44.14   | <input type="checkbox"/> |

Режим: ☒  $s200\varnothing10+s200\varnothing40$  ☐  $s200\varnothing40$

Параметры визуализации

Режим:

Параметр:

☐ Показать нормали (в 3D видах)

Рис. 8. Пример настройки цветовой шкалы по результатам расчета  
Fig. 8. Example of setting the color scale based on the calculation results

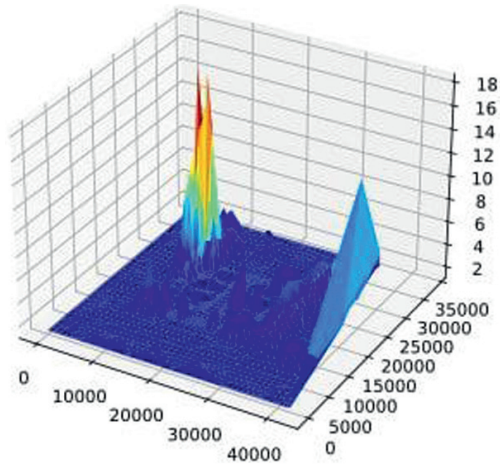
## Решение по оптимизации раскладки армирования в плите

Программу необходимо разрабатывать для выполнения нескольких задач, которые выполняет инженер-конструктор при проектировании железобетонной конструкции. В частности, задачу армирования – для обеспечения достаточного количества арматуры на всех участках конструкции (рис. 9), а также выполнения требований расстояния между стержнями, длины анкеровки и других правил в соответствии с нормативными документами.

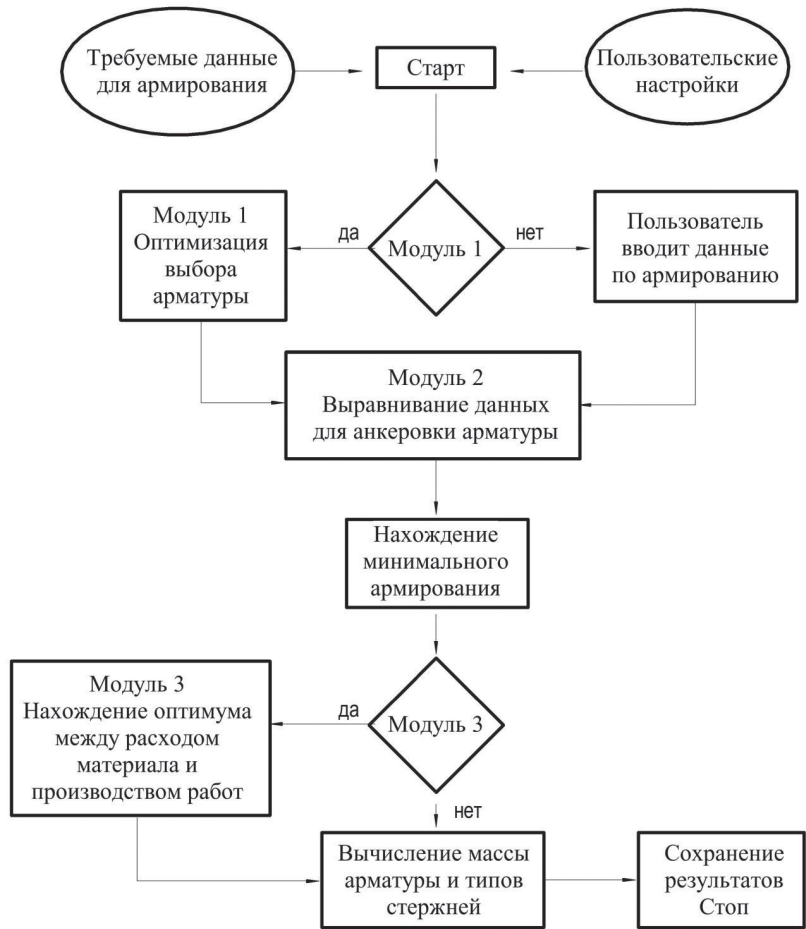
В качестве исходных данных необходимо использовать входные данные о требуемом армировании. Обработанные данные программы – это предложенные схемы армирования, а также общий расход и количество типов используемых арматурных стержней.

В соответствии с обычным процессом проектирования конструкций программу можно разделить на три основных модуля. Блок-схема представлена на рис. 10.

Первый модуль – выбор комбинации типов арматурных стержней и шагов между центрами стержней, а также того, как расположены зоны армирования. Эти переменные выбираются таким образом, чтобы ограничить используемую избыточно арматуру, не применяя слишком



**Рис. 9.** Пример распределения требуемой арматуры по расчету в конструкции  
**Fig. 9.** Example of distribution of required reinforcement in the structure by calculation



**Рис. 10.** Блок-схема приложения  
**Fig. 10.** Schematic diagram of the application

много различных комбинаций, которые могут привести к усложнению конструкции. Вторым модулем используется различные слои армирования для расчета необходимой длины анкеровки в зависимости от результатов модуля 1.

Наконец, третий модуль необходим для регулировки типов арматуры, чтобы найти необходимый компромисс между количеством различных длин стержней и избыточным расходом арматуры от регулировки этих длин.

## Выводы

1. Предложены методы оптимизации армирования конструкций.
2. Разработан алгоритм оптимизации по армированию плит перекрытия.
3. Данные методы и алгоритмы оптимизации позволяют ускорить процесс проектирования, экономить время при производстве работ.
4. Проанализированы возможности отечественного программного обеспечения для расчета конструкций и связи с ТИМ программами.
5. Созданы инструменты по обработке результатов расчета, созданию дубликата расчетной модели в среде проектирования и созданию инструментов по анализу результатов расчета.
6. Данная работа позволяет разработать программное обеспечение по автоматизации армирования с применением генетического алгоритма оптимизации.

## Список литературы

1. Панченко Т.В. Генетические алгоритмы. Астрахань: Астраханский университет; 2007.
2. Лебедев В.М. Системотехника и системокванты строительного производства. Москва: Инфра-М; 2018.
3. ГОСТ 2.105-95. Единая система конструкторской документации. Общие требования к текстовым документам [интернет]. Режим доступа: <https://docs.cntd.ru/document/1200001260>
4. ГОСТ 2.106-96. Единая система конструкторской документации. Текстовые документы [интернет]. Режим доступа: <https://docs.cntd.ru/document/1200001979>
5. ГОСТ 2.109-73. Единая система конструкторской документации. Основные требования к чертежам [интернет]. Режим доступа: <https://docs.cntd.ru/document/1200001992>
6. Пантелеев А.В., Летова Т.А. Методы оптимизации в задачах и примерах. Москва: Высшая школа; 2005.
7. Кохендерфер М., Уилер Т. Алгоритмы оптимизации. Санкт-Петербург: Диалектика; 2020.
8. Кочегурова Е.А. Теория и методы оптимизации. Томск: Изд-во Томского политехнического ун-та; 2013.
9. ГОСТ 7.32-2001. Система стандартов по информации, библиотечному и издательскому делу. Отчет о научно-исследовательской работе. Структура и правила оформления [интернет]. Режим доступа: <https://docs.cntd.ru/document/1200026224>
10. ГОСТ Р 7.0.5-2008. Система стандартов по информации, библиотечному и издательскому делу. Библиографическая ссылка. Общие требования и правила составления [интернет]. Режим доступа: <https://docs.cntd.ru/document/1200063713>

## References

1. Panchenko T.V. Genetic algorithms. Astrakhan: Astrakhan University; 2007. (In Russian).
2. Lebedev V.M. System engineering and system components of construction production. Moscow: Infra-M Publ.; 2018. (In Russian).
3. State Standard 2.105-95. Unified system for design documentation. General requirements for textual documents [internet]. Available at: <https://docs.cntd.ru/document/1200001260> (In Russian).

4. State Standard 2.106-96. Unified system for design documentation. Textual documents [internet]. Available at: <https://docs.cntd.ru/document/1200001979> (In Russian).
5. State Standard 2.109-73. Unified system for design documentation. Basic requirements for drawings [internet]. Available at: <https://docs.cntd.ru/document/1200001992> (In Russian).
6. *Panteleev A.V., Letov T.A.* Optimization methods in problems and examples. Moscow: Vysshaya shkola Publ.; 2005. (In Russian).
7. *Kohenderfer M., Wheeler T.* Algorithms for Optimization. Cambridge, Massachusetts: The MIT Press; 2019. (In Russian).
8. *Kochegurova E.A.* Theory and methods of optimization. Tomsk: Publishing House of Tomsk Polytechnic University; 2012. (In Russian).
9. State Standard 7.32-2001. System of standards on information, librarianship and publishing. The research report. Structure and rules of presentation [internet]. Available at: <https://docs.cntd.ru/document/1200026224> (In Russian).
10. State Standard R 7.0.5-2008. System of standards on information, librarianship and publishing. Bibliographic reference. General requirements and rules of making [internet]. Available at: <https://docs.cntd.ru/document/1200063713> (In Russian).

## Информация об авторах / Information about the authors

**Александр Анатольевич Квасников**, канд. техн. наук, руководитель центра научно-технического обеспечения НИИЖБ им. А.А. Гвоздева АО «НИЦ «Строительство», Москва

**Alexander A. Kvasnikov**, Cand. Sci. (Engineering), Head of the Center for Scientific and Technical Support, Research Institute of Concrete and Reinforced Concrete (NIIZHB) named after A.A. Gvozdev, JSC Research Center of Construction, Moscow

**Евгений Владимирович Сумароков**<sup>✉</sup>, руководитель отдела цифровых технологий центра научно-технического обеспечения НИИЖБ им. А.А. Гвоздева АО «НИЦ «Строительство», Москва  
e-mail: [esumarokov@cstroy.ru](mailto:esumarokov@cstroy.ru)

**Evgeny V. Sumarokov**<sup>✉</sup>, Head of the Unit of Digital Technologies, Center for Scientific and Technical Support, Research Institute of Concrete and Reinforced Concrete (NIIZHB) named after A.A. Gvozdev, JSC Research Center of Construction, Moscow  
e-mail: [esumarokov@cstroy.ru](mailto:esumarokov@cstroy.ru)

✉ Автор, ответственный за переписку / Corresponding author