



<http://dx.doi.org/10.35596/1729-7648-2022-20-1-83-91>

Оригинальная статья
Original paper

УДК 624.012.45:539.376

АЛГОРИТМЫ ПОДБОРА ОПТИМАЛЬНОГО АРМИРОВАНИЯ ПО ПРОЧНОСТИ И ТРЕЩИНОСТОЙКОСТИ ЖЕЛЕЗОБЕТОННЫХ ЭЛЕМЕНТОВ И ИХ ВЕРИФИКАЦИЯ

Т.М. ГЛУХОВА

Полоцкий государственный университет (г. Новополоцк, Республика Беларусь)

Поступила в редакцию 17 декабря 2021

© Белорусский государственный университет информатики и радиоэлектроники, 2022

Аннотация. Одним из основных этапов при проектировании железобетонных конструкций является определение площади поперечного сечения рабочей арматуры по требованиям прочности, жесткости и трещиностойкости, подбор количества стержней (исходя из сортамента арматуры), размещение ее в поперечном сечении с выполнением условий долговечности и огнестойкости. В работе обобщается опыт разработки алгоритмов решения задачи подбора оптимального армирования железобетонных элементов и предлагается алгоритм оптимизации армирования, использующий нелинейные модели железобетонных элементов. Предложенный алгоритм реализован в виде модуля программного комплекса для инженерных расчетов в строительстве Бета 5.0. В статье приводятся результаты верификации предложенных алгоритмов по результатам опытной эксплуатации модуля подбора оптимального армирования в рамках деятельности испытательно-исследовательского центра Полоцкого государственного университета.

Ключевые слова: армирование, железобетонный элемент, оптимизация, симплекс метод, нелинейная деформационная модель, вектор усилий, поле напряжений, план армирования.

Конфликт интересов. Автор заявляет об отсутствии конфликта интересов.

Благодарности. Автор благодарит д.т.н., профессора Лазовского Д.Н. и к.т.н., доцента Глухова Д.О., теоретические работы которых стали основой для разработки алгоритмов и программного обеспечения подбора оптимального армирования железобетонных элементов на основе нелинейной деформационной модели.

Для цитирования. Глухова Т.М. Алгоритмы подбора оптимального армирования по прочности и трещиностойкости железобетонных элементов и их верификация. Доклады БГУИР. 2022; 20(1): 83-91.

SELECTION ALGORITHMS OF THE OPTIMAL REINFORCEMENT FOR STRENGTH AND CRACK RESISTANCE OF REINFORCED CONCRETE ELEMENTS AND THEIR VERIFICATION

TATSIANA M. HLUKHAVA

Polotsk State University (Novopolotsk, Republic of Belarus)

Submitted 17 December 2021

© Belarusian State University of Informatics and Radioelectronics, 2022

Abstract. One of the main stages in the design of reinforced concrete structures is to determine the cross-sectional area of the reinforcement according to the requirements of strength, stiffness and crack resistance, the search for the number of rods based on the nomenclature of reinforcement, its placement in the cross section with the fulfillment of the conditions of durability, and fire resistance. The paper summarizes the experience of developing algorithms for solving the problem of selecting the optimal reinforcement of reinforced concrete elements and proposes an algorithm for optimizing reinforcement using nonlinear models of reinforced concrete elements. The proposed algorithm is implemented as a module of the software package for engineering construction calculations Beta 5.0. The article shows the results of verification of the proposed algorithms based on the results of trial operation of the module for selecting the optimal reinforcement within the activities of the Testing and Research Center of the Polotsk State University.

Keywords: reinforcement, reinforced concrete element, optimization, simplex method, nonlinear deformation model, force vector, stress field, reinforcement plan.

Conflict of interests. The author declares no conflict of interests.

Gratitude. The author thanks Prof. D.N. Lazovsky and Ph.D., associate professor Glukhov D.O., whose theoretical work became the basis for the development of algorithms and software for the selection of the optimal reinforcement of reinforced concrete elements based on a nonlinear deformation model.

For citation. Hlukhava T.M. Selection Algorithms of the Optimal Reinforcement for Strength and Crack Resistance of Reinforced Concrete Elements and Their Verification. Doklady BGUIR. 2022; 20(1): 83-91.

Введение

В современных системах автоматического проектирования (САПР) зданий и сооружений подбор и оптимизации армирования является обязательной функцией. В научной литературе ведется дискуссия о корректности реализации функции подбора оптимального армирования в известных программных продуктах [1–3]. В большинстве современных САПР строительных конструкций решение задачи подбора армирования заключается в нахождении количества и расположения стержней арматуры, площади ее поперечного сечения в соответствии с сортаментом проката. Задача подбора решается для обеспечения прочности, жесткости и трещиностойкости при минимизации армирования.

Расположение и площадь поперечного сечения арматуры в конструктивном элементе определяется по результатам расчета. В практике проектирования строительных конструкций критерии прочности и трещиностойкости должны быть обеспечены для всех комбинаций нагрузок, которым потенциально подвергается строительный элемент в процессе эксплуатации. Используя упругий расчет конечно-элементных моделей строительных конструкций, осуществляется переход от комбинаций нагрузок к соответствующим комбинациям внутренних усилий. Параллельно с решением задачи подбора армирования по критериям прочности и трещиностойкости решается задача унификации железобетонных изделий, минимизация типоразмеров изделий, применяемых при строительстве зданий [4].

Задача подбора армирования решается при целом ряде ограничений, в частности при заданном сортаменте диаметров имеющейся в наличии арматуры. Взаимное размещение

дискретной арматуры, толщина защитного слоя также имеют конструктивные ограничения, вытекающие из требований огнестойкости и долговечности. С точки зрения технологичности изготовления железобетонных элементов в сечении обычно устанавливается арматура одного или, в крайнем случае, двух диаметров.

Выделим ключевые вопросы подготовки данных для решения задачи оптимизации армирования: как разделить арматуру на группы?; каковы геометрические границы групп?; каковы допустимые значения количества стержней в каждой группе?; каков сортамент допустимых диаметров?; как учитывается требование унификации изделий?

Формализация задачи подбора армирования

Введем ряд формальных определений для решения задачи подбора оптимального армирования для m групп арматуры. Под группой арматуры мы будем понимать группу арматурных стержней, локализованных в пределах определенной геометрии (на окружности заданного диаметра, на отрезке заданной длины), имеющих одинаковый диаметр и класс арматурной стали. Количество стержней в группе либо детерминировано, либо имеется возможность варьировать количество стержней в пределах технологических ограничений. Группа стержней характеризуется суммарной площадью армирования группы.

Множество допустимых диаметров обозначим как $d = \{d_i\}, i = 1..n$.

Состояние армирования будем описывать понятием «план армирования», который является множеством из m групп, характеризуемых количеством стержней и их диаметром $D = \{\langle n_j, d_j \rangle\}, j = 1..m$.

Введем оператор определения суммарной площади армирования $Square(D)$. Если количество и расположение стержней в группе задано изначально, то пространство поиска оптимального решения будет представлять собой N_{var} вариантов: $N_{var} = n^m$.

Критерием обеспеченности заданным планом армирования прочности, жесткости и трещиностойкости элемента будет являться результат расчета элемента по нелинейной деформационной модели на всевозможные комбинации внутренних усилий:

$$P = \{\langle N, M_x, M_y, V \rangle_1, \dots, \langle N, M_x, M_y, V \rangle_k\}.$$

Если усилия неизвестны (например, расчет конструкции выполнялся по конечно-элементной модели с использованием объемных изоморфных упругих конечных элементов и результатом расчета являются поля напряжений), то переход к эквивалентным внутренним усилиям осуществляется вычислением интегралов расчетной системы уравнений равновесия:

$$\begin{cases} M_y = -\iint_C \sigma(\varepsilon(x, y))(y - y_o) dx dy + N(y_{oe} - y_o), \\ M_x = -\iint_C \sigma(\varepsilon(x, y))(x - x_o) dx dy + N(x_{oe} - x_o), \\ N = \iint_C \sigma(\varepsilon(x, y)) dx dy, \\ V = \iint_C \tau(x, y) dx dy, \end{cases} \quad (1)$$

где M_x, M_y – изгибающие моменты, действующие в плоскостях xz, yz ; N – продольная сила от действия внешней нагрузки; x_o и y_o – расстояние от центра тяжести сечения до соответствующей оси; x_{oe} и y_{oe} – точка приложения продольного усилия; $\sigma(\varepsilon(x, y))$ – нормальные напряжения в бетоне или арматуре; $\varepsilon(x, y)$ – продольные деформации бетона или арматуры; $\tau(x, y)$ – касательные напряжения в бетоне.

Введем оператор проверки плана армирования при k наборах усилий от расчетной P_1 и нормативной P_2 нагрузки на прочность и трещиностойкость соответственно:

$$LI(P_1, D) = \begin{cases} false & \text{если разрушение} \\ true & \text{иначе} \end{cases}, \quad LII(P_2, D) = \begin{cases} false & \text{если } w > w_{lim} \vee L > L_{lim}, \\ true & \text{иначе} \end{cases}$$

где w – ширина раскрытия трещины, определенная расчетом; w_{lim} – максимально допустимая ширина раскрытия трещины; L – прогиб элемента, определенный расчетным путем; L_{lim} – предельно допустимый прогиб элемента.

План армирования, удовлетворяющий критериям LI и LII , будем называть допустимым планом армирования.

Сформулируем критерий оптимизации: $Square(D) \rightarrow \min |LI(P_1, D) \wedge LII(P_2, D)$ – требуется найти такой план армирования, при котором элемент удовлетворяет проверкам по прочности, жесткости и трещиностойкости и площадь армирования минимальна.

Результаты и их обсуждение

В настоящее время большую популярность приобретают BIM технологии. В рамках данного технологического направления часто используется моделирование строительных конструкций на основе архитектурных моделей, представленных в IFC формате. Такой переход приводит к формированию конечно-элементной модели конструкции, построенной из объемных конечных элементов, обладающих свойствами упругого объемного тела. В результате расчета таких моделей (например, в программных комплексах Revit, SOFiSTiK) проектировщик оперирует не понятием расчетных сочетаний усилий, а полями напряжений в поперечных сечениях объемных конечных элементов.

В результате проведенных исследований авторами предложен алгоритм перехода от полей напряжений к внутренним усилиям (см. рис. 1).

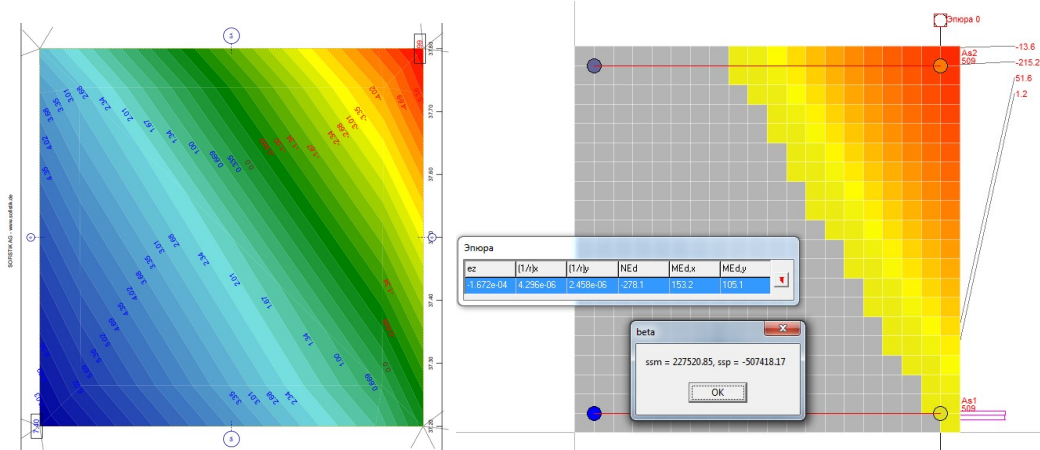


Рис. 1. Результат перехода от поля напряжений в сечении колонны, полученного в программном комплексе SOFiSTiK, к оценке эквивалентных внутренних усилий и соответствующим напряжениям элемента с дискретным армированием в Бета 5.0

Fig. 1. The result of the transition from the stress field in the column section, obtained in the SOFiSTiK software package, to the evaluation of the equivalent internal forces and the corresponding stresses for a column with discrete reinforcement in Beta 5.0

По сути, алгоритм ищет такое распределение напряжений в сечении железобетонного элемента с дискретным армированием, которое при интегрировании по уравнениям системы уравнений равновесия дает значения, эквивалентные значениям, полученным интегрированием поля напряжений упругой модели, построенной из объемных конечных элементов.

$$\begin{cases} \iint_C \sigma_{FEM}(x, y)(y - y_o) dx dy = \iint_C \sigma_c(x, y)(y - y_o) dx dy + \sum_i \sigma_{s,i}(y_i - y_o), \\ \iint_C \sigma_{FEM}(x, y)(x - x_o) dx dy = \iint_C \sigma_c(x, y)(x - x_o) dx dy + \sum_i \sigma_{s,i}(x_i - x_o), \\ \iint_C \sigma_{FEM}(x, y) dx dy = \iint_C \sigma_c(x, y) dx dy + \sum_i \sigma_{s,i}, \end{cases} \quad (2)$$

где $\sigma_{FEM}(x, y)$ – поле напряжений в сечении объемного конечного элемента, x_o и y_o – координаты центра тяжести сечения, определенного по полю напряжений; $\sigma_c(x, y)$ – поле

напряжений в сечении железобетонного элемента, определенное по нелинейной деформационной модели; $\sigma_{s,i}$ – напряжение в i -м стержне дискретной арматуры.

Такое преобразование возможно для областей, где работает гипотеза плоских сечений, а следовательно, для основных участков подбора продольного армирования в конструктивных элементах для большинства расчетных случаев (пролеты и надпорные зоны балок, плит перекрытия, колонны, ригели).

Нелинейная деформационная модель оперирует диаграммами деформирования арматурной стали и бетона, описывающими зависимость напряжений от деформаций не только на упругой стадии, но и эффекты пластических изменений в материале, а также такие реологические процессы, как ползучесть и усадка бетона. При поиске решения применяются уравнения совместности деформаций и положения модифицированной теории полей сжатия, разработанной канадскими учеными Майклом Коллинзом, Фрэнком Веккьо и Денисом Митчелом. MCFT (Modified Compression Field Theory) вошла в строительные нормы и правила Канады CSA-A23.3 1994 (CSA1994) [5–7].

Различные стержни группы арматуры влияют на результат расчета по-разному. Но при построении алгоритма подбора оптимального армирования мы рассматриваем группу арматур как единое целое, и единственной операцией над группой будет операция увеличения или уменьшения диаметра всех стержней группы. При этом уменьшение диаметра стержней одной группы может приводить к разрушению элемента из-за разрыва стержней другой группы. Такое взаимное влияние групп друг на друга наблюдается для ортогонально ориентированных групп. Таким образом, существует множество планов, удовлетворяющих критерию прочности и трещиностойкости, таких, что уменьшение диаметра стержней любой группы на следующую позицию в номенклатуре приводит к разрушению при заданных усилиях. Поэтому очень важно выполнить правильное группирование арматуры, исходя из понимания процессов деформирования изделия под нагрузкой, и стараться включать в одну группу арматуру, работающую одинаково.

Рассмотрим особенности пространства планов армирования.

1. Множество допустимых планов армирования является ограниченным снизу планами, для которых критерии проверки на прочность или трещиностойкость не выполняются.

2. По взаимному влиянию друг на друга группы арматур можно разделить на три класса: дополняющие, противодействующие и не оказывающие влияния друг на друга.

3. Для групп предварительно напряженной арматуры множество допустимых планов ограничено сверху значениями диаметров, приводящих к разрушению элемента на стадии динамического отпуска.

Для двух произвольных групп арматуры в их пространстве планов армирования возможны следующие характерные виды взаимодействия, представленные на рис. 2.

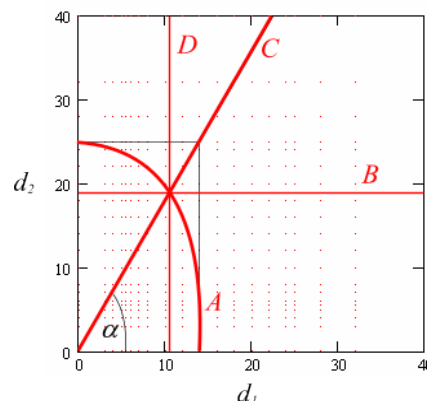


Рис. 2. Вид взаимодействия арматурных групп: A – дополняющие; B, D – не оказывающие влияния; C – противодействующие группы

Fig. 2. Types of reinforcement group interaction: A – co-operating group; B, D – do not affect each other; C – counteracting group

Кривая A является эллипсом $(n_1 + n_2)d^2 = n_1d_1^2 + n_2d_2^2$, где d – некоторый средний диаметр, обеспечивающий прочность по сечению при заданных усилиях; d_1, d_2 – диаметры стержней первой и второй групп арматуры.

Тангенс угла наклона линии взаимодействия противодействующих групп S равен $\tan \alpha = \sqrt{\frac{n_2}{n_1}}$, где n_1 и n_2 – количество стержней арматуры в первой и во второй группе.

Важно отметить, что при возрастании размерности пространства поиска оптимального плана армирования, возникновении более сложных зависимостей между группами многомерный эллипс и линия взаимодействия, обобщенные на случай многомерного пространства, сохраняют свой смысл.

Для поиска оптимального плана армирования задаемся начальным приближением, удовлетворяющим критериям прочности и трещиностойкости D_i и пытаемся выстроить стратегию поиска оптимального плана, в соответствии с которой переходим к плану армирования D_{i+1} , который характеризуется меньшим значением критерия оптимизации.

Для быстрого нахождения первого приближения будем двигаться по линии взаимодействия от неармированного сечения (рис. 3).

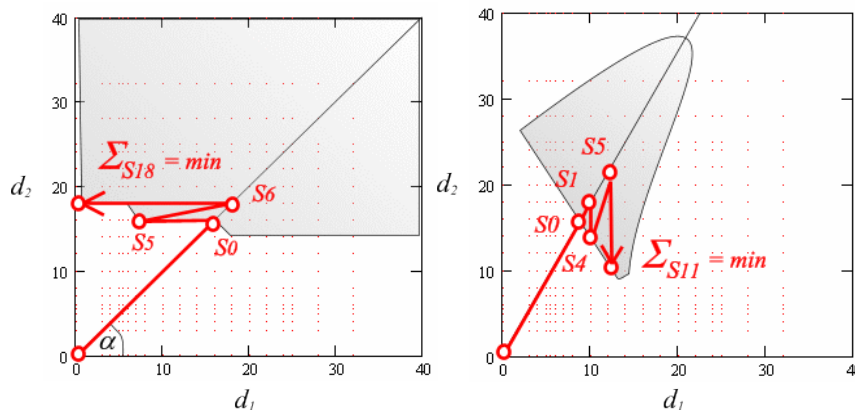


Рис. 3. Иллюстрация работы алгоритма оптимизации
Fig. 3. Illustration of the optimization algorithm

Основываясь на указанных особенностях пространства поиска решения оптимизационной задачи, построен алгоритм подбора армирования по критерию прочности и трещиностойкости. Блок-схема алгоритма приводится на рис. 4.

Алгоритм строится с учетом особенностей пространства поиска, определяемых математической моделью железобетонного элемента. Но на практике в систему ограничений добавляются эмпирические правила конструирования сечений (обеспечение компактности изделия, максимальной массы, ограничения, связанные с толщинами защитного слоя). Для блока сортировки групп по возрастанию среднего напряжения в стержнях группы возможны иные критерии сортировки, такие как минимальное или максимальное напряжение в стержнях группы, что дает возможность изменения стратегии поиска и может приводить к альтернативным решениям. Недостатком алгоритма является большое количество холостых шагов для поверхностей решений, требующих снижения диаметров по нескольким группам.

Для повышения производительности данного метода предлагается модификация, основанная на применении симплекс метода для движения вдоль криволинейной границы обеспечения прочности и трещиностойкости в направлении экстремума целевого фактора. Блок-схема данного алгоритма представлена на рис. 5. Численные эксперименты показали средний прирост производительности в 1,3 раза по сравнению с первым алгоритмом.

Разработанные алгоритмы подбора (рис. 4, 5) армирования прошли апробацию при разработке типовых серий плит безопалубочного формования. Данная работа выполнялась сотрудниками ГП «Институт НИПТИС им. Атаева С.С.» совместно с Полоцким государственным университетом. Оптимальность подобранного армирования подтверждена испытаниями плит типовой серии. В 2012 году Полоцким государственным университетом по заданию

Новополоцкого производственно-строительного предприятия ООО «Аист» разработана типовая серия «Монолитное перекрытие ДАХ со съёмной опалубкой» [8, 9].

Алгоритм подбора оптимального армирования используется в учебном процессе Полоцкого государственного университета при выполнении курсовых и дипломных проектов по специальности «Промышленное и гражданское строительство», а также при выполнении хозяйственных договоров по обследованию технического состояния строительных конструкции и разработке рекомендаций по их усилению более 10 лет.

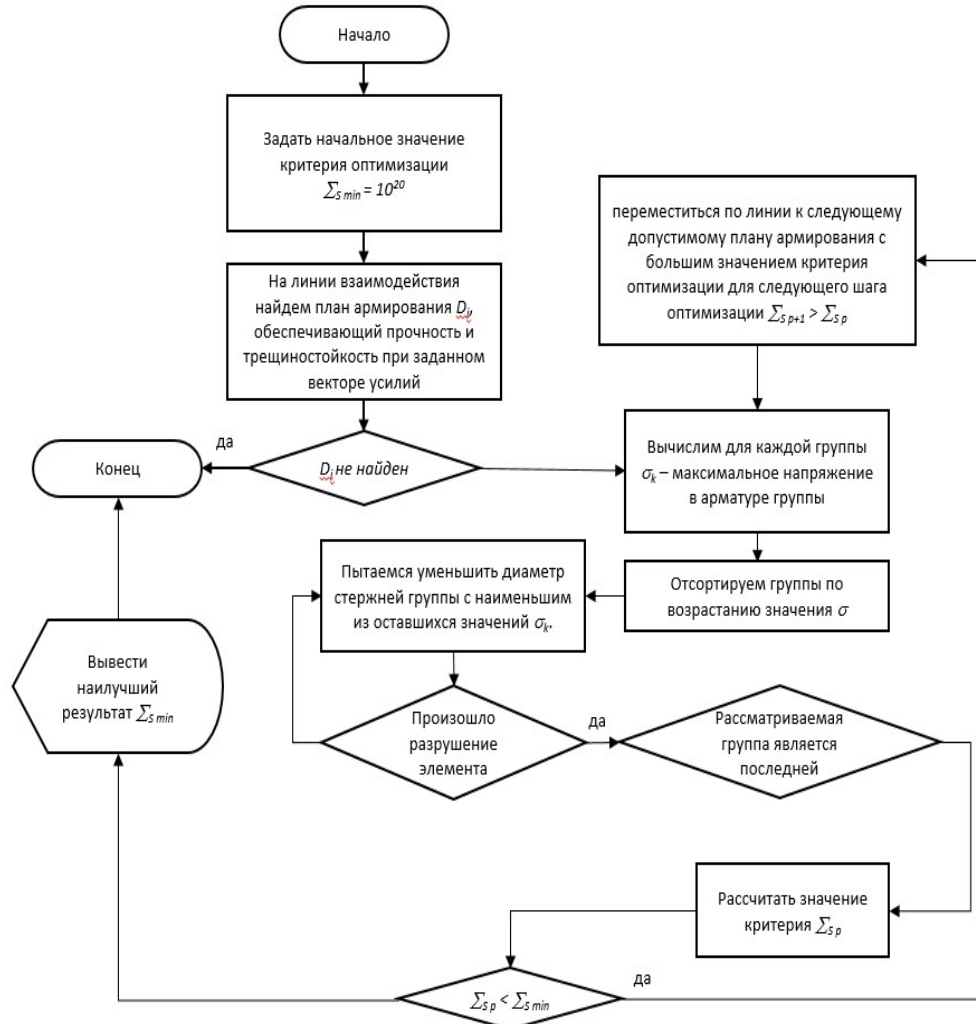


Рис. 4. Блок-схема алгоритма поиска оптимального армирования железобетонного элемента, основанного на движении от линии взаимодействия

Fig. 4. Block diagram of the search algorithm for the optimal reinforcement of a reinforced concrete element based on the movement from the interaction line

Разработанные алгоритмы подбора (рис. 4, 5) армирования прошли апробацию при разработке типовых серий плит безопалубочного формования. Данная работа выполнялась сотрудниками ГП «Институт НИПТИС им. Атаева С.С.» совместно с Полоцким государственным университетом. Оптимальность подобранного армирования подтверждена испытаниями плит типовой серии. В 2012 году Полоцким государственным университетом по заданию Новополоцкого производственно-строительного предприятия ООО «Аист» разработана типовая серия «Монолитное перекрытие ДАХ со съёмной опалубкой» [8, 9].

Алгоритм подбора оптимального армирования используется в учебном процессе Полоцкого государственного университета при выполнении курсовых и дипломных проектов по специальности «Промышленное и гражданское строительство», а также при выполнении хозяйственных договоров по обследованию технического состояния строительных конструкции и разработке рекомендаций по их усилению более 10 лет.

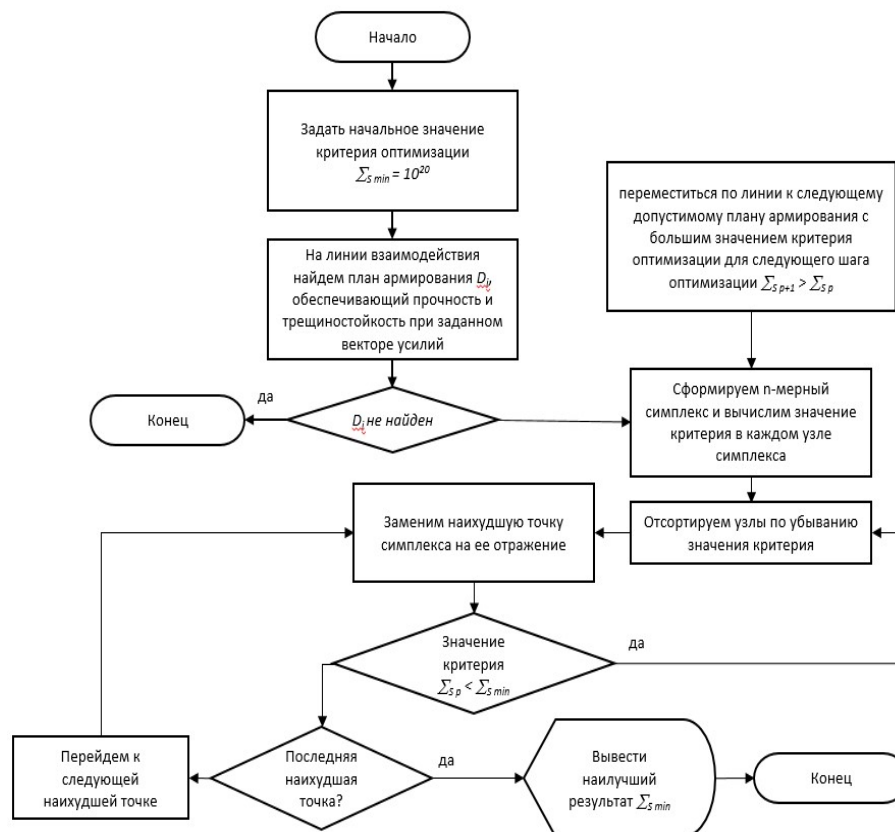


Рис. 5. Блок-схема алгоритма поиска оптимального армирования железобетонного элемента, основанного на симплекс методе

Fig. 5. Block diagram of the search algorithm for the optimal reinforcement of a reinforced concrete element based on the simplex method

Заключение

В результате проведенных исследований разработан алгоритм подбора оптимального армирования железобетонного элемента для обеспечения прочности, жесткости и трещиностойкости при заданных комбинациях нагрузок. Особенностью данного алгоритма является применение критериев оценок прочности, жесткости и трещиностойкости, основанных на решении системы уравнений равновесия нелинейной деформационной модели. Для построения эффективного алгоритма поиска оптимального плана армирования проанализированы особенности пространства поиска и характера взаимного влияния оптимизируемых групп арматур друг на друга. Разработанный алгоритм прошел апробацию при выполнении масштабных работ по разработке ряда типовых серий железобетонных изделий для предприятий сборного железобетона Республики Беларусь. Корректность работы данного алгоритма подтверждается многочисленными испытаниями изделий.

Список литературы

1. Краковский М.Б. Программа «ОМ СНИП Железобетон» для расчета железобетонных конструкций на ЭВМ. *Бетон и железобетон*. 2001;2:9-12.
2. Тихий М., Ракосник Й., пер. С чешского Сергеевко Б.М. *Расчет железобетонных рамных конструкций в пластической стадии. Перераспределение усилий*. Москва: Стройиздат; 1976.
3. Маляренко А.А. Письмо в редакцию по поводу статьи М.Б.Краковского «Программа ОМ СНИП Железобетон для расчета железобетонных конструкций на ЭВМ». *Бетон и железобетон*. 2001;5.
4. Глухов Д.О. Решение задачи подбора оптимального дискретного продольного армирования железобетонного элемента по критерию прочности. *Вестник Полоцкого государственного университета. Серия F, Строительство. Прикладные науки*. 2007;6:36-41.

5. Sadeghian, Vahid, Vecchio, Frank. The modified compression field theory: then and now. *Aci Structural Journal*. 2018;SP-328:3.1-3.20.
6. Evan C. Bentz, Frank J. Vecchio, Michael P. Collins. Simplified Modified Compression Field Theory of Calculating Shear Strength of Reinforced Concrete Elements. *ACI Structural Journal*. 2006;103:614-624.
7. Wissam N., Dhahir M.K., Naser F.H. A compression field based model to assess the shear strength of concrete slender beams without web reinforcement. *Case Studies in Construction Materials*. 2018;9.
8. Лазовский Д.Н., Бадалова Е.Н. Внедрение европейских стандартов в типовых сериях железобетонных перекрытий. *Современные проблемы внедрения европейских стандартов в области строительства: сборник Международных научно-технических статей (материалы научно-методической конференции), 27–28 мая 2014 г., Минск*. Минск: БНТУ; 2015: 85-91.
9. Лазовский А.Д., Глухов Д.О., Глухова Т.М. Алгоритм расчета сопротивления изгибу многопустотных плит перекрытий безопалубочного формования в составе платформенных стыков зданий. *Вестник Полоцкого государственного университета. Серия F. Строительство. Прикладные науки*. 2017:82-89.

References

1. Krakowski M.B. [The program “OM SNiP Reinforced concrete” for calculating reinforced concrete structures on a computer]. *Beton i zhelezobeton = Concrete and reinforced concrete*. 2001;2:9-12. (In Russ.)
2. Tikhii M., Rakosnik J., per. from Czech Sergeenko B.M. [*Calculation of reinforced concrete frame structures in the plastic stage. Redistribution of efforts*]. Moscow: Stroyizdat; 1976. (In Russ.)
3. Malyarenko A.A. [Letter to the editor regarding the article by M.B. Krakovsky “The program of OM SNiP Reinforced concrete for calculating reinforced concrete structures on a computer”]. *Beton i zhelezobeton = Concrete and reinforced concrete*. 2001;5. (In Russ.)
4. Glukhov D.O. [Solving the problem of selecting the optimal discrete longitudinal reinforcement of a reinforced concrete element according to the strength criterion] *Vestnik Polotskogo gosudarstvennogo universiteta. Seriya F. Stroitelstvo. Prikladnyye nauki = Bulletin of Polotsk State University. Series F. Construction. Applied Sciences*. 2007;6:36-41. (In Russ.)
5. Sadeghian, Vahid, Vecchio, Frank. The modified compression field theory: then and now. *Aci Structural Journal*. 2018;SP-328:3.1-3.20.
6. Evan C. Bentz, Frank J. Vecchio, Michael P. Collins. Simplified Modified Compression Field Theory of Calculating Shear Strength of Reinforced Concrete Elements. *ACI Structural Journal*. 2006;103:614-624.
7. Wissam N., Dhahir M.K., Naser F.H. A compression field based model to assess the shear strength of concrete slender beams without web reinforcement. *Case Studies in Construction Materials*. 2018;9.
8. Lazovsky D.N., Badalova E.N., ed. call.: Zverev V.F., Koleda S.M., Delendik S.N. [The introduction of European standards in standard series of reinforced concrete floors]. *Sovremennyye problemy vnedreniya evropeyskikh standartov v oblasti stroitelstva: sbornik Mezhdunarodnykh nauchno-tekhnicheskikh statey (materialy nauchno-metodicheskoy konferentsii) 27–28 maya 2014 g. = Modern problems of implementing European standards in the field of construction: a collection of International scientific and technical articles (materials of scientific conference), May 27-28, 2014, Minsk*. Minsk: BNTU; 2015: 85–91. (In Russ.)
9. Lazovsky A.D., Glukhov D.O., Glukhova T.M. [Algorithm for calculating the bending resistance of hollow-core slabs without formwork as part of platform joints of buildings]. *Vestnik Polotskogo gosudarstvennogo universiteta. Seriya F. Stroitelstvo. Prikladnyye nauki = Bulletin of Polotsk State University. Series F. Construction. Applied Sciences*. 2017:82-89. (In Russ.)

Сведения об авторах

Глухова Т.М., старший преподаватель кафедры вычислительных систем и сетей Полоцкого государственного университета.

Information about the authors

Hlukhava T.M., Senior Lecturer at the Department of Computing Systems and Networks of Polotsk State University.

Адрес для корреспонденции

211440, Республика Беларусь,
г. Новополоцк, ул. Блохина, 29,
Полоцкий государственный университет;
тел. +375-29-710-97-74;
e-mail: t.gluhova@psu.by
Глухова Татьяна Михайловна

Address for correspondence

211440, Republic of Belarus,
Novopolotsk, st. Blokhin, 29,
Polotsk State University;
tel. +375-29-710-97-74;
e-mail: t.gluhova@psu.by
Hlukhava Tatsiana Mihaylovna