

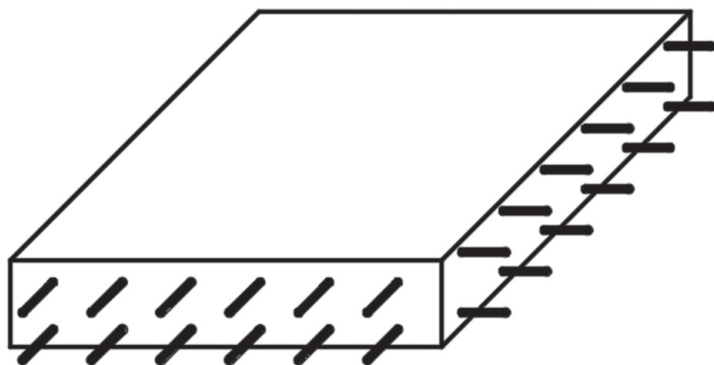


ОПРЕДЕЛЕНИЕ ЭФФЕКТИВНЫХ ПАРАМЕТРОВ АРМИРОВАНИЯ ЖЕЛЕЗОБЕТОННЫХ КОНСТРУКЦИЙ

В настоящее время монолитный железобетон (обеспечивающий произвольную форму изделий, свободу планировочных решений и многое другое) получил большее распространение и применение по сравнению со сборным железобетоном (ограниченная номенклатура сборных изделий и пролет). В то же время сборные изделия прошли проверку временем по надежности и долговечности, а их армирование является оптимальным с точки зрения некоего условного соотношения "материал — стоимость конструкции". В монолитных же конструкциях величина арматуры в большинстве случаев является переменной и зависит от многих исходных факторов: геологии, типа фундамента, нагрузки, геометрии здания и т.д.

Это нужно понимать при проектировании монолитных конструкций и не идти на поводу у заказчиков, далеких от инженерного дела и желающих в первую очередь оптимизировать свои расходы на строительство.





Как известно, чтобы обеспечить необходимую прочность и устойчивость здания или сооружения, следует провести соответствующие расчеты и подобрать необходимое количество арматуры для восприятия действующих нагрузок. При этом в конструкциях должны быть соблюдены требования как по 1-й группе (прочность, устойчивость), так и по 2-й группе (прогибы, ширина раскрытия трещин) предельных состояний.

В практике проектирования сформировался определенный условный параметр, по которому можно оценить затра-

ты металла в конструкции: содержание арматуры в бетоне (как правило, берут вес всей арматуры в конструкции — продольной и поперечной — и делят на объем ее бетона, получая параметр в $\text{кг}/\text{м}^3$). При этом в действующих строительных нормах [1-3] такой параметр напрочь отсутствует и он никоим образом не регламентируется. В нормативах указывается только необходимость обеспечить в сечении элемента минимальный процент арматуры от площади бетона ($\min 0,05-0,25\%$) и опосредованно рекомендован оптимальный процент армирования в конструкциях на уровне примерно 3%

(это опять же отклик оптимизации для сборных конструкций).

До какой-то степени величина содержания арматуры в конструкциях отражена в некоторых сметных нормативах [4, 5]. Там величина арматуры в бетоне находится в пределах $190-200 \text{ кг}/\text{м}^3$ — опять же без привязки к различным изменчивым исходным данным.

Для оценки величины содержания арматуры в бетоне монолитных конструкций проведем небольшой численный эксперимент. Возьмем для примера фрагмент плиты размерами в плане $1,0 \times 1,0 \text{ м}$ с двумя арматурными сетками у каждой грани, имеющими шаг стержней $100 \times 100 \text{ мм}$, и проследим изменение содержания арматуры в бетоне в зависимости от изменения некоторых исходных параметров: толщины плиты и диаметра арматуры (рис. 1).

Как видно из приведенных выше данных, даже при "идеальных" условиях проектирования (отсутствие поперечной арматуры, дополнительного армирования, различных элементов локального усиления и т.п.) величина содержания арматуры, например, для элемента толщиной 200 мм с размещенной в нем арматурой из двух сеток диаметром 10 мм составляет $123,2 \text{ кг}/\text{м}^3$. При наличии же различных дополнительных факторов суммарное содержание арматуры в бетоне будет резко расти.

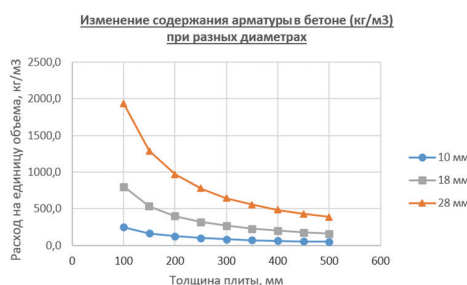
Довольно трудоемкую и рутинную работу по определению содержания арматуры в бетоне для некоторых отдельных элементов и всего сооружения в целом на начальном этапе проектирования (еще до начала разработки чертежей стадии КЖ/КЖИ) с довольно высокой точностью можно выполнить в программе SCAD++. В режиме "Экспертиза железобетона" постпроцессора "Железобетон", используя операцию *Вес заданной арматуры* (рис. 2), можно в реальном времени не только определить расход арматуры, но и заодно (что очень важно) проверить, насколько заданная арматура удовлетворяет необходимым критериям прочности конструкции согласно выбранным нормам проектирования.

При этом нужно помнить, что программа считает расход:

- арматуры без учета ее нахлеста и загибов, которые могут добавлять в реальный расход арматуры около 15-20%;
- бетона с учетом пересечения элементов, поскольку стыковка элементов происходит по оси стержневых и сре-

а)

Толщина плиты, мм	Содержание арматуры в бетоне ($\text{кг}/\text{м}^3$) при разных диаметрах арматуры		
	10 мм	18 мм	28 мм
100	246,5	799,1	1933,6
150	164,3	532,8	1289,1
200	123,2	399,6	966,8
250	98,6	319,7	773,4
300	82,2	266,4	644,5
350	70,4	228,3	552,5
400	61,6	199,8	483,4
450	54,8	177,6	429,7
500	49,3	159,8	386,7



б)

Диаметр ар-ры, мм	Содержание арматуры в бетоне ($\text{кг}/\text{м}^3$) при разных толщинах плит		
	100 мм	300 мм	500 мм
10	246,5	82,2	49,3
12	355,1	118,4	71,0
14	483,2	161,1	96,6
16	631,5	210,5	126,3
18	799,1	266,4	159,8
20	986,6	328,9	197,3
22	1193,5	397,8	238,7
25	1541,4	513,8	308,3
28	1933,6	644,5	386,7

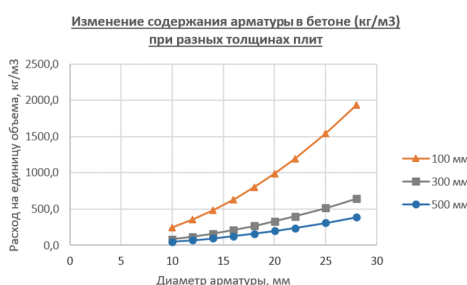


Рис. 1. Содержание арматуры в бетоне ($\text{кг}/\text{м}^3$) для монолитного фрагмента площадью 1 м^2 при различных исходных данных: а) при разных диаметрах арматуры, б) при разных толщинах плит

Таблица 1

Факторы, которые влияют на расход бетона и арматуры

Фактор	Следствие
Инженерно-геологические условия строительной площадки	Тип фундамента (свайный, плитный, ленточный)
Шаг сетки несущих вертикальных элементов	Пролет плит, их толщина (жесткость)
Размеры сечения колонн/пилонов/стен	Удельный вес арматуры в бетоне
Класс бетона и арматуры	Расход арматуры в сечении

динной плоскости плитных элементов (увеличение около 5-10%).

Суммарный расход арматуры и бетона в любом здании зависит от многих факторов, которые можно в некоторой степени скорректировать на начальной стадии расчета и проектирования. Основные факторы, которые влияют на расход бетона и арматуры в конструкциях и зданиях, приведены в табл. 1.

В табл. 2 мы покажем на различных типах реальных зданий и сооружений, насколько изменчивой может быть величина содержания арматуры в бетоне и как она зависит от различных исходных данных — типа фундамента, шага несущих вертикальных элементов, толщины элементов, этажности здания, величины нагрузки и т.д..

Более точно содержание арматуры в бетоне можно определить по формуле:

$$C_a = \sum_{i=1}^{i=n} C_s \frac{\gamma_s}{100} ,$$

где C_a — содержание арматуры в бетоне для всего здания, кг/м³;

C_s — содержание арматуры в бетоне для отдельных конструктивных элементов (фундаментная плита, плиты перекрытия и т.д.), кг/м³;

γ_s — удельный вес бетона отдельных конструктивных элементов в общем объеме бетона здания, %;

n — общее количество конструктивных элементов здания.

Выводы

■ Все вышесказанное дает основания утверждать, что содержание арматуры в бетоне (кг/м³) для монолитных конструкций не является величиной постоянной и в большой степени зависит от меняющихся выходных данных — типа фундамента, шага несущих вертикальных элементов, толщины элементов, этажности здания, величины нагрузки и многих других факторов.

■ Величина содержания арматуры в бетоне конструкций является сугубо индивидуальной характеристикой каждой конкретной конструкции и должна базироваться на соответствующих прочностных расчетах, быть следствием этих расчетов, а также отвечать конструктивным требованиям, предъявляемым к данному типу конструкции.

■ С помощью новых функций, реализованных в 21-й версии программы SCAD++, появилась возможность на начальном этапе проектирования (стадия расчетной схемы) оперативно получить данные о расходе бетона и арматуры как для отдельного элемента, так и для всего здания в целом. На основании полученных данных проектировщик при необходимости принимает решение об изменении конструктивной схемы здания и оценивает, насколько эти изменения влияют на содержание арматуры в бетоне. В предыдущих версиях ПК SCAD такая задача тоже решалась, но намного более трудоемко, и при этом она требовала от проектировщика очень много времени на выполнение большого количества рутинных операций.

Литература

1. СП 63.13330.2012. Бетонные и железобетонные конструкции. Основные положения (Актуализированная редакция СНиП 52-01-2003).
2. СП 52-101-2003. Бетонные и железобетонные конструкции без предварительного напряжения арматуры.
3. Пособие по проектированию бетонных и железобетонных конструкций и тяжелого бетона без предварительного напряжения арматуры (к СП 52-101-2003).
4. ГЭСН 81-02-06-2001.
5. ФЕР 06-01-001-17.

Леонид Скорук
к.т.н., доц.,

старший научный сотрудник
НП ООО "СКАД Софт" (г. Киев)

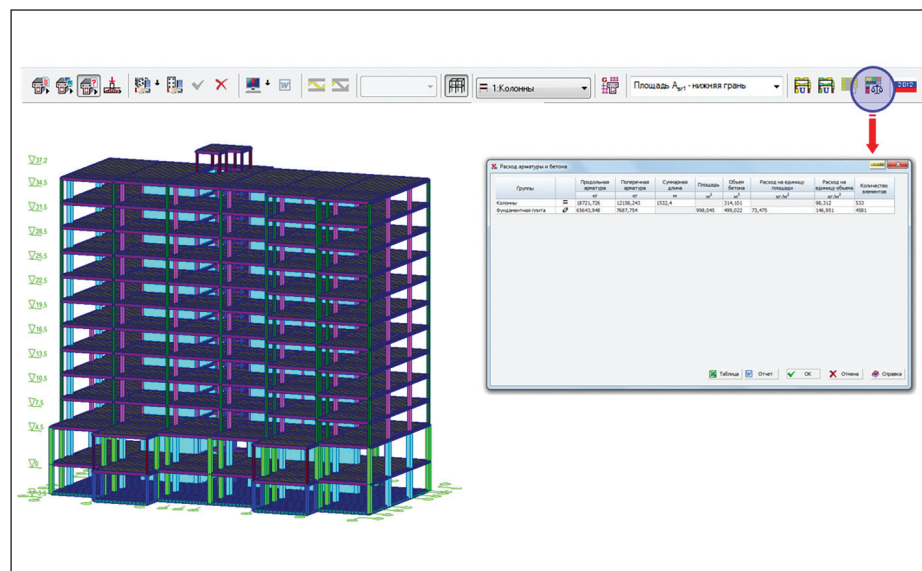
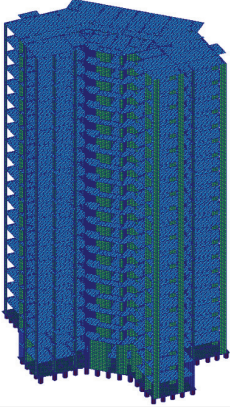
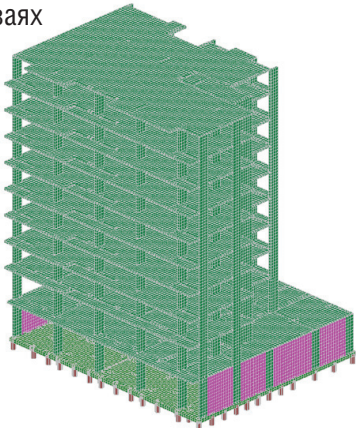
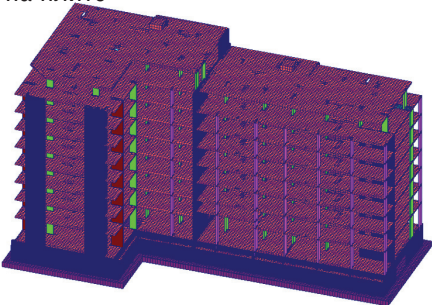
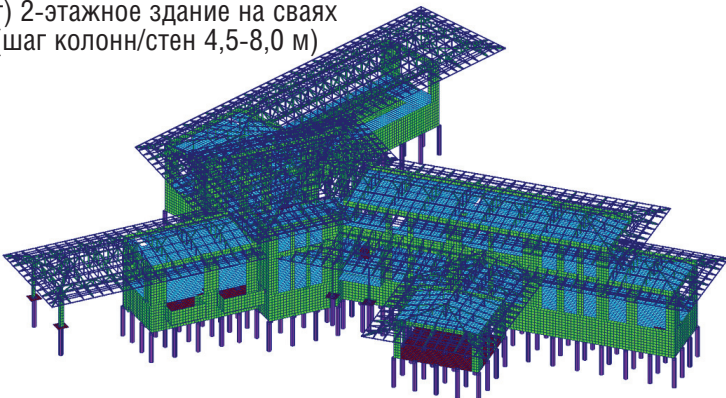


Рис. 2. Интерфейс программы SCAD++. Постпроцессор "Железобетон", режим "Экспертиза железобетона"

Таблица 2

Содержание арматуры в бетоне для разных типов зданий

Тип здания	Элемент здания	Расход, кг/м ³
а) 22-этажное здание на сваях (шаг колонн/пилонов 6,0 м) 	Сваи	64
	Фундаментная плита	392
	Вертикальные несущие элементы	263
	Плиты перекрытия	193
	Всего по зданию	212
б) 10-этажное здание на сваях (шаг пилонов 3,4-3,6 м) 	Сваи	70
	Фундаментная плита	223
	Вертикальные несущие элементы	148
	Плиты перекрытия	129
	Всего по зданию	148
в) 8-, 9-этажное здание на плите (шаг пилонов 4,5-4,8 м) 	Фундаментная плита	238
	Вертикальные несущие элементы	126
	Плиты перекрытия	150
	Всего по зданию	175
г) 2-этажное здание на сваях (шаг колонн/стен 4,5-8,0 м) 	Сваи	83
	Фундаментная плита	179
	Вертикальные несущие элементы	118
	Плиты перекрытия	170
	Всего по зданию	147