

05.23.17 СТРОИТЕЛЬНАЯ МЕХАНИКА

Автоматизация выбора и алгоритмизация избрания основной системы сооружения

УДК 0.04, 621.,624.,681

Куликов В.Г.

Канд. техн. наук, академический советник РИА, доцент кафедры «Информационные системы, технологии и автоматизация в строительстве», ФГБОУ ВО «Национальный исследовательский Московский государственный строительный университет» (г. Москва); e-mail: kulikov-miit@mail.ru

Серова Е.А.

Канд. техн. наук, доцент кафедры ИСТАС Московского государственного строительного университета, (г. Москва); e-mail: serova2004@bk.ru

Статья получена: 05.12.2019. Рассмотрена: 07.12.2019. Одобрена: 29.12.2019. Опубликовано онлайн: 31.12.2019. ©РИОР

Аннотация. Статья посвящена рациональному выбору расчетных схем зданий и сооружений на основе графо-аналитического метода.

Ключевые слова: расчетная схема, алгоритм, поэтапное приближение, итерация.

Формирование расчетной модели сооружения — это виртуальный переход от реального объекта к расчетной модели путем отбора наиболее существенных особенностей, их идеализация, допускающая последующую алгоритмизацию и математическую обработку. Для изучения поведения сложной системы ее расчленяют на более простые подсистемы или пространственные рамы, несущие стены и их фрагменты, плиты перекрытий, фундаменты (рис. 1).

В процессе виртуального перехода от реального объекта к расчетной модели необходимо привести общие правила предпочтений для расчетной схемы, формализовать стадию расчета. Основные этапы формализации приведены на рис. 2.

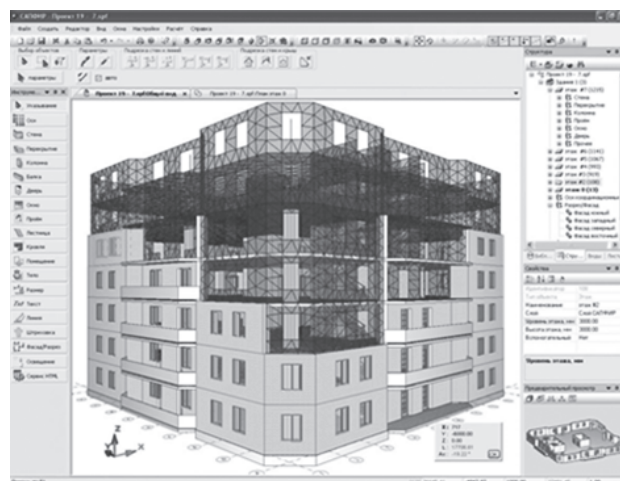


Рис. 1. Процесс формализации расчетной модели многоэтажного здания

Процесс избрания расчетных схем зданий и сооружений напрямую связан с процессом обратного виртуального перехода от расчетной схемы к реальной конструкции, так как оценки соответствия, полученные в результате рас-

AUTOMATION OF SELECTION AND ALGORITHMIZATION OF SELECTION OF THE MAIN CONSTRUCTION SYSTEM Vladimir Kulikov

Candidate of Technical Sciences, Associate Professor, Department of Information Systems, Technologies and Automation in Construction, Moscow State University of Civil Engineering, Moscow; e-mail: kulikov-miit@mail.ru

Elena Serova

Cand. Techn. Associate Professor of the Department of ISTAS of the Moscow State University of Civil Engineering, Moscow; e-mail: serova2004@bk.ru

Manuscript received: 05.12.2019. **Revised:** 07.12.2019. **Accepted:** 29.12.2019. **Published online:** 31.12.2019. ©РИОР

Abstract. The article is devoted to the rational choice of design schemes of buildings and structures on the basis of graphic-analytical method.

Keywords: design scheme, algorithm, incremental approach, iteration.

чета сооружения и предъявляемые к нему требования, устанавливаются заранее, еще на стадии избрания расчетной схемы.

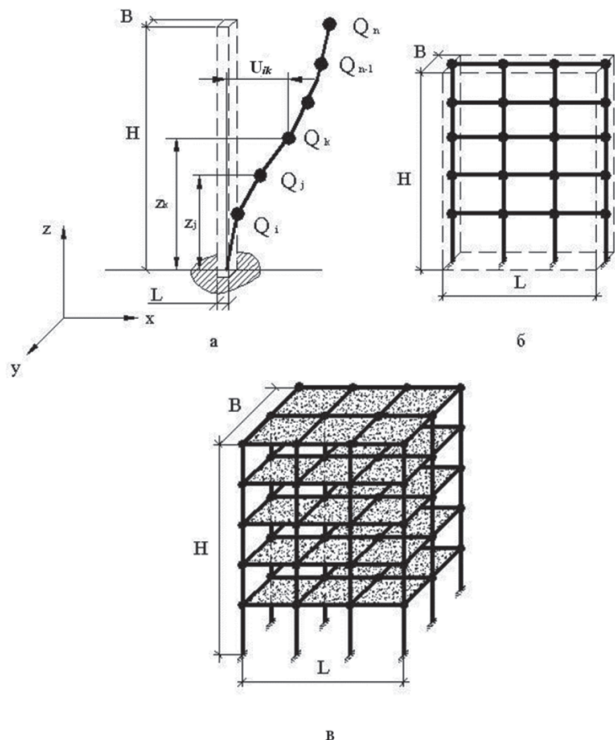


Рис. 2. Декомпозиция каркаса многоэтажного здания.
а) подсистема «ригель»; б) подсистема «плита»;
в) подсистема «швы»

Процесс расчета сооружения с идеализированными связями предлагаем производить поэтапно, как начальное и затем последующие приближения в процессе последовательного уточнения и улучшения расчетной схемы сооружения.

Последовательность поэтапного приближения и улучшения расчетной схемы изложим в следующей редакции (алгоритм):

- произвести расчет на основе начальной расчетной схемы с идеализированными связями (например, при контакте между сопрягаемыми элементами лишь в конкретных точках);
- по данным расчета (п. 1) вычислить «невязки», характеризующие погрешность вычислений в местах идеализации;
- попытаться максимально точно оценить влияние полученной «невязки» на напряженно-деформированное состояние системы и перейти к расчету с уточненной расчетной схемой в указанной последовательности (п. 1–3).

Идеализацию расчетной схемы рекомендуем производить в такой последовательности, чтобы впоследствии было возможным построить обратный процесс ее последовательного уточнения.

Сама процедуры последовательного уточнения будет заключаться в «разгонке невязки», полученной на предыдущем этапе.

Рассмотрим предполагаемую к проектированию конструктивную схему здания, приведенную на рис. 3.

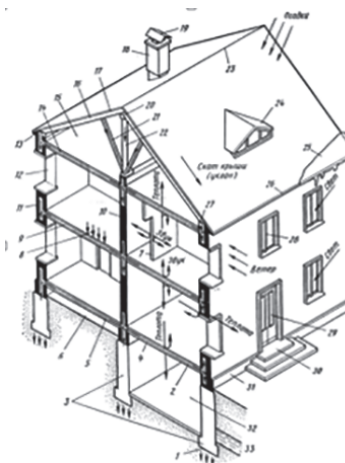


Рис. 3. Конструктивная схема здания

Пусть промежуточная опора неразрезной двухпролетной балки перекрытия, приведенной на рис. 3 конструктивной схемы здания, выполнена в виде высокой тонкой колонны, начальная расчетная схема которой, как начальный вариант, приведена на рис. 4.

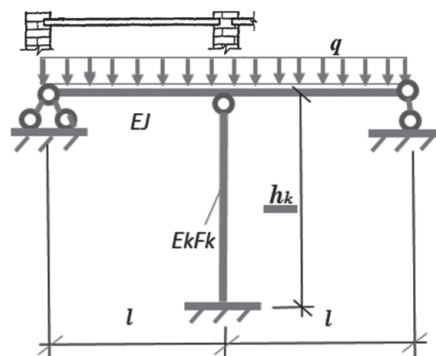


Рис. 4. Начальная расчетная схема промежуточной опоры неразрезной двухпролетной балки перекрытия

Приведем различные варианты как возможное множество решений задач креплений перекрытий в местах сочленений (идеализации)

конструктивов между собой и к ограждающим конструкциям на рис. 5. Эти конструктивные решения впоследствии проявятся на поведении конструктивов в эксплуатации. Выбор конкретных проектных решений необходимо осуществить предварительно на этом этапе.

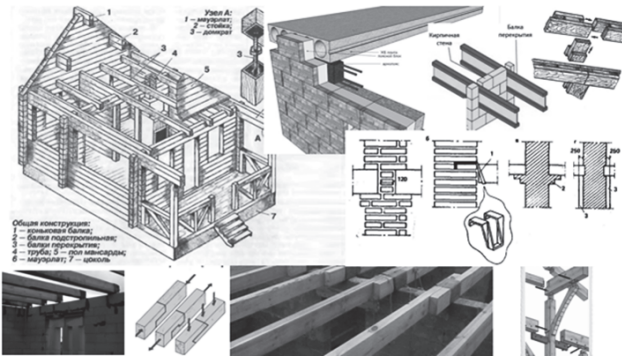


Рис. 5. Различные возможные (предполагаемые) варианты крепления в местах идеализации перекрытий и сочленений балок начальной расчетной схемы

По условию задачи при первоначальном избрании расчетной схемы для расчетов на прочность и жесткость процесс избрания должен включать оценку влияния упругого обжатия колонны от двухпролетной балки. Оценим величину упругого обжатия промежуточной опоры расчетной схемы.

Приведем несколько итераций решения указанной задачи.

Итерация 1.

Избрание расчетной схемы для расчетов на прочность и жесткость должно включать оценку влияния упругого обжатия колонны.

Для начала зададим соотношение « α » в виде:

$$\frac{E \times J}{l^2} = \frac{E_k \times F_k}{h_k} = \frac{1}{100} = \alpha.$$

Если представить $\frac{E_k \times F_k}{h_k} = 100 \times \frac{E \times J}{l^2}$, то

обжатие колонны с учетом того, что $Y_{po} = q \times l$, составит:

$$\Delta h_k = \frac{1}{100} \times \frac{q \times l}{E \times J}.$$

Так как величина Δh_k того же порядка, что и прогиб рассматриваемой двухпролетной балки пролетом l , то условия совместности деформаций балки и колонны не будут выполняться

при условии, если балка работает на жестких опорах.

Вывод 1. На основании итерации 1 упругое обжатие колонны необходимо учитывать.

Итерация 2.

Для начального приближения представим ригель двух пролетной балки, как ригель на жестких опорах, пренебрегая при этом деформацией опорной колонны. Применяя табличные методы, найдем опорный момент и определим опорную реакцию Y_{op1} , представляющую собой в том числе продольную силу в указанной колонне

$$M_1 = -\frac{1}{8} \cdot q \cdot l^2, \quad Y_{op1} = \frac{5}{4} \cdot q \cdot l.$$

Обжатие колонны составит:

$$\Delta h_k = \frac{Y_{op1} \cdot h_k}{E_k \cdot F_k} = \frac{5}{4} \cdot \frac{q \cdot l \cdot h_k}{E_k \cdot F_k}.$$

Опорный момент в двухпролетной балке от осадки средней опоры будет равен:

$$\Delta M_1 = \frac{3 \cdot E \cdot J}{l^2} \cdot \Delta h_k = \frac{15}{4} \cdot \frac{E \cdot J}{l} \cdot \frac{q \cdot h_k}{E_k \cdot F_k}.$$

При $\alpha = 0,01$

$$\Delta M_1 = \frac{q \cdot l^2}{26,6}.$$

Сопоставляя ΔM_1 с M_1 , приходим к выводу о необходимости последующего, второго приближения.

Второе приближение.

Вычислим приращение ΔY_{op1} к реакции Y_{op1} вызванную опорным моментом ΔM_1 :

$$\Delta Y_{op1} = -2 \cdot \frac{\Delta M_1}{l} = \frac{q \cdot l}{13,3}.$$

Обжатие колонны:

$$\Delta(\Delta h_k) = \frac{\Delta Y_{op1} \cdot h_k}{E_k \cdot F_k} = -\frac{q \cdot l \cdot h_k}{13,3 \cdot E_k \cdot F_k}.$$

Приращение опорного момента:

$$\Delta(\Delta M_1) = \frac{3 \cdot E \cdot J}{l^2} \cdot \Delta(\Delta h_k) = -\frac{1}{443} \cdot q \cdot l.$$

На этом этапе момент равен:

$$M_1 = -\frac{1}{8} \cdot q \cdot l^2 + \frac{q \cdot l^2}{26,6} - \frac{1}{443} \cdot q \cdot l^2 = -0,0896 \cdot q \cdot l^2.$$

Вывод 2. Сходимость представленного процесса последовательных приближений обратно пропорциональна значению α . Так, при увеличении α , т.е. при уменьшении продольной жесткости колонны по отношению к изгибной жесткости балки, сходимость процесса ухудшается.

А это означает, что избранная в качестве начальной расчетной схемы двухпролетная балка на жестких опорах как модель недостаточно адекватна натуральной работе конструктива.

Вывод 3. Таким образом, в нашем случае ригель следует рассматривать как двухпролетную бал-

ку с упругоседающей опорой либо рассчитывать всю систему как раму с обязательным учетом влияния сжимаемости опорной колонны.

Численный расчет значений изгибающего момента (M), поперечной (Q) и продольной (N) сил начальной расчетной схемы при симметричном приложении распределенной нагрузки на ригель (загрузка 1) и шарнирном закреплении балок в крайних узлах к кирпичным стенам показан на рис. 6.

Несимметричное приложение распределенной нагрузки на ригель, а именно, ее двукратное увеличение на стержень 1 (загрузка 2), приводит к существенному перераспределению внутреннего напряженного состояния системы, показанному на рис. 7. В стержне 1 по его длине происходит знакопеременное изменение работ верхних и нижних поясов на участке пролета.

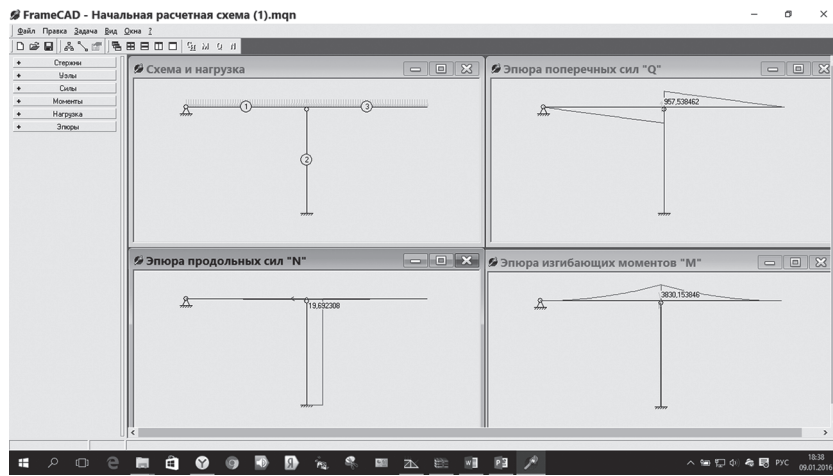


Рис. 6. Значения изгибающего момента (M), поперечной (Q) и продольной (N) сил начальной расчетной схемы при симметричном приложении распределенной нагрузки на ригель

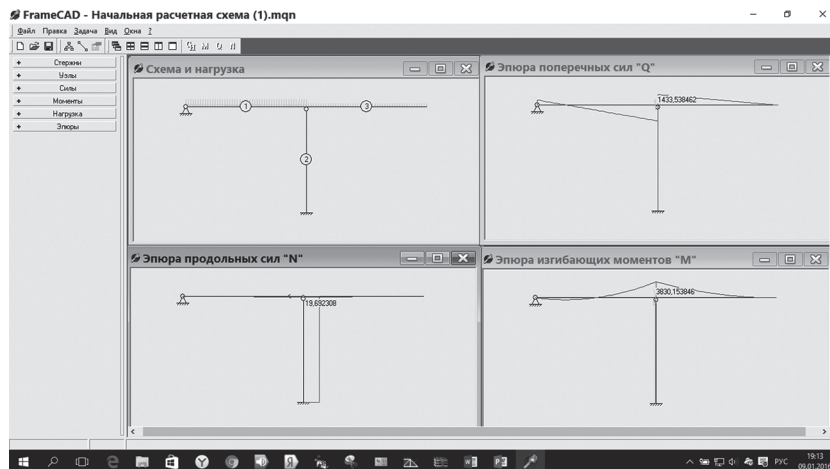


Рис. 7. Результат двух кратного увеличение распределенной нагрузки на стержень 1

Характер распределения внутреннего напряженного состояния системы при несимметричном двухкратном увеличении распределенной нагрузки на стержень 3 (загрузка 3), показан на рис. 8.

Вывод 4. Сопоставление рис. 6–8 указывает на аналогичный характер работы системы при загрузках 1 и 3 и альтернативном — при загрузках 1 и 2.

Характер поведения системы существенно изменяется при загрузке 3 и жестком закреплении стержней 1 и 3 к крайним стенам.

Как это следует из рис. 9, в местах сочленения пролетных балок и стен проявляются

реактивные моменты, требующие соответствующих конструктивных решений как для обеспечения устойчивости, прочности и надежности конструкции системы, так и для адекватного избрания соответствующей расчетной схемы.

Какую же расчетную схему избрать? Здравый смысл подсказывает: такую, при которой можно смоделировать, предсказать последствия от воздействий самых неблагоприятных сочетаний нагрузок. В нашем случае при загрузке 3 эффективный вариант расчетной схемы приведен на рис. 10.

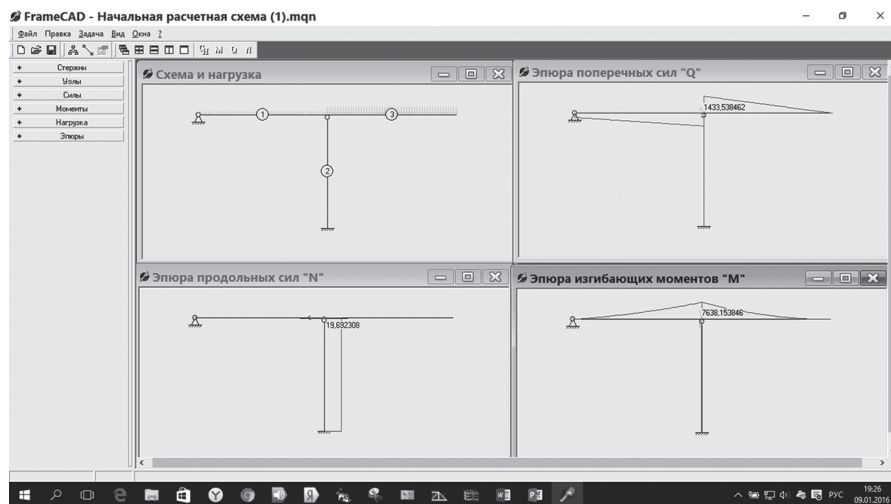


Рис. 8. Характер распределения внутреннего напряженного состояния системы при несимметричном двухкратном увеличении распределенной нагрузки на стержень 3

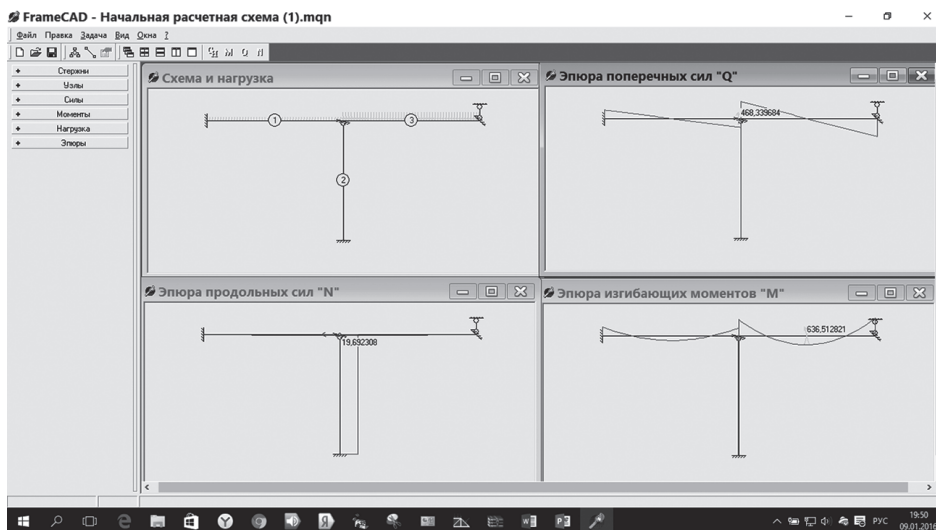


Рис. 9. Появление реактивных моментов в узлах сочленения (идеализации) двухпролетной балки к массивным каменным стенам при загрузке 3

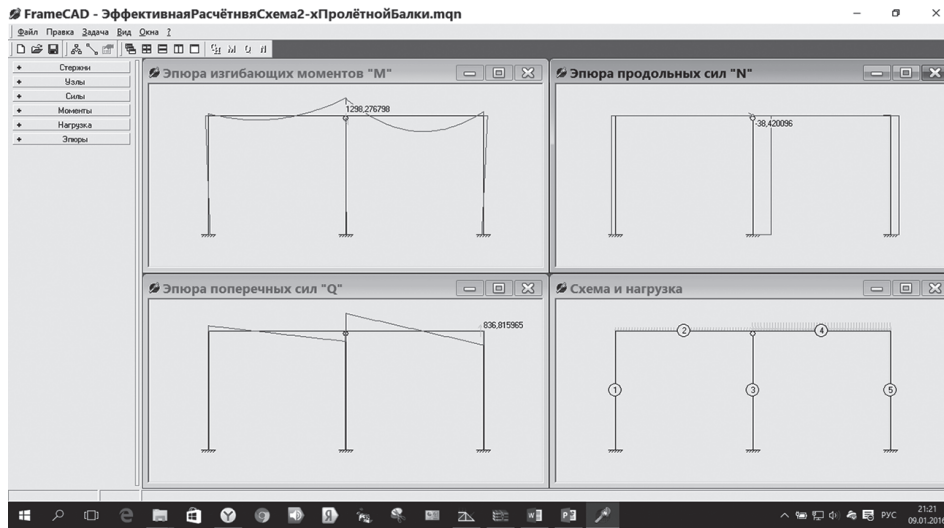


Рис. 10. Эффективная расчетная схема и внутренние силовые факторы при загрузении 3

Литература

1. Александров А.В. Строительная механика. Тонкостенные пространственные системы [Текст]: учебник для вузов / А.В. Александров, Б.Я. Лашеников, Н.Н. Шапошников; под ред. А.Ф. Смирнова. — М.: Стройиздат, 1983. — 488 с.
2. Александров А.В. Основы теории упругости и пластичности [Текст] / А.В. Александров, В.Д. Потапов. — М.: Высшая школа, 2004. — 380 с.
3. Александров А.В. Сопротивление материалов [Текст] / А.В. Александров, В.Д. Потапов, Б.П. Державин. — М.: Высшая школа, 2000. — 560 с.
4. Аболевский Н.П. Избранные задачи по строительной механике и теории упругости [Текст] / Н.П. Аболевский [и др.]. — М.: Стройиздат, 1978.

References

1. Aleksandrov A.V., Lashchenikov B.Ya., Shaposhnikov N.N. *Stroitel'naya mekhanika. Tonkostennye prostranstvennye sistemy* [Structural mechanics. Thin-walled spatial systems: Textbook for universities]. Moscow: Strojizdat Publ., 1983. 488 p.
2. Aleksandrov A.V., Potapov V.D. *Osnovy teorii uprugosti i plastichnosti* [Fundamentals of the theory of elasticity and plasticity]. Moscow: «Vysshaya shkola» Publ., 2004. 380 p.
3. Aleksandrov A.V., Potapov V.D., Derzhavin B.P. *Soprotivlenie materialov* [Resistance of materials]. Moscow: Vysshaya shkola Publ., 2000. 560 p.
4. Abolevskij N.P., Endzhievskij L.V., Savchenkov V.I., Deruga A.P., Rejtman M.I. *Izbrannye zadachi po stroitel'noj mekhanike i teorii uprugosti* [Selected problems in structural mechanics and elasticity theory]. Moscow: Strojizdat Publ., 1978.