

Рисунок 2 – Результаты расчета затрат на проведение экспертизы разными методами

Список цитированных источников

1. Об архитектурной, градостроительной и строительной деятельности в Республике Беларусь: Закон Респ. Беларусь, 05 июля 2004 г., № 300-3.
2. Положение о порядке проведения государственной экспертизы градостроительных проектов, архитектурных, строительных проектов, выделяемых в них очередей строительства, пусковых комплексов и смет (сметной документации): пост. Совета Министров Респ. Беларусь, 08 окт. 2008 г., № 1476.
3. О совершенствовании порядка определения стоимости строительства объектов: Указ Президента Респ. Беларусь, 11 авг. 2011 г., № 361.
4. Инструкция о порядке определения сметной стоимости строительства и составления сметной документации на основании нормативов расхода ресурсов в натуральном выражении: пост. Минстройархитектуры Респ. Беларусь, 18.11.2011 г., № 51.
5. Методические указания о порядке определения стоимости разработки документации проектного обеспечения строительной деятельности ресурсным методом: НЗТ 8.01.00-2014. – Минск: Минстройархитектуры Респ. Беларусь, 2014. – 42 с.
6. Инструкция о порядке определения стоимости государственной экспертизы градостроительных проектов, архитектурных, строительных проектов, выделяемых в них очередей строительства и смет (сметной документации): пост. Минстройархитектуры Респ. Беларусь, 06 ноября 2015 г., № 32.
7. Методические рекомендации о порядке определения стоимости разработки документации проектного обеспечения архитектурной, градостроительной и строительной деятельности: пост. Минстройархитектуры Респ. Беларусь, 21 марта 2012 г., № 11.

УДК 624.012

Горбат Я.В., Лизогуб А.А.

Научный руководитель: к.т.н. Тур А.В.

РАСЧЕТ НА ПРОГРЕССИРУЮЩЕЕ ОБРУШЕНИЕ И ПРОВЕРКА ЖИВУЧЕСТИ РАМ ИЗ ЖЕЛЕЗОБЕТОНА УПРОЩЕННЫМ МЕТОДОМ

Под *прогрессирующим обрушением* понимают катастрофическое частичное или полное обрушение здания или сооружения, развивающееся после наступления некоторого исходного события (как правило, аномального

воздействия), приводящего к локальному повреждению (разрушению) отдельного конструктивного элемента, которое не может быть воспринято или предотвращено за счет начальной неразрезности и деформативности (пластической податливости) конструктивной системы здания.

При проектировании строительных конструкций должны быть выполнены 4 базовых требования, касающихся безопасности, эксплуатационной пригодности, долговечности и **живучести** Внезапное удаление колонны из конструктивной системы, в соответствии с расчетным сценарием, эквивалентно эффекту от внезапного приложения к модифицированной системе гравитационной нагрузки, воспринимаемой этим вертикальным элементом. Это позволяет получать практически точные решения для систем с одной степенью динамической свободы, при значительных вертикальных перемещениях.

Принимая за основу научные положения **энергетического подхода**, проверка живучести конструктивной системы в особой расчетной ситуации может быть проведена следующим образом: *модифицированная конструктивная система обладает требуемой живучестью в особой расчетной ситуации, если работа, совершаемая усилием, численно равным реакции в удаляемом вертикальном элементе, на перемещении, имеющем место на первом полупериоде колебаний, не превышает потенциальной энергии модифицированной системы, определенной при том же вертикальном перемещении.*

Исходя из сформулированной гипотезы, индекс живучести (критерий живучести) для конструктивной системы может быть записан в общем виде:

$$R = \frac{P_{u,d}}{N_i} \geq 1, \quad (1)$$

где $P_{u,d}$ – предельное квазистатическое вертикальное усилие, которое может воспринять конструктивная система на первом полупериоде колебаний, определяемое при условии, что максимальное вертикальное перемещение достигает предельного значения;

N_i – продольное усилие в удаляемом вертикальном элементе конструктивной системы, определяемое из нелинейного статического расчета при особом расчетном сочетании воздействий.

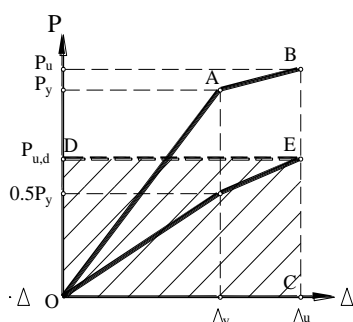


Рисунок 1 – К определению предельного квазистатического усилия для модифицированной системы с применением нелинейной статической диаграммы “P - Δ”

В общем случае предельное усилие $P_{u,d}$ может быть рассчитано из равенства площади прямоугольника *ODEC* и площади трапеции *OABC*, заключенной под графиком, описывающим статическую нелинейную реакцию системы. Таким образом, для определения предельного квазистатического усилия $P_{u,d}$ в первую очередь необходимо установить вид и значения параметрических точек диаграммы “P - Δ”, описывающей функцию нелинейного сопротивления модифицированной конструктивной системы.

Получить полную нелинейную реакцию системы означает построить для определенного узла системы зависимость «сила – перемещение». В общем

случае перемещение может быть определено двойным интегрированием функции кривизны по длине элемента в зависимости от характеристик сечений.

Распределение кривизн по длине анализируемого элемента для соответствующего уровня нагружения, следует устанавливать с привлечением диаграмм “ $M-\varphi$ ” (момент-кривизна) для расчетных сечений. Ниже приведен вывод аналитических зависимостей для определения кривизн, углов поворота, перемещений для рамных систем для случая симметричного армирования.

Определения упругой и предельной кривизны и соответствующих значений изгибающих моментов

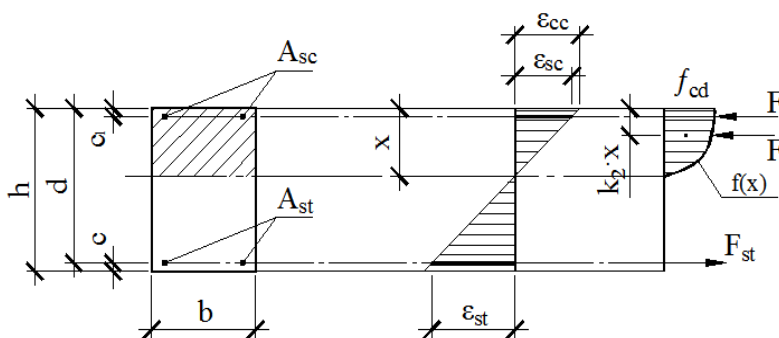
Для определения упругой и предельной кривизн необходимо для каждого из этих случаев знать относительную деформацию в арматуре (сжатой и растянутой) и в сжатом бетоне. Кривизна в рассматриваемом сечении определяется: $\varphi = \frac{\varepsilon_{cc} + \varepsilon_{st}}{h}$.

Относительные деформации арматуры и бетона в сжатой зоне можно определить итерационным методом с учетом выполнения условия равновесия: $F_{cc} + F_{sc} = F_{st}$,

где $F_{cc} = \int_0^x f(x) dx \cdot b$, $F_{st} = f_{yd} \cdot A_{st}$, $F_{sc} = \sigma_{sc} \cdot A_{sc}$;

Значение момента для соответствующего случая будет определяться как :

$$M = F_{sc} \cdot (d - c_1) + F_{cc} \cdot (d - k_2 \cdot x).$$



$f_{cd} = f_{cm} \cdot 1,25$ – расчетное сопротивление бетона сжатию с учетом скорости приложения нагрузки;

$f_{yd} = f_{yk} \cdot 1,1$ – расчетное сопротивление арматуры с учетом скорости приложения нагрузки;

$d = h - c$ – рабочая высота сечения;

$x = \frac{\varepsilon_{cc}}{\varepsilon_{cc} + \varepsilon_{st}} \cdot d$ – высота сжатой зоны сечения;

Рисунок 2 – Схемы относительных деформаций и усилий, принятые при расчете элементов с двойным армированием

Определение упругих и предельных углов поворота и перемещений

Упругая работа элемента:

Рассмотрев функцию кривизны, проинтегрировав ее единожды и дважды и умножив на 4, получим соответственно угол поворота θ_y и прогиб Δ_y соответственно (рисунок 4):

$$f_1(x) = \frac{2 \cdot \varphi_y}{L} \cdot x; \quad \theta_y = \int_0^{L/2} 4 \cdot f_1(x) dx = \varphi_y \cdot L; \quad \Delta_y = \int_0^{L/2} \int_0^x 4 \cdot f_1(x) dx dx = \frac{\varphi_y \cdot L^2}{6}.$$

Упругопластическая работа элемента (достижение предельного состояния):

$$f_1(x) = \frac{\varphi_y}{0,5L - L_p} \cdot x - \text{функция кривизны элемента при работе в упругой ста-}$$

дии;

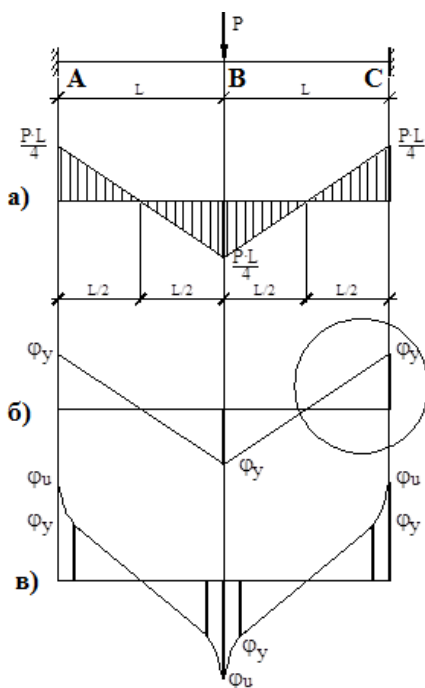
$$f_2(x) = \frac{\varphi_u - \varphi_y}{L_p} \cdot x + \varphi_y - \text{функция кривизны элемента при работе в пластиче-}$$

ской стадии;

Рассмотрев функцию кривизны, проинтегрировав ее единожды и дважды и умножив на 4 получим угол поворота θ_u и прогиб Δ_u соответственно (рисунок 5):

$$\theta_u = 4 \cdot \left(\int_0^{L/2-L_p} f_1(x) dx + \int_0^{L_p} f_2(x) dx \right) = 2 \cdot \varphi_y \cdot \left(\frac{L}{2} - L_p \right) + 2 \cdot (\varphi_u - \varphi_y) \cdot L_p + 4 \cdot \varphi_y \cdot L_p$$

$$\Delta_u = 4 \cdot \left(\int_0^{L/2-L_p} \int_0^x f_1(x) dx dx + \int_0^{L_p} \int_0^x f_2(x) dx dx \right) = \frac{2 \cdot \varphi_y \cdot \left(\frac{L}{2} - L_p \right)^2}{3} + \frac{2 \cdot (\varphi_u - \varphi_y) \cdot L_p^2}{3} + 2 \cdot \varphi_y \cdot L_p^2$$



а) эпюра моментов; б) эпюра распределения кривизн φ в упругой стадии; в) эпюра распределения кривизн φ в предельной стадии

Рисунок 3 – Распределение кривизн по длине элемента

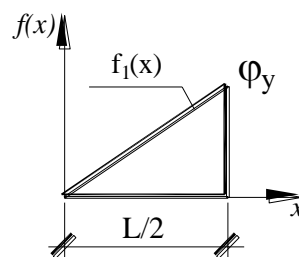
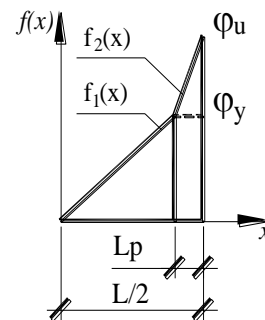


Рисунок 4 – К определению функции кривизны элемента при работе в упругой стадии



φ_y – кривизна, соответствующая достижению в растянутой арматуре напряжений, равных пределу текучести; φ_u – предельная кривизна

Рисунок 5 – К определению функции кривизны элемента при достижении им предельного состояния

Для проверки принятых зависимостей произведем расчет рамной системы со следующими характеристиками:

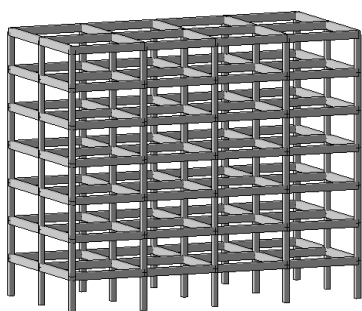


Рисунок 6 – Рамная система

Здание имеет прямоугольную форму с размерами в плане 24x12 м. Сетка колонн с ячейкой 6x6 м. Здание 7-этажное. Высота этажа 3 м. В качестве несущей системы здания применен монолитный железобетонный каркас, состоящий из монолитных колонн и ригелей. Колонны сечением 400x400 мм, ригели сечением 600x400 мм, запроектированы монолитными железобетонными из бетона класса $C^{25}/_{30}$ и арматуры класса S500. Расчетная схема представлена на рисунке 9. Элементы конструктивной системы запроектированы в соответствии с ТКП EN. Составив особое сочетание нагрузок, и выполнив нагружение, определили реакцию в потенциально удаляемом ключевом элементе $N_i=1650$ кН.

тированы в соответствии с ТКП EN. Составив особое сочетание нагрузок, и выполнив нагружение, определили реакцию в потенциально удаляемом ключевом элементе $N_i=1650$ кН.

В соответствии с теоретическими положениями, изложенными ранее, определяем параметрические точки диаграммы «момент-кривизна» (рисунок 9) и диаграммы «сила - перемещение» (таблица 1, рисунок 7). Для определения нагрузки, соответствующей началу текучести (P_y), производим пошаговое нагружение модифицированной конструктивной системы с удаленным ключевым элементом до достижения в узле перемещения, соответствующего Δ_y . Нагрузка прикладывается в узел, в котором производится удаление элемента (колонны). Полученные диаграммы представлены на рисунках 7, 8.

Согласно энергетическому подходу, изложенному в п. 2, предельное динамическое усилие $P_{u,d}$ может быть рассчитано из равенства площади прямоугольника $ODEC$ и площади трапеции $OABC$, заключенной под графиком, описывающим статическую нелинейную реакцию системы (рисунок 9).

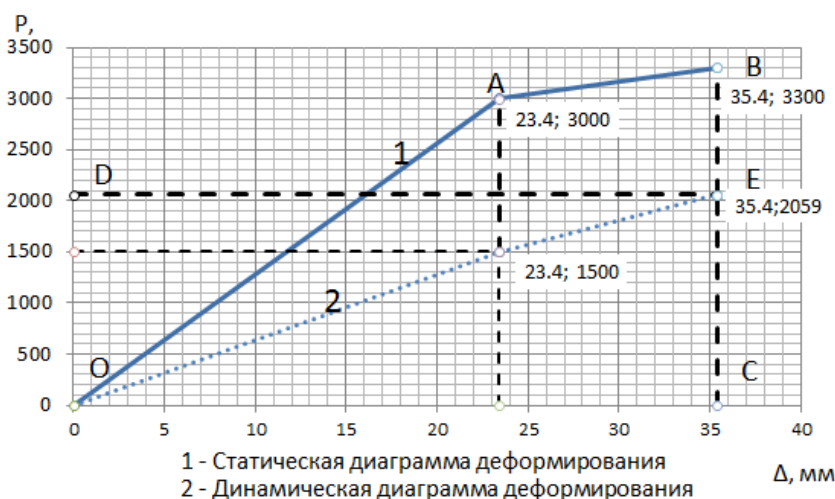


Рисунок 7 – К определению параметрических точек нелинейной динамической диаграммы деформирования

$$S_{ODEC} = S_{OABC};$$

$$S_{ODEC} = P_{u,d} \cdot \Delta_u;$$

$$P_{u,d} = \frac{S_{ODEC}}{\Delta_u} = \frac{S_{OABC}}{\Delta_u};$$

Определим индекс живучести R для конструктивной системы согласно формуле 1.

$$R = \frac{P_{u,d}}{N} = \frac{2059}{1650} = 1.25 > 1$$

Конструктивная система удовлетворяет требованиям живучести при наступлении особого события без проведения дополнительных мероприятий.

С целью проверки полученных упрощенных теоретических зависимостей был выполнен численный анализ модельной рамы (рисунок 6, 8) в ПК SAP2000, позволяющем производить расчёты с учётом нелинейной работы материалов и осуществлять врезку пластических шарниров в автоматическом режиме. На рисунке 8 показана расчетная схема с активизированными пластическими шарнирами в предельной стадии.

На рисунке 9 представлено сравнение зависимостей «момент-кривизна» полученных теоретическим расчетом и в ПК SAP2000, а на рисунке 10 и в таблице 1 показано сравнение параметрических точек нелинейных статических и квазистатических диаграмм деформирования полученных по предложенным зависимостям и из расчета в ПК SAP2000.

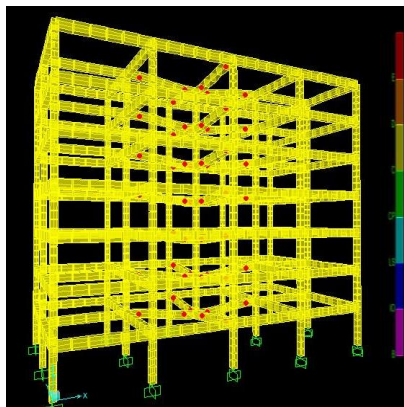


Рисунок 8 – Расчётная модифицированная схема

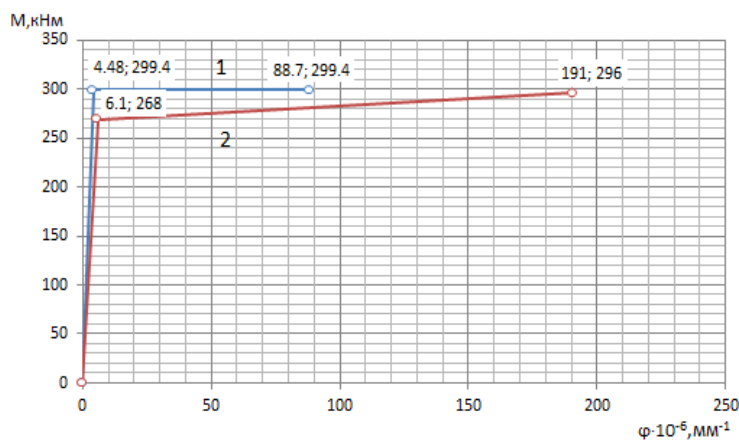


Рисунок 9 – Зависимость «момент-кривизна» для сечений ригеля: полученная теоретическим расчетом (1); полученная в SAP 2000(2)

Таблица 1 – Сравнение полученных результатов

Способ расчета	$P_{y,}$ кН	$P_{u,}$ кН	$P_{y,d,}$ кН	$P_{u,d,}$ кН	$\Delta_{y,}$ мм	$\Delta_{u,}$ мм	$N,$ кН	Индекс живучести $R = P_{u,d} / N$
Теоретический расчет	3000	3300	1500	2059	23.4	35.4	1650	1.25
SAP 2000	2600	2930	1300	2478	15.03	75.47		1.5

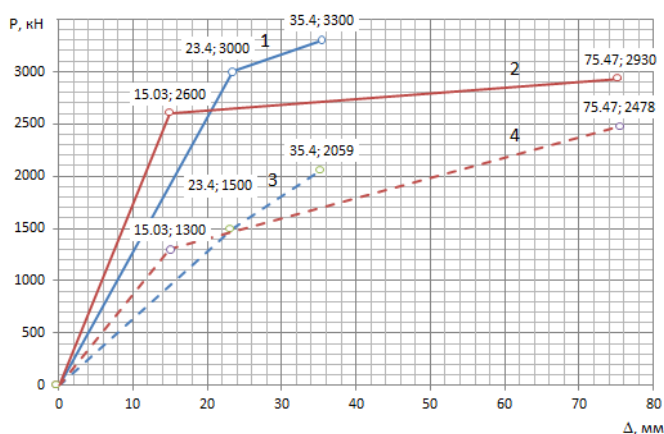


Рисунок 10 – Нелинейная статическая и динамическая диаграммы полученная теоретическим расчетом (1); полученная в SAP 2000(2). Нелинейная динамическая диаграмма деформирования: полученная из NLS теоретическим расчетом (3); полученная из NLS в SAP 2000(4)

Определенное расхождение в предложенном теоретическом расчете и в расчете по методу конечных элементов может быть нивелировано за счет более точного согласования в работе ПК ЛИРА и ПК SAP2000, а конкретно жесткостных характеристик элементов. В ПК SAP2000, в отличие от ПК ЛИРА, принимаются полные диаграммы деформирования материалов, а так же производится врезка пластических шарниров в автоматическом режиме и производится перераспределение усилий. Таким образом, ПК SAP2000 позволяет более точно исследовать поведение системы, однако погрешность не является существенной и дает определенный запас при предложенном упрощенном расчете. Более точный расчет (по ПК SAP2000) дает более высокий индекс живучести

Полученные в работе зависимости позволяют с определенным запасом получить нелинейную реакцию системы “сила-перемещение” без привлечения сложных лицензионных комплексов и произвести оценку живучести рамной конструкции в особой расчётной ситуации.

Список цитированных источников

1. General Actions – Accidental Actions (ТКП EN 1991-1-7 – Общие воздействия. Часть 7. – Особые воздействия): EN 1991-1-7.
2. ТКП EN 1990-2011. Еврокод. Основы проектирования строительных конструкций. – Минск: МАиС, 2012
3. Тур, А.В. Соппротивление изгибаемых железобетонных элементов при внезапном приложении нагрузки: дисс. канд. техн. наук: 05.23.01/ А.В. Тур; Брест, 2012. – 228 с.

УДК 624.131.2

Иванович В.Е., Алипова Д.А.

*Научные руководители: старший преподаватель Демина Г.П.
старший преподаватель Клебанюк Д.Н.*

ОПТИМАЛЬНЫЕ КОНСТРУКЦИИ И МЕТОДЫ РАСЧЕТА СВАЙНЫХ ФУНДАМЕНТОВ В СЛОЖНЫХ ИНЖЕНЕРНО-ГЕОЛОГИЧЕСКИХ УСЛОВИЯХ И В УСЛОВИЯХ НЕОПРЕДЕЛЕННОСТИ

Выбор оптимальных конструктивно-технологических (КТР) решений, при проектировании свайных фундаментов, является сложной технической задачей, требующей реализации принципов комплексности и системности подходов к оценке возможных конкурентоспособных вариантов [1, 2, 3].

Традиционные методы решения однокритериальных задач, реализующие оптимизацию отдельных параметров, при введении ограничений на все другие, а также принятие альтернативных КТР только по экономическим показателям не всегда правомерно, так как стоимостная оценка нелинейна с точки зрения надежности и качества технического решения.

В целом на процесс принятия проектного решения по устройству свайных фундаментов оказывают влияние следующие факторы: инженерно – геологические и гидрогеологические условия стройплощадки; конструктивная схема здания; строительные, заводские, технологические и временные ограничения (несовершенство оборудования и механизмов, стесненность условий, срок строительства и т.д.) [4, 5].

Так как выбор решения необходимо осуществлять на базе «наибольшей предпочтительности», т.е. оптимизации на совокупность показателей эффективности с учетом неопределенности факторов и условий, то собственно решение представимо в виде следующих частных задач [3]:

- выбор способа представления вариантов, удобного для полного их перебора из исходного множества и полного набора показателей эффективности, которые должны учитываться при оценке каждого варианта, а также шкалы и процедуры оценок по каждому показателю эффективности (ПЭ);
- выбор процедуры, позволяющей выделить из исходного множества вариантов (альтернатив) подмножество наиболее предпочтительных вариантов и на их основе построить ряд предпочтительности альтернатив.

Логическая схема, позволяющая реализовать все эти задачи и выбрать альтернативные варианты, представлена на рисунке 1.