

УДК 539.3

*Агаханов Э.К., Кравченко Г.М., Панасюк Л.Н., Труфанова Е.В.*

## РЕАЛИЗАЦИЯ МЕТОДА КИНЕМАТИЧЕСКОЙ ДЕКОМПОЗИЦИИ ДЛЯ РАСЧЕТОВ В НЕЛИНЕЙНОЙ ПОСТАНОВКЕ

*Agakhanov E.K., Kravchenko G.M., Panasyuk L.N., Trufanova E.V.*

## IMPLEMENTATION OF THE METHOD OF KINEMATIC DECOMPOSITION FOR CALCULATIONS IN NONLINEAR FORMULATION

*Методом кинематической декомпозиции в физически нелинейной постановке задачи механики деформируемого твердого тела выполнен расчет винтовой сваи АКСИС с учетом модели грунта, основанной на гипотезе предельной поверхности Мизеса – Шлейхера - Боткина.*

**Ключевые слова:** *метод кинематической декомпозиции, физически нелинейная постановка, расчет винтовой сваи.*

*Method kinematic decomposition in a physically non-linear formulation of solid mechanics computations of the screw piles AKSIS taking into account soil models based on the hypothesis marginal surface of the Mises - Schleicher - Botkin.*

**Key words:** *method of kinematic decomposition, physically nonlinear formulation, the calculation of screw piles.*

Тенденция прогрессивного подхода к расчету зданий и сооружений состоит в имитационном моделировании их работы в целом с учетом взаимного влияния проектируемого объекта и его окружения. Базовым инженерным методом, реализуемым в большинстве программных комплексах, является метод конечных элементов. Так как методом конечных элементов в большинстве задач получают приближенное решение, то повышение точности решения в напряжениях является одной из актуальных задач при использовании метода конечных элементов при расчетах сооружений.

Однако метод конечных элементов для получения решений с приемлемой инженерной точностью требует рассматривать расчетные модели такой густоты сетки и столь высокой размерности, что получение качественного решения становится проблематичным даже на современных высокопроизводительных компьютерах. В местах большой концентрации напряжений средний размер конечно-элементной сетки, принятый для расчетной модели в целом, не обеспечивает достоверности результатов.

Во многих фрагментах расчетной модели здания необходимо существенно сгущать сетку конечных элементов. Автоматическое сгущение конечно-элементной сетки для всей модели значительно увеличивает объем требуемой памяти и времени счета. Сгущение конечно-элементной сетки вручную в областях с особенностями достаточно трудоемкий процесс. Кроме того, априори, до

выполнения поверочных расчетов, часто нельзя определить области сгущения. Поэтому в реальных инженерных расчетах часто пренебрегают корректировкой расчетных схем. В результате проектировщики получают заниженные значения внутренних усилий и, соответственно, искусственно уменьшенные значения расчетного армирования отдельных участков или конструкции в целом, что снижает надежность проектируемого объекта.

Поэтому применение возможностей современной информационной и материальной научно-технической базы для повышения достоверности инженерных расчетов является актуальным и важным направлением исследований.

Для автоматизации процесса уточнения решения по напряжениям в отдельных конструктивных элементах предлагаем использовать метод кинематической декомпозиции [1].

Метод базируется на разной точности аппроксимации перемещений и деформаций в методе конечных элементов. Общеизвестно, что точность решения по перемещениям гораздо выше, чем точность определения деформаций и внутренних усилий. Поэтому вычисленные с достаточной точностью перемещения, являются исходным приближением для уточнения внутренних усилий на сгущенной сетке.

На первом шаге определяется модель, в которой наблюдается стабилизация решения по перемещениям. Далее циклично выполняется расчет всех конструктивных элементов с существенно сгущенной сеткой элементов, перемещения базовых узлов которых, соответствуют полученным перемещениям при расчете исходной модели в целом. Особенностью данного метода является то, что перемещения добавляемых при сгущении сетки узлов зависят от перемещения всех базовых узлов по границе.

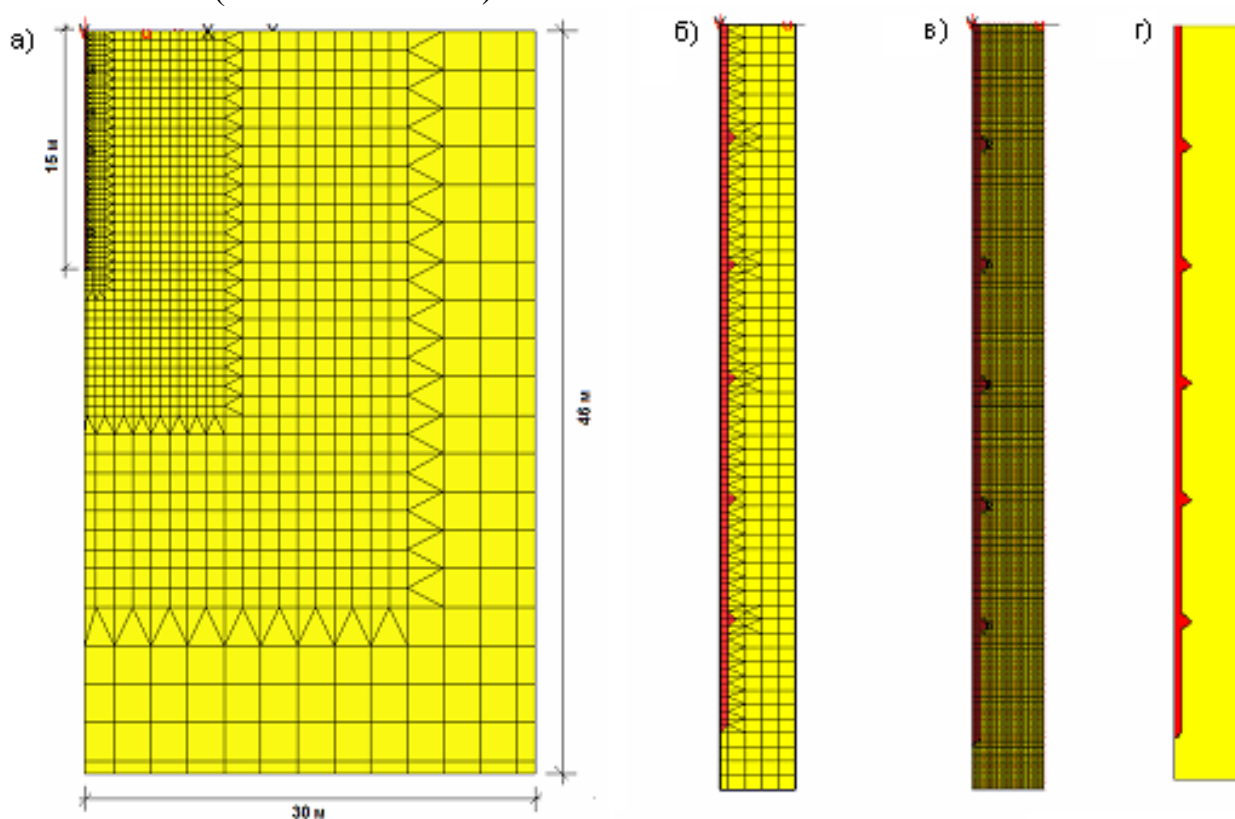
Известно, что в ряде расчетных комплексов применяется подобный прием, но перемещения внутренних узлов определяются линейной интерполяцией двух базовых узлов, что, существенно снижает точность метода. На основе сравнительного анализа из рассмотренных трех вариантов аппроксимации перемещений в узлах сгущения исходной сетки лучшим по точности оказался вариант с использованием кубических сплайнов.

Для примера, методом кинематической декомпозиции в физически нелинейной постановке задачи механики деформируемого твердого тела рассмотрим расчет винтовой сваи АКСИС с учетом модели грунта [2, 3]. Винтовые сваи АКСИС обладают повышенной несущей способностью по грунту. Боковые поверхности сваи имеет выступы в виде винта. Сваи сочетают в себе лучшие качества набивных и буровых свай:

- в процессе устройства не оказывают динамических воздействий на близлежащие объекты;
- в зоне в окрестности сваи происходит уплотнение грунта, за счет этого повышается несущая способность свай по грунту;
- технология возведения менее требовательна к грунтовым условиям;
- мощному сваеобразователю не страшны твердые крупные включения.

В ходе исследования выполнен расчет одиночной сваи диаметром 300 мм

длиной 15 м (рис. 1, а). Рассматривался случай полностью замоченного грунтового массива ( $E = 10000 \text{ кН/м}^2$ ).



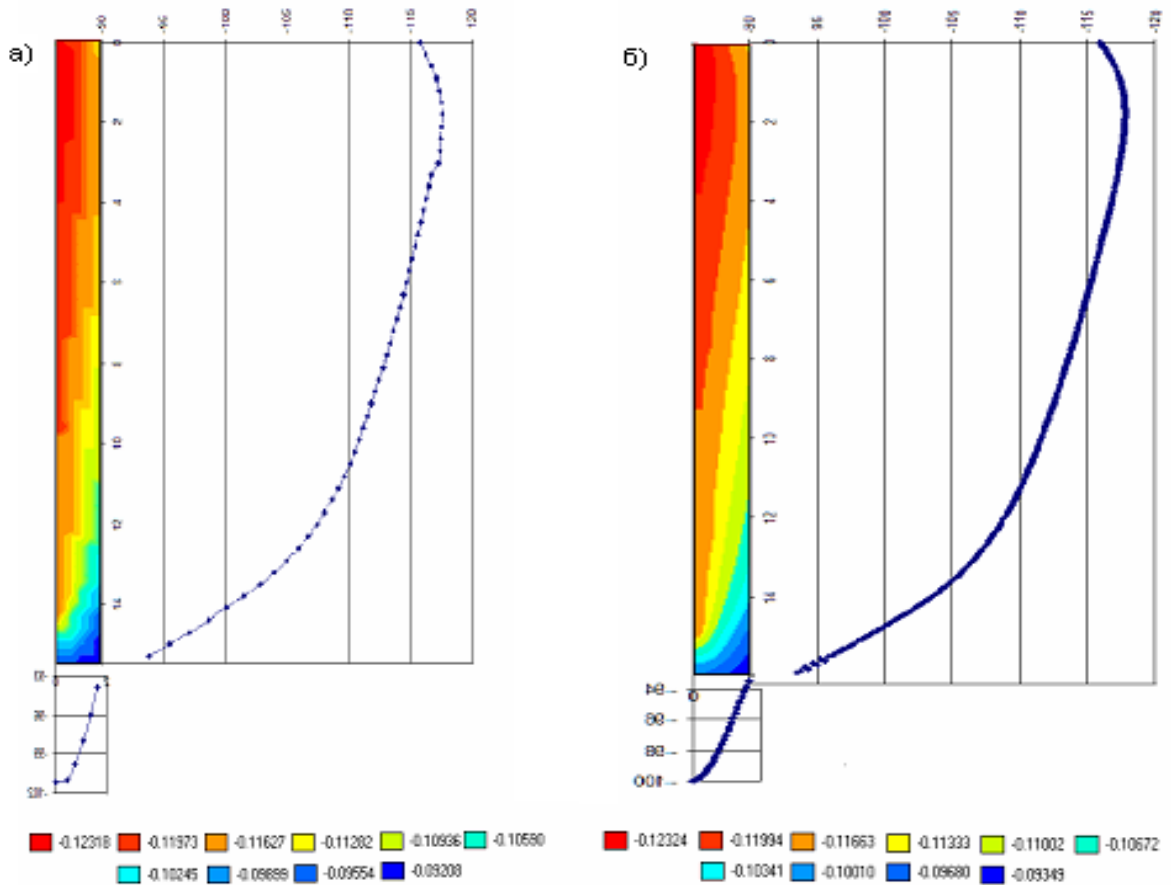
**Рисунок 1** - Расчетная модель сваи в грунте:

- а) отсекаемая область; б) исходная область; в) сгущенная сетка;  
г) фрагмент модели.

Задача решалась в постановке осесимметричной деформации. Для моделирования работы грунта использовалась гипотеза предельной поверхности Мизеса – Шлейхера – Боткина. Для раскрытия нелинейности использовался итерационный процесс продолжения по параметру нагружения. Величина шага выбиралась автоматически из условия достижения предельной поверхности очередным конечным элементом.

На первом этапе в линейной постановке определена минимальная степень сгущения сетки, при которой точность решения по перемещениям стабилизируется. Полученное решение обладает точностью перемещений выше, чем точность напряженного состояния. Поэтому для фрагментов конструкции требуется уточнение поля напряжений, используя достаточно высокую точность решения в перемещениях.

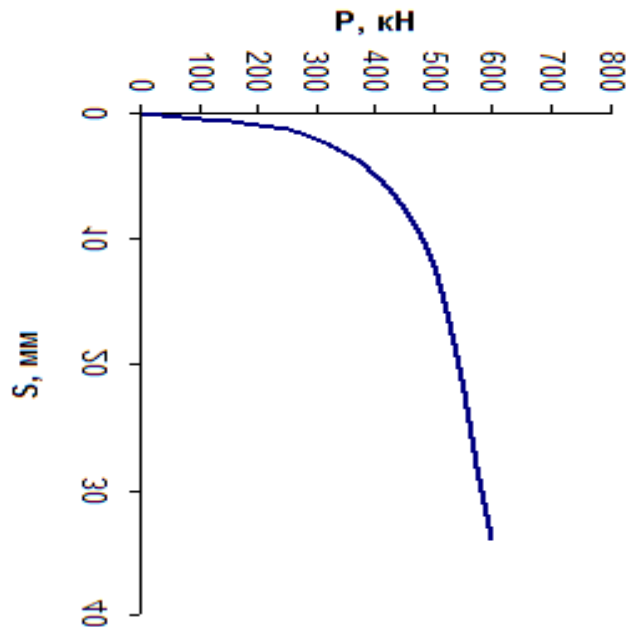
В окрестности сваи для качественного моделирования работы тела сваи сложной конфигурации требуется принимать сетку элементов, как в пределах сваи, так и в окружающем грунте, достаточно мелкой, что затрудняет расчет всей системы в целом. В данной работе на каждом шаге по приращению нагрузки использован метод кинематической декомпозиции. Отсекаемая область приведена на рис. 1, б - г. Получено распределение полей перемещений по границе отсечения (рис. 2).



**Рисунок 2** - Вертикальные перемещения, мм:

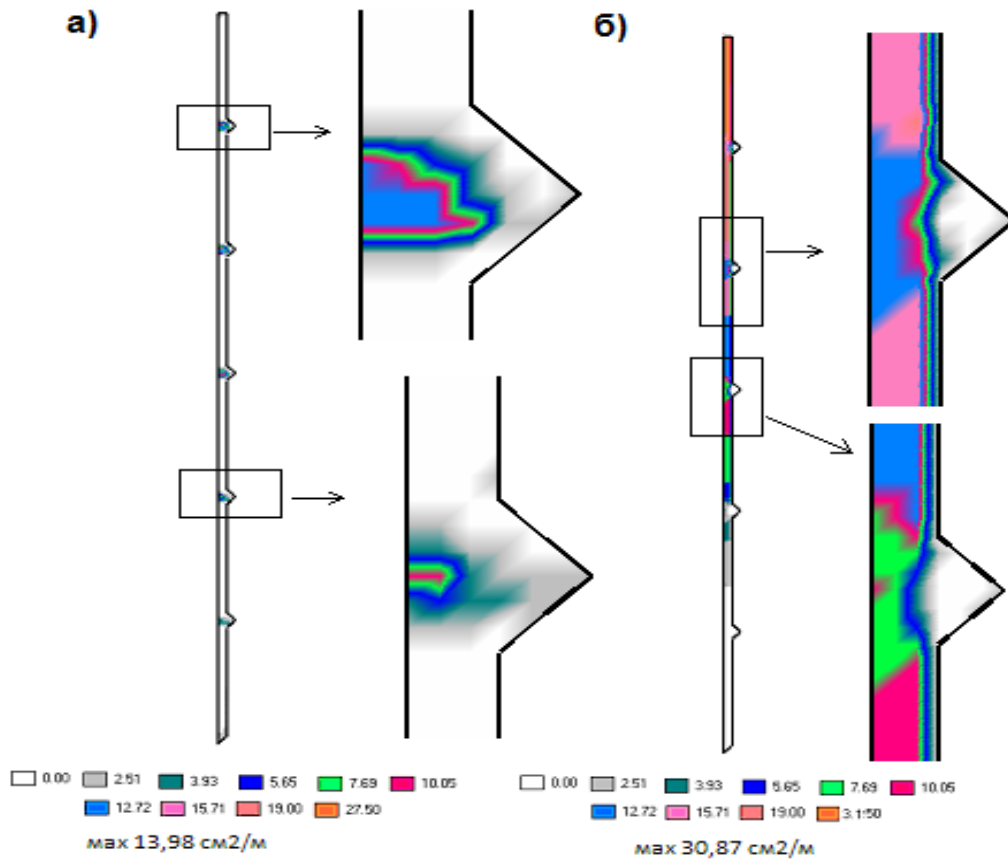
а) из общего расчета, б) после аппроксимации кубическим сплайном

Зависимость осадки сваи от величины внешней нагрузки (рис. 3).



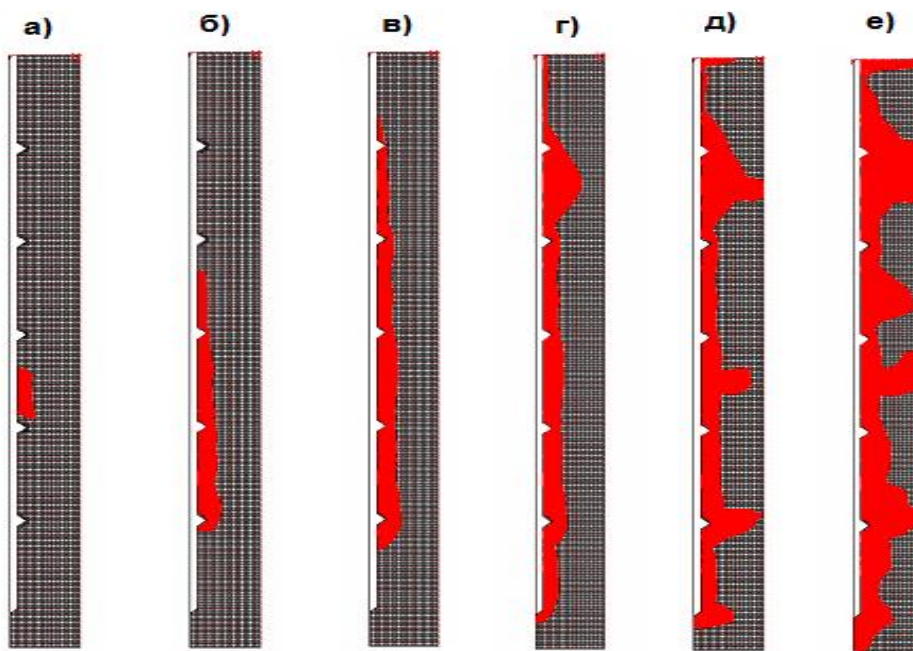
**Рисунок 3** - Графики осадки сваи

На рис. 4 показано расчетное армирование сваи.



**Рисунок 4** - Расчетное армирование свай: а) вертикальное, б) радиальное

Далее приведено иллюстрации развития зон предельного состояния в грунте (рис. 5).



**Рисунок 5** - Зоны предельного состояния в грунте: а) P=100 кН, б) P=200 кН, в) P=300 кН, г) P=400 кН, д) P=500 кН, е) P=600 кН

## **Вывод.**

Анализ хода нелинейного расчета позволил отметить ряд особенностей по отношению к линейной задаче. Основным является необходимость более тщательного сгущения сетки на первом этапе в области, в которой могут наблюдаться существенные нелинейные эффекты. Важным здесь является такая степень начальной густоты сетки, при которой стабилизируется качественный характер картины зон пластических деформаций. В противном случае границы фрагмента приходится настолько удалять от зоны уточнения напряженного состояния, что теряется смысл использования метода кинематической декомпозиции. Кроме того, границы области фрагментов определяются не только соотношениями густоты сетки, но желательно, чтобы они проходили по сечениям, которые не пересекают (или практически не пересекают) границы зон пластических деформаций.

## **Библиографический список:**

1. Панасюк Л.Н., Труфанова Е.В. Уточнение напряженно-деформированного состояния конструктивных элементов методом декомпозиции // Материалы Международной научно-практической конференции «Строительство – 2011». Ростов н/Д: Рост. гос. строит. ун-т, 2011.
2. Панасюк Л.Н., Акопян В.Ф., Акопян А.Ф. Чантха Хо. Новые виды свай. [Электронный ресурс]//«Инженерный вестник Дона», 2011, №2. – Режим доступа: <http://www.ivdon.ru/magazine/archive/n2y2011/437>.
3. Панасюк Л.Н., Семенов А.И., Акопян В.Ф., Акопян А.Ф. Монолитная и сборно-монолитная разновидности винтовой сваи АКСИС. [Электронный ресурс]//«Инженерный вестник Дона», 2012, №4 (часть 2). – Режим доступа: <http://www.ivdon.ru/magazine/archive/n4p2y2012/1241>.

**УДК 621.882.085/.086.004**

*Алиомаров Л.М., Вагабов Н.М., Курбанов А.З.*

## **ИССЛЕДОВАНИЕ И ОПТИМИЗАЦИЯ РАБОТОСПОСОБНОСТИ И СТОЙКОСТИ КОМБИНИРОВАННОГО ИНСТРУМЕНТА ЗЕНКЕР-МЕТЧИКА**

*Aliomarov L.M., Vagabov N.M., Kurbanov A.Z.*

## **STUDY AND OPTIMIZATION OF EFFICIENCY AND DURABILITY COMBINED TOOL CORE DRILL-TAP**

*Проведенные комплексные исследования позволили выявить факторы, влияющие на износ и стойкость метчиковой части комбинированного*