

УДК 669.15: 539.3

doi 10.54708/19926502\_2024\_28310545

## Разработка цифрового прототипа сваебойного трубчатого дизель-молота и оценка НДС в наголовнике

И.Н. Будилов<sup>1, 2</sup>, Г.К. Агеев<sup>2</sup>, В.Р. Акбашев<sup>2\*</sup>

<sup>1</sup> Санкт-Петербургский горный университет императрицы Екатерины II, г. Санкт-Петербург, Россия

<sup>2</sup> ФГБОУ ВО «Уфимский университет науки и технологий», г. Уфа, Россия

**Аннотация.** Приводятся результаты исследования напряженно-деформированного состояния (НДС) элементов конструкции сваебойного трубчатого дизель-молота в процессе забивания сваи в грунт. Исследование выполнено методом компьютерного моделирования с использованием программно-вычислительного комплекса ANSYS/LS DYNA на основе цифровых прототипов.

**Ключевые слова:** численные методы механики деформированного твердого тела, трубчатый дизель-молот, динамическое нагружение, метод конечных элементов (МКЭ).

\*akbashev.vr@ugatu.su

### Введение

Ярко выраженная тенденция к повышению производительности и эффективности всех видов строительных работ отражается и на требованиях к сваебойным молотам. Молоты дизельные предназначены для забивки в грунт сваи массой 1,2...10 т при температуре окружающей среды от плюс 40 °С до минус 40 °С. Однако возможности дальнейшего повышения эффективности молота путем увеличения энергии удара для молота с регламентированной массой ударной части практически исчерпаны. Дальнейшее повышение энергии удара возможно путем увеличения скорости ударной части в момент удара (что ограничивается прочностью забиваемой сваи) или путем увеличения высоты подскока ударной части (что приводит к снижению частоты ударов). Эти ограничения и определяют основное направление повышения эффективности сваебойных работ – повышение единичной мощности сваебойного молота. Единичная мощность дизель-молота может быть повышена двумя способами – увеличением массы ударной части и повышением частоты ударов.

Трубчатые дизель-молоты с ударным распыливанием топлива и со свободным падением ударной части широко применяются во всем мире. Молоты этого типа обеспечивают совокупное воздействие на сваю удара и силы от взрыва топлива в камере сгорания, что существенно увеличивает эффективность сваебойных работ.

### Цель исследования

Целью данной работы является проведение анализа прочностной надежности силовых элементов конструкции трубчатого дизель-молота при динамическом нагружении.

### Описание объекта моделирования

В трубчатом молоте основной рабочей частью является поршень, который движется в трубе-цилиндре и ударяет по шаботу, закрывающему цилиндр снизу. Шабот передает удар поршня на сваю и является наиболее нагруженной деталью, работающей при значительной температуре. При ударе поршня о шабот топливо распыляется в камере сгорания, а затем воспламеняется от высокого давления смеси. Образующаяся при взрыве энергия отбрасывает поршень вновь вверх.

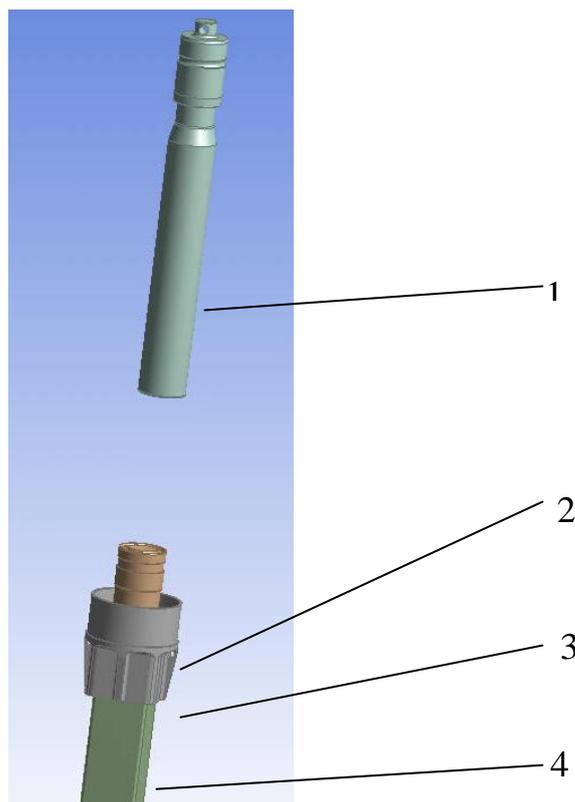
Благодаря распылению топлива ударом дизельные молоты обладают особо большой ударной силой, за счет чего на вбиваемый материал действуют три вида энергии: компрессия, удар и взрыв, которые соединяются в эффективную общую энергию [9–13].

Благодаря энергии компрессии ударная часть и наголовник прижимаются к верхней части сваи. Следующий за этим удар направлен на вбиваемый материал, а ударная энергия и вслед за этим действующая энергия взрыва вгоняют сваю.

На Рис. 1 представлен внешний вид трубчатого дизель-молота, а на Рис. 2 – составляющие его части: верхний поршень, шабот, наголовник и свая.



**Рисунок 1.** Молот сваебойный дизельный.



**Рисунок 2.** Элементы трубчатого молота:  
1 – поршень; 2 – шабот; 3 – наголовник; 4 – свая.

#### **Общая характеристика расчетной модели**

Основные уравнения расчетной модели, предназначенной для описания процесса ударного взаимодействия деформируемых тел, базируются на математическом аппарате механики сплошной среды (МСС). Полная система дифференциальных уравнений МСС, описывающих нестационарный процесс нагружения, применительно к рассматриваемой задаче имеет вид:

$$\frac{d\rho}{dt} + \rho \nabla_i v^i = 0, \quad (1)$$

$$\rho \frac{dv_i}{dt} = F_i + \nabla_j \sigma_i^j, \quad (2)$$

$$\rho \frac{dE}{dt} = \sigma^{ij} \dot{\varepsilon}_{ij} + \nabla_i q^i, \quad (3)$$

$$\frac{du_i}{dt} = v_i, \quad (4)$$

$$\dot{\varepsilon}_{ij} = \frac{1}{2} (\nabla_i v_j + \nabla_j v_i), \quad (5)$$

$$\varepsilon_{ij} = \frac{1}{2} (\nabla_i u_j + \nabla_j u_i + \nabla_i u_k \nabla_j u^k), \quad (6)$$

$$\sigma_{ij} = \sigma_{ij}(\varepsilon_{ij}, \dot{\varepsilon}_{ij}, T). \quad (7)$$

где  $t$  – текущее время,  $\rho$  – плотность среды,  $v_i$  – компоненты вектора массовых скоростей,  $F_i$  – компоненты вектора массовых сил,  $\sigma_i^j$  – компоненты тензора напряжений,  $\varepsilon_{ij}, \dot{\varepsilon}_{ij}$  – компоненты тензоров деформаций и скоростей деформаций,  $q^i$  – вектор тепловых потоков,  $u_i$  – перемещения,  $T$  – температура.

Система исходных уравнений в обязательном порядке включает основные общие для всех сплошных сред дифференциальные уравнения механики, выражающие фундаментальные законы сохранения массы (1), импульса (2), энергии (3), а также общие для всех сред кинематические соотношения (4) и (5) и геометрические соотношения (6), связывающие деформационные перемещения с относительными деформациями. Индивидуальные особенности рассматриваемой среды в отношении оказания сопротивления деформированию учитываются физическими соотношениями (7), включаемыми в систему исходных уравнений согласно выбранной модели сплошной среды. Система должна также быть дополнена начальными и граничными условиями, соответствующими постановке конкретной задачи.

В общем виде применительно к условиям поставленной задачи решение системы уравнений аналитическими методами не представляется возможным. Решение задачи в данной постановке возможно только численными методами [1]. С этой целью применен вычислительный комплекс ANSYS/LS DYNА [7, 8].

Модель среды конкретизирует общую формулировку физических соотношений  $\sigma_{ij} = \sigma_{ij}(\varepsilon_{ij}, \dot{\varepsilon}_{ij}, E)$ , замыкающих систему уравнений МСС. Используемые в конечно-элементной вычислительной методике модели деформирования различных сред основаны на выделении из тензоров деформаций и напряжений отдельных компонентов – шарового тензора и тензора девиатора, отвечающих соответственно за изменение объема и формы:  $\sigma_{ij} = -p + D_{\sigma ij}$ . В итоге определяющими соотношениями модели будут две независимых составляющих: уравнение состояния (УРС) – зависимость, связывающая три величины – давление, плотность и удельную внутреннюю энергию (или температуру),  $p = p(\rho, E)$  как мера объемной сжимаемости и термических эффектов, и зависимость девиаторных компонентов тензора напряжений от девиаторных компонентов тензоров деформаций и скоростей деформаций  $D_{\sigma} = D_{\sigma}(D_{\varepsilon}, D_{\dot{\varepsilon}})$  как мера формоизменения.

Соотношения для компонентов девиатора тензора напряжений определяются композицией закона пластического течения Прандтля-Рейсса при пластическом деформировании и закона Гука для нагрузок, не превышающих предел пластического течения. Уравнения Прандтля-Рейсса формируются следующим образом:

$$\frac{dD_{\sigma ij}}{dt} + 2G\dot{\lambda}D_{\sigma ij} = 2G(\dot{\varepsilon}_{ij} + \frac{1}{3\rho} \frac{d\rho}{dt} g_{ij}), \quad (8)$$

$$\dot{\lambda} = \frac{3}{2\sigma_T^2} \sigma^{ij} \dot{\varepsilon}_{ij}^{(p)},$$

где  $G$  – модуль сдвига,  $\dot{\lambda}$  – скалярный множитель, определяемый удельной мощностью пластических деформаций,  $\sigma_m$  – предел текучести,  $\varepsilon_{ij}^{(p)}$  – компоненты тензора скоростей пластических деформаций. В данной численной реализации представленной теории скалярный множитель явным образом не вычисляется, а применяется эквивалентная процедура приведения вектора полных напряжений в пространстве напряжений в «круг текучести».

Отдельную задачу представляет собой моделирование грунта [2].

Грунт представляет собой дисперсную среду – смесь минеральных частиц, воды и воздуха. Минеральные частицы образуют пористый скелет, поры которого заполнены водой и воздухом. Основными механическими свойствами грунтовых сред, которые необходимо учитывать при математическом моделировании компрессионного воздействия на грунтовые массивы, являются: наличие внутреннего трения, необратимость объемных и сдвиговых деформаций, пластическое течение и разрушение скелета грунта. В работе используется модель упругопластической сжимаемой среды, учитывающая нелинейные процессы сдвигового и объемного деформирования.

Критерий пластичности Мизеса в самом общем случае для грунтов при наличии внутреннего трения имеет вид:

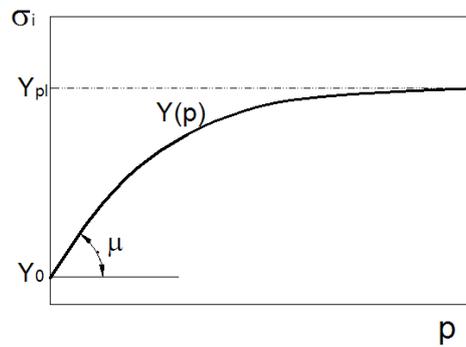
$$\frac{D_{\sigma ij} D_{\sigma ij}}{2} = \frac{Y^2(p)}{3}, \quad (9)$$

где  $Y$  – динамический предел текучести. Среда, подчиненная такому закону, может находиться в двух состояниях – упругом и пластическом. Наличие внутреннего трения у грунтов обуславливает то, что предел текучести  $Y$  непостоянен и зависит от давления. Эффекты дилатансии – появление объемных деформаций в условиях чистого сдвига – в модели не учитываются.

В основе большинства критериев сдвиговой прочности грунтов лежит комбинация закона сухого трения Кулона, т.е. зависимости максимальных сдвиговых напряжений от давления, а также классических теорий прочности Мизеса и Треска. В данной работе критерием пластичности, при котором упругопластическая среда переходит из упругого состояния в пластическое в работе, выбирается критерий, предложенный в работах [3–6]. Предел сдвиговой прочности для грунтов является функцией давления и определяется зависимостью:

$$Y(p) = Y_0 + \frac{\mu p}{1 + \mu p / (Y_{pl} - Y_0)}, \quad (10)$$

где  $Y_0$  – сцепление грунта, т.е. прочность при нулевом давлении,  $Y_{pl}$  – предельное значение сдвиговой прочности,  $\mu$  – коэффициент трения.



**Рисунок 3.** Зависимость предела сдвиговой прочности от давления.

Параметры  $Y_0$ ,  $\mu$  могут быть пересчитаны по методикам, изложенным в [3], на основании нормативных значений прочностных характеристик грунтов – сцепления  $C_n$  и угла внутреннего трения  $\varphi_n$ , входящих в линейное уравнение закона Кулона-Мора:

$$|\tau_n| = C_n + \operatorname{tg}\varphi_n \cdot \sigma_n, \quad (11)$$

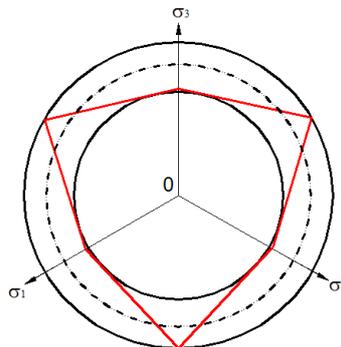
где  $\tau_n$  – касательное напряжение,  $\sigma_n$  – нормальное напряжение. Механические характеристики  $C_n$  и  $\varphi_n$  определяются по результатам лабораторных испытаний грунтов на приборах одно- и многоплоскостного среза или в стабилометрах [3].

Поверхность текучести, построенная по уравнению (10), и поверхность, построенная по линейному уравнению Кулона-Мора (11), различны по форме и представляют собой в первом случае гладкую поверхность плавного сопряжения конуса и цилиндра, а во втором – шестигранную призму. Поэтому пересчет констант может быть выполнен лишь приближенно, т.к. между этими двумя поверхностями существует бесконечное множество аппроксимаций. Для упрощения принимая, что предел сдвиговой прочности  $Y_{pl}$  в уравнении (10) бесконечно большой, тогда оно принимает вид закона Мизеса-Шлехтера. При этом поверхность текучести представляет собой гладкую коническую поверхность:

$$Y(p) = Y_0 + \mu p.$$

Предлагается вариант аппроксимации, условно показанный на рис. 4 пунктирной линией. В этом случае формулы для пересчета коэффициентов уравнения (10) по нормативным коэффициентам имеют вид:

$$\mu = \frac{6 \sin \varphi_n}{3 + \sin \varphi_n}, \quad Y_0 = \frac{6 \cdot C_n \cos \varphi_n}{3 + \sin \varphi_n}.$$



**Рисунок 4.** Сечение предельных поверхностей Кулона-Мора и ее различных аппроксимаций.

Для ориентировочного получения значений предельной сдвиговой прочности может быть использована эмпирическая зависимость [3]

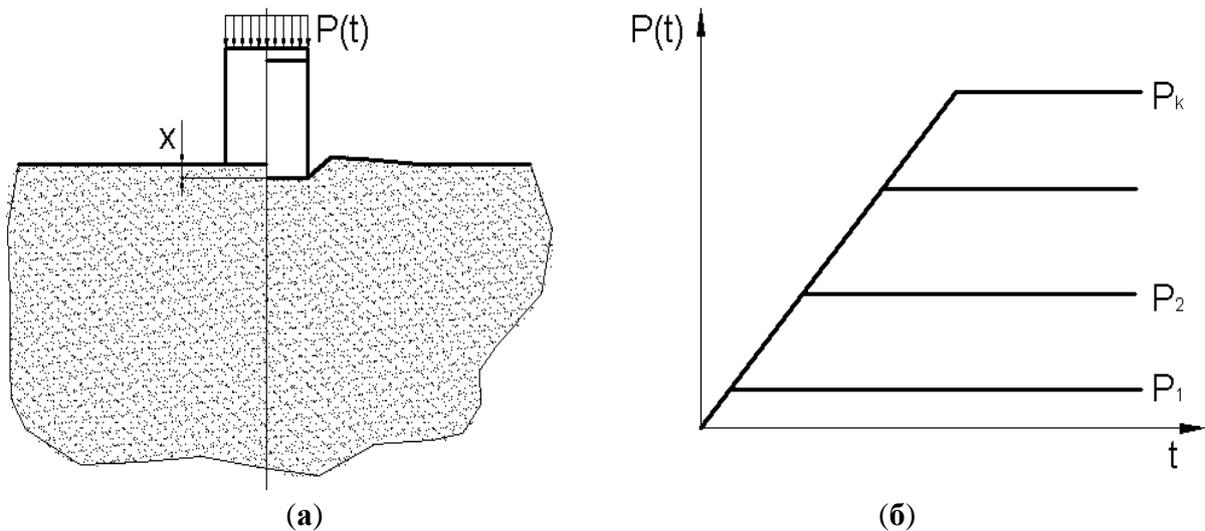
$$Y_{pl} = 50 \cdot \exp(-20.7 \cdot W / (1 + W)),$$

где  $W$  – весовая влажность в долях единицы.

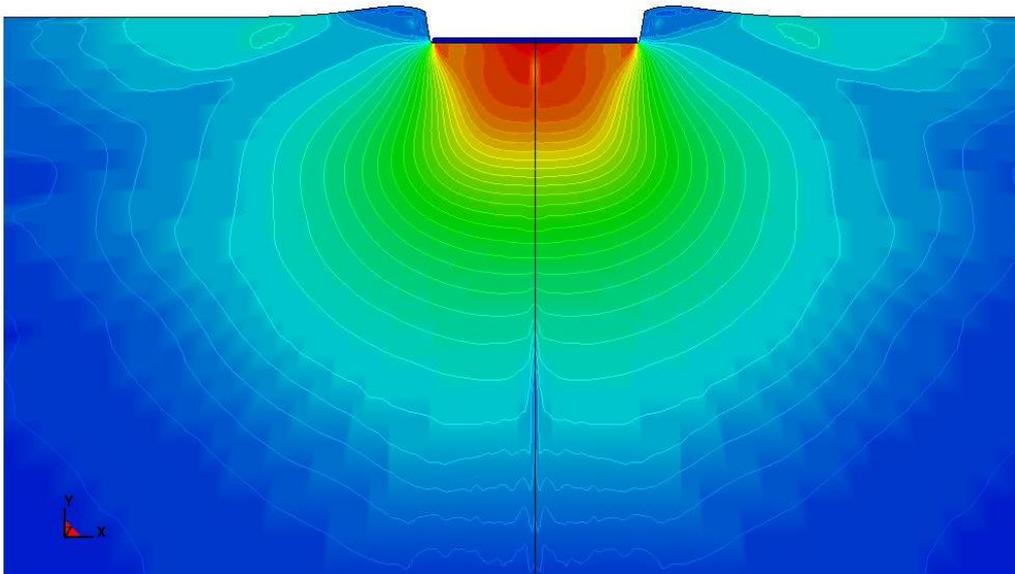
Модуль сдвига  $G$  для грунтов в общем случае меняется в процессе деформирования. Однако отсутствие достоверных экспериментальных данных для выбранных типов грунтов затрудняет использование сложных моделей. В расчетах модуль сдвига принимался постоянным и вычислялся по рекомендуемым нормативным значениям [2] модуля деформации  $E$  и коэффициенту Пуассона  $\nu$ . При отсутствии прямых данных для большинства песчаных грунтов и суглинков коэффициент Пуассона может быть вычислен через коэффициент пористости  $e_0$  по эмпирической зависимости [3]:

$$\nu = \frac{0.15}{e_0} + 0.05.$$

На Рис. 5 приведены схема расчетной модели испытаний и профиль прилагаемой нагрузки. На Рис. 6 показаны поля эквивалентных напряжений в грунте при расчетном моделировании штамповых испытаний.



**Рисунок 5.** Схема расчетной модели испытаний (а); профиль прилагаемой нагрузки (б).



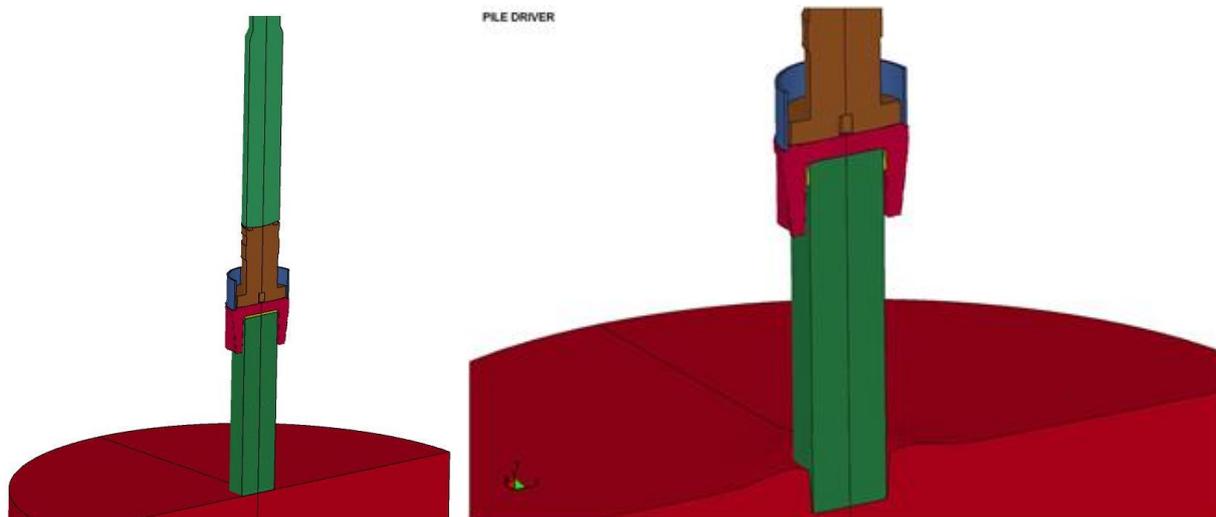
**Рисунок 6.** Поле эквивалентных напряжений в грунте при расчетном моделировании штамповых испытаний.

### Результаты исследования

В данной задаче геометрия взаимодействующих деталей (Рис. 2) приближена к конструкции трубчатого молота. Главной особенностью является наличие грунта.

Модель подготавливалась в Design Modeler – удалялись лишние фаски и мелкие поверхности, по возможности объемы разбивались на простые шестигранники. Далее модель по частям передавалась в Prepr 7 ANSYS, где создавалась сетка и записывались к-файлы для LS-DYNA. Полная модель собиралась и корректировалась в препроцессоре для LS-DYNA LS-PREPOST 2.1.

На Рис. 7 показана твердотельная модель трубчатого молота.



**Рисунок 7.** Твердотельная модель трубчатого молота и деформированное состояние при внедрении сваи в грунт.

При моделировании используется свойство симметрии. Грунт по границам закреплен жестко.

В расчете для всех частей использовался автоконтакт по типу поверхность – поверхность.

В качестве начальных условий было принято свободное падение поршня в поле тяжести с высоты два метра.

В данной модели материал сваи моделировался более адекватно: железобетон – бетон марки 350, стальная арматура диаметром 14 мм. Арматура и бетон сшиты общими узлами.

В качестве материала грунта был выбран плотный суглинок (модель с необратимой сжимаемостью, поверхность текучести совпадает с материалом 16 из базы данных LS DYNA).

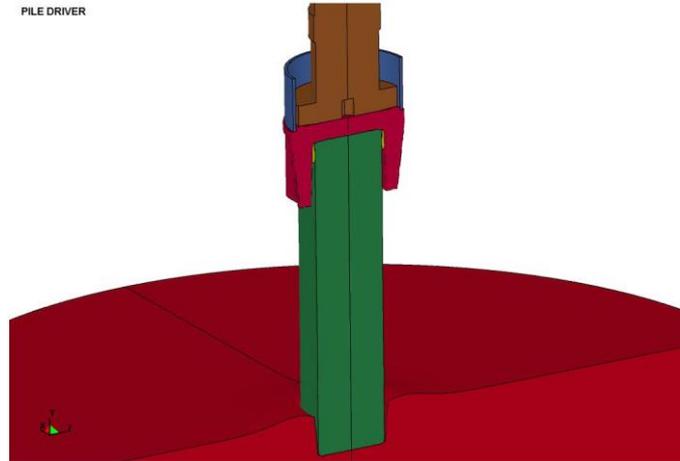
Из-за сложной геометрии используемых деталей и, как следствие, различных размеров конечных элементов применяется масштабирование масс для исключения влияния сильно вырожденных элементов при минимальном шаге по времени 0,14 мкс, что приводит к значительному увеличению времени счета. На Рис. 8 показано деформированное состояние при внедрении сваи в грунт за один удар. В работе также получено распределение интенсивности напряжений в металлических частях модели (Рис. 9).

Ниже приведены результаты анализа динамических напряжений в элементах конструкции трубчатого дизель-молота в условиях динамического нагружения. При анализе динамических напряжений трубчатого дизель-молота моделировался удар поршня по шаботу.

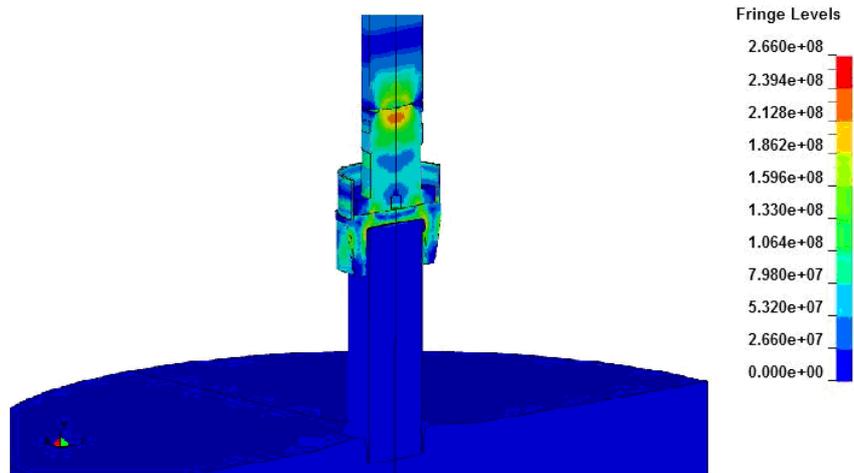
На Рис. 10 показана общая картина распределения интенсивности напряжений в конструкции при ударе без смещения. Видно, что общий уровень напряжений не превышает 136 МПа.

В работе также получено распределение интенсивности напряжений в шаботе (Рис. 11). Четко видна зона концентрации напряжений в месте контакта.

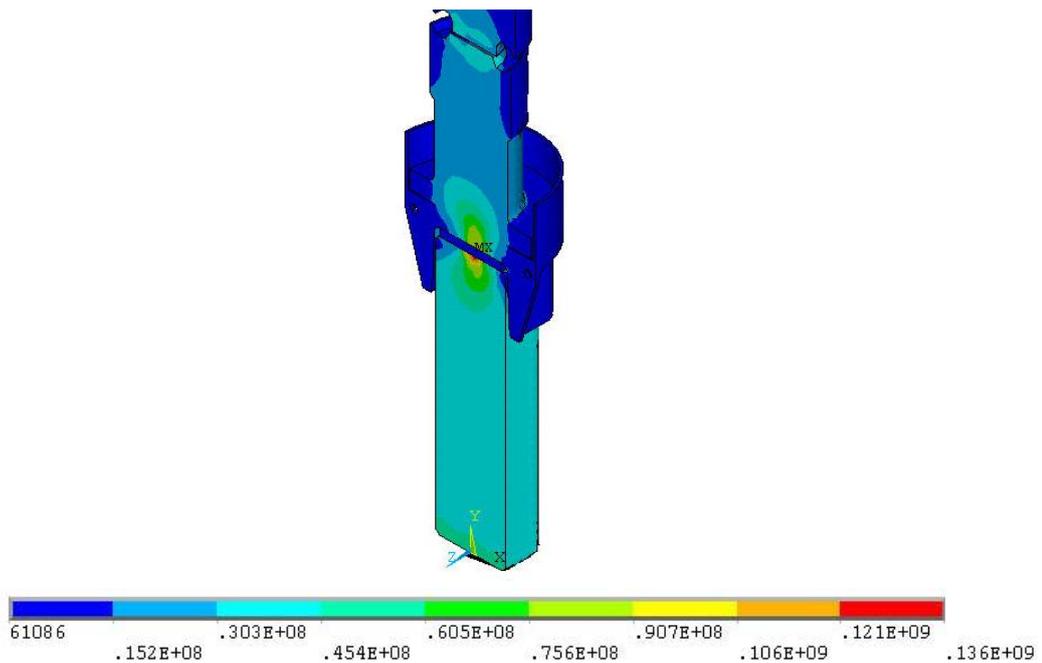
В реальных условиях эксплуатации удар происходит со смещением. Поэтому также рассматривался в качестве основного случая нагружения удар шабота по наголовнику со смещением от оси на 10 мм. На Рис. 11, б показано распределение интенсивности напряжений в случае удара со смещением. Установлено, что смещение цилиндра относительно оси приводит к изменению места расположения максимума напряжения и увеличивает его абсолютное значение.



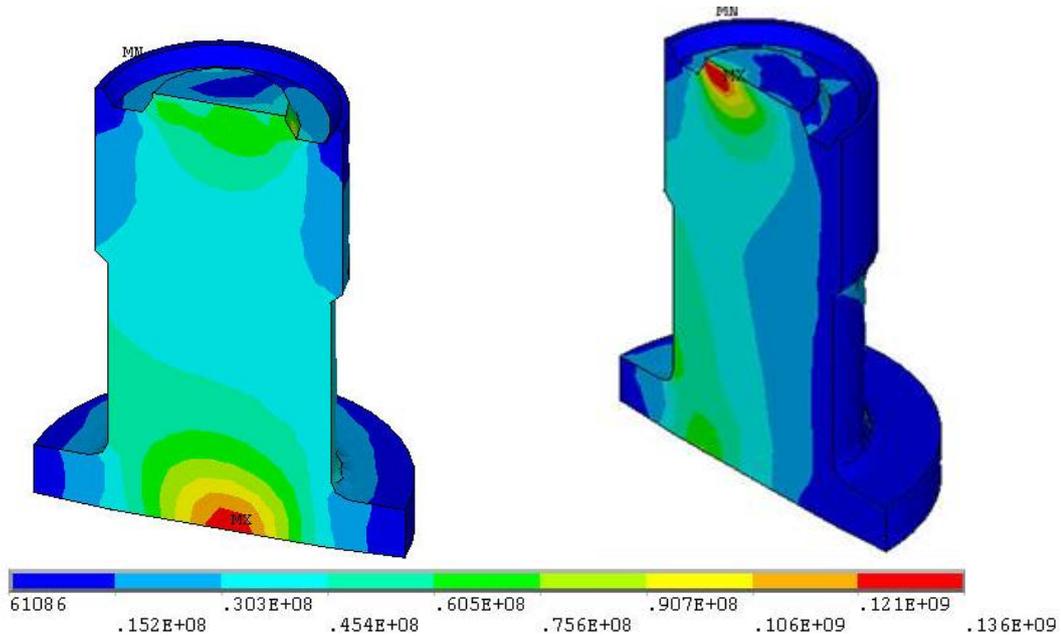
**Рисунок 8.** НДС при внедрении свай в грунт за один удар.



**Рисунок 9.** Распределение интенсивности напряжений в металлических частях модели, Па.



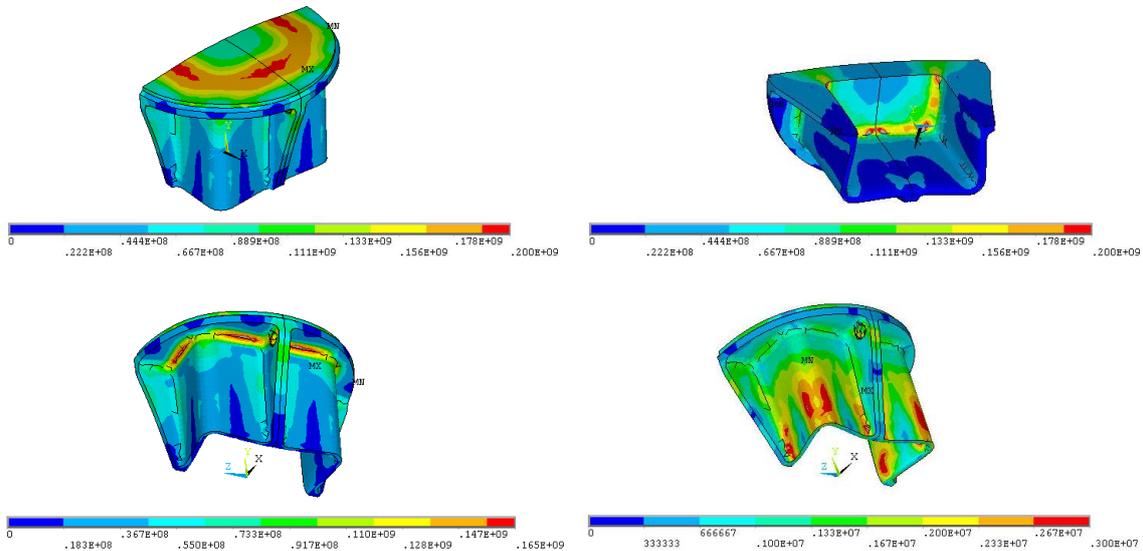
**Рисунок 10.** Распределение интенсивности напряжений в конструкции трубчатого дизель-молота, Па.



**Рисунок 11.** Распределение интенсивности напряжений в шаботе в случае удара без смещения (а) и со смещением (б), Па.

Одним из наиболее нагруженных элементов конструкции является наголовник.

На Рис. 12 показано распределение интенсивности напряжений наголовника в разные моменты времени. Максимальные напряжения составляют 200 МПа. Положение максимума напряжений меняется во времени.



**Рисунок 12.** Распределение интенсивности напряжений наголовника в различные моменты времени.

Во всех наголовниках наличие ребер коробчатой формы приводит к концентрации напряжений в углах и на ребрах с большим перепадом напряжений, что способствует образованию трещин в условиях повторного ударного нагружения. Результаты показывают, что с увеличением размера наголовника отмечается увеличение максимального уровня интенсивности напряжений.

### Заключение

1. Разработан алгоритм и опробована методика расчета ударного взаимодействия деформируемых твердых тел на примере трубчатого дизель-молота с использованием программного комплекса ANSYS/LS-DYNA.

2. Показана принципиальная возможность моделирования процессов динамического нагружения, связанных с ударным характером приложения нагрузки, что характерно для работы трубчатых дизель-молотов.

3. Разработана конечно-элементная модель, позволяющая анализировать изменение параметров напряженно-деформированного состояния всех элементов конструкции по времени с учетом волнового характера нагружения и особенностей свойств материалов сваи и грунта.

4. Смоделировано проникновение сваи в грунт в зависимости от его свойств. Определены уровни максимальных напряжений в элементах конструкции трубчатого дизель-молота. При этом отмечается высокая неоднородность поля напряжений в основании поршня и в наголовниках. Выявлены зоны концентрации напряжений, при прохождении волны в которых возникает повышенный уровень напряжений. Результаты проведенных расчетов позволили выработать практические рекомендации по модернизации конструкции с целью увеличения ее прочностной надежности.

### Литература:

1. Численные методы в задачах физики взрыва и удара: Учебник для вузов. / А.В. Бабкин, В.И. Колпаков, В.Н. Охитин, В.В. Селиванов. – М.: Изд-во МГТУ им. Н.Э. Баумана, 2000. – 516 с. (Прикладная механика сплошных сред Т. 3) [A.V. Babkin, V.I. Kolpakov, V.N. Okhitin, V.V. Selivanov, Numerical methods in problems of physics of explosion and impact: Textbook for universities. – Moscow: Publishing House of Bauman Moscow State Technical University, 2000. – 516 p. (Applied Continuum Mechanics Vol. 3) (in Russian)].
2. ГОСТ 12248-96. Грунты. Методы лабораторного определения прочности и деформируемости. 1996. [GOST 12248-96. Soils. Laboratory methods for determining the strength and strain characteristics. 1996 (in Russian)].
3. Дроговейко И.З. Разрушение мерзлых грунтов взрывом. М., Недра, 1981. – 243 с. [I.Z. Drogoveyko, Destruction of frozen soils by explosion. Moscow, Nedra, 1981. – 243 p. (in Russian)].
4. ГОСТ 20276-99. Грунты. Методы полевого определения характеристик прочности и деформируемости. 1999 [GOST 20276-99. Soils. Field methods for determining the strength and strain characteristics. 1999 (in Russian)].
5. ГОСТ 19912-2001. Грунты. Методы полевых испытаний статическим и динамическим зондированием. 2001. [GOST 19912-2001. Soils. Field test methods by static and dynamic sounding. 2001 (in Russian)].
6. Уилкинс М.Л. Расчет упругопластических течений. В сб. Новое в зарубежной механике. 1967. [M.L. Wilkins, Calculation of elastic-plastic flow. In: New in Foreign Mechanics. 1967 (in Russian)].
7. LS-DYNA Keyword User's Manual. July 2006. Version 971. – Livermore Software Technology Corporation, 2006.
8. LS-DYNA Theoretical Manual. November 2005. Compiled by John O. Hallquist, Livermore Software Technology Corporation, 2005.
9. Баженов В.Г., Котов В.Л., Крылов С.В. и др. Экспериментально-теоретический анализ нестационарных процессов взаимодействия деформируемых ударников с грунтовой средой. // ПМТФ. 2001. Т. 42, №6. С. 190–197 [V.G. Bazhenov, V.L. Kotov, S.V. Krylov, et al. Experimental and theoretical analysis of nonstationary processes of interaction of deformable impactors with the ground environment. // Prikladnaya Mekhanika i Tekhnicheskaya Fizika. 2001. Vol. 42, No. 6. pp. 190-197 (in Russian)].
10. Седов Л.И. Механика сплошной среды: В 2 т. М.: Наука, 1973. Т. 1. 536 с. [L.I. Sedov, Continuum Mechanics: In 2 volumes. Moscow: Nauka, 1973. Vol. 1. 536 p. (in Russian)].

11. Бабкин А.В., Селиванов В.В. Прикладная механика сплошных сред: В 3 т. Т. 1. Основы механики сплошных сред/ Под ред. В.В. Селиванова. – М.: Изд-во МГТУ им. Н.Э. Баумана, 1998. – 368 с. [A.V. Babkin, V.V. Selivanov, Applied Continuum Mechanics: In 3 volumes. Vol. 1. Fundamentals of Continuum Mechanics/ Edited by V.V. Selivanov. – Moscow: Publishing House of Bauman Moscow State Technical University, 1998. – 368 p. (in Russian)].
12. Д. Друккер, В. Прагер. Механика грунтов и пластический анализ или предельное проектирование. В сб. Определяющие законы механики грунтов. – Под ред. В.Н. Николаевского. М.: «Мир», 1975 [D. Drucker, W. Prager. Soil mechanics and plastic analysis or limit design. In: Defining Laws of Soil Mechanics. – Edited by V.N. Nikolaevsky. Moscow: Mir, 1975 (in Russian)].
13. Рахматулин Х.А., Сагомоян А.Я., Алексеев Н.А. Вопросы динамики грунтов. – М.: Из-во МГУ, 1964. – 239 с. [Kh.A. Rakhmatullin, A.Ya. Sagomonyan, N.A. Alekseev, Issues of Soil Dynamics. – Moscow: Moscow State University, 1964. – 239 p. (in Russian)].

#### **Об авторах:**

**БУДИЛОВ Игорь Николаевич**, проф. каф. сопротивления материалов. Дипл. инженер по технологии и оборудованию сварочн. произв-ва (УАИ, 1978). Д-р техн. наук по тепловым двигателям летательн. аппаратов (УГАТУ, 1998). Иссл. в обл. механики разрушения, прочности элементов ГТД и нефтехимического оборудования.

**АГЕЕВ Георгий Константинович**, проректор по инновационной деятельности, доц. каф. авиац. двиг. Дипл. инж. по авиац. двиг. (УГАТУ, 2007). Канд. техн. наук (УГАТУ, 2012). Иссл. в обл. моделирования параметров агрегатов ГТД и энергоустановок летат. аппаратов по наработке.

**АКБАШЕВ Вадим Ринатович**, ассистент кафедры сопротивления материалов. Исследователь. Преподаватель-исследователь по направлению «Динамика, прочность машин, приборов и аппаратуры» (2019). Канд. техн. наук (УГАТУ, 2022). Исследования в обл. остаточных напряжений и прочности элементов конструкций; akbashev.vr@ugatu.su.

#### **Metadata:**

**Title:** Development of a digital prototype of a tubular pile driving diesel hammer and the stress-strain state assessment in the headplate

**Author 1:** Igor Nikolaevich Budilov, Prof. of the Department of the Strength of Materials. Engineer's diploma in the engineering technology and welding equipment production (UAI, 1978). Dr. of Tech. Sci. in the heat engines of aircrafts (USATU, 1998). Research in fracture mechanics, strength of the elements of gas turbine engines and petrochemical equipment.

**Author 2:** Georgiy Konstantinovich Ageev, Vice Rector for Innovation, Assoc. Prof. at the Dept. of Aircraft Engines. Engineer's diploma in aviation engines (USATU, 2007). Cand. of Tech. Sci. (USATU, 2012). Research in the parameter modeling of gas turbine engine accessories and power plants of aircrafts.

**Author 3:** Vadim Rinatovich Akbashev, Assistant Prof. of the Department of the Strength of Materials. Researcher. Lecturer-Researcher in the area of the dynamics, strength of machines, devices and equipment (2019). Cand. of Tech. Sci. (USATU, 2022). Research in the residual stresses and strength of structural elements.

**Abstract:** The paper gives the results of the study on the stress-strain state of the structure elements of a tubular pile driving diesel hammer in the process of pile driving into the ground. The study was conducted by computer simulation using the ANSYS/LS DYNA software on the basis of digital prototypes.

**Keywords:** numerical methods of the mechanics of deformed solid bodies; tubular diesel hammer; dynamic loading; finite-element method.