

# СПОСОБЫ РАСЧЕТОВ НА СЕЙСМИЧЕСКИЕ ВОЗДЕЙСТВИЯ ПОДЗЕМНЫХ СООРУЖЕНИЙ, НАХОДЯЩИХСЯ В РАЗНЫХ ГРУНТОВЫХ УСЛОВИЯХ С ПРИМЕНЕНИЕМ СОВРЕМЕННЫХ ПРОГРАММНЫХ СРЕДСТВ

Республиканский Центр Сейсмологической Службы при Национальной Академии Наук Азербайджана

*Пронализированы пути моделирования подземных сооружений с помощью программных комплексов СТАРКОН и Ing+. Отмечается, что сейсмические силы являются силами инерции, а основным компонентом этой силы являются амплитуды и сейсмическое ускорение. Они на поверхности земли изменяются в зависимости от грунтовых условий. Обосновывается, что определения численных значений амплитуд и ускорений для различных грунтов представляют большой интерес для создания сейсмостойких сооружений разного рода. В статье, с целью определения численных значений перемещений, внутренних усилий и напряжений в сечениях элементов рассчитываемых сооружений, используются сертифицированные универсальные программные комплексы СТАРКОН и Ing+ и отмечаются совпадения результатов обоих программных комплексов.*

*Ключевые слова: подземные сооружения, сейсмическое воздействие, амплитуды, сейсмическое ускорение, грунтовые условия, программные средства СТАРКОН и Ing+.*

## Вступление

Расчет подземных сооружений на сейсмические воздействия имеет особое значение, т.к. подземные сооружения относятся к ответственным и важным сооружениям, имеющим народно-хозяйственную важность. Бесперебойного обеспечения энергоресурсами заводов, фабрик и других объектов жизнедеятельности требует особого подхода при проектировании и строительства подземных инженерных коммуникаций. Строительство сейсмостойких нефтепроводов и газопроводов именно зависит от грамотного анализа и проектирования этих коммуникаций.

*Целью статьи есть* проведение квазистатического анализа с использованием высокоточных гибридных конечных элементов используемых в современных программных комплексах Ing+ и СТАРКОН. А также моделирования упругого основания под сооружения с объемными конечными элементами и другими методами и показать актуальность данного метода анализа. Указывается методы точного определения коэффициентов жесткости грунтового основания под сооружения разными методами.

## Результаты исследования

Городские подземные сооружения и конструкции должны быть спроектированы так, чтобы при эксплуатации их во время землетрясения они могли выдержать соответствующую сейсмическую нагрузку (воздействия). При определении сейсмических нагрузок используется карта сейсмического микрорайонирования [1]. Ниже мы приводим карту сейсмического микрорайонирования территории Азербайджанской Республики.

На основании карты сейсмического микрорайонирования и отчетов инженерно-геологических изысканий определяется сейсмичность участка под строительство. Согласно AzDTN 2.3-1[1] на основании инженерно- геологических изысканий определяются группы оснований и соответствующий спектр динамичности грунтового основания. Ниже показаны спектр динамичности грунтового основания и соответствующие формулы для определения периода сейсмического колебания [1].

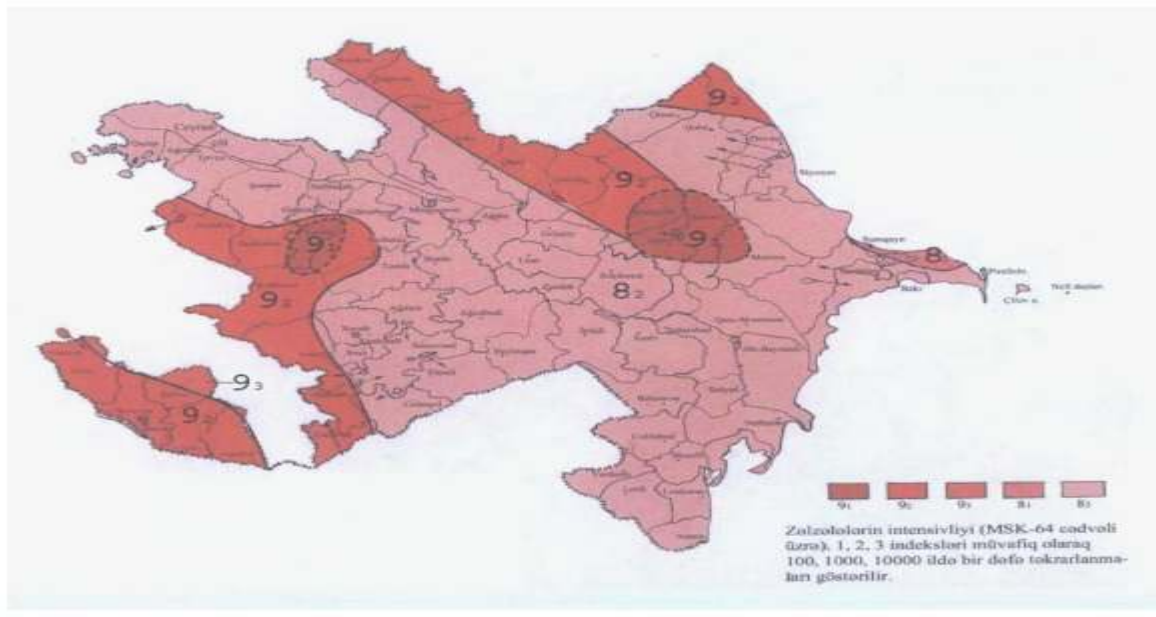


Рисунок 1 – Карта сейсмического микрорайонирования

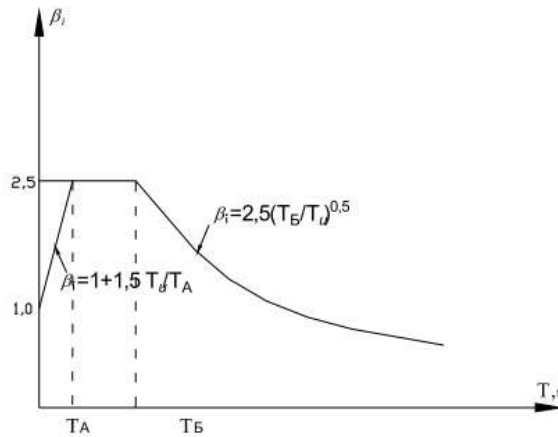


Рисунок 2 – График коэффициента динамичности согласно AzDTN 2.3-1

При этом, коэффициент динамичности определяется по формуле

$$\beta_i = 1 + 1,5 \frac{T_i}{T_A} \quad (0 \leq T_i \leq T_A)$$

$$\beta_i = 2,5 \quad (T_A < T_i \leq T_B)$$

$$\beta_i = 2,5 \left( \frac{T_B}{T_i} \right)^{0,5} \quad (T_B < T_i)$$

Qruntların sınıfı	$T_A$ (saniyə)	$T_B$ (saniyə)
I	0,10	0,40
II	0,10	0,40
III	0,10	0,60
IV	0,10	0,80

Рисунок 3 – Характерные периоды грунтовых оснований согласно AzDTN 2.3-1

При определении амплитуды используется следующая формула.

$$I_d = g * A * T_i(B) * K_1 * K_\psi$$

Грунты по сейсмическим свойствам подразделены на четыре группы. Интенсивность сейсмического воздействия  $A_0$  определяются нижеуказанным образом.

Для 7 баллов  $A_0 = 0,125$

Для 8 баллов  $A_0 = 0,250$

Для 9 баллов  $A_0 = 0,5$

Для 10 баллов  $A_0 = 1,0$

Разные подземные сооружения должны быть спроектированы так, чтобы при землетрясении они могли выдерживать воздействия, соответствующие сейсмической нагрузке (воздействия).

Во-первых, при расчетах должным образом должны быть изучены инженерно-геологические свойства грунтовых оснований под и вокруг сооружения. На основе инженерно-геологического изыскания и с помощью современных программных средств для расчета зданий и сооружений (СТАРКОН, Ing+, Staad Pro, ЛИРАСАПР) должны быть смоделированы упругие основания под сооружения.

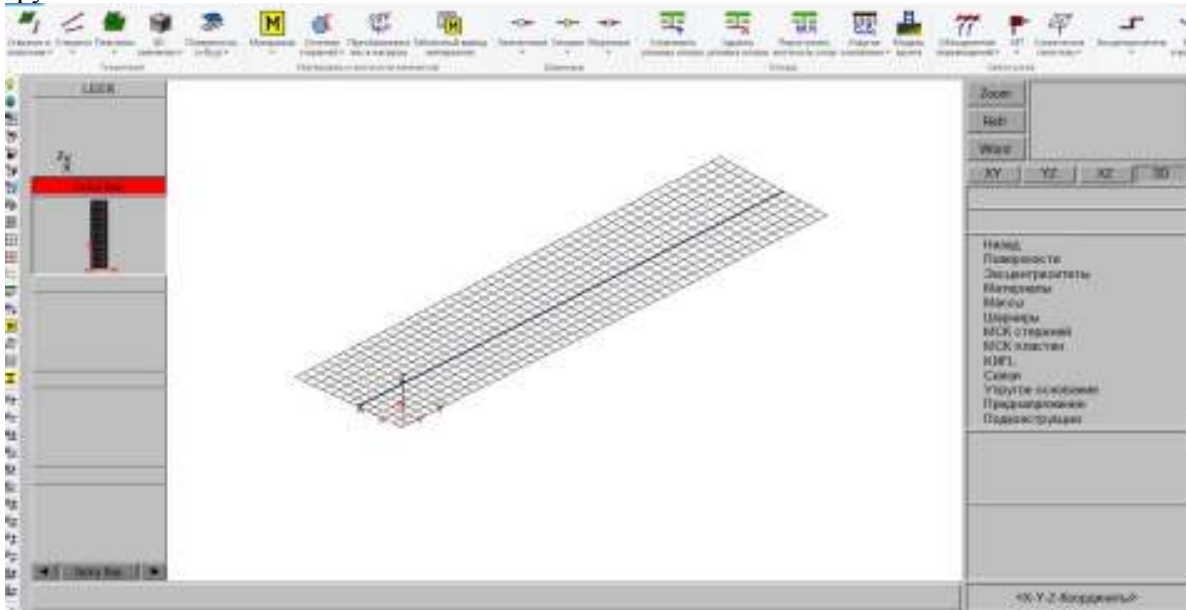


Рисунок 4 – Расчетная модель

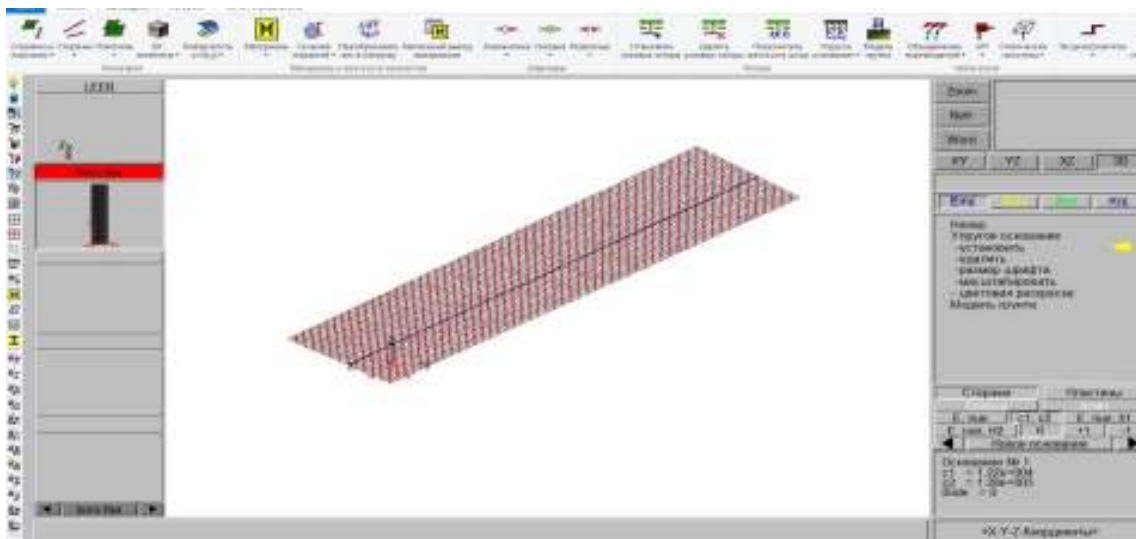


Рисунок 5 – Расчетная модель с упругим основанием

При определении упругого основания под сооружения могут быть использованы геологические элементы, составляющие объёмные конечные элементы упругого основания. Далее, для выполнения статического расчета сооружения необходимо назначить граничные условия. Задав граничные условия, должны быть определены жесткость грунтовых оснований. Жесткость грунтового основания можно назначить, как абсолютно жесткий или по методам (Винклера, Пастернака, Шашкина, Барвашова), также объёмными элементами используя программы СПИН.[2]

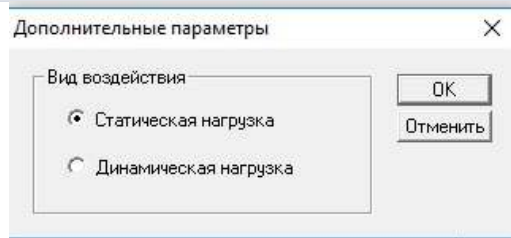
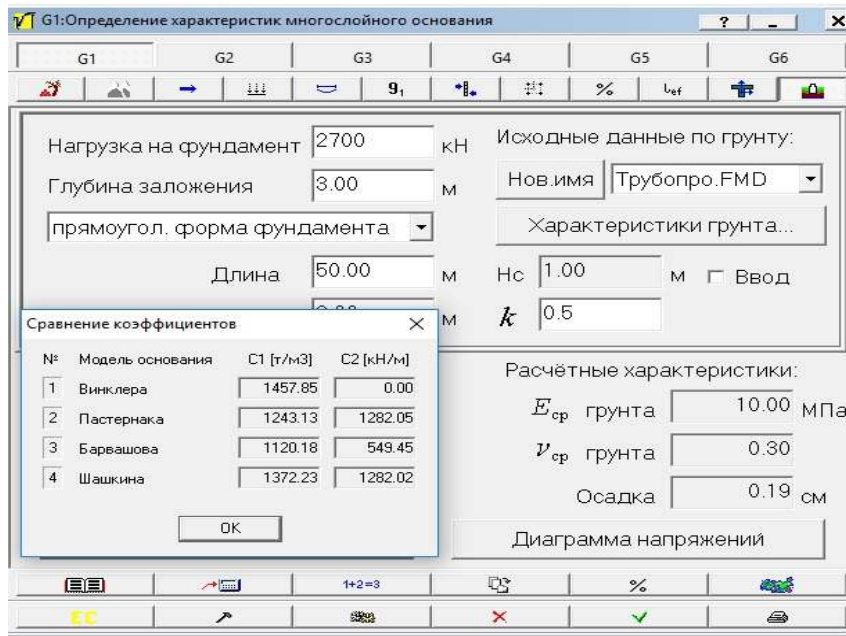


Рисунок 6 – Характеристики жесткости грунтового основания в статическом режиме

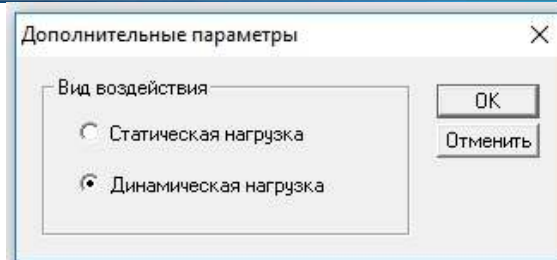
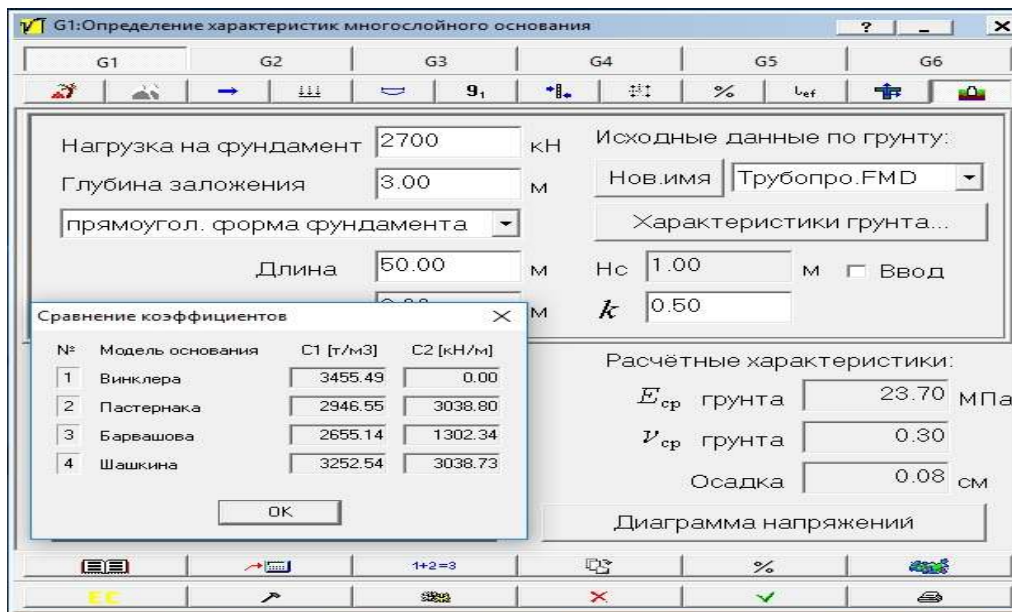


Рисунок 7 – Характеристики жесткости грунтового основания в динамическом режиме



Рисунок 8 – Диаграмма напряжений в грунтовом основании

Жёсткость оболочечных элементов моделируется изопараметрически. Материалы можно выбрать как бетонные, стальные или чугунные в зависимости от поставленной задачи. На примере использованы стальные оболочечные конечные элементы. [3]

С помощью программы СПИН входящий в состав программного комплекса СТАРКОН можно смоделировать вышеуказанные характеристики основания как в статическом, также и в динамическом режимах. При выполнении динамического анализа обязательно нужно использовать динамические коэффициенты жесткости грунтового основания. Далее, при выполнении квазистатического анализа необходимо переходить на статические коэффициенты жесткости грунтового основания, определенные из программы СПИН и так же с помощью программного модуля грунт комплекса СТАРКОН. При последнем методе каждому объёмному элементу рассчитываются собственные коэффициенты жесткости основания итерационным расчетом.

В настоящее время в программном комплексе СТАРКОН реализовано автоматическое определения амплитуды землетрясения согласно AzDTN 2.3-1 и по другим нормам СНГ и России. Ниже указаны пример определения амплитуды соответствующего сейсмического воздействия с помощью программного комплекса СТАРКОН. [3]

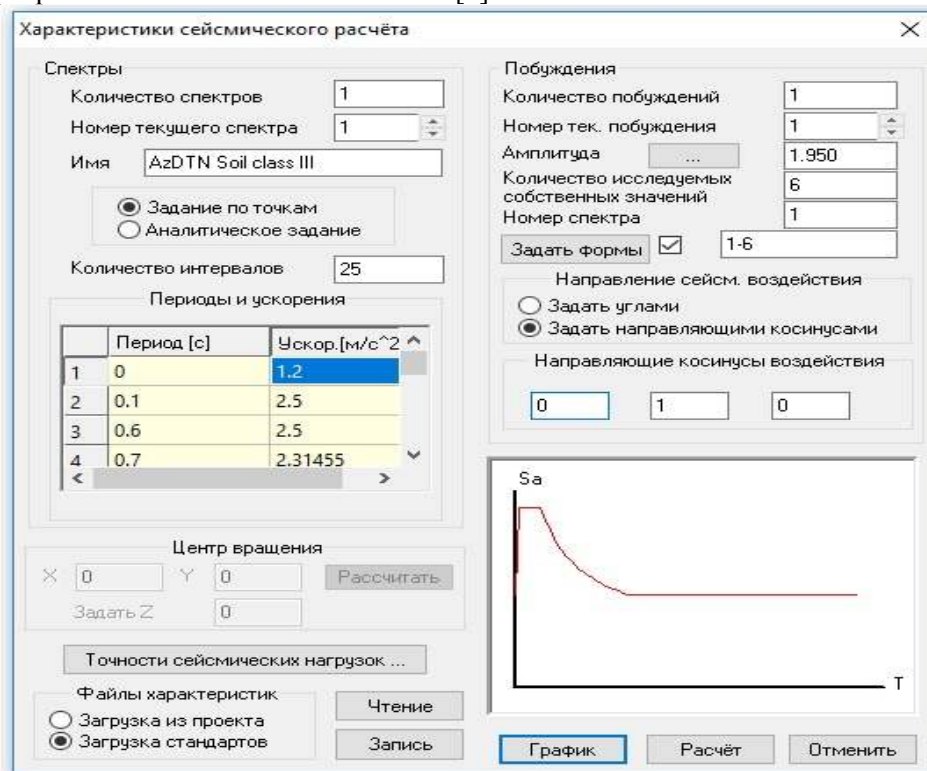


Рисунок 9 – Параметры для сейсмического расчета грунтового основания 3-ей категории согласно AzDTN2.3-1



Выполнив сначала статический, далее квазистатический анализы подземного сооружения можно определить деформации системы, внутренние усилия, а также напряжения в сечениях элементов сооружения. Расчетную модель можно экспортировать в программный комплекс Ing+ для проверки результатов анализа. А также с помощью программного модуля Starli можно экспортировать в LiraSapг Также можно определить сейсмические перемещения, периоды и ускорения в узлах расчетной схемы. Ниже показаны деформации и внутренние усилия в сечениях расчетной модели подземного кольцевого сооружения, определенные с помощью программного комплекса Ing+. Результаты анализов программных комплексов СТАРКОН и ИНДЖ+ в основном совпадают. Это показывает целесообразность использования в решаемых задачах обеих программ без задумки.

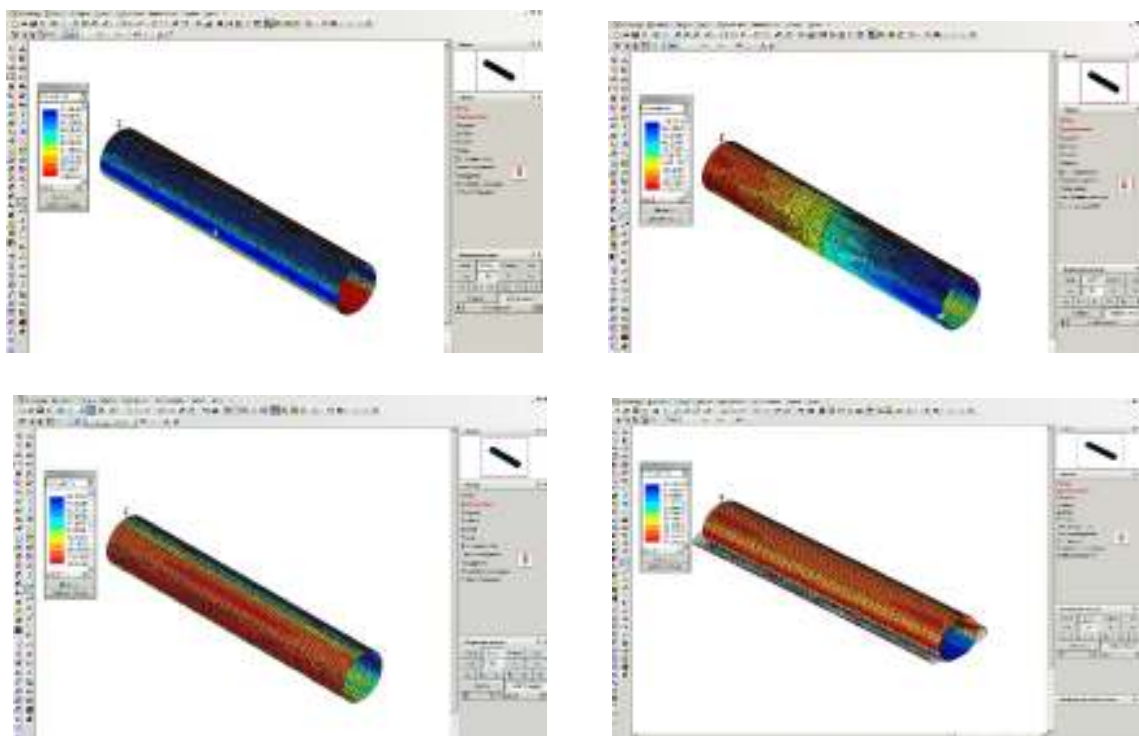


Рисунок 10 – Перемещения узлов расчетной модели по формам колебания.

Полученные перемещения должны соответствовать допускаемым перемещениям указанных в строительных нормах и не повлиять на бесперебойной и безопасной транспортировке эргоносителей и т.д

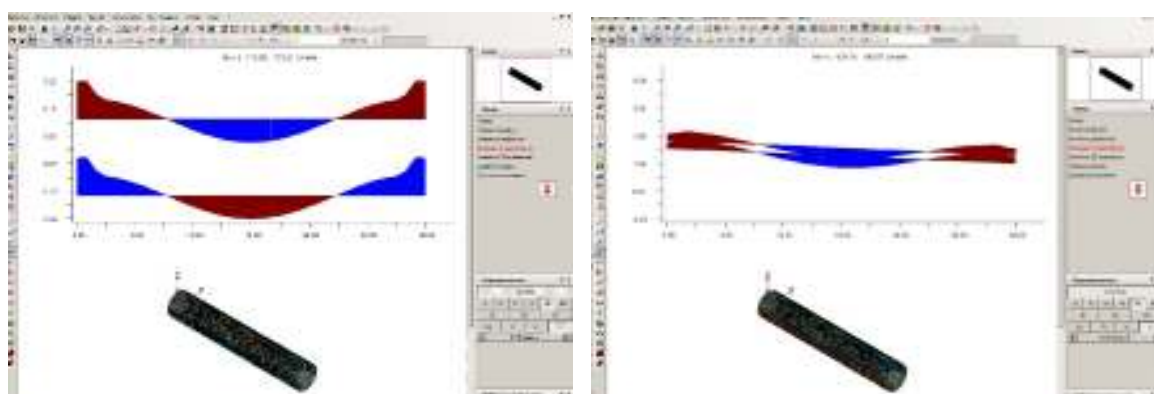


Рисунок 10 – Внутренние усилия (Ms) и разрез (Ms) в элементах расчетной модели 11.

Полученные внутренние усилия в сечениях подземных оболочечных конструкций в дальнейшем будут включены в состав расчётных сочетаний усилий и учитываются в проектировании сейсмостойкого подземного сооружения. А для определения перемещения в узлах расчетной схемы должны учитываться разные комбинации расчетных нагрузок

## Выводы

При проектировании ответственных подземных сооружений на сейсмические воздействия целесообразно использовать высокоточных конечных элементов предусмотренных в современных программно вычислительных комплексах Ing+ и СТАРКОН. При определении коэффициентов жесткости основания использования динамических и статических коэффициентов жесткости приводит к точным результатам. Использование динамического коэффициента жесткости основания при расчетах на собственные колебания расчетной системы приводит к более реальным результатам.

## СПИСОК ЛІТЕРАТУРИ

1. AzDTN2.3-1 Seysmik Rayonlarda Tikinti. Baku 2009.
2. СПИН Электронный справочник-калькулятор для проектировщиков и инженеров-строителей. Руководство пользователя. Москва 2008.
3. STARK\_ES Програмный комплекс для расчета пространственных конструкций на прочность, устойчивость и колебания. Руководство пользователя. Москва 2008.

## REFERENCES

1. AzDTN2.3-1 Seysmik Rayonlarda Tikinti. Baku 2009.
2. SPIN Elektronnyy spravochnik-kalkulyator dlya proyektirovshchikov i inzhenerov-stroiteley. Rukovodstvo pol'zovatelya. Moskva 2008.
3. STARK\_ES Programnyy kompleks dlya rascheta prostranstvennykh konstruksiy na prochnost', ustoychivost' i kolebaniya. Rukovodstvo pol'zovatelya. Moskva 2008.

*Шахбандаев Сахрад Мисейиб оглы* – докторант Республиканского Центра Сейсмологической Службы при Национальной Академии Наук Азербайджана, главный конструктор «МОДУС. К» LTD, e-mail: shaxsahrad@gmail.com. ORCID ID: 0000-0002-2918-9623.

**С. М. Шахбандаев**

# СПОСОБИ РОЗРАХУНКІВ НА СЕЙСМІЧНІ ДІЇ ПІДЗЕМНИХ СПОРУД, ЯКІ ПЕРЕБУВАЮТЬ У РІЗНИХ ГРУНТОВИХ УМОВАХ З ВИКОРИСТАННЯМ СУЧАСНИХ ПРОГРАМНИХ ЗАСОБІВ

Республіканський Центр сейсмологічної Служби при Національній Академії Наук Азербайджану

*Проналізовані шляхи моделювання підземних споруд за допомогою програмних комплексів СТАРКОН і Ing+. Відзначається, що сейсмічні сили являються силами інерції, а основним компонентом цієї сили є амплітуди і сейсмічне прискорення. Вони на поверхні землі змінюються в залежності від ґрунтових умов. Обґрунтовується, що визначення чисельних значень амплітуд і прискорень для різних ґрунтів становлять великий інтерес для створення сейсмостійких споруд різного роду. У статті, з метою визначення чисельних значень переміщень, внутрішніх зусиль і напружень в перетинах елементів розраховуються споруд, використовуються сертифіковані універсальні програмні комплекси СТАРКОН і Ing+ і відзначаються збігу результатів обох програмних комплексів.*

*Ключові слова: підземні споруди, сейсмічна дія, амплітуди, сейсмічне прискорення, ґрунтові умови, програмні засоби СТАРКОН і Ing+.*

*Шахбандаев Сахрад Мисейиб оглы* – докторант Республіканського центру сейсмологічної служби при Національній Академії наук Азербайджану, головний конструктор «МОДУС. К» LTD, e-mail: shaxsahrad@gmail.com.

**S.M. Shahbandaev**

# METHODS FOR CALCULATING UNDERGROUND STRUCTURES FOR SEISMIC EFFECTS ARE IN DIFFERENT GROUND CONDITIONS USING MODERN SOFTWARE

Republican Center for Seismological Service at the National Academy of Sciences of Azerbaijan

*In the article, the method of finite element method is used to analyze the ways of modeling underground structures using the STARKON and Ing + software systems. Specified methods for determining the stiffness coefficients of soil bases by different methods. It is noted that seismic forces are the forces of inertia and the main component of this force are amplitudes and seismic acceleration. They change on the surface of the earth depending on the soil conditions. It is indicated that determining the numerical values of the amplitudes and accelerations for different soils is of great interest for creating seismic resistant structures of various kinds. In the work, in order to determine the numerical values of displacements, internal forces and stresses in the sections of the elements of the calculated structure, the certified universal STARKON and Ing + software packages are used and the coincidence of the results of both software systems is noted.*

*Keywords: underground structures, seismic impact, amplitudes, seismic acceleration, ground conditions, STARKON and Ing + software.*

**Sahrad Misyib oglu Shahbandaev** - doctoral candidate of the Republican Center for Seismological Service at the National Academy of Sciences of Azerbaijan, chief designer of “MODUS. K »LTD, e-mail: shaxsahrad@gmail.com.