

Нормирование проектирования тоннелей в сейсмических районах.

И.Я.Дорман

академик РАН, д-р техн. наук, проф.,
заместитель Генерального директора -
вице-президент по научной работе

АО «Метрогипротранс», г.Москва

В связи с необходимостью строительства в 9-ти балльных сейсмических зонах метрополитена в Ташкенте и сооружения горных тоннелей на трассе Байкало-Амурской магистрали и Кавказе в Министерстве транспортного строительства СССР с 1967г. началась планомерная работа по разработке отсутствовавшей в нашей стране теории и практики проектирования подземных сооружений в сейсмоопасных районах, в том числе норм.

До землетрясения в г. Ташкенте в 1966г. в нашей стране практически отсутствовали нормы и правила проектирования и строительства транспортных и др. тоннелей в сейсмических районах.

В научно-исследовательском институте транспортного строительства (ЦНИИС Минтрансстроя) под руководством автора доклада была создана специализированная лаборатория, в которой совместно с головными институтами по проектированию метрополитенов – «Метрогипротранс» и горных тоннелей – «Ленметрогипротранс», а также с рядом институтов Академий наук Узбекистана и Казахстана, ученых Тульского Государственного университета были разработаны основополагающие принципы проектирования, строительства и эксплуатации транспортных тоннелей в сейсмических районах.

Основной идеологии исследований было изучение того фактора, что в **отличие от наземных конструкций**, где дополнительными источниками сейсмических воздействий являются инерционные нагрузки от масс сооружений, для подземного сооружения **грунтовый массив**, в котором расположен тоннель, **является при колебаниях не только дополнительной нагрузкой** и источником деформаций, **но и препятствием к таким деформациям**. Именно такой феномен и подвергся изучению.

На основании теоретических исследований и анализа последствий деформаций подземных сооружений после многочисленных землетрясений более чем за столетний период, **были разработаны принципы проектирования, строительства и эксплуатации подземных сооружений в сейсмических районах.**

Эти принципы основываются на разработанных методах расчета и конструирования тоннельных обделок, соблюдения специальных требований при строительстве и создание системы эксплуатационного мониторинга за колебаниями тоннельной конструкции в течении всего срока ее службы.

При прохождении в грунтовом массиве сейсмических волн сжатия-растяжения и сдвига, распространяющихся от очага землетрясения, в каждом элементе грунта, помимо бытового напряженного состояния, возникает так называемое сейсмическое напряженное состояние, аналитическое выражение для которого впервые в шестидесятых годах прошлого столетия обосновал грузинский ученый **Ш.Г. Напетваридзе**. В местах контакта грунта с контуром тоннельной обделки при прохождении сейсмических волн возникает концентрация сейсмических напряжений, являющихся дополнительной сейсмической контактной нагрузкой.

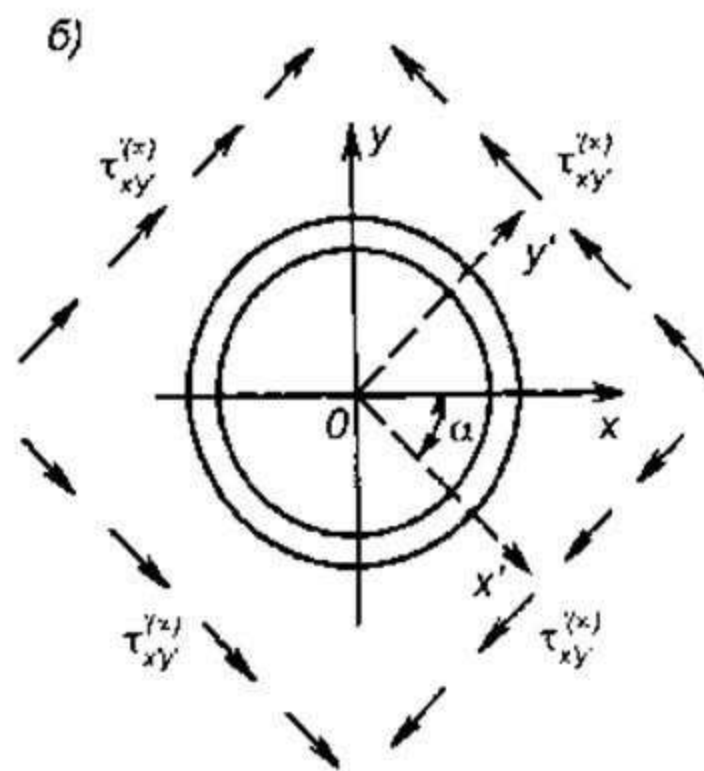
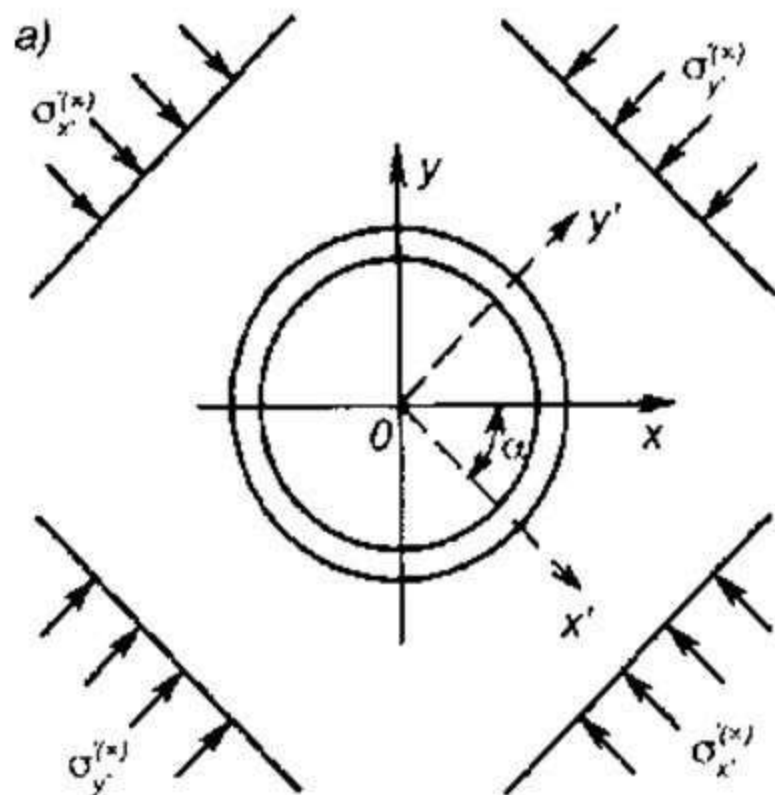
Конструкция подземного сооружения, имеющая жесткость, отличную от жесткости грунтового массива, искажает поле сейсмических волн, поэтому в грунте вокруг подземной выработки образуются зоны концентрации напряжений. Если конструкция имеет достаточную гибкость, то она будет следовать за смещениями и деформациями грунтового массива. Если же конструкция имеет жесткость большую, чем жесткость окружающего массива, то на границе с обделкой поле сейсмических волн претерпевает изменения, вызывая концентрацию напряжений в грунте вокруг обделки.

На основе этих фундаментальных положений в настоящее время *создана теория аналитических методов расчета напряженного состояния тоннельных обделок различного очертания*, которая должна быть подробно доложена на данной конференции сотрудниками Тульского Государствен. университета С.В.Анциферовым, А.С.Саммалем и П.В.Деевым: *"Развитие теории аналитических методов расчета при проектировании подземных сооружений в сейсмических районах"*, являющаяся развитием ранее выполненных многолетних комплексных исследований, изложенных в монографиях Н.Н.Фотиевой, Н.С.Булычева, Т.Р. Рашидова, Ш.М.Айталиева, И.Я. Дормана.

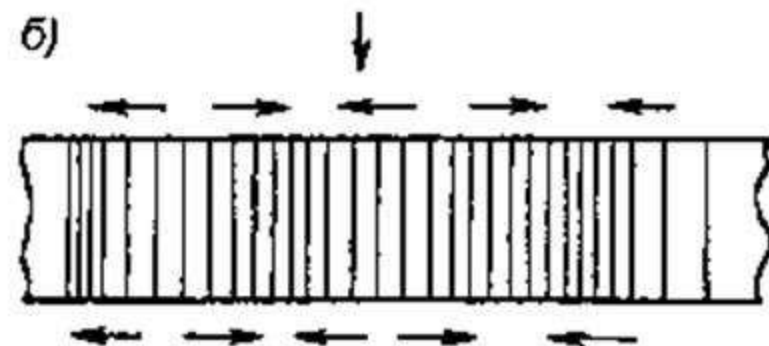
Кратко основные положения этой теории следующие.

- Рассматриваются две плоские контактные задачи теории упругости для кольца, подкрепляющего вырез в упругой среде и работающего в условиях совместности перемещений.**
- Сейсмические волны предполагаются упругими, гармоническими с плоским фронтом распространения, либо нестандартными, но с незначительным отличием (по форме) реального импульса от синусоидального.**

Решение заключается в оценке напряженного состояния обделки от действия длинной волны сжатия, задаваемой на бесконечности нормальными напряжениями σ , под произвольным углом α к продольной оси тоннеля Ox , и от действия длинной волны сдвига τ , задаваемой на бесконечности касательными напряжениями, действующими под произвольным углом α к оси Ox . (Рис.1а,б)



Если направление фронта волн совпадает с осью тоннеля, то они создают сдвиговые синусоидальные колебания тоннеля как трубы (рис.2а) и вызывают деформации искривления. Если же фронт волн перпендикулярен к продольной оси конструкции, то вдоль продольной оси тоннеля возникают зоны сжатия-растяжения без искривления(рис.2б).



Алгоритмы расчета взаимодействия сейсмических волн с тоннельных конструкциях различного поперечного сечения, в том числе для проектирования в анизотропных грунтах, для системы параллельных тоннелей и других случаев, приведены в инструктивных документах СССР – «Инструкции по учету сейсмических воздействий при проектировании тоннелей» ВСН 193-81 (утверждена Госстроем СССР!) и в ее развитие – «Руководство по проектированию подземных сооружений в сейсмических районах.»

Запроектированные «Метрогипротрансом» и «Ленметрогипротрансом» тоннели (БАМ, Кавказ) и метрополитены в России, СНГ и ряде зарубежных стран показали высокую надежность после произошедших сильных землетрясений.

Вызывает сожаление, что при пересмотре в 2004г. СНиП II - 7-81 «Строительство в сейсмических районах» и актуализации в 2011г. этих норм в Свод правил СП 14.13330.2011(ЦНИИСК им. Кучеренко и НИИОСП им. Герсевича), а также при дальнейшем пересмотре в 2016г. СП 14.13330.2011 (НИЦ «Строительство»), специалистов - тоннельщиков не привлекли к работе, и в разделах «Тоннели» всех этих документов авторы переписали 6 пунктов норм 81г., не имеющих никакой практической пользы.

В ВСН 193-81 и «Руководстве» прописаны все необходимые требования по трассированию тоннелей в сейсмоопасных регионах, описаны способы пересечения трассой тоннелей грунтов разной сейсмической жесткости и тектонических разломов, даны методики расчета (с алгоритмами), рекомендации по конструированию обделок тоннелей в скальных и слабых грунтах, сборных и монолитных конструкций, размещаемых на глубоком и мелком заложении, даны указания по конструированию сейсмошвов, сейсмопоясов и др.

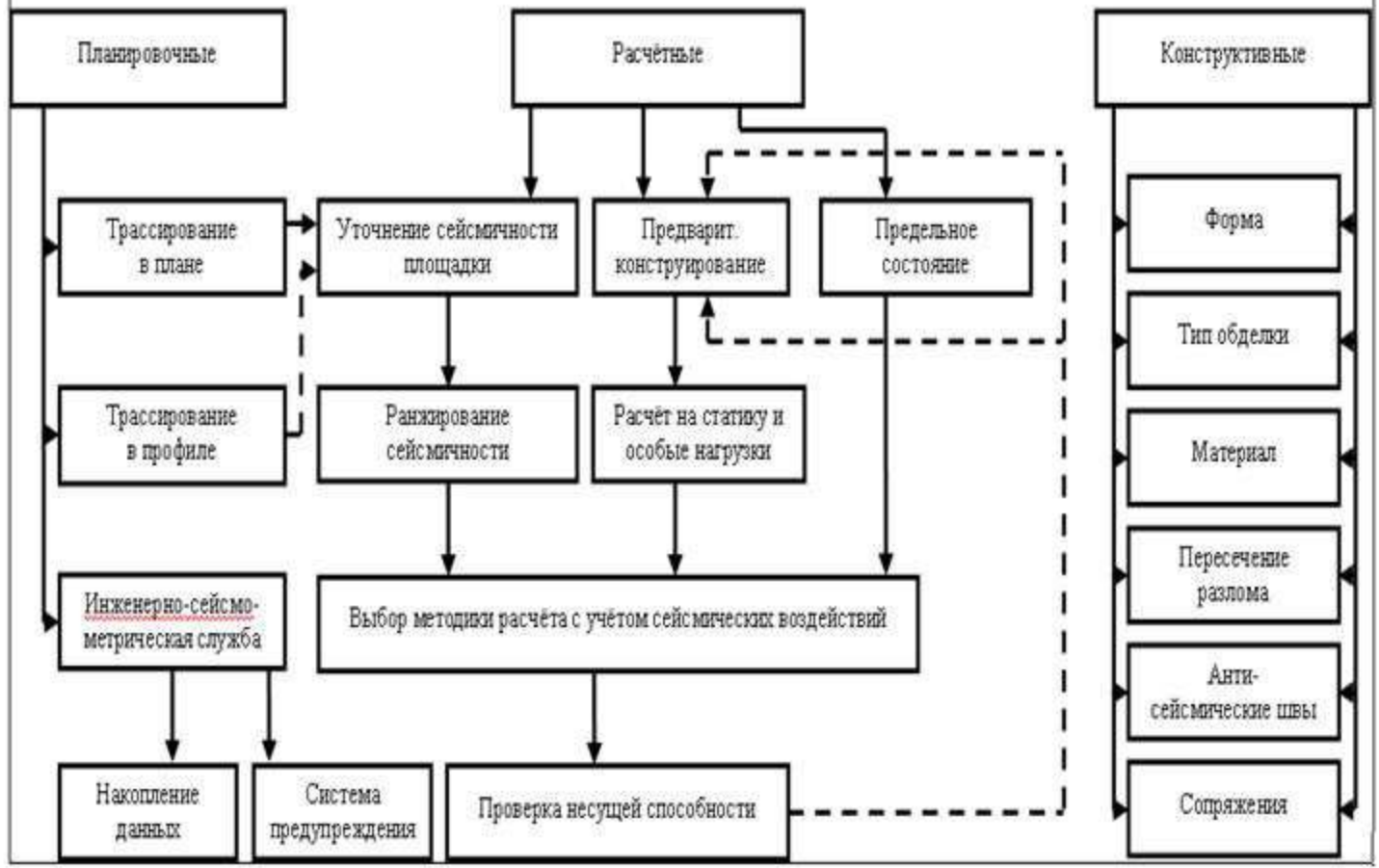
В расчетных моделях взаимодействия тоннеля с массивом грунта параметры движения грунтовой среды и динамические характеристики тоннельных конструкций определяют на основании лабораторных исследований образцов грунта, а количественные данные о смещениях и ускорениях — по данным сейсмологических наблюдений или, при их отсутствии, на основании ориентировочных справочных данных. Поэтому на тоннелях, эксплуатируемых в сейсмических районах, необходимо создавать инженерно-сейсмометрическую службу. Такая служба **по разработанной нами в ЦНИИС Минтрансстроя Инструкции создана на тоннелях БАМ и Ташкентском метрополитене.**

Комплекс сооружений и оборудования инженерно-сейсмометрической службы на тоннелях , названной нами как **ИССТ позволяет получить и накопить данные о поведении обделки и окружающего грунта при сейсмических воздействиях с целью:**

- **определения динамических характеристик колебаний элементов обделок для анализа работы обделки при землетрясении и уточнения нормативных положений расчета тоннелей на сейсмические воздействия;**
- **создания возможности предупреждения неблагоприятных вторичных катастрофических последствий землетрясений путем установки аппаратуры для автоматического срабатывания сигнальных систем, отключения источников электропитания и включения средств пожаротушения при задаваемых пороговых уровнях колебаний грунта (так называемая **«аларм-система»**).**

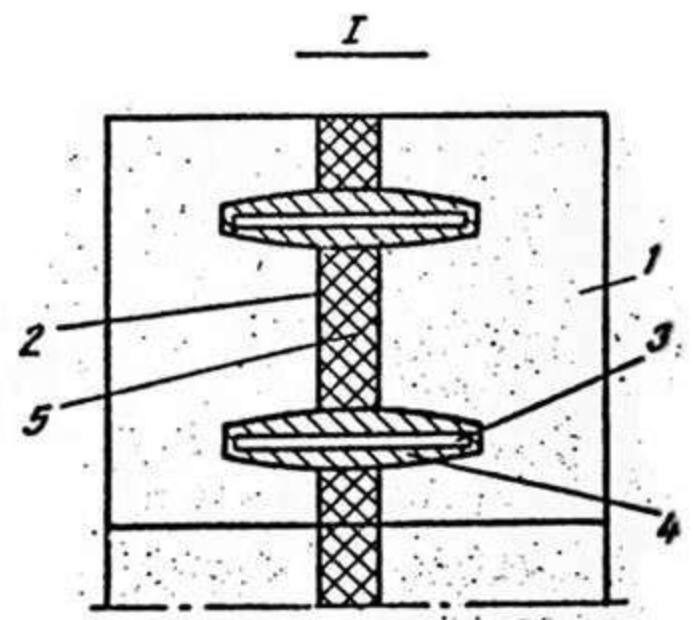
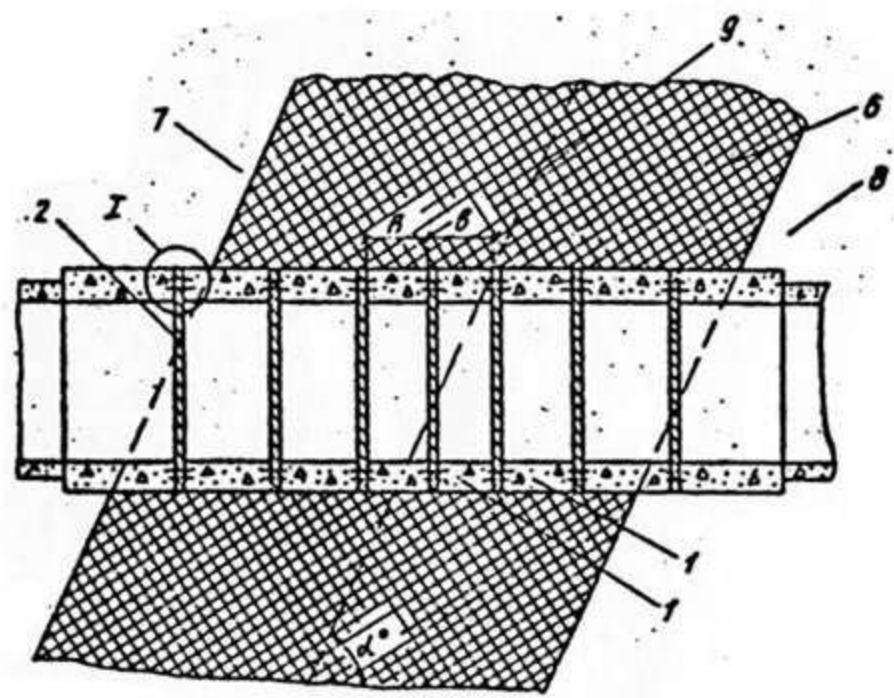
**Рассмотренные кратко в
настоящем докладе основные
принципы проектирования
транспортных тоннелей в
сейсмических районах можно
наглядно продемонстрировать в
нижеприводимой табличной
форме**

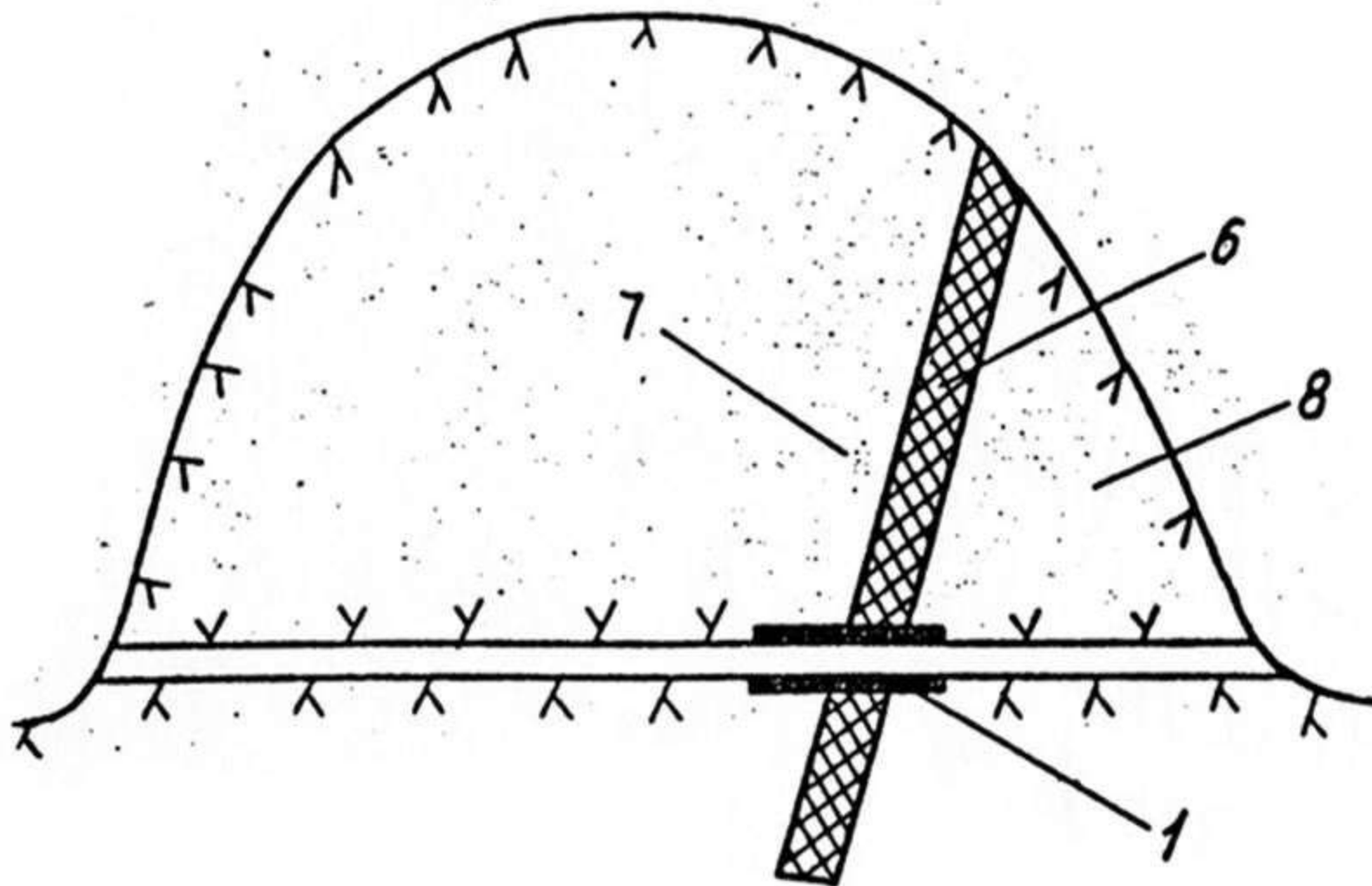
Принципы учёта сейсмических воздействий при проектировании транспортных тоннелей



Конечно, будут еще исследования, новые конструктивные разработки, новые программы расчета, но сегодня с определенным основанием можно констатировать, что отечественная наука и практика дала ответ на вопрос о том как надежно проектировать, строить и эксплуатировать транспортные тоннели в сейсмических районах.

Благодарю за внимание.





Комплекс сооружений и оборудования каждой станции ИСС включает:

- **основные измерительные пункты, в которых устанавливается сейсмометрическая аппаратура;**
- **сооружения регистрационного комплекса, предназначенные для размещения регистрационной аппаратуры, осуществляющей прием сигналов от сейсмометрической аппаратуры, анализ и обработку записей колебаний;**
- **коммуникации между приборами и оборудованием измерительного и регистрационного комплекса**

Развитие теории и аналитических методов расчета подземных сооружений на сейсмические воздействия

Анциферов Сергей Владимирович, доктор технических наук, заведующий кафедрой **Саммаль Андрей Сергеевич**, доктор технических наук, профессор,

Деев П. В. доктор технических наук, доцент.

«Тульский государственный университет»