Задача 1 (10 баллов) Укажите в какой последовательности по Вашему мнению собираются сегменты в тоннельное кольцо (используйте нумерацию с рисунка 1), обоснуйте ответ.

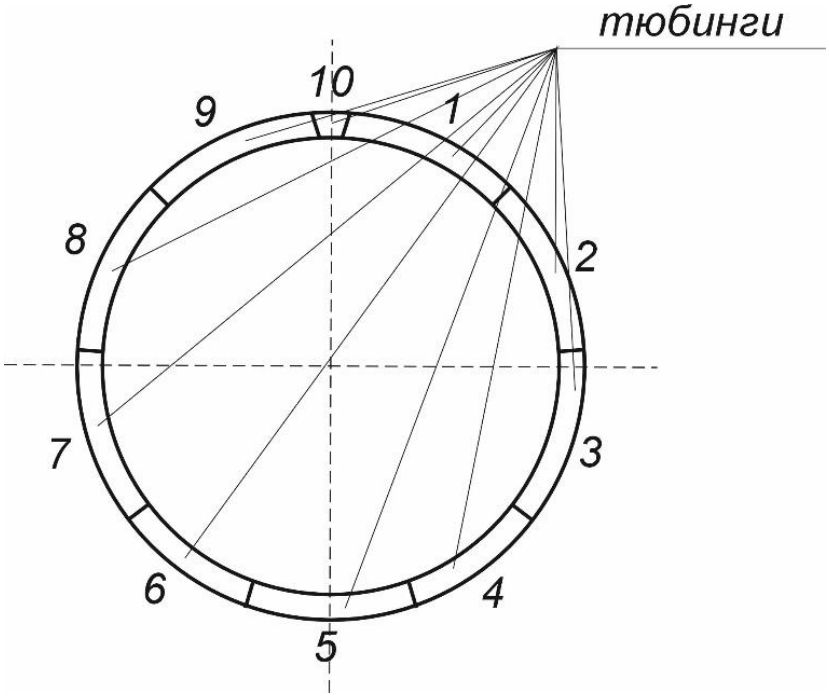


Рисунок 1. Тюбинговое кольцо

Решение.

Последовательность 5, затем 4, 6, 3, 7, 2, 1, 10, 9 или 5, 6, 4, 7, 3, 8, 2, 9, 10, 1.

При установке сегментов центр тяжести монтируемой конструкции должен оставаться ближе к вертикальной оси, чтобы избежать сдвига (прокручивания). Расклинивающий сегмент устанавливается предпоследним.

Критерии оценки ответов на задание

Задача 1 – максимум 10 баллов:
- наличие решения (2 балла),
- верность решения (4 балла),
- наличие и правильность пояснений к решению (4 балла).

Задача 2 (20 баллов). Чугунные тюбинги (шириной кольца 1 м) скрепляют между собой болтами. При соединении двух сегментов внахлест устанавливаются болты, как показано на рисунке 2.

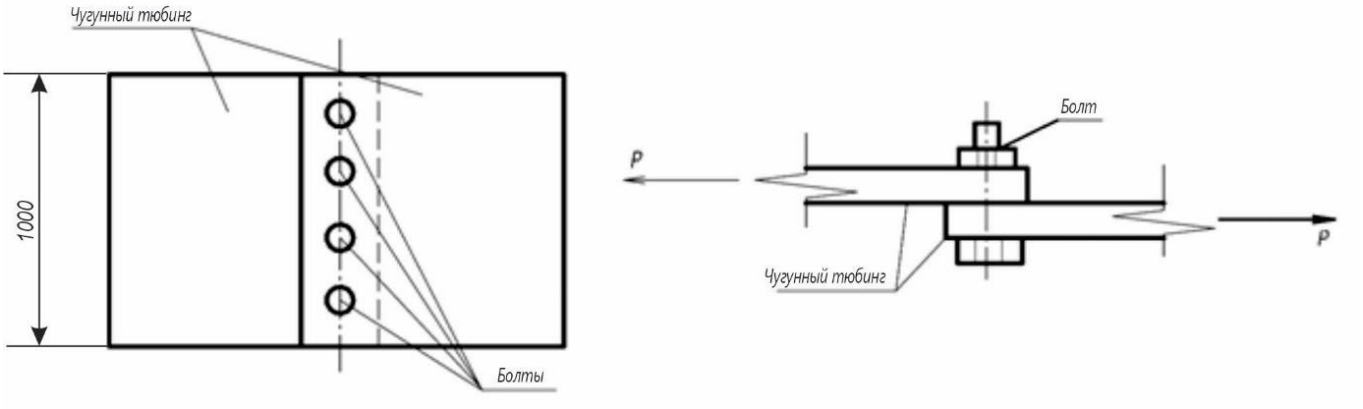


Рисунок 2. Болтовое соединение тюбингов

Усилие, действующее на тюбинг, составляет 370 кН. Проверка прочности болта на сдвигающие усилия производится по формуле:

$$\frac{P}{A_б \cdot n} \leq R^{б}_{ср},$$

где P – усилие, действующее на тюбинг, $A_б$ – расчетная площадь сечения болта по резьбе (таблица 1), n – количество болтов в соединении, $R^б_{ср}$ – расчетное сопротивление срезу, принимаемое по таблице 2.

Таблица 1 – Соответствие диаметра болта и его расчетной площади по резьбе

Диаметр болта	30	36	42
$A_б$, мм^2	561	816	1120

Таблица 2 – Соответствие марок болтов и их расчетных сопротивлений срезу

Марка болта*	5.6	8.8	10.9	12.9
$R^б_{ср}$, МПа	210	320	400	420

* Марка болта указывает на его класс прочности: первая цифра – предел прочности (в сотых долях МПа), вторая – отношение предела текучести к пределу прочности.

Подберите марку болтов, их диаметр и количество (на 1 м длины стыка) из условия выдерживания ими сдвиговой нагрузки и расстояния между болтами 100 мм. Поясните свое решение.

Решение.

Составим таблицу, в которой будет указано требуемое количество болтов на соединение, при котором выполняется неравенство:

		Диаметр болта		
		30	36	42
Марка болта	5,6	4	3	2
	8,8	3	2	2
	10,9	2	2	1
	12,9	2	2	1

Пример расчета для диаметра 30 и марки 5,6

370 кН/(561 мм^2*n)<=210 МПа

Переведем в систему СИ

370 000 Н/561*10^{-6} м^2/n<=210 000 000 Па

659 536 542 Н/м^2/n<=210 000 000 Па

n>=3.14, округляем в большую сторону до 4 (для обеспечения надежности)

Для надежного крепления нужно использовать не менее 2 болтов (чтобы сегменты не поворачивались относительно друг друга), поэтому походят следующие варианты:

Марка/диаметр	Количество
5,6/30	4
5,6/36	2
5,6/42	2
8,8/30	3
8,8/36	2
8,8/42	2
10,9/30	2
10,9/36	2
12,9/30	2
12,936	2

Достаточно указать в ответе 1 правильный вариант.

Критерии оценки ответов на задание

Задача 2 – максимум 20 баллов:

- наличие расчета (4 балла),
- верность расчета (8 баллов),
- полнота расчета (4 балла),
- наличие и правильность пояснений к расчету (4 балла).

Задача 3 (40 баллов). Предложите способ количественной оценки эффективности использования материала для строительства тоннелей метрополитена, учитывающий характеристики материалов, указанные в таблице 3. Способ может быть представлен в виде формулы или алгоритма. При использовании способа должно получаться конечное численное значение, по которому можно оценить эффективность применения материала. Сравните материалы Вашим способом и обоснованно выберите лучший на Ваш взгляд материал.

Таблица 3 – Характеристики материалов, из которых производятся тюбинги

	Минималь-ная толщина стенки тюбинга	Стоимость	Плотность	Водо-непроница-емость	Срок службы
Чугун	20 мм	~40 000 руб/т	~7500 кг/м^3	Абсолютная	Более 100 лет
Железобетон	80 мм	~7 800 руб/м^3	~2500 кг/м^3	Выдерживает давление воды в 20 атмосфер	До 100 лет

Решение.

Решение может быть любым, критично, чтобы в формуле или алгоритме прослеживалось понимание, как характеристики влияют на эффективность:

- Меньшая толщина стенки тюбинга повышает эффективность, т.к. уменьшается объем затраченного материала и материалоемкость.
- Меньшая стоимость повышает эффективность.
- Меньшая плотность повышает эффективность, т.к. конструкция становится легче и меньше ресурсов затрачивается на ее монтаж. Больший балл дает понимание, что плотность должна быть учтена вместе с толщиной стенки. Например, меньшее произведение плотности на толщину дает большую эффективность.
- Абсолютная водонепроницаемость более эффективна, чем 20 атмосфер.
- Срок службы более 100 лет более эффективен, чем менее 100 лет.

Вариант решения.

Алгоритм. Присвоим каждой характеристике условный балл от 0 до 1. Где 0 неэффективна, 1 максимально эффективна. При этом плотность учтена вместе с толщиной стенки как произведение плотности на толщину.

	Минимальная толщина стенки тюбинга	Плотность	Произведение	балл
Чугун	20 мм	~7500 кг/м^3	140000	1
Железобетон	80 мм	~2500 кг/м^3	200000	0

	Стоимость	Балл	Водонепроницаемость	Балл	Срок службы	Балл
Чугун	~40 000 руб/т	0	Абсолютная	1	Более 100 лет	1
Железобетон	~7 800 руб/м^3	1	Выдерживает давление воды в 20 атмосфер	0	До 100 лет	0

Эффективность можно оценить количеством набранных баллов:

Чугун – 3

Железобетон – 1.

Т.е. чугун более эффективен, т.к. он имеет больше преимуществ: долговечность, меньшая толщина конструкции, что делает ее более легкой, водонепроницаемость и уступает железобетону только в стоимости.

Критерии оценки ответов на задание

Задача 3 – максимум 40 баллов:

- наличие способа (15 баллов),
- наличие и верность проверки материалов по приведенной методике (5 баллов),
- обоснование выбора материала (10 баллов),
- логичность способа (10 баллов).

Задача 4 (30 баллов) Предположите какой может быть профиль сегмента в разрезе (по плоскости, проходящей через ось тоннельного кольца, и по плоскости перпендикулярной оси), объясните почему. Начертите 1 сегмент (тюбинг) в разрезах, чтобы было видно его конструктивные особенности.

Решение.

Решение может быть любым. Большее количество баллов дает конструктив, в котором предложено использовать ребра жёсткости (для облегчения конструкции). Должно быть 2 чертежа: первый должен выглядеть как кольцо, второй как труба, разрезанная вдоль. На первом чертеже должно быть разделение на сегменты.

Критерии оценки ответов на задание

Задача 4 – максимум 30 баллов:

- наличие чертежей (5 баллов),
- качество чертежей (5 баллов),
- достаточность чертежей (10 баллов),
- обоснование конструктива тюбинга (10 баллов).

Многопрофильная инженерная олимпиада «Звезда»
«Техника и технологии строительства»

9–10 класс **Заключительный тур** **2025-2026**

Задания, ответы и критерии оценивания

Задание содержит 4 задачи, которые относятся к вопросам строительства дорог, но не привязаны к одному проекту.

Задача 1 (10 баллов) Рассчитайте, сколько в тоннах потребуется щебня для засыпки 100 м дренажной канавы, если плотность щебня равна 1400 кг/м^3. Чертеж (в поперечном разрезе) дренажной канавы приведен на рисунке 1.

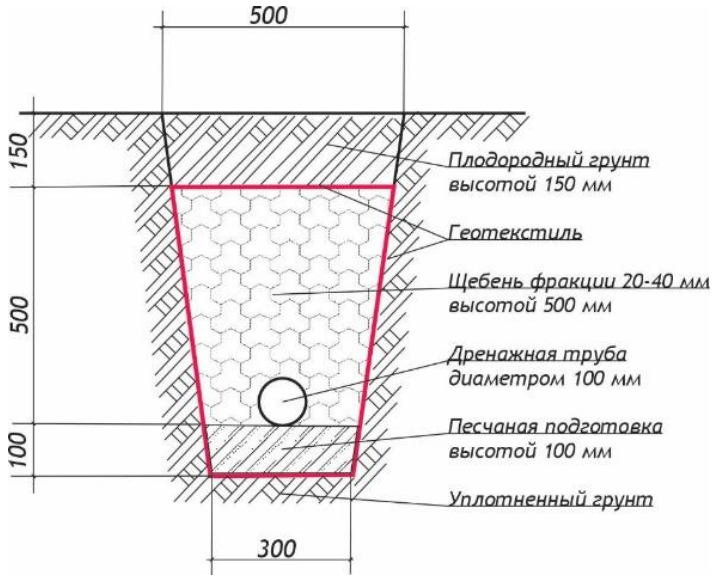


Рисунок 1. Дренажная канава в поперечном разрезе

Решение.

Определим объем канавы: площадь трапеции с красным контуром за вычетом площади дренажной трубы и площади трапеции, занятой песком, помноженная на длину канавы.

Чтобы определить площадь искомой трапеции нужно найти размеры ее большего и меньшего оснований. Можно воспользоваться знанием о пропорциональности сторон в подобных треугольниках, можно использовать любые другие варианты решения этой геометрической задачи.

Большее основание трапеции будет равно:

300+2*((100+500)*100/(150+500+100))=460 мм

Меньшее основание трапеции будет равно:

300+2*(100*100/(150+500+100))=327 мм

Площадь трапеции составит: (460+327)/2*500=196750 мм^2

Площадь дренажной трубы: 3,14*100^2/4=7850 мм^2

Тогда объем канавы составит: (196750-7850)*100 000=18 890 000 000 мм^3=18,890 м^3

Требуемая масса щебня будет равна: 18,890 м^3*1400 кг/м^3 = 26 446 кг=26,446 т.

Ответ: 26,446 т.

Критерии оценки ответов на задание

Задача 1 – максимум 10 баллов:
- наличие расчета (2 балла),
- верность расчета (4 балла),
- полнота расчета (2 балла),
- наличие и правильность пояснений к расчету (2 балла).

Задача 2 (20 баллов) Температура горячей асфальтобетонной смеси при отгрузке после ее изготовления на асфальтобетонном заводе составляет 150 °С. Температура горячей асфальтобетонной смеси по прибытии на место укладки должна быть не ниже 115 °С. Нельзя превышать максимальную температуру отгрузки, т.к. при повышении температуры битумы имеют склонность к старению, что негативно сказывается на качестве и долговечности покрытий. Низкая температура смеси на месте укладки приведет к браку уплотнения асфальтобетона. Известно, что смесь остывает на 20 °С за каждый час пути. Средняя скорость самосвала с асфальтобетонной смесью составляет 30 км/ч. Рассчитайте допустимое удаление места строительства дороги от асфальтобетонного завода.

Решение.

Максимально возможная потеря температуры составит 150-115=35 °С

Если смесь остывает на 20 °С за каждый час (60 минут), то максимально допустимое время в пути составит 35 °С*60 мин/20 °С=105 мин

Скорость самосвала 30 км/ч=0,5 км/мин

Тогда максимально допустимое удаление места строительства дороги от асфальтобетонного завода 105 мин*0,5 км/мин=52,5 км

Ответ: 52,5 км

Критерии оценки ответов на задание

Задача 2 – максимум 20 баллов:
- наличие расчета (4 балла),
- верность расчета (8 баллов),
- полнота расчета (4 балла),
- наличие и правильность пояснений к расчету (4 балла).

Задача 3 (40 баллов). Устройство асфальтобетонного покрытия осуществляется механизированным звеном в составе самоходного асфальтоукладчика, а также легких и тяжелых катков. Сначала самоходные асфальтоукладчики одновременно с укладкой смеси предварительно ее уплотняют. Затем легкие катки уплотняют покрытие за 5 проходов по одному следу, а заканчивают уплотнение тяжелые катки за 20 проходов по

одному следу. Сколько легких и сколько тяжелых катков требуется при работе без простоев и перерывов для одного асфальтоукладчика, если он укладывает покрытие шириной 4 м, проектной толщиной 5 см со скоростью 500 т/ч? Плотность асфальтобетона 2500 кг/м^3. Скорость легкого катка равна 5 км/ч, ширина его вальца (уплотняющего органа) составляет 1200 мм. Скорость тяжелого катка 6 км/ч, ширина вальца 2130 мм.

Решение.

Найдем сколько по объему асфальтобетона асфальтоукладчик укладывает за час:

500 000 кг/2500 кг/м^3 = 200 м^3

Найдем длину дороги, которую асфальтоукладчик укладывает за час:

200 м^3/4 м/0,05 м=1000 м

Найдем сколько раз нужно пройти по покрытию шириной 4 м легкому катку:

4 м/1200 мм = 3,3 раза, т.е. 4 раза, с учетом 5 проходов, легкий каток пройдет за час по покрытию 20 раз, т.е пройдет путь 20раз*1000 м=20000 м. С учетом скорости легкого катка 5 км/ч, один каток будет работать 20000 м / 5 км/ч = 4 часа. Т.е. достаточно четырех легких катков.

Найдем сколько раз нужно пройти по покрытию шириной 4 м тяжелому катку:

4 м/2130 мм = 1,9 раза, т.е. 2 раза, с учетом 20 проходов, легкий каток пройдет за час по покрытию 40 раз, т.е пройдет путь 40раз*1000 м=40000 м. С учетом скорости тяжелого катка 6 км/ч, один каток будет работать 40000 м / 6 км/ч = 6,67 часов. Т.е. требуется семь тяжелых катков.

Ответ: потребуется 4 легких и 7 тяжелых катков.

Критерии оценки ответов на задание

Задача 3 – максимум 40 баллов:
- наличие расчета (8 баллов),
- верность расчета (16 баллов),
- полнота расчета (8 баллов),
- наличие и правильность пояснений к расчету (8 баллов).

Задача 4 (30 баллов). «Соберите» дорожное полотно для дороги в центре города с высоким автомобильным трафиком из любых слоев, указанных в таблице 1, обоснуйте положение каждого слоя в дорожном «пироге». Выполните чертеж дорожного полотна в поперечном разрезе.

Таблица 1 – Слои дорожного полотна

Слой	Описание
Грунт	Любая горная порода, почва, рассматриваемая как основание для строительства дорог
Крупнозернистый асфальтобетон с высокой водопроницаемостью	Пористый асфальтобетон с крупным заполнителем (щебень фракции 20-40 мм), который имеет повышенную пористость, и, как следствие, высокую способность пропускать воду

Щебень	Крупнозернистый минеральный материал (частицы более 5 мм), полученный дроблением горных пород
Армирующая геосетка	Полимерный рулонный материал с сетчатой структурой из высокопрочных пучков нитей, скреплённых в узлах
Асфальтобетон с низкой водопроницаемостью	Обычно горячий мелкозернистый асфальтобетон, может быть с полимерными добавками
Песок/отсев	Мелкозернистый минеральный материал (частицы менее 5 мм), природный (песок), либо побочный продукт дробления горных пород (отсев)
Геомембрана	Сплошное водонепроницаемое полимерное полотно
Плиты дорожного настила	Железобетонные изделия, предназначенные для устройства покрытий дорог

Решение.

Варианты решения могут отличаться, критичным является логичное расположение слоев, использование асфальтового покрытия (а не плит), геосетки под верхним слоем. Пример решения: слои указаны сверху вниз:

Слой	Обоснование
Асфальтобетон с низкой водопроницаемостью	Верхнее покрытие, несущее основную нагрузку
Армирующая геосетка	Для уменьшения образования колеи из-за высокого трафика
Песок/отсев	Для более плотного и прочного основания под асфальтобетон
Щебень	Для упрочнения и равномерной передачи нагрузок на грунт
Грунт	Всегда является основанием для строительства дорог

Чертеж должен соответствовать обоснованию и может выглядеть как слои с разной штриховкой и указанием материала слоя, толщина слоев может быть указана любой в разумных пределах, тонкие слои, такие как геосетка, должны выглядеть самыми тонкими.

Критерии оценки ответов на задание

Задача 4 – максимум 30 баллов:

- наличие чертежей (5 баллов),
- качество чертежей (5 баллов),
- достаточность чертежей (5 баллов),
- наличие обоснования положения каждого слоя (5 баллов),
- правильность обоснования положения каждого слоя (10 баллов).

Задания, ответы и критерии оценивания

Все задачи, предлагаемые в этом задании, являются частями одного проекта фундамента под здание аквапарка.

Задача 1 (10 баллов). Рассчитайте требуемую площадь нижней подошвы железобетонного фундамента для того, чтобы он надежно удерживал здание аквапарка, не продавливая глинистый грунт с расчетным сопротивлением 500 кПа. Известно, что масса всех конструкций, оборудования и наполненных водных резервуаров составляет 40 000 т. Для нагрузок на фундамент используйте повышающий коэффициент 1,3. Площадь здания аквапарка составляет 15 000 м^2.

Решение. Для того, чтобы фундамент со зданием не продавливал грунт, сопротивление грунта должно быть не меньше давления на него.
Давление на грунт 40 000 т *9,81 м/с^2*1,3 / S, где S- площадь фундамента
Сопротивление грунта 500 кПа
Т.е. составим неравенство, приведем единицы измерения к системе СИ и решим неравенство.
40 000 000 кг*9,81 м/с^2*1.3 / S<=500 000 Н/м^2
510 120 000 Н / S<=500 000 Н/м^2
S>=1020,24 м^2, можно округлить до целых.
Ответ: площадь фундамента должна быть не меньше 1021 м^2.

Критерии оценки ответов на задание

Задача 1 – максимум 10 баллов:

- наличие расчета (2 балла),
- верность расчета (4 балла),
- полнота расчета (2 балла),
- наличие и правильность пояснений к расчету (2 балла).

Задача 2 (20 баллов). Выберите конструкцию железобетонного фундамента с учетом расчета, проведенного при решении задачи 1, обоснуйте свой выбор.

Варианты фундаментов:

- монолитная железобетонная плита (единая массивная плита под всей площадью здания),
- ленточный фундамент глубокого заложения (железобетонные «ленты», которые располагаются под всеми несущими стенами и колоннами),
- свайный фундамент (железобетонные сваи забиваются на значительную глубину в грунт),
- свайно-ростверковый фундамент (поверх забитых свай выполняется монолитный железобетонный ростверк (железобетонная «лента»), который объединяет все сваи и служит основанием для возведения стен и колонн,
- свайно-плитный фундамент (поверх забитых свай заливается монолитная железобетонная плита),
- или предложите свой вариант.

Решение. С учетом найденной площади фундамента, для решения подходят все предложенные варианты фундаментов, но т.к. найденная площадь фундамента значительно меньше площади здания, и грунт выдерживает значительные нагрузки, он не рыхлый, то в целях экономии целесообразно использовать ленточный фундамент глубокого заложения (железобетонные «ленты», которые располагаются под всеми несущими стенами и колоннами). Допустимо обоснование другого вида фундамента (оценивается с уменьшением баллов в 2 раза).

Критерии оценки ответов на задание

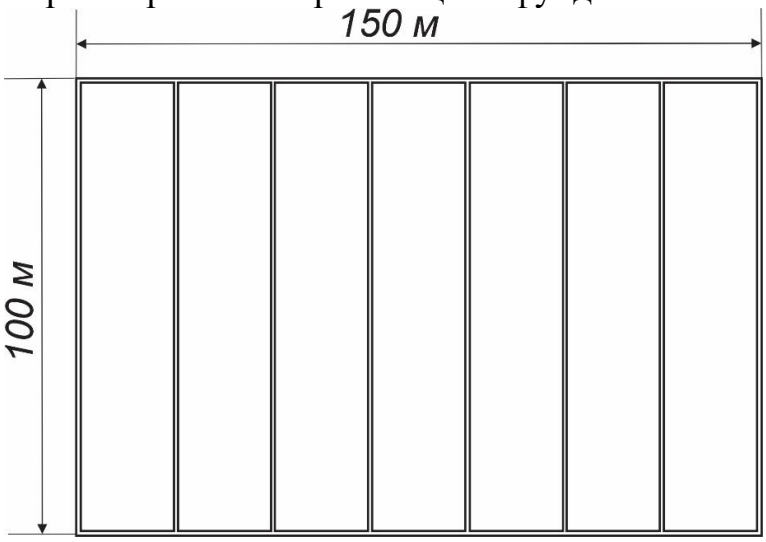
Задача 2 – максимум 20 баллов:

- соответствие конструкции расчету в задаче 1 (10 баллов),
- обоснование выбора (10 баллов).

Задача 3 (40 баллов). Подберите размеры (без глубины) железобетонных конструкций фундамента в соответствии выбранным Вами вариантом в задаче 2 и с учетом требуемой площади нижней подошвы железобетонного фундамента (задача 1). Приведите расчеты.

Решение. Тут возможны разные варианты решения. Основная идея в том, чтобы площадь получившегося фундамента была не меньше 1021 м^2, соответствовала принятому в задаче 2 варианту конструкции и по общей площади здания составляла 15 000 м^2.

Вариант решения при толщине фундамента 1 м.



Общая площадь здания составляет 100*150=15000 м^2, что требуется по условиям задания.

Рассчитаем площадь фундамента:

По короткой стороне: 98 м * 1 м * 8 шт = 784 м^2

По длинной стороне: 150 м * 1 м * 2 шт = 300 м^2

Всего: 784+300=1084 м^2, это не меньше 1021 м^2, что и требуется по условию задания.

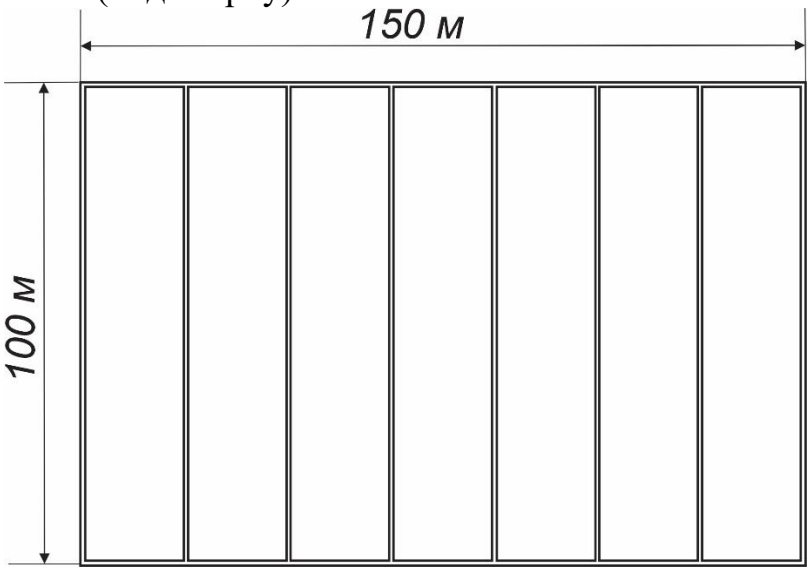
Критерии оценки ответов на задание

Задача 3 – максимум 40 баллов:

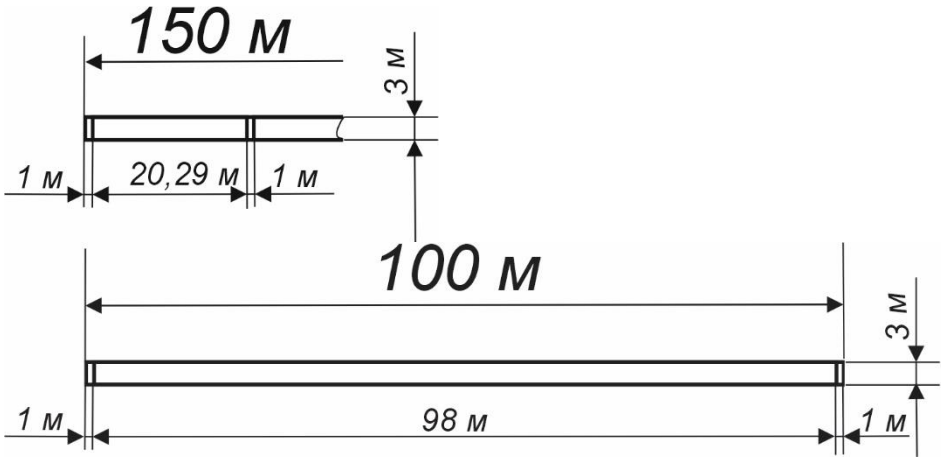
- наличие расчета (5 баллов),
- верность расчета (15 баллов),
- полнота расчета (5 баллов),
- наличие и правильность пояснений к расчету (5 баллов),
- соответствие расчета проекту (10 баллов).

Задача 4 (30 баллов). Приведите чертежи предлагаемого Вами фундамента с учетом рассчитанных размеров (задача 3): план (вид сверху) и 2 поперечных разреза (или вида сбоку).

Решение. Тут возможны разные варианты решения, главное, чтобы чертежи соответствовали всем предыдущим расчетам и решениям. Глубина фундамента любая разумная соответствующая ранее принятым решениям по конструктиву фундамента.
Вариант решения.
План (вид сверху)



Поперечные разрезы



Критерии оценки ответов на задание

Задача 4 – максимум 30 баллов:

- наличие чертежей (5 баллов),
- качество чертежей (5 баллов),
- достаточность чертежей (10 баллов),
- соответствие чертежей проекту (10 баллов).