

ОГРАДИТЕЛЬНОЕ СООРУЖЕНИЕ КОМБИНИРОВАННОГО
ТИПА

Неделев Ф.С., студент гр. ГС-434.

Научный руководитель - Рогачко С.И., д.т.н., проф.,

Настоящая работа является актуальной поскольку ее целью является разработка конструкции комбинированного оградительного сооружения, позволяющего существенным образом гасить энергию волн, уменьшить высоту заплеска и напряжения в основании сооружения. Основной методикой исследования были сопоставительные расчеты оградительных сооружений типа вертикальной стенки и из каменной наброски, выполнение в соответствии с рекомендациями действующего нормативного документа по волновым нагрузкам.

К основным типам оградительных сооружений (молы, волноломы) относятся гравитационные сооружения из массивовой кладки, массивов-гигантов и из каменной наброски откосного профиля /1,2/. Сооружения из массивовой кладки широко применяются в мировой практике портостроения. Обычно они возводятся из бетонных массивов весом до 100т.с., что раньше лимитировалось грузоподъемностью плавучих кранов и прочностью бетона (см. рис.1). Данный тип сооружений полностью отражает штормовые волны и препятствует их проникновению на защищаемые акватории.

При возведении сооружений данного типа требуется устройство дорогостоящей и трудоемкой каменной постели с допустимым отклонением ее поверхности от горизонта ± 2 см. При недостаточном качестве поверхности постели, как показывает опыт их эксплуатации, могут происходить разрушения в виде трещин отдельных массивов первого курса кладки. Недостатком данного типа конструкций являются трудности при строительстве в условиях открытого моря, связанные с неблагоприятными погодными условиями (морское волнение, ветер, ледовые условия). Это прежде всего относится к устройству каменных постелей и установки в проектное положение массивов, формирующих секцию. Перечисленные факторы приводят к увеличению сроков строительства.

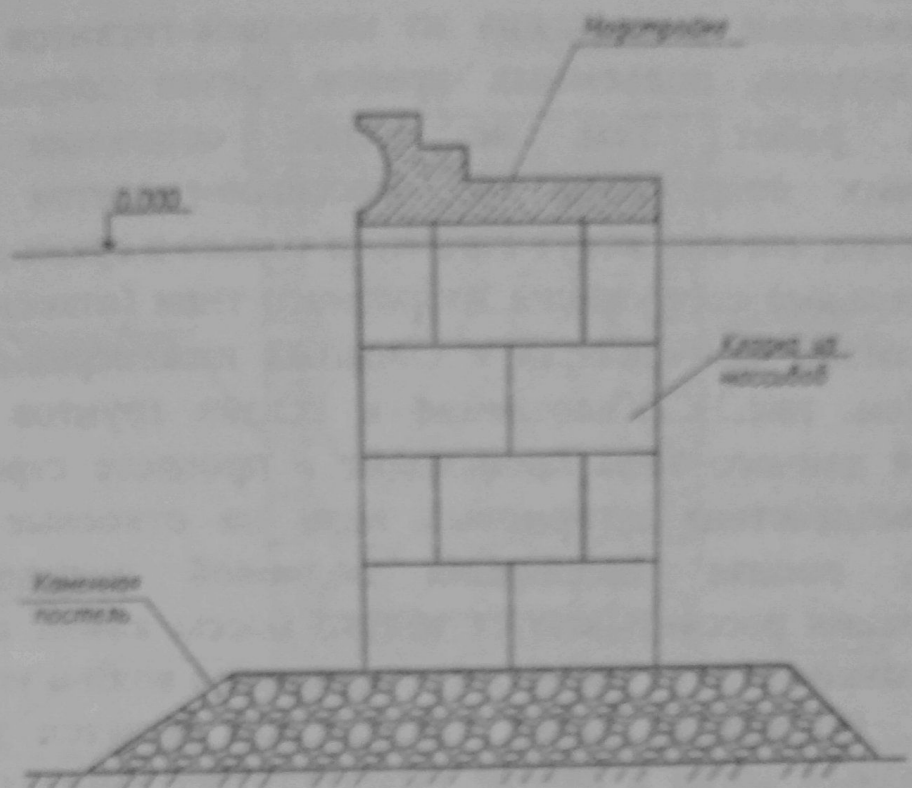


Рис.1. Сооружение из массивовой кладки

Сооружения из массивов-гигантов, представляют собой конструкции из железобетонных оболочек, имеющих положительную плавучесть. После установки массивов-гигантов в проектное положение на каменную постель, производят заполненные отдельных полостей либо рефулируемым песком, либо камнем-околом. Как правило, один массив-гигант представляет собой одну секцию сооружения. По этой причине возведение оградительных сооружений из массивов-гигантов занимает значительно меньшее время по сравнению с возведением одной секции из массивовой-кладки (см. рис.2).

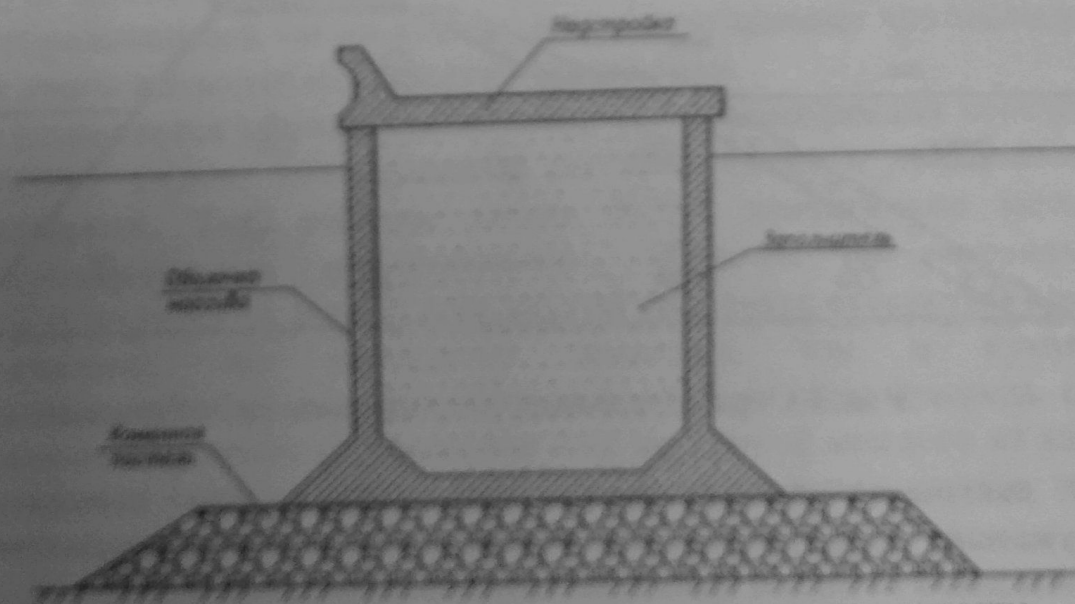


Рис.2 Оградительное сооружение из массива-гиганта

При возведении сооружения из массивов-гигантов не требуется мощных плавучих подъемных кранов, резко сокращается объем водолазных работ. Тем не менее основным недостатком оградительных сооружений из массивов-гигантов является то обстоятельство, что они могут строиться только в сухих доках.

Оградительные сооружения набросного типа (откосного профиля) могут с успехом применяться в сложных инженерно-геологических условиях (см. рис.3). Уплотнение и осадка грунтов основания у сооружений данного типа происходит в процессе строительства. В процессе воздействия штормовых волн на откосные сооружения, происходит полная диссипация волновой энергии. При их проектировании рассчитываются только массы камня или бетонных блоков в зависимости от расчетных параметров волн и угла заложения откоса $1/1$. Возведение таких сооружений является экономически целесообразным когда в районе строительства имеется достаточное количество запасов камня в непосредственной близости от строящихся объектов. Во избежание добычи сортированного камня внешний откос оградительных сооружений укрепляют искусственными железно-бетонными фасонными блоками различных конфигураций, поскольку добыча сортированного камня весьма трудоемкий и дорогостоящий процесс. Недостатком данного типа сооружений является их высокая стоимость с увеличением глубины. Такие сооружения не возводятся при защите акваторий специализированных портов по приему нефти и отгрузки нефтепродуктов, поскольку при аварийных разливах устранить последствия на таких акваториях не представляется возможным.

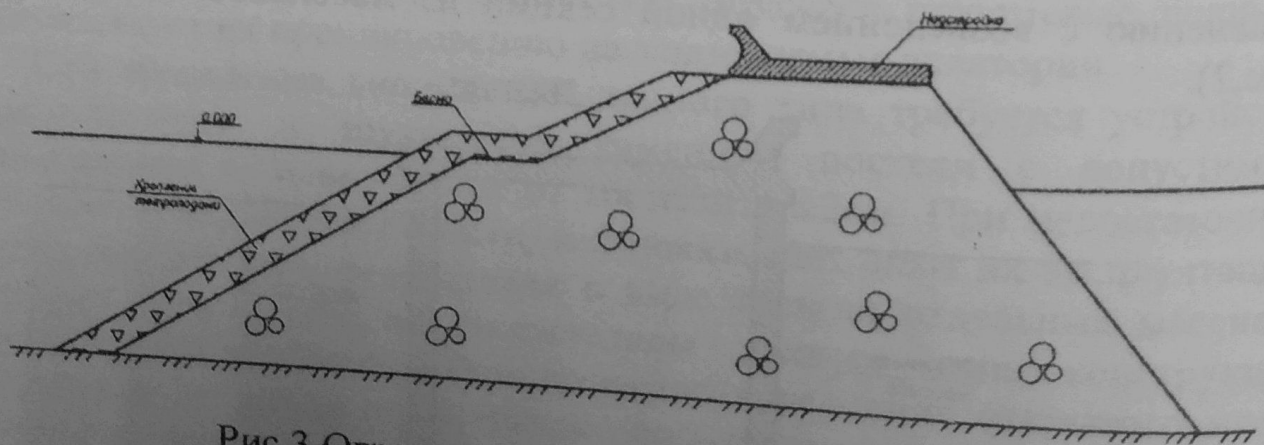


Рис.3 Оградительные сооружения из наброски

В настоящей работе рассмотрен новый тип оградительного сооружения, представляющий собой комбинацию сооружения типа вертикальной стенки и каменной наброски (см. рис.4)

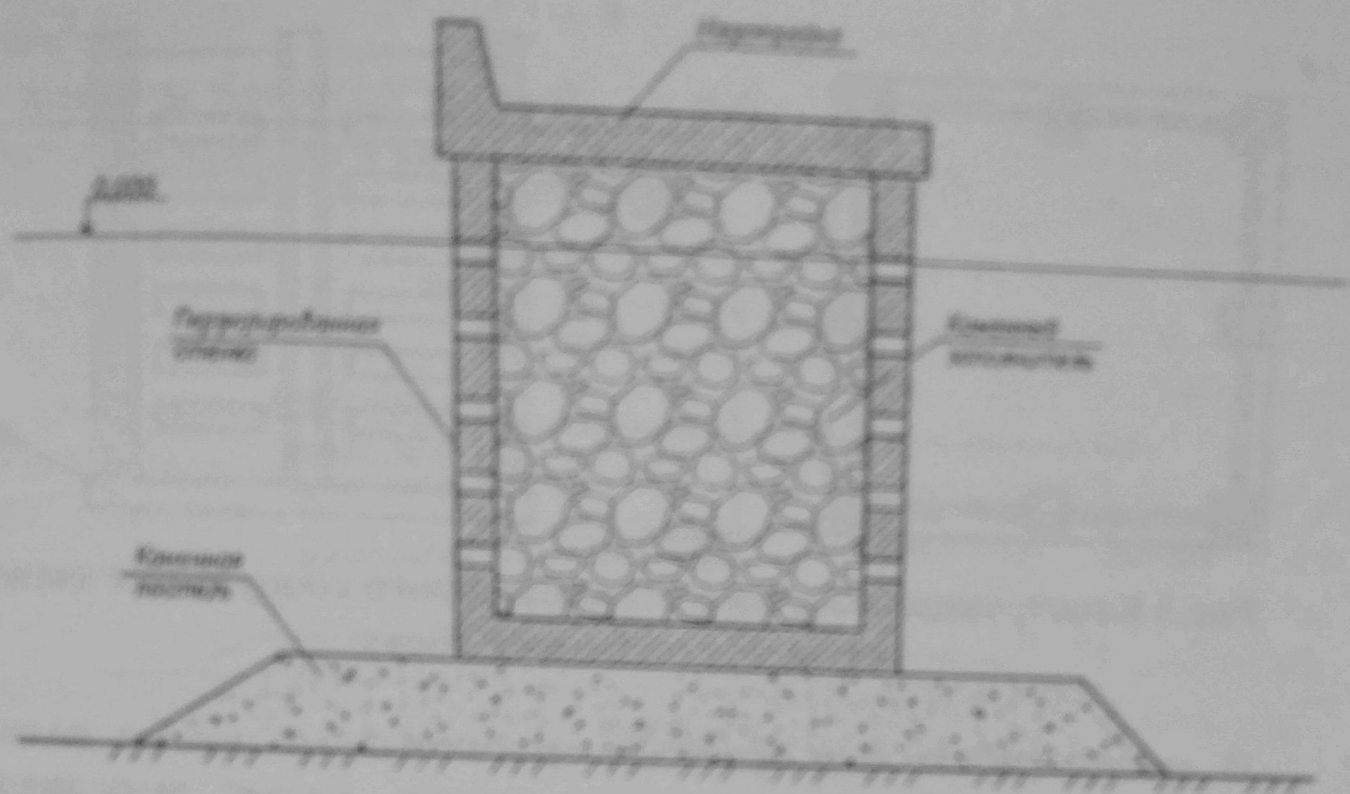


Рис.4 Оградительное сооружение ячеистого типа

Сооружение ячеистого типа представляет собой монолитный железобетонный ящик со щелями в стенках. Отверстия в стенках могут иметь различное очертание, удобное для их выполнения. Установка данной конструкции производится с баржи при помощи плавучего крана, поэтому вес ее не должен превышать грузоподъемность подъемного средства. Если вес конструкции превышает грузоподъемность крана, то конструкцию можно выполнить в виде плиты с колоннами по ее контуру. Колонны выполняются с направляющими пазами. После установки плиты на каменистую постель, в пазы монтируются ячеистые плиты (см. рис.5). Затем, образованный таким образом, ящик заполняют крупным камнем и после этого возводят надводную надстройку.

Представляется вполне очевидным, что рассмотренная конструкция преобладает рядом преимуществ по сравнению с традиционными сооружениями. Так, объемы камня будут значительно меньше с каменно-набросными сооружениями. Наличие на вертикальной лицевой поверхности щелей или других сквозных отверстий приведет к снижению, как волнового давления, так и суммарной равнодействующей волновой нагрузки. Это, в свою очередь снизит напряжение в грунтовом основании под подошвой каждого из ящиков. Кроме этого, ячеистая поверхность лицевой стенки снизит высоту залеска штормовых волн.

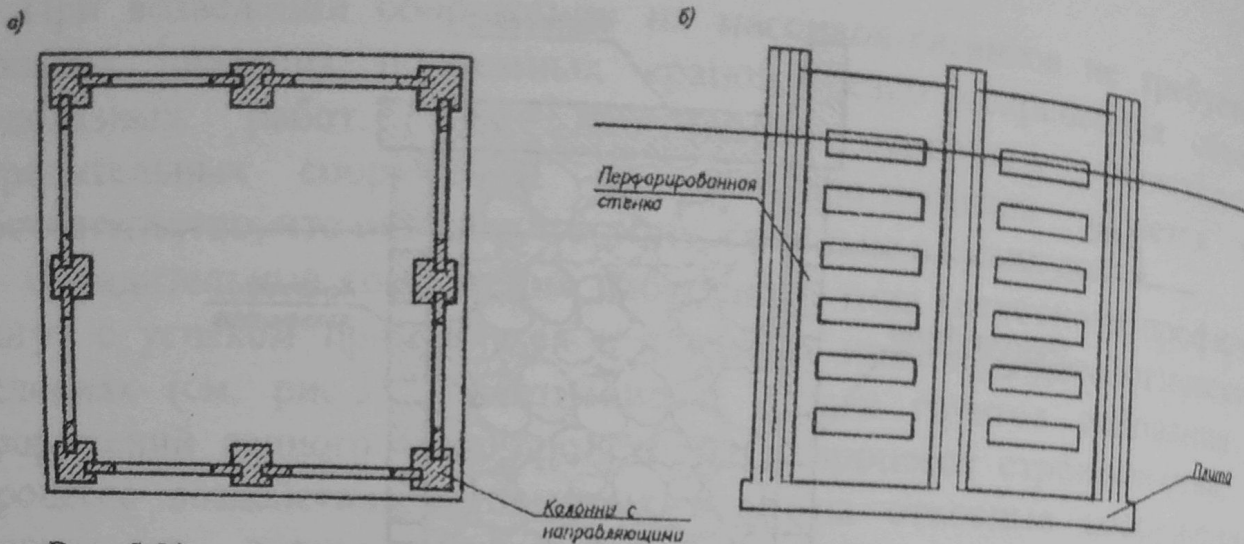


Рис.5 Конструкция сборного ограждающего сооружения ячеистого типа: а) план; б) вид сбоку

В данной работе был проведен сравнительный анализ волновых нагрузок на сплошную и ячеистую стенки. Расчет выполнялся в соответствии с действующим на территории Украины и России СНиП 2.06.04-82* /3/. В соответствии с требованиями этого нормативного документа, расчет волновых нагрузок на сооружение вертикального профиля должен выполняться при глубине воды до дна $d_b = 1.5h$. В качестве расчетных параметров были приняты: $d_r = 10$ м.; $d_a = 8$ м.; $d_b = 12$ м.; $V = 9,5$ м.; высота волны $h = 5$ м.; длина волны $\lambda = 75$ м. (см. рис.6). При этом в формуле для свободной волновой поверхности и волнового давления, вместо глубины до дна d_b , м, необходимо применять условную расчетную глубину d , м, определяемую по формуле:

$$d = d_r + k_{br}(d_b - d_r) = 10 + 0,78(12 - 10) = 11,56 \text{ м.} \quad (1)$$

Возвышение свободной волновой поверхности η , м, у вертикальной стенки, которое отсчитывается от расчетного уровня воды определяется с помощью следующей зависимости:

$$\eta = -h \cos \omega t - \frac{kh^2}{2} \text{cth} kd \cos^2 \omega t =$$

$$= -5 \cdot 1 - \frac{0,08 \cdot 5^2}{2} \text{cth}(0,08 \cdot 11,56) \cdot 1^2 = -6,45 \text{ м.} \quad (2)$$

Горизонтальную линейную нагрузку на вертикальную стенку P , кН/м, необходимо принимать по эпюре волнового давления. При этом величина p , кПа, на глубине z , м, должна определяться по формуле:

$$p = \rho g h e^{-kz} \cos \omega t - \rho g \frac{kh^2}{2} e^{-2kz} \cos^2 \omega t -$$

$$- \rho g \frac{kh^2}{2} (1 - e^{-2kz}) \cos 2\omega t - \rho g \frac{k^2 h^2}{2} e^{-3kz} \cos 2\omega t \quad (3)$$

где ρ - плотность воды, т/м³; g - ускорение свободного падения, равное

9,81 м/с²

z -ординаты точек ($z_1 = \eta_c$; $z_2 = 0$; ... $z_n = d$)

Расчет произведен в табличной форме (см. таб.).

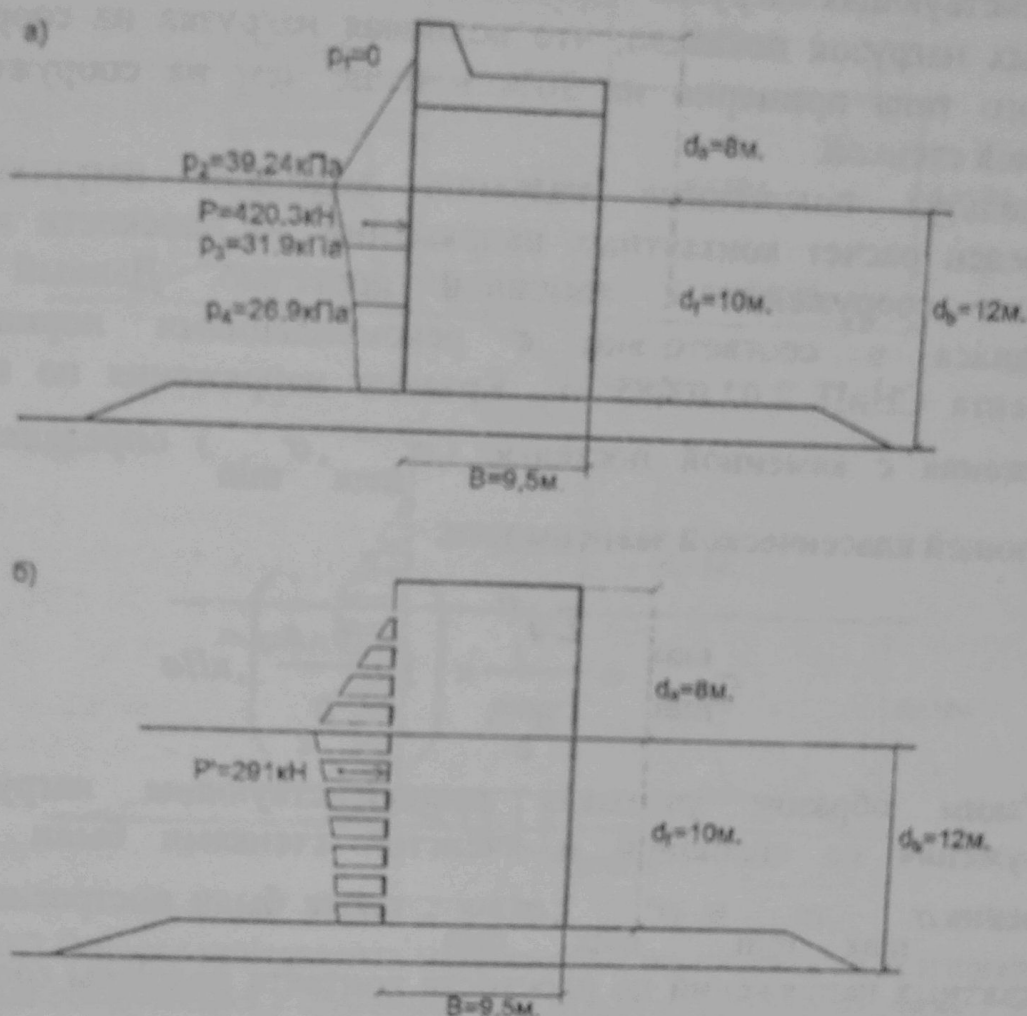


Рис.6 Эпюры волнового давления:
а) сплошная стенка; б) ячеистая стенка

Таблица

Значение волнового давления по глубине

№ точек	Заглубление точек z , м.		Значение волнового давления p , кПа	
	1	η_c	6,45	$p_1 = 0$
2	0	0	$p_2 = k_2 \rho gh$	39.24
3	$0,25d$	-2,89	$p_3 = k_3 \rho gh$	31.9
4	$0,5d$	-5,78	$p_4 = k_4 \rho gh$	26.9
5	d	-11,56	$p_5 = k_5 \rho gh$	22.0

Вычислив значение волнового давления на стенку и построив эпюру, была получена равнодействующая волновой нагрузки $P = 420,3$ кН, приложенная к сооружению, на уровне центра тяжести

эпюры. Затем из эпюры волнового давления были вырезаны участки, соответствующие размерам отверстий в стенке сооружения ячеистого типа. Используя полученную эпюру была вычислена равнодействующая нагрузки $P'=291\text{кН}$ на ячеистую стенку. Сравнение волновых нагрузок показало, что волновая нагрузка на сооружение ячеистого типа примерно на 30% меньше чем на сооружения со сплошной стенкой.

Используя полученные значения волновой нагрузки, был произведен расчет контактных напряжений по плоскости контакта подошвы сооружения с каменной постелью. Данный расчет проводился в соответствии с рекомендациями нормативного документа СНиП 2.02.02-85 /4/. Краевые напряжения по контакту сооружения с каменной постелью ($\sigma_{\max}, \sigma_{\min}$) определялись по следующей классической зависимости:

$$\sigma_{\max}^{\min} = \frac{\sum q_i^p}{B_c} \times \left(1 \pm \frac{6 \cdot e}{B_c} \right), \text{кПа} \quad (4)$$

Таким образом учитывая равнодействующие нагрузки на сооружения со сплошной и ячеистой стенками были найдены значения $\sigma_{\max}, \sigma_{\min}$ и $\sigma'_{\max}, \sigma'_{\min}$, также были построены эпюры контактных напряжений по плоскости контакта подошвы сооружения с каменной постелью (см. рис.7).

$$\sigma_{\max} = \frac{2820}{9.5} \times \left(1 + \frac{6 \cdot 1.29}{9.5} \right) = 535 \text{кПа}$$

$$\sigma_{\min} = \frac{2820}{9.5} \times \left(1 - \frac{6 \cdot 1.29}{9.5} \right) = 55 \text{кПа}$$

$$\sigma'_{\max} = \frac{2300}{9.5} \times \left(1 + \frac{6 \cdot 0.96}{9.5} \right) = 389 \text{кПа}$$

$$\sigma'_{\min} = \frac{2300}{9.5} \times \left(1 \pm \frac{6 \cdot 0.96}{9.5} \right) = 95 \text{кПа}$$

По полученным значениям видно, что максимальные контактные

напряжения в основании сооружений с ячеистыми стенками примерно на 30% меньше чем в сооружениях со сплошной стенкой.

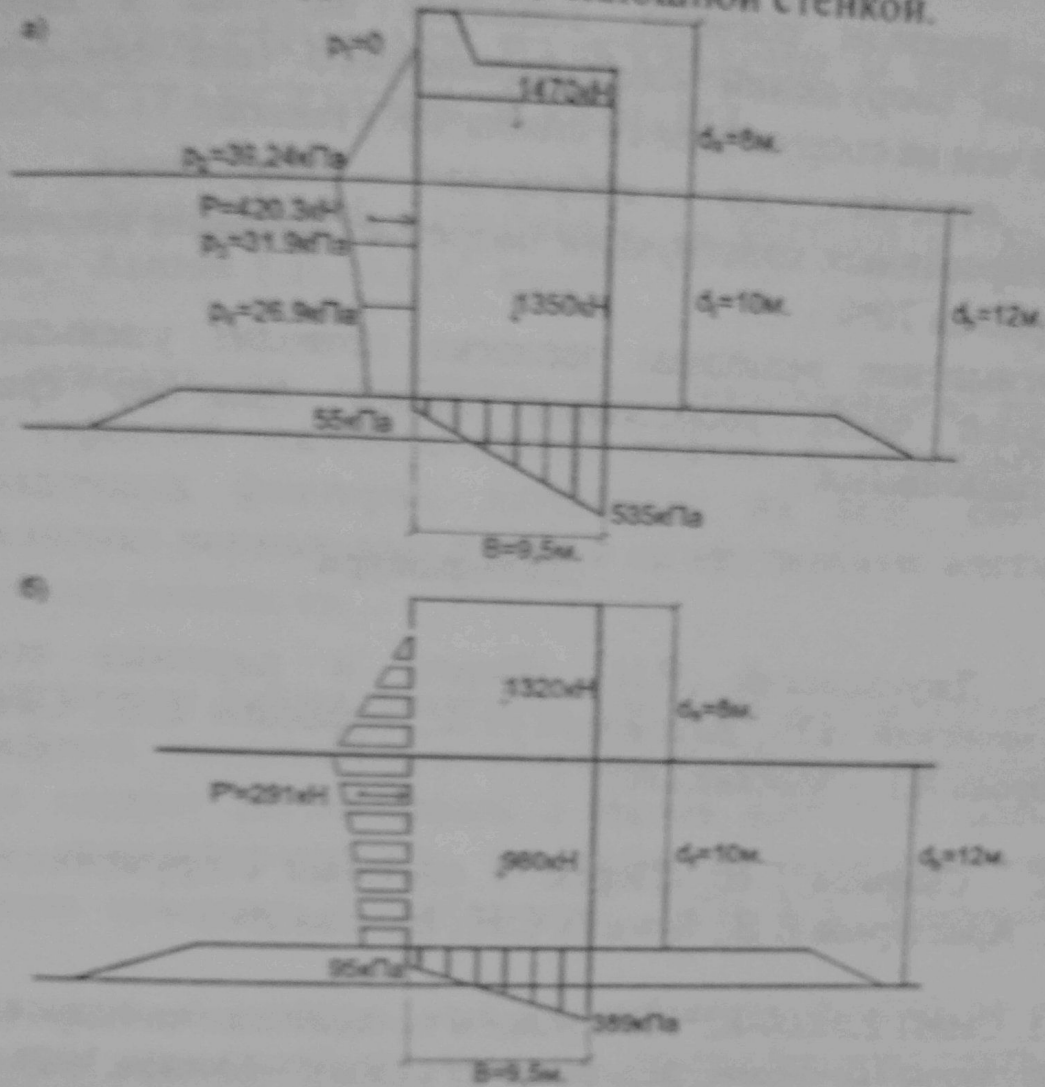


Рис.7 Эпюры контактных напряжений по плоскости контакта подошвы сооружения с каменной постелью а) сплошная стенка; б) ячеистая стенка

Как показали расчеты, в отличие от сооружений из каменной наброски для возведение конструкций комбинированного типа потребуется меньшее количество камня примерно на 70%.

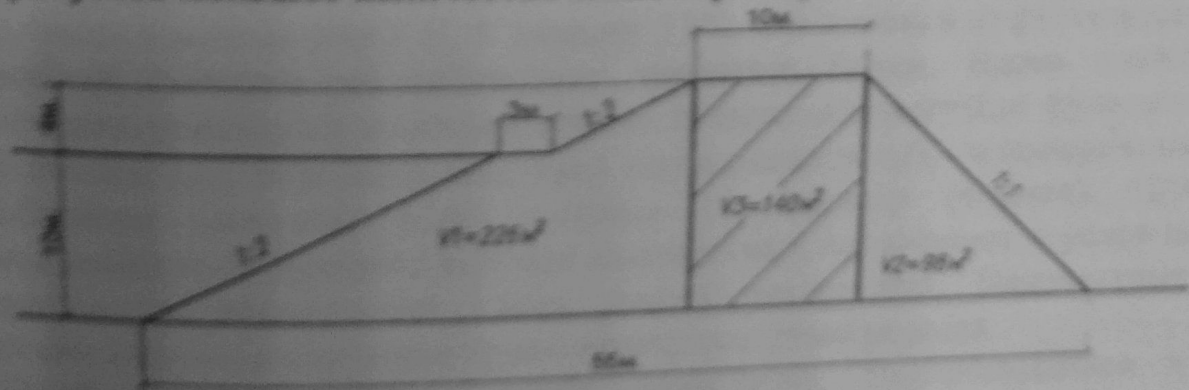


Рис.8 Сравнение объемов материала для возведения конструкций ячеистого типа и сооружений из наброски

Выводы

Как показали расчеты, волновая нагрузка и напряжения в основании сооружений комбинированного типа примерно на 30% меньше чем на сооружения со сплошной стенкой.

В отличие от набросных сооружений, возведение комбинированных конструкций потребует меньшее количество камня примерно на 70%.

Уменьшение величины запасака позволит уменьшить высоту надводной части сооружений такого типа по сравнению с гравитационными.

Литература

1. Джуиковский Н.Н. «Порты и портовые сооружения» /Джуиковский Н.Н., Каспарсон А.А., Курлович Е.В., Смирнов Г.Н., Сидорова А.Г., - Москва.1967
2. Смирнов Г.Н. «Порты и портовые сооружения» /Смирнов Г.Н., Аристархов В.В., Левчаев С.Н., Москва.2003
3. СНиП 2.06.04-82*, Нагрузки и воздействия на гидротехнические сооружения (волновые, ледовые и от судов). - Москва.1989
4. СНиП 2.02.02-85. Основания гидротехнических сооружений. - Москва.1987