

НОВОЕ ЯВЛЕНИЕ ВЫМЫВАНИЯ ГРУНТА ШЕЛЬФОВЫМ ШАГОХОДОМ

Папашвили Э.Д., Скворцова А.А.

МОУ «Гимназия №5»

Город Королёв (Юбилейный), Московская область, Россия

Шельф – это прибрежная материковая зона. На большой шельфовой площади России расположены богатые месторождения полезных ископаемых, прежде всего, углеводородов. Эти залежи приводят к актуальной проблеме шельфового транспорта. Президент Российской Федерации В.В.Путин в интервью итальянской прессе Епi отметил: "Запасы этих месторождений оцениваются в 36 млрд. баррелей, почти в три раза больше, чем запасы гигантского месторождения Кашаган. Потребуются 10 лет и почти 100 миллиардов долларов, чтобы начать добычу углеводородного сырья" [1].

Одновременно с инвестициями появилась проблема освоения этих инвестиций. На чём передвигаться по шельфовым областям? Морские платформы для добычи углеводородов бывают двух типов. Первый тип - это плавучие платформы. Самой большой в мире плавучей нефтедобывающей платформой является самоходная нефтедобывающая платформа «Erik Raude». Платформа занимает площадь около гектара, имеет водоизмещение более 52000 тонн и снабжена дизельной силовой установкой мощностью более 60000 л.с. В России подобные платформы изготавливает фирма «Коралл» в Севастополе. Недосток плавучих платформ – ограниченная грузоподъёмность, они не работают на мелководье. Второй тип – стационарные платформы. Эти платформы надо доставлять на место добычи углеводородов. Передвижение больших конструкций – это очень сложный технологический процесс. Например, платформа «Кольская» перевернулась 18 декабря 2011 года при буксировке с Камчатки на Сахалин, погибли 53 человека. Аварии с нефтедобывающими платформами могут привести к экологическим катастрофам. Например, платформа «Erik Raude» каждые сутки сжигает 12000 литров топлива. Можно представить, какой запас топлива находится на этой платформе, не говоря о добытой нефти.

Закономерен вопрос, нельзя ли перемещать большие конструкции, в том числе нефтедобывающие платформы другим способом?

Глубоководную область не рассматриваем. Для неё единственный способ применения и перемещения нефтедобывающих платформ – плавучие платформы. Но на мелководье вполне реально создать шагающие конструкции. Опоры шагающих платформ упираются в дно шельфа, работают на сжатие, поэтому могут быть выполнены из железобетона. Устойчивость таких опор очень хорошая, в том числе во время штормовой погоды. Исследование шагового способа передвижения больших конструкций по илистому

или сыпучему дну водоёма привело к открытию нового опасного для окружающей среды явления – вымыванию грунта стопой шагающего механизма [2]. Это явление настолько существенное, что потребовалось отдельное исследование возможности применения тяжёлого шагохода на шельфе. Суть явления заключается в вытеснении воды из-под стопы при её опускании на дно. При опускании стопы вода вытесняется радиально во все стороны от вертикали. Получено выражение для радиальной скорости вытесняемой воды. Радиальная скорость обратно пропорциональна высоте столба воды под стопой. В процессе приближения стопы шагохода к сыпучему дну радиальная скорость воды неограниченно возрастает. Если дно илистое или сыпучее, то частицы грунта подхватываются потоком вытесняемой воды и относятся в сторону. Под стопой образуется углубление. Площадь опоры уменьшается, давление на грунт увеличивается, стопа проваливается в это углубление. Выражение для радиальной скорости вытесняемой воды получается из гипотезы несжимаемой жидкости, то есть из уравнения неразрывности потока.

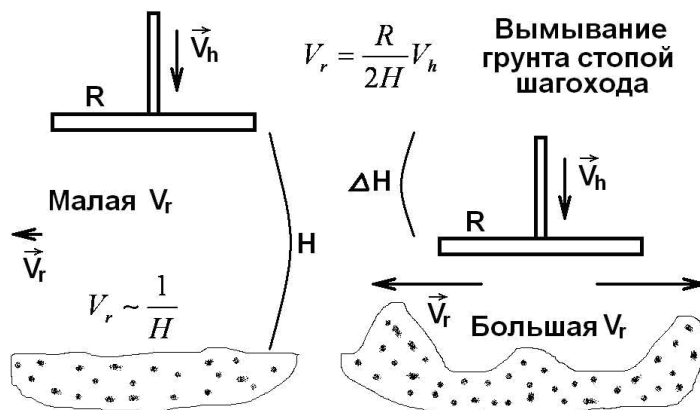


Рис.1. Физическое явление вымывания грунта стопой шагохода

Математически явление вымывания грунта описывается уравнением неразрывности потока несжимаемой жидкости и поясняется схемой, представленной на рис.1. Цель – получить выражение для радиальной скорости потока воды, вытесняемой стопой шагохода. Пусть за малое время Δt круглая стопа шагохода радиуса R опустилась с высоты H на величину ΔH , то есть до высоты $H - \Delta H$ от илистого или сыпучего дна водоёма. Тогда объём вытесненной из-под стопы воды равен объёму цилиндра $\Delta V = \pi R^2 \Delta H$. Делим обе части этого уравнения на малое время Δt опускания стопы $\frac{\Delta V}{\Delta t} = \pi R^2 \frac{\Delta H}{\Delta t}$. В левой части уравнения получается объёмный расход воды $Q_v = \frac{\Delta V}{\Delta t}$, а в правой – вертикальная скорость $V_h = \frac{\Delta H}{\Delta t}$ опускания стопы. Получаем $Q_v = \pi R^2 V_h$. Так как вода несжимаема, то объёмный

расход жидкости будет одинаковым и в вертикальном направлении, и в радиальном через боковую поверхность цилиндрической поверхности под стопой $Q_v = 2\pi RHV_r$. Приравниваем правые части двух формул для объёмного расхода воды $2\pi RHV_r = \pi R^2 V_h$. Получаем формулу для радиальной скорости вытесняемого стопой потока воды $V_r = \frac{R}{2H} V_h$. Радиальная скорость обратно пропорциональна высоте расположения стопы над илистым или сыпучим дном водоёма. При больших высотах радиальная скорость маленькая, энергии потока воды не хватает для подхвата частиц грунта. При малых высотах радиальная скорость становится большой, частицы грунта подхватываются потоком воды и относятся в сторону от стопы. Под стопой образуется углубление, в которое проваливается опора.

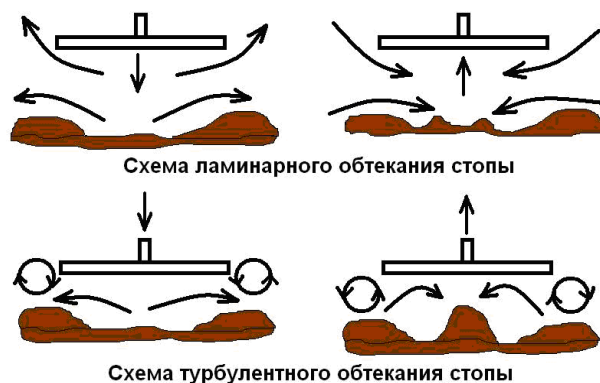


Рис.2. Два режима вымывания грунта стопой шагохода

Предложенная физическая модель вымывания грунта хорошо согласуется с известным фактом образования облака пыли при ходьбе по сыпучей поверхности. Из-за большой радиальной скорости перед касанием поверхности пыль начинает перемещаться во все стороны от стопы. При этом часто видна закрутка пыли. Это связано с двумя возможными режимами обтекания стопы. При ламинарном режиме нет завихрения потока жидкости. При турбулентном обтекании, которое наблюдается при быстром опускании стопы, поток воды вытесняется с завихрениями. Эти факты проверены экспериментально на модели сыпучего дна, расположенного под водой, на которое с различной скоростью опускалась пластина, моделирующая стопу шагохода. Подхват сыпучего грунта потоком воды схематично показан на рис.2.

В настоящее время шагающих шельфовых платформ не существует. Тяжёлые шагающие транспортные средства рассматриваются в качестве перспективных для освоения северных районов, особенно тундры [3]. Для расчёта тундрового варианта, наиболее близкого по характеристикам к шельфовому, основным показателем является снег. В снегу очень легко провалиться. Автомобилисты знают, что при движении по снегу давление в

камерах можно смело уменьшать до 1-0,5 атм. Это сопротивление снега проваливанию в него. Для сверхтяжёлого транспортного средства массой 300 тыс. тонн, в 5-6 раз тяжелее самой большой плавучей платформы Erik Raude, понадобится площадь двух опор приблизительно по 1 га. Такая ситуация вполне допустима. Есть конструкции, где фундамент шире строения. При таком реализации шагающей конструкции тундрового или арктического здания грунт не будет повреждаться, потому что давление на него меньше, чем в детском воздушном шарике. Экология тундры будет полностью сохранена в смысле воздействия на грунт и на растительность. Не будут образовываться незарастающие колеи, как от колёс или гусениц современных машин. Для справки надо вспомнить, что давление легковых автомобилей на асфальтовую дорогу, то есть давление в камерах их колёс, равно 2-3 атм, в 10-15 раз больше. А давление в камерах грузовых автомобилей и автобусов равно 5-6 атм, то есть в 20-30 раз больше. Если же окажется, что и этой площади опоры шагохода мало, то стопа может быть увеличена на месте практически неограниченно.

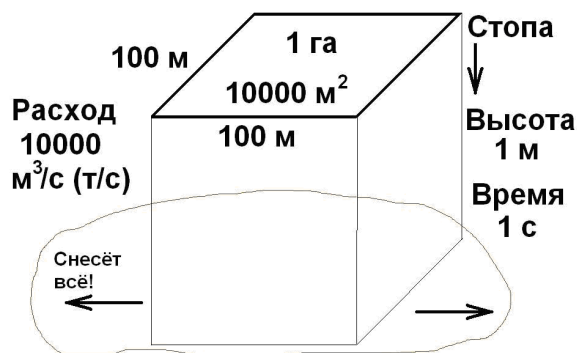


Рис.3. Схема образования безжизненного следа шельфового шагохода

Однако увеличение площади опоры и массы шагающей конструкции увеличивает радиальный вытесняемый поток воды при установки стопы-опоры на дно под водой. Оценим величину этого потока для упомянутой сверхтяжёлой конструкции шагающего транспортировщика массой 300 тыс. тонн. Одна стопа имеет площадь опоры 10000 кв. м. Если такая стопа опускается с высоты 1 метр за 1 секунду, то радиальный поток вытесняемой воды будет равен 10000 т/с. Для справки надо обратиться к учебникам Министерства по чрезвычайным ситуациям, связанным с характеристиками селей и лавин, для которых этот расход составляет 20-2000 т/с. Максимальный расход воды при экстренном сбросе на Саяно-Шушенской ГЭС находится на уровне 7000 т/с. Естественно, что следом тяжёлого шельфового шагохода будут голые камни, а вся растительность вместе с сыпучим или илистым грунтом будет отброшена в стороны от стопы-опоры. Схема образования такого безжизненного следа тяжёлого шагохода показана на рис.3.

Обнаруженное физическое явление вымывания грунта позволяет сформировать уточнённые требования к площади опор шагающего механизма, предложить конструкцию для ослабления этого явления, а также создать стопу, безразличную к вымыванию грунта, гребёнчатой или сетчатой формы, схема которой показана на рис.4.

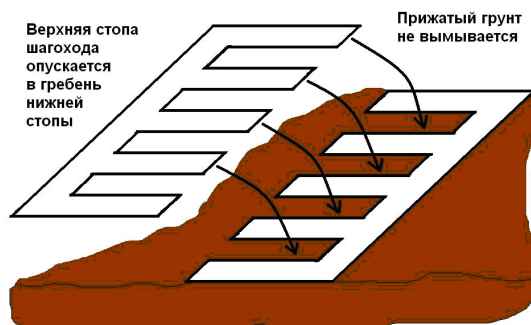


Рис.4. Антивывывающая грунт конструкция и форма стопы-опоры шельфового шагохода

Действительно, если посмотреть на лыжника, то прижатый одной лыжей снег никогда не сдвинется от давления другой лыжи. Почему бы не перенести этот принцип на стопу шагохода? Предложена конструкция антивывывающей стопы в виде гребёнчатой пластины. Один гребень опускается в пазы другого, который прижимает сыпучий грунт и предотвращает его от вымывания. Построена действующая модель такого шагохода с предложенной антивывывающей конструкцией стопы [4].

Возможность шагать по мелководному шельфу иллюстрируется действующей моделью на высоких опорах [5]. Опоры работают на сжатие, поэтому могут быть выполнены из железобетона. Проблема заключается не столько в обеспечении прочности опор, сколько в устойчивости вертикальных стержней под сжимающей нагрузкой.

БИБЛИОГРАФИЧЕСКИЙ СПИСОК

1. Ені и "Роснефть": за нефтью в Арктику // Энергобеларусь. Электронный ресурс: http://energobelarus.by/news/V_mire/eni_i_quot_rosneft_quot_za_neftyu_v_arktiku/
2. Скворцова А.А., Папиашвили Э.Д. Гидродинамика шельфового шагохода // Труды 57-й научной конференции МФТИ: Всероссийской научной конференции с международным участием «Актуальные проблемы фундаментальных и прикладных наук в области физики». – Аэромеханика и летательная техника. – М: МФТИ 24-29 ноября 2014 г. – С.65-67. – ISBN 978-5-7417-0526-1. – УДК 51:53:629.7. – ББК 22.253+39.52 Т78.
3. Папиашвили Э.Д., Скворцова А.А. Универсальная шагающая платформа для геологоразведки и нефтедобычи // Сборник тезисов Всероссийской школы-конференции студентов, аспирантов и молодых учёных "Материалы и технологии XXI века" 11-12 декабря 2014 г. / Отв. ред. А.В.Герасимов. [Электронный ресурс] - Казань.: Изд-во КФУ, 2014. – С.132. - http://media.wix.com/ugd/14a693_bb35b54325b240739e9c2499bc6d6859.pdf
4. Шагающая платформа для освоения тундры, Арктики и шельфовых областей. Электронный ресурс: <https://youtu.be/7fE2xaDLMFo>
5. Скворцова А.А., Папиашвили Э.Д. Шельфовый шагоход. Четвёртая машина. Электронный ресурс: https://youtu.be/cVx_F5zEj9o