

Создание на базе конверсионной техники установок-амфибий для очистки и углубления малых водоёмов

Кравченко В.Г., Кузьминский В.П., НИПИОкеанмаш, г. Днепропетровск

Насущная потребность в машинах для очистки и углубления малых рек, каналов и водоёмов существует как на Украине, так и за рубежом. Работы по очистке и углублению малых водоёмов зачастую не могут быть выполнены малыми земснарядами в связи с необходимостью отведения участка для складирования вынутого грунта и отстоя отработанной воды. Земснаряды для своей работы требуют достаточного количества воды в водоёме, что не всегда бывает в малых водоёмах, кроме того остатки древесной растительности создают для них значительные трудности при выемке грунта. Существующие плавающие грейферные устройства, например плавающий бульдозер с грейферным краном голландской фирмы "De Hollandsche IJssel", перемещение которого обеспечивается за счёт тросов, закореных на берегу, имеют относительно низкие эксплуатационные возможности из-за ограниченной манёвренности. Оснащение плавающих грейферных установок устройствами для самостоятельного перемещения по воде и суше существенно увеличивает стоимость машин. В практике как отечественного, так и зарубежного машиностроения по этому пути не идут.

Проблема решается при использовании установок-амфибий, высвобождающихся в результате конверсии. При этом используются следующие преимущества установок-амфибий:

- мобильность при перемещении как по суше, так и по воде;
- относительно низкая стоимость (связанные с тем, что подвижная платформа машины не разрабатывается вновь, а используется готовая и отработанная - после капитального ремонта);
- высокая надёжность в сложных условиях эксплуатации;

В качестве базовых машин для таких целей могут быть использованы гусеничные самоходные паромы (ГСП), предназначенные для переправы через водные преграды военной техники /1, 2/.

Институт НИПИОкеанмаш разработал экспериментальные образцы грейфера амфибии и самосвала амфибии на базе ГСП, которые в комплексе решают вопросы выемки грунта на воде и транспортировки его на берег. Такого типа машины могут быть с успехом использованы в зонах чрезвычайных ситуаций для ликвидации последствий наводнений, оползней и пр., где другие машины не могут работать.

При работе на малых водоёмах (имеющих и малую глубину 1 - 4 м) плавающая грейферная установка применительно к существующим габаритам понтона должна иметь наибольшую грузоподъёмность. Это достигается путём использования аутригеров, которыми установка опирается на дно для повышения остойчивости.

Тенденции в обеспечении остойчивости грузоподъёмных плавсредств можно проследить на примере - плавкранов и близких к ним по назначению топякоподъёмников

и экскаваторных земснарядов, несущей опорой которых служит понтон. Необходимым условием работы этих машин является обеспечение малых углов крена и дифферента при нагрузке стрелы. У некоторых морских кранов, у которых операции подъёма груза являются длительными и нерегулярными, угол дифферента достигает 7° , крена 5° /3/. У плавсредств малой грузоподъёмности, операции подъёма у которых являются циклическими и связанными с интенсивной работой поворотного устройства, углы дифферента и крена принимаются меньшими для снижения высоты борта и водоизмещения, а так же облегчения проведения технологического процесса. Малые углы наклона плавсредства под грузом обеспечиваются увеличенной площадью ватерлинии (габаритами понтона) по сравнению с другими плавсредствами.

Для оценки потребных габаритов понтона и водоизмещения грузоподъёмных плавсредств на основании реализованных разработок могут быть использованы два параметра:

$$\Phi = M_{\text{н}} / (\gamma_{\text{в}} \cdot L^2 \cdot F^2) - \text{эквивалентный углу крена}$$

$$\text{и } [h \cdot \varphi] = M_{\text{н}} / \gamma_{\text{в}} \cdot V,$$

где

$$M_{\text{н}} = G_{\text{п}} \cdot R - \text{момент от полезного груза;}$$

$G_{\text{п}}$ - полезный груз, перемещаемый (поднимаемый) стрелой;

R - вылет стрелы от оси поворотного устройства;

F - площадь ватерлинии;

$\beta = B/L$ (B, L - ширина и длина понтона по ватерлинии);

h - метацентрическая высота;

φ - угол крена;

$\gamma_{\text{в}}$ - удельный вес воды;

V - водоизмещение, м³.

Статистическая обработка охватывала плавсредства грузоподъёмностью от 0,25 тс до 2000 тс /3 – 5/. Статистическая обработка выявила существование функциональной зависимости параметров Φ и $[h \cdot \varphi]$ от момента $M_{\text{п}}$

$$[h \cdot \varphi] = 0,21 \cdot (M_{\text{п}})^{0,25}.$$

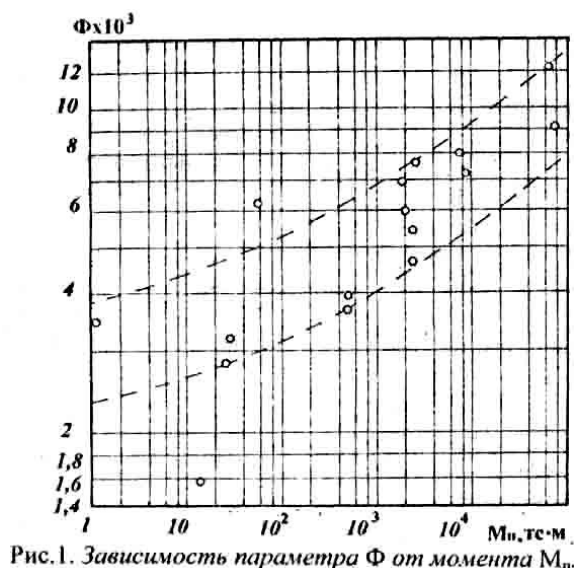


Рис.1. Зависимость параметра Φ от момента $M_{п}$.

Графическая зависимость параметра Φ от момента $M_{п}$ представлена на рис 1.

Установленные функциональные зависимости $\Phi (M_{п})$ и $[h \cdot \varphi] (M_{п})$ позволяют выполнить предварительную оценку габаритов понтона (без аутригеров) и его водоизмещения по заданному $M_{п}$:

$$F \approx \sqrt{\frac{M_{п}}{(\Phi \cdot \gamma_e \cdot \rho)}};$$

$$L = \sqrt{\frac{F}{\rho}};$$

$$B = L \cdot \beta ;$$

$$\gamma_B \cdot V \approx M_{п} / [h \cdot \varphi]$$

Использование аутригеров существенно уменьшает габариты и водоизмещение установок. Так, если эти машины выполнить без аутригеров, то машина УОК /2/ (с двумя аутригерами) должна иметь габариты 5,1× 15,6 м вместо 3× 9,1 м и водоизмещение на ~50% больше, машина фирмы "De Hollandsche IJssel" (с четырьмя аутригерами) соответственно 4,8× 11,1 м вместо 2× 5,2 м и водоизмещение на ~75% больше.

В зависимости от назначения машины для опоры на дно может использоваться от двух до четырёх аутригеров. Две опоры целесообразно использовать при работе стрелой в секторе незначительно превышающем 180° ; в этом случае поворотное устройство стрелы выдвинуто от центра масс в зону работ. При круговой работе стрелы опора машины должна осуществляться на четыре аутригера.

По прочностным соображениям на дорабатываемых амфибийных установках типа ГСП использование двух аутригеров является единственно возможным решением. Использование двух опор, как в машине УОК, позволяет исключить крен машины, упрощает конструкцию и подготовку к работе (выставку в рабочее положение аутригеров) машины на воде, но является причиной изменения дифферента при работе стрелой. Машина, опёртая на дно четырьмя аутригерами, работает без крена и дифферента. Примером такой машины является плавающий бульдозер фирмы "De Hollandsche IJssel" оснащенный бульдозерным ножом и стрелой с грейфером.

При решении компоновочных задач, связанных с выбором положения пят аутригеров (для машины с двумя аутригерами) и положения оси поворота стрелы, которые влияют на устойчивость машины, необходимо:

- 1) обеспечить симметричность крайних угловых положений по дифференту (при выставке аутригеров и переднем положении стрелы с грузом) относительно горизонтального положения машины;
- 2) свести к минимуму угловое перемещение машины по дифференту при работе стрелой;

3) свести к минимуму нагрузки на пяты при работе стрелой. Снижение нагрузки на пяты необходимо для уменьшения опорной поверхности, что особенно заметно при работе на слабо несущих грунтах. При этом предполагается, что горизонтальному смещению пят при работе машины препятствует не только сила трения их о грунт, а, при необходимости, и установленные на пятах рёбра. Для исключения заливаемости машины при её наклоне в диаметральной плоскости в общем случае крайние угловые эксплуатационные положения должны быть симметричными относительно горизонтального положения. Могут однако быть и отклонения от этого правила, связанные с особенностями конструкции машины.

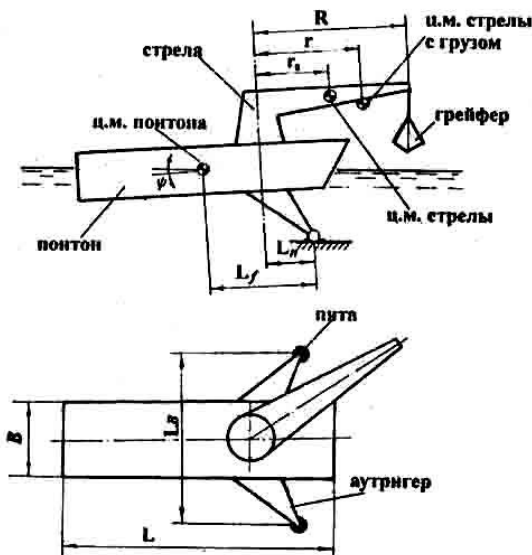


Рис. 2. Схема машины с двумя аутригерами

Схема машины с двумя аутригерами показана на рис. 2. У таких машин вынос грейфера относительно оси поворота стрелы R больше бокового выноса пят аутригеров $L_b/2$. Для обеспечения устойчивости машины при боковом положении стрелы с грузом производится дополнительное нагружение пят аутригеров при их переводе из транспортного в рабочее положение. Нагружение пят достигается принудительным упором пят о дно за счёт подъёма понтона. При этом машина получает дифферент на корму. Ввиду малой высоты надводного борта у машин такого класса необходимо обеспечить симметрию отклонений машины в

процессе работы в диаметральной плоскости относительно горизонтального положения. Угол дифферента на корму при выставке аутригеров перед началом работы должен быть равен по модулю дифференту на нос при переднем положении стрелы с грузом.

$$|\Psi_{\text{выс}}| = |\Psi_{\text{пер}}|,$$

где

$\Psi_{\text{выс}}$ - дифферент машины при выставке аутригеров в рабочее положение (стрела находится в транспортном, заднем, положении);

$\Psi_{\text{пер}}$ - дифферент машины при переднем положении стрелы с грузом;

$$\Psi_{\text{выс}} = \psi_0$$

$$\Psi_{\text{пер}} = \psi_0 + \psi_{\text{пер}},$$

где

ψ_0 - дифферент понтона при выставке аутригеров (стрела в транспортном положении);

$\psi_{\text{пер}}$ - изменение дифферента при переднем положении стрелы с грузом.

Откуда следует, что $\psi_0 = 0,5\psi_{пер}$.

Наибольшее изменение дифферента имеет место при переднем положении стрелы с грузом:

$$\mu'_{пер} = \frac{G_n \cdot L_n - G_o \cdot r - G_{oo} \cdot r_o}{\gamma_e \cdot (J_{\text{пл}} + F \cdot L_f^2)}$$

где

G_n - вес грунта в грейфере;

G_o - суммарный вес полезного груза и стрелы;

G_{oo} - вес стрелы (без полезного груза);

L_n - расстояние по горизонтали между пятой и осью поворота стрелы;

r - положение центра тяжести полезного груза и стрелы относительно оси её поворота;

r_o - положение центра тяжести стрелы относительно оси её поворота;

$J_{\text{пл}}$ - момент инерции площади ватерлинии относительно поперечной оси (лежащей в плоскости мидель-шпангоута и проходящей через центр ватерлинии);

L_f - расстояние по горизонтали в диаметральной плоскости от пяты до центра площади ватерлинии.

Потребный угол дифферента при выставке аутригеров (стрела находится в транспортном положении) для обеспечения боковой устойчивости машины составляет:

$$\mu'_0 = \frac{1}{J_{\text{пл}} \cdot \gamma_e} \cdot \left\{ L_f \cdot \left[2G_0 \frac{r}{L_b} - G_n + \frac{L \cdot L_f}{J_{\text{пл}} + F \cdot L_f^2} (G_n \cdot L_n - G_{oo} \cdot r_o) \right] + G_{oo} \cdot (r_o + L_n - L_f) \right\}$$

где

L_b - расстояние между центрами пят аутригеров.

При переднем положении стрелы суммарная нагрузка на пяты (распределение нагрузки между пятами считается равномерным) равна

$$R_n = R_{n,пер} = G_0 \left[\frac{2r}{L_b} + \frac{F \cdot L_f \cdot r}{J_{\text{пл}} + F \cdot L_f^2} \right]$$

при боковом (расчётным случаем является нагрузка на одну пяту)

$$R_{\kappa} = R_{\kappa \text{ вогн}} = G_0 \cdot \frac{2r}{L_b}$$

Параметрами, которыми можно варьировать при создании навесного оборудования являются L_n , L_b , L_f ; остальные вытекают из технического задания на разработку. Из материалов проработок следует, что выносить пяты вперёд за пределы корпуса машины неэффективно, так как изменение дифферента в этом случае не превышает одного градуса. В пределах корпуса их следует располагать как можно дальше от центра масс для снижения изменения дифферента при работе стрелой. Эффективным средством снижения нагрузки на пяты является увеличение расстояния L_b между ними.

Для обеспечения устойчивости на воде при работе стрелой машины с четырьмя аутригерами перед началом работ производится их выставка в рабочее положение. Для этого корпус машины с помощью аутригеров на определённую величину поднимается относительно поверхности воды, при этом создается необходимая нагрузка $R_{по}$ на пяты аутригеров. Наглядным способом контроля нагрузки пят является величина подъёма ватерлинии над поверхностью воды. Косвенно нагрузку пят можно контролировать по величине давления в гидроцилиндрах выпуска аутригеров.

В принятых обозначениях в статической постановке условие устойчивости может быть выражено уравнением

$$G_0 \cdot r = (R_{\kappa \text{ вогн}} + G_{\kappa}) \cdot \frac{L_b}{2}$$

где L_b - минимальное расстояние между пятами по ширине машины.

Нагрузка на пяты при выставке аутригеров равна

$$R_{\kappa \text{ вогн}} = F \cdot \xi \cdot \gamma_e$$

где ξ - подъём ватерлинии над поверхностью воды при выставке аутригеров.

Величина L_b выбирается с учётом компоновочных соображений. В отличие от машины с двумя аутригерами требования по исключению отрыва пят от грунта (в данном случае двух) менее жёсткие, так как, даже в случае отрыва от грунта двух пят, машина будет продолжать опираться на две пяты, что исключает её поворот при перемещении стрелы.

ВЫВОДЫ

1. На машинах с малым водоизмещением, предназначенных для работы на мелких водоёмах с ограниченной акваторией, для повышения устойчивости целесообразно использовать аутригеры, которые способствуют снижению водоизмещения машины (до ~ 50% - 75%), тем самым повышая её маневренность на воде и суше.

2. При круговой работе стрелой машина должна быть оснащена аутригерами в количестве, обеспечивающем её устойчивое положение на грунте (в существующих конструкциях - четырьмя аутригерами). Для рабочего перемещения стрелы с грузом, охватывающего сектор около 180° , с целью снижения веса машины и упрощения её конструкции предпочтительно устанавливать два аутригера.

3. Оснащение машины более чем двумя аутригерами позволяет исключить крен и дифферент её на воде при повороте стрелы. Использование двух аутригеров позволяет исключить только крен машины.

4. Для обеспечения устойчивости на воде машин с аутригерами при работе стрелой пяты аутригеров до начала работ должны быть нагружены путём принудительного упора аутригеров (поднятием понтона) о грунт.

5. Для машины с двумя аутригерами с увеличением выноса пят относительно центра масс вперед изменение дифферента при работе уменьшается; выносить пяты за пределы корпуса (по длине) не эффективно.

Эффективное снижение нагрузок на пяты может быть достигнуто увеличением расстояния между пятами.

Список использованных источников

1. Кузьминский В.П. Установки-амфибии для очистки и углубления малых рек, каналов и водоёмов. Сборник тезисов докладов. Научная программа НАТО и стран - ассоциированных членов. Конференция по перспективным исследованиям (ARW) КОНВЕРСИЯ и ЭКОЛОГИЯ Днепропетровск, апрель 1997 г. - 192 с.

2. Установка для очистки каналов (УОК). Эксплуатационные параметры машины в основных рабочих состояниях: Технический отчёт/ НИПИОкеанмаш; - ТО 004.001-92; - Днепропетровск, 1992 г. - 116 с.

3. Военно-морской флот России. Альбом технических средств, оснастки и приспособлений, применяемых при судоподъёмных работах. Санкт-Петербург, 1992 г. - 78 с.

4. Номенклатурный каталог. Строительные, дорожные, мелиоративные, лесо- и торфозаготовительные, коммунальные, ручные и отделочные машины, планируемые к выпуску в 1990 году, М.: ЦНИИТЭстроймаш, 1990 г. - 96 с.

5. Информационные материалы опытного завода специализированного строительного объединения по сооружению подводных речных переходов трубопроводов "Подводтрубопроводстрой". Петрокрепость, Ленинградской обл. 1993 г.