

## **СРАВНЕНИЕ ВОДОХОДНЫХ КАЧЕСТВ ИЗДЕЛИЙ БТР-3Е И БТР-4Е**

Отличительной особенностью военной техники является ее высокая проходимость при сохранении подвижности и маневренности. Техника, обладающая большей проходимостью, способна обеспечить тактические, а в некоторых случаях и стратегические преимущества. Поэтому вопрос повышения проходимости военной техники является постоянно актуальной задачей.

Одним из аспектов повышения проходимости легкобронированной колесной техники является совершенствование ее водоходных качеств, которые позволяют преодолевать сложные водные преграды. Однако поведение плавающей военной машины наиболее полно можно изучить только при ее испытании в натурных условиях. Такие исследования позволяют определить параметры ее движения, выявить физическую картину взаимодействия с водой в зависимости от условий эксплуатации. Ходовые испытания позволяют также выявить особенности движения машины и её характеристики. В результате таких испытаний могут быть сформированы рекомендации по совершенствованию конструкции и безопасности эксплуатации исследуемой машины.

Одним из методов определения водоходных качеств плавающей машины и выявления путей их совершенствования является сравнительный анализ характеристик плава однотипных машин. Таким образом, в данной работе представлены результаты сравнительного анализа изделий БТР-3Е и БТР-4Е разработки ГП ХКБМ, при движении на плаву.

С целью сравнения характеристик водоходных качеств изделий проведен анализ расчетной и экспериментальной оценки плавучести БТР-4Е, полная масса которого составляет  $G = 21568$  кг и плавучести БТР-3Е массой  $G = 15865$  кг, а также их модификаций. Основные характеристики базовых изделий приведены в таблице 1.

*Таблица 1*

**Параметры базовых изделий**

| <b>Наименование,<br/>Размерность</b> | <b>Обозначение</b> | <b>Изделие</b> |                                           |
|--------------------------------------|--------------------|----------------|-------------------------------------------|
|                                      |                    | <b>БТР-3Е</b>  | <b>БТР-4Е</b>                             |
| Масса изделия, кг                    | $G_{\text{изд}}$   | 15685          | 21568                                     |
| Количество колес                     | —                  | 8              | 8                                         |
| Тип водоходного движителя            | —                  | водомер        | разнесенные<br>гребные винты в<br>насадке |

Одной из основных характеристик плавучести машины является расположение ее ватерлинии. На рис. 1 и 2 приведено расположение ватерлинии изделий БТР-3Е и БТР-4Е, полученные расчетным путем. Параметры плава изделий приведены в таблице 2.

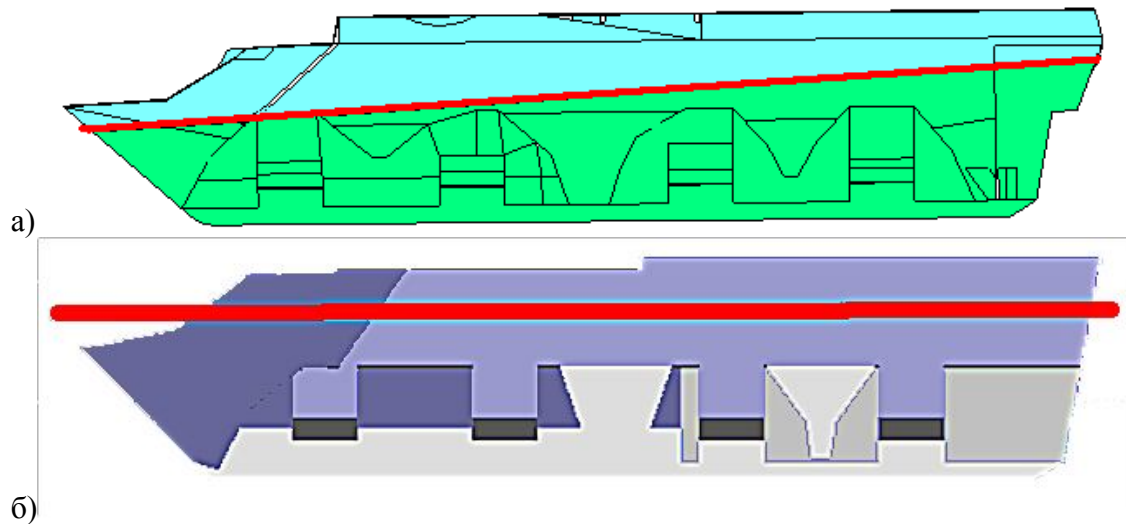


Рис. 1 Сравнение расположения ватерлинии изделий БТР-3 (а) и БТР-4 (б) (вид сбоку)

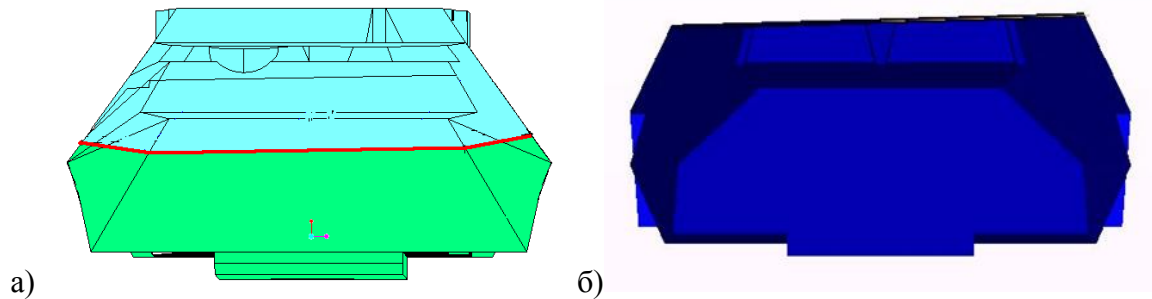


Рис. 2 Сравнение расположения ватерлинии изделий БТР-3 (а) и БТР-4 (б) (вид спереди).

Таблица 2

Сравнение водоходных качеств

| Наименование,<br>размерность                                                | Обозна-<br>чение | Изделие              |                      |                      |                      |
|-----------------------------------------------------------------------------|------------------|----------------------|----------------------|----------------------|----------------------|
|                                                                             |                  | БТР-3Е               | БТР-3Е1              | БТР-4Е               | БТР-4Е1              |
| Результаты испытаний                                                        |                  |                      |                      |                      |                      |
| Масса, кг                                                                   | G <sub>изд</sub> | 15865                | 15980                | 21568                | 22082                |
| Угол дифферента, град                                                       | ψ                | 2°15′                | 2°15′                | -0°8′                | 1°35′                |
| Угол крена, град                                                            | θ                | 2°5′                 | 2°5′                 | 1°55′                | 20′                  |
| Скорость плава, км/ч                                                        | v                | 10,17                | 8,1                  | 5,8                  | 5,1                  |
| Глубина водоема, м                                                          | h                | до 8                 | до 8                 | 3,5 - 4              | 2,6 – 2,8            |
| Источник данных                                                             |                  | Акт №81<br>(ПИ)      | Акт<br>№160<br>(ТИ)  | Акт<br>№157<br>(ГИ)  | Акт от<br>0.4.04.14  |
| Расчетные данные                                                            |                  |                      |                      |                      |                      |
| Водонепроницаемый объ-<br>ем корпуса, м <sup>3</sup>                        | V <sub>Н</sub>   | 20,89                | 20,9                 | 26,1                 | 26,2                 |
| Объемное водоизмещение<br>машины, м <sup>3</sup>                            | V <sub>М</sub>   | 15,86                | 16                   | 21,57                | 22                   |
| Запас плавучести, %                                                         | K <sub>з,п</sub> | 31,7                 | 30,7                 | 21                   | 18,96                |
| Площадь поперечного се-<br>чения подводной части<br>машины. мм <sup>2</sup> | S                | 3,13 10 <sup>6</sup> | 3,23 10 <sup>6</sup> | 3,84 10 <sup>6</sup> | 4,25 10 <sup>6</sup> |

Как видно из таблицы 2, изделия БТР-4Е и БТР-4Е1 имеют большую массу в

сравнении с аналогами на базе БТР-3Е. Несмотря на меньший водонепроницаемый объем корпуса БТР-3Е и БТР-3Е1 имеют больший запас плавучести, чем изделия на базе БТР-4Е. Также как показывают результаты ходовых испытаний, изделие БТР-3Е обладает лучшими водоходными качествами по сравнению с БТР-4Е.

Это может быть связано с меньшей осадкой и наличием у БТР-3Е дифферента на корму  $2^{\circ}15'$ , что обеспечивает данному изделию возвышение носовой части над водой. В случае БТР-4Е имеется небольшой дифферент на нос, что приводит к полному погружению носовой части в воду (см. рис. 1 и 2). Большая осадка и погруженность носовой части изделия БТР-4Е приводит к увеличению лобового сопротивления движению на плаву, которое прямо пропорционально площади поперечного сечения подводной части машины. Поэтому можно утверждать, что сопротивление движению на плаву изделия БТР-4Е в среднем на 18% превышает аналогичный показатель изделия БТР-3Е (таблица 2).

Кроме того, при поднятом волноотражателем щите на изделии БТР-4Е создается дополнительное сопротивление движению. Это происходит за счет того, что вода свободно обтекает щит, после чего инерциально воздействует на верхнюю часть носа изделия, создавая дополнительное сопротивление и увеличивая массу перемещаемой воды.

Таким образом, для повышения водоходных качеств изделия БТР-4Е, необходимо снизить его массу, для уменьшения осадки, что при сложившейся концепции машины проблематично, либо провести конструктивную доработку корпуса и волноотражающего щита, для оптимизации водяного потока обтекающего бронетранспортер и снижения сопротивления плаву.

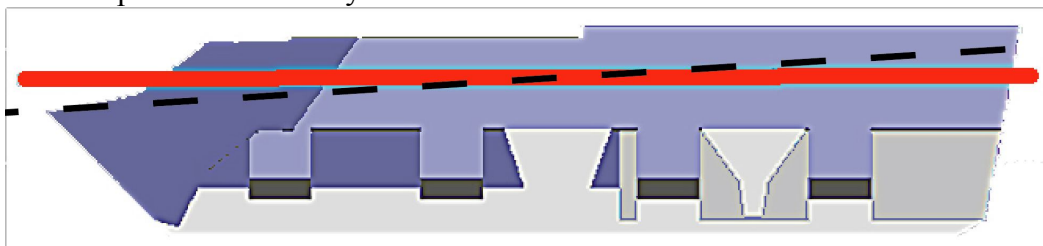


Рис. 3 Расположение фактической и теоретической (пунктирная линия) ватерлиний.

Еще одним фактором, обеспечивающим лучшие водоходные качества изделия БТР-3Е, является значительный дифферент этого изделия на корму и соответственно положительный угол атаки днища относительно набегающего потока воды. Поэтому еще одним из способов повышения водоходных качеств БТР-4Е может служить обеспечение дифферента на корму (более  $3,45^{\circ}$ ) исходного изделия за счет перераспределения масс внутри и снаружи корпуса. Предполагаемое расположение ватерлинии в этом случае показано на рис. 3 пунктиром.

**Анализ влияния глубины водоема на скорость плава.** Испытания изделий БТР-3Е и БТР-4Е на плаву производились на водоемах различной глубины, при этом известно, что глубина водоема оказывает влияние на сопротивление движению на плаву и соответственно скорость плава изделия. Для корректного сравнения водоходных качеств изделий необходимо произвести оценку влияния глубины водоема на скорость плава рассматриваемых изделий.

Известно [1], что сила сопротивления  $R_o$  движению изделия в воде, зависит от отношения осадки изделия  $T_o$  к глубине  $h$  водоема под изделием, уменьшаясь с увеличением глубины водоема.

Испытания изделия БТР-4 проводились в водоеме со средней глубиной  $3,5 \div 4,0$  м, при этом скорость плава составляла  $V = 5,8$  км/ч [2]. Оценим, на сколько

увеличится скорость движения при более глубокой воде.

Рассматривается равномерное движение на плаву, когда сила сопротивления плаванию равна силе тяги водоходного движителя  $P_\partial$ .

В соответствии с [1] можно записать:

$$R_s = P_\partial = K_h \cdot \frac{\rho}{g} \cdot F \cdot V^{2+0,2 \cdot F_r}, \text{ [кгс]}, \quad (1)$$

где  $K_h$  – коэффициент сопротивления движению на воде, для колесных машин с независимой подвеской равный:

$$K_h = 0,42 \cdot \left[ 0,41 \cdot e^{\frac{T_o}{h}} - 0,032 \cdot e^{-\frac{T_o}{h}} \cdot \ln\left(\frac{h}{T_o}\right) \right]; \quad (2)$$

$\rho$  – плотность воды,  $1000 \text{ кгс/м}^3$ ;

$g = 9,8 \text{ м/с}^2$  – ускорения силы тяжести;

$F$  – площадь поперечного сечения корпуса и ходовой части;

$F_r$  – число Фруда, равное:

$$F_r = \frac{V}{\sqrt{g \cdot L}},$$

где  $L$  – длина ватерлинии.

При  $L = 6,553 \text{ м}$

$$F_r = 0,124 \cdot V$$

При постоянных силе тяги и геометрических размерах погружаемой части изделия, скорость движения на плаву будет зависеть от величины коэффициента  $K_h$ .

Определим зависимость коэффициента  $K_h = f(h)$  при  $T_o = 2,045 \text{ м}$ . Данные расчета приведены в таблице 3 и на рис. 4.

Таблица 3

| Коэффициента сопротивления движению |       |       |       |       |       |       |
|-------------------------------------|-------|-------|-------|-------|-------|-------|
| $h \text{ [м]}$                     | 2     | 3     | 4     | 5     | 10    | 30    |
| $K_h$                               | 0,479 | 0,338 | 0,282 | 0,251 | 0,194 | 0,151 |

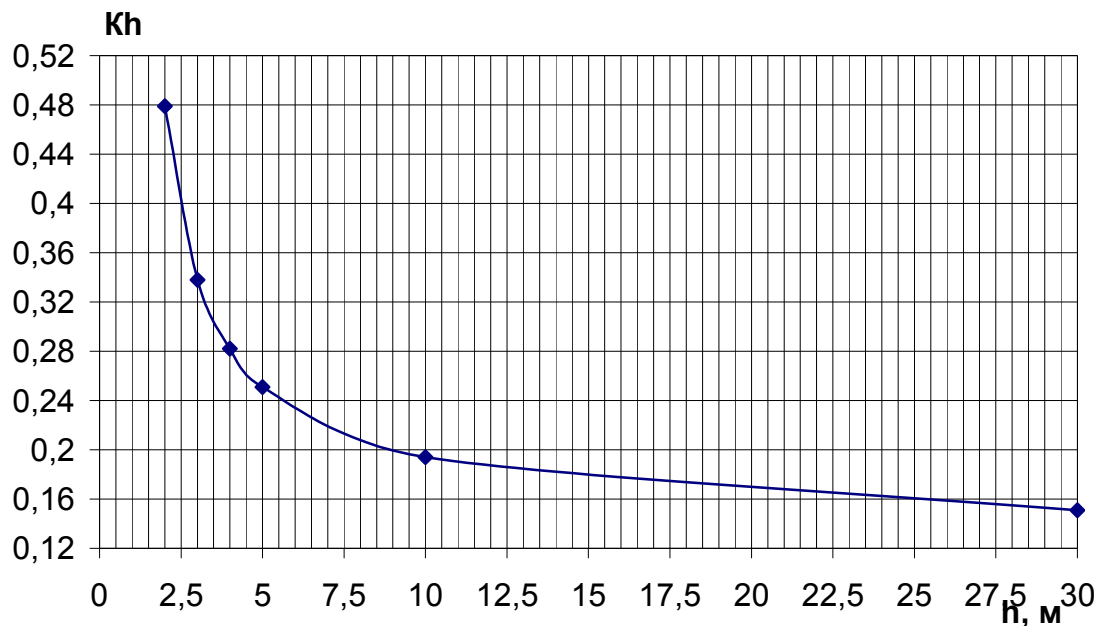


Рис 4. Зависимость коэффициента сопротивления движению от глубины водоема.

Представим неизменную часть выражения (1) в следующем виде:

$$A_V = \frac{P_o \cdot g}{\rho \cdot F},$$

тогда можно записать

$$\frac{A_V}{K_h} = V^{2+0,2 \cdot 0,124 \cdot V}.$$

При  $V = 1,67 \div 2,22$  м/с ( $6 \div 8$  км/ч) можно записать

$$V^2 \approx \frac{A_V}{K_h} \quad (3)$$

Пусть, в результате эксперимента при  $h = h_o$  была получена скорость плава  $V = V_o$ , тогда при  $h = h_i$  скорость плава должна быть  $V = V_i$ .

Учитывая соотношение (2), запишем

$$\frac{V_o}{V_i} = \sqrt{\frac{K_{h_i}}{K_{h_o}}},$$

$K_{h_o}$  – коэффициент сопротивления при  $h = h_o$ ;

$K_{h_i}$  – коэффициент сопротивления при  $h = h_i$ .

Откуда:

$$V_i = V_o \cdot \sqrt{\frac{K_{h_o}}{K_{h_i}}}. \quad (4)$$

На основании формул (3) и (4) в таблице 4 представлена, а на рис. 5 построена зависимость  $V = f(h)$ .

Таблица 4

| Скорость плава БТР-4Е |       |       |       |       |       |       |
|-----------------------|-------|-------|-------|-------|-------|-------|
| $h$ [м]               | 2     | 3     | 4     | 5     | 10    | 30    |
| $V_i$ [км/ч]          | 4,628 | 5,509 | 6,033 | 6,389 | 7,273 | 8,251 |

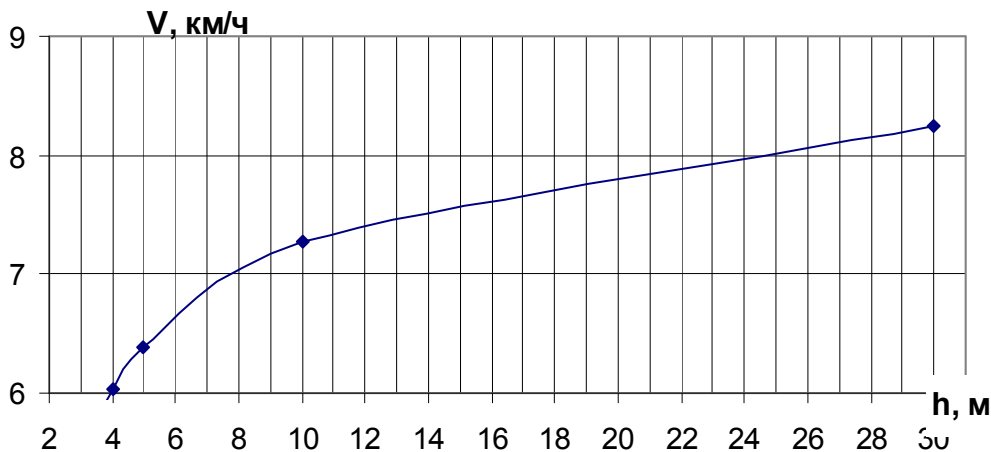


Рис 5. Изменение скорости плава БТР-4Е в зависимости от глубины водоема.

Как видно из рис. 5 скорость на плаву 8 км/ч достигается при глубине водоема 25 метров.

В случае БТР-3Е испытания проводились в водоеме со средней глубиной 8 м, при этом скорость плава составляла  $V = 10,17$  км/ч.

Определим зависимость коэффициента  $K_h = f(h)$  при осадке в среднем сечении

изделия  $T_o = 1,601$  м. Данные расчета приведены в таблице 5 и на рис. 6.

Таблица 5

| Коэффициент сопротивления движению |       |       |       |       |       |
|------------------------------------|-------|-------|-------|-------|-------|
| $h$ [м]                            | 2,0   | 3,0   | 4,0   | 5,0   | 10    |
| $K_h$                              | 0,382 | 0,289 | 0,249 | 0,226 | 0,181 |

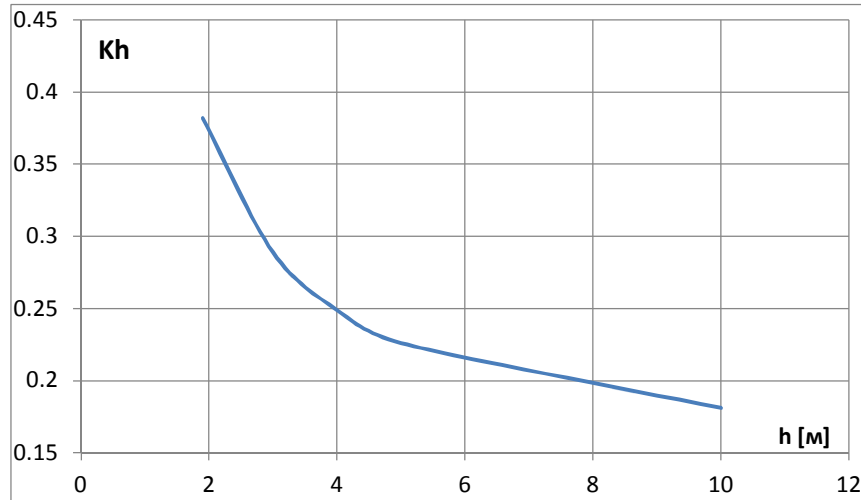


Рис 6. Зависимость коэффициента сопротивления движению от глубины водоема.

На основании формул (3) и (4) в таблице 6 представлена, а на рис. 7 построена зависимость  $V = f(h)$ .

Таблица 6

| Скорость плава БТР-3Е |     |     |       |       |        |
|-----------------------|-----|-----|-------|-------|--------|
| $h$ [м]               | 2   | 3   | 4     | 5     | 10     |
| $V_i$ [км/ч]          | 7,1 | 8,3 | 8,951 | 9,388 | 10,489 |

В частности получено, что на глубине  $h = 3$  м скорость плавания изделия составляет:

$$V_{i/h=3} = V_o \cdot \sqrt{\frac{K_{h_o}}{K_{h_i}}} = 10,17 \cdot \sqrt{\frac{0,193}{0,289}} = 8,3 \text{ км/ч},$$

что несколько больше скорости изделия на плаву, указанной в ТТЗ ( $V = 8$  км/ч).

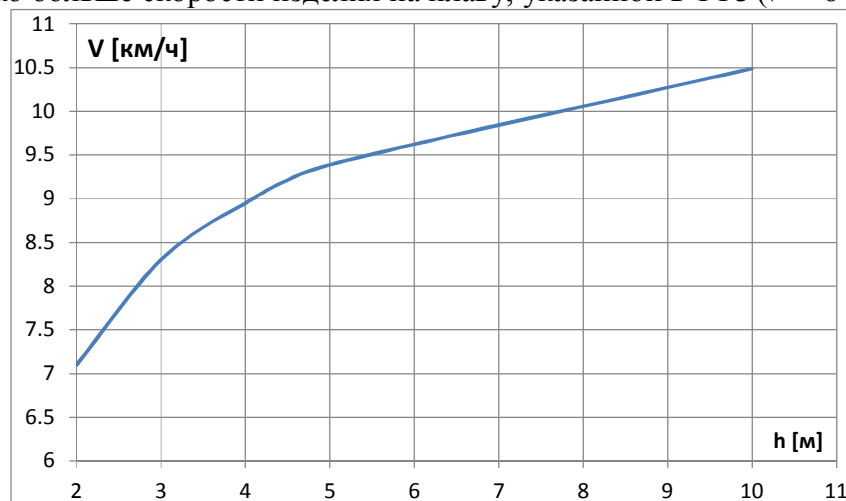


Рис 7. Изменение скорости плава БТР-3Е в зависимости от глубины водоема.

Как видно из рис. 5 и 7 изделия на базе БТР-3Е имеют лучшие водоходные качества, чем изделия на базе БТР-4Е независимо от глубины водоема, на котором проводятся испытания. В среднем скорость изделия БТР-3Е на плаву на 34% выше, чем изделия БТР-4.

**Выводы.** Изделие БТР-4Е имеет большую по сравнению с БТР-3Е осадку, что приводит к увеличению сопротивления движению на плаву, которое прямо пропорционально площади поперечного сечения подводной части машины. Сопротивление движению на плаву изделия БТР-4Е в среднем на 18% превышает аналогичный показатель изделия БТР-3Е. Для повышения водоходных качеств изделия БТР-4Е, необходимо снизить его массу, для уменьшения осадки и снижения сопротивления изделию на плаву, что при сложившейся концепции машины проблематично. Кроме того, для повышения водоходных качеств БТР-4Е может служить обеспечение дифферента на корму за счет перераспределения масс внутри и снаружи корпуса. Испытания изделий БТР-3Е и БТР-4Е на плаву производились на водоемах различной глубины, что не позволяет напрямую сравнивать водоходные качества этих машин. Для корректного сравнения свойств данных изделий необходимо провести испытания в одинаковых условиях.

Как показал проведенный анализ имеющихся данных, с учетом разницы начальных условий экспериментов и их обработки, обе машины, не смотря на значительную разницу по массе (~6т), имеют сопоставимые показатели плава, что подтверждает правильность выбранной концепции установки двух водоходных движителей для более тяжелой, по массе, машины. Вместе с тем, испытания выявили необходимость улучшения тяговых качеств водоходных движителей (доработку их конфигурации) и геометрии носовой части корпуса БТР, для снижения сопротивления плаву, и изменения дифферента на корму, что потребует проведения дополнительных натурных испытаний или макетных испытаний в лабораторных условиях.

**Литература:** 1. Степанов А. П. Конструирование и расчет плавающих машин –М.: «Машиностроение», 1983 – 432с. 2. Державні випробовання бронетранспортера БТР-4Е. [Протокол] № 37 – Харьков: ГП ХКБМ, 2012 – 512с. 3. Степанов А. П. Плавающие машины. – М.: ДОСААФ, 1975 – 135с. 4. Акт № 80 от 17 апреля 2012 – Харьков: ГП ХКБМ, 2012 – 112с. 5. Расчет плавучести и остойчивости [Отчет] / БТР-4.006 РР-01 – Харьков: ГП ХКБМ, 2011 – 8с. 6. Изделие БТР-4Е1. Расчет массы и координат центра массы [Отчет] / В1347.01 РР-01 – Харьков: ГП ХКБМ, 2010 – 16с. 7. Расчет плавучести и статической остойчивости [Отчет] / БТР-4Е В1318.03 РР-01 – Харьков: ГП ХКБМ, 2010 – 16с. 8. ОСТ ВЗ-4734-80 «Машины гусеничные военные плавающие. Методы расчета плавучести и статической остойчивости» – М.: Изд-во стандартов, 1979. – 68с. 9. Сергеев Л.В. Теория танка. – М.: Издание академии БТВ, 1973. – 493 с. 10. Саблин В.В. Водоходные движители / Пособие по курсовому и дипломному проектированию, - Киев, 1984. – 99 стр. 11. Акт ГП ХКБМ № 81 от 30 марта 2007года – Харьков: ГП ХКБМ, 2007 – 24с. 12. Акт ГП ХКБМ № 160 от 08.2012года – Харьков: ГП ХКБМ, 2012 – 68с. 13. Акт ГП ХКБМ № 157 от 17 июня 2012года – Харьков: ГП ХКБМ, 2012 – 42с.

**Bibliography (transliterated):** 1. Stepanov A. P. Konstruirovaniye i raschet plavayuschih mashin –М.: «Mashinostroeniye», 1983 – 432s. 2. DerzhavnI viprobovannya bronetransportera

BTR-4E. [Protokol] # 37 – Harkov: GP HKBM, 2012 – 512s. 3. Stepanov A. P. *Plavayushchie mashinyi*. –M.: DOSAAF, 1975 – 135s. 4. Akt # 80 ot 17 aprelya 2012 –Harkov: GP HKBM, 2012 – 112s. 5. *Raschet plavuchesti i ostroychivosti [Otchet] / BTR-4.006 RR-01* –Harkov: GP HKBM, 2011 – 8s. 6. *Izdelie BTR-4E1. Raschet massyi i koordinat tsentra massyi [Otchet] / V1347.01 RR-01* Harkov: GP HKBM, 2010 – 16s. 7. *Raschet plavuchesti i staticheskoy ostroychivosti [Otchet] / BTR-4E V1318.03 RR-01* Harkov: GP HKBM, 2010 – 16s. 8. OST V3-4734-80 «*Mashinyi gusenichnyie voennyye plavayushchie. Metodyi rascheta plavuchesti i staticheskoy ostroychivosti*» – M.: Izd-vo standartov, 1979. – 68s. 9. Ser-geev L.V. *Teoriya tanka*. – M: Izdanie akademii BTV, 1973. – 493 s. 10. Sablin V.V. *Vo-dohodnyie dvizhiteli / Posobie po kursovomu i diplomnomu proektirovaniyu*, - Kiev, 1984. – 99 str. 11. Akt GP HKBM # 81 ot 30 marta 2007goda –Harkov: GP HKBM, 2007 – 24s. 12. Akt GP HKBM # 160 ot 08.2012goda –Harkov: GP HKBM, 2012 – 68s. 13. Akt GP HKBM # 157 ot 17 iyunya 2012goda –Harkov: GP HKBM, 2012 – 42s.

Толстолицкий В.А., Павлюченко А.А., Рассказов И.И., Толстолицкая Т.В.

### **СРАВНЕНИЕ ВОДОХОДНЫХ КАЧЕСТВ ИЗДЕЛИЙ БТР-3Е И БТР-4Е**

Проведен сравнительный анализ водоходных качеств бронетранспортеров украинского производства БТР-3Е и БТР-4Е. Определены основные конструктивные отличия двух машин, влияющие на водоходные качества, а также влияние глубины водоема на скорость плава. Даны рекомендации по повышению водоходных качеств БТР-4Е.

Толстолицкий В.О., Павлюченко А.А., Рассказов И.И., Толстолицкая Т.В.

### **ПОРІВНЯННЯ ВОДОХІДНИХ ЯКОСТЕЙ ВИРОБІВ БТР-3Е І БТР-4Е**

Проведено порівняльний аналіз водохідних якостей бронетранспортерів українського виробництва БТР-3Е і БТР-4Е. Визначено основні конструктивні відмінності двох машин, що впливають на їх водохідні якості, а також вплив глибини водойми на швидкість плаву. Дано рекомендації по підвищенню водохідних якостей БТР-4Е.

Tolstolutskiy V.A., Pavlyuchenko A.A., Rasskazov I.I., Tolstolutskaia T.V.

### **COMPARISON OF BTR-3E AND BTR-4E FLOATING QUALITIES**

A comparative analysis of floating qualities was prepared for Ukrainian armored personnel carriers BTR-3E and BTR-4E. Key structural differences, that affecting floating qualities, was determined for two vehicles, also it was investigated how the pond depth effect on the speed of the float. Recommendations were given for ways of float qualities improvement for BTR-4E.