

УДК 62-522

doi: 10.18698/0536-1044-2023-4-46-54

# Расчетные исследования гидравлической трансмиссии судна на воздушной подушке

Н.Г. Сосновский, Ван Хоа Нгуен

МГТУ им. Н.Э. Баумана

## Computational study of the hovercraft hydraulic transmission

N.G. Sosnovsky, Van Hoa Nguyen

Bauman Moscow State Technical University

Реализация оптимальных режимов работы и повышение энергоэффективности транспортных средств являются актуальной задачей. Рассмотрено судно на воздушной подушке с гидравлической трансмиссией. Разработана математическая модель для системы, состоящей из гидравлической трансмиссии и вентилятора, подающего воздух в секции воздушной подушки. В среде MATLAB/Simulink проанализировано автоматическое регулирование угла наклона шайбы насоса при движении судна по опорным поверхностям разного типа с точки зрения увеличения коэффициента полезного действия вентилятора и системы. Приведена расчетная схема системы, получены приемлемые переходные характеристики. Разработанная математическая модель позволяет выбирать и оценивать оптимальную частоту вращения вала гидромотора при движении судна по различным поверхностям, анализировать и улучшать энергоэффективность системы. Использование предложенного блока управления трансмиссией в судне на воздушной подушке дает возможность поддержания коэффициента полезного действия вентилятора и необходимой высоты транспортного средства над опорной поверхностью.

**Ключевые слова:** судно на воздушной подушке, гидравлическая трансмиссия, КПД вентилятора, регулятор насоса, энергоэффективность системы

Implementation of the vehicles optimal operating modes and improvement of their energy efficiency appears to be an urgent task. The paper considers a hovercraft with the hydraulic transmission. Combined mathematical model of hydraulic transmission and fan supplying air to the air cushion section was developed. Automatic control of the pump swashplate inclination angle with the vessel moving upon different support surfaces was analyzed in the MATLAB/Simulink environment in terms of increasing efficiency of the fan and system operation. The system calculation scheme is presented, and acceptable transient characteristics were obtained. The developed mathematical model makes it possible to select and assess optimal frequency of the hydraulic motor shaft rotation with the vessel moving upon different surfaces, analyze and improve the system energy efficiency. Using the proposed transmission control unit in a hovercraft allows maintaining the fan efficiency and the required vessel height above the supporting surface.

**Keywords:** hovercraft, hydraulic transmission, fan efficiency, pump controller, system energy efficiency

Суда на воздушной подушке (СВП) нашли широкое применение во всем мире благодаря способности амфибийности и проходимости по водным и элементарно подготовленным площадкам с низкой несущей способностью. СВП способны передвигаться по различным опорным поверхностям (ОП), в том числе по комплексным трассам, состоящим из участков воды, болотистой местности, песчаной суши и т. п.

Около одной трети всей мощности энергетической установки СВП затрачивается на создание воздушной подушки (ВП) — подъем основного корпуса судна. Фактически СВП на ходу не касается ОП, а парит над ней, что позволяет передвигаться по ОП разного типа [1–4].

Основное достоинство СВП заключается в способности перемещаться по воде, снегу, льду, болотистой местности, в условиях мелководья, ледостава и ледохода, где практически невозможно использовать другие транспортные средства. Кроме того, СВП могут останавливаться в любом пункте неосвоенной местности и выходить из воды на необорудованный пологий (с уклоном до 30°) берег.

СВП оказывает минимальное воздействие на внешнюю среду, имеет сравнительно высокую скорость движения, приемлемые показатели экономичности и безопасности. К недостаткам СВП относятся плохие курсовая устойчивость и управляемость, высокие энерговооруженность и уровень шума (вследствие использования воздушных винтов в качестве движителей), интенсивное брызгообразование и др. [5, 6].

Энергоэффективность СВП зависит от работы системы управления трансмиссией при движении судна по ОП разного типа, а также от рабочих параметров судна: высоты над ОП, давления вентилятора, расхода воздуха и т. д.

Исследуем возможность улучшения энергоэффективности системы гидравлическая трансмиссия — вентилятор (далее система) при движении СВП по различным ОП путем поддержания максимального коэффициента полезного действия (КПД) вентилятора и применения системы управления СВП.

Система, реализующая эффект ВП, включает в себя двигатель внутреннего сгорания (ДВС), гидравлическую трансмиссию, два вентилятора и систему управления.

Гидравлическая трансмиссия, часто используемая в малых и средних СВП, характеризуется низкими эксплуатационными затратами и

способностью регулирования системы изменением угла наклона шайбы насоса (его рабочего объема). Регулирование рабочего объема насоса позволяет снизить потребляемую мощность насоса и ДВС при некоторых режимах работы системы, что повышает ее энергоэффективность [7].

Гидравлическая трансмиссия СВП состоит из аксиально-поршневых гидромашин: регулируемого насоса и гидромотора, приводящего в действие вентиляторы, которые подают воздух в ВП. Для соединения насоса с гидромотором использованы два трубопровода, для восполнения утечек рабочей жидкости — подпиточный насос, приводимый во вращение валом основного насоса [8–10].

Чтобы судно поднималось над ОП, на дне ВП должно создаваться давление воздуха

$$p_{\text{п}} = G/S_{\text{п}},$$

где  $G$  — масса СВП;  $S_{\text{п}}$  — площадь ВП.

Вентилятор создает поток воздуха с давлением

$$p_{\text{в}} = K_{\text{п}} p_{\text{п}},$$

где  $K_{\text{п}}$  — коэффициент перепада давления воздуха от вентилятора к ВП (далее коэффициент перепада давления), отражающий потери давления при движении воздуха и зависящий от его расхода, конструкции СВП и ОП [11].

При движении СВП по различным ОП потери давления от вентилятора к ВП меняются в зависимости от характера поверхности, но давление воздуха в ВП должно сохраняться неизменным, несмотря на потери давления  $\Delta p = p_{\text{в}} - p_{\text{п}}$ , что приводит к изменению и давления потока воздуха  $p_{\text{в}}$  (рис. 1).

Кроме того, может меняться масса СВП из-за расхода топлива, разного количества людей и

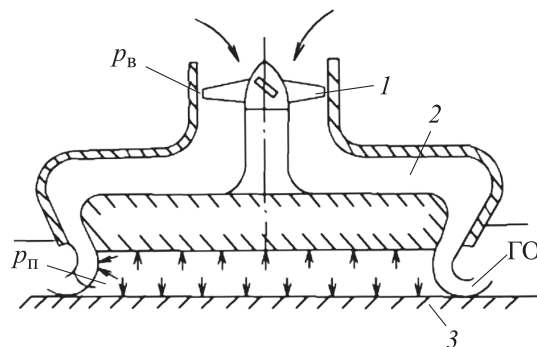


Рис. 1. Схема образования ВП:  
1 — вентилятор; 2 — канал подвода воздуха; 3 — ОП;  
ГО — гибкое ограждение

перевозимого груза, вследствие чего изменяется давление  $p_n$  под ВП, а следовательно, и давление воздуха  $p_v$ . Таким образом, изменение давления воздуха  $p_v$  равнозначно изменению  $K_n$ , что в дальнейшем использовано в качестве возмущающего воздействия при моделировании.

**Постановка задачи.** Если СВП движется по ОП, то в рабочей точке  $A$  расходно-перепадной характеристики нагнетателя вентилятора (рис. 2) расход воздуха  $Q_A$ , давление  $p_{vA}$  и КПД вентилятора достигают максимальных значений. Вследствие изменения этой характеристики рабочая точка  $A$  смещается в точку  $B$ , тогда расход воздуха, давление и КПД вентилятора принимают значения  $Q_B$  и  $p_{vB}$  и  $\eta_B$  соответственно.

Для повышения энергоэффективности СВП и КПД вентилятора необходимо изменить частоту вращения его вала от  $n_1$  до  $n_2$ , чтобы точка  $B$  переместилась в точку  $C$ . Тогда КПД вентилятора снова достигнет максимального значения  $\eta_{max}$ , но уже при другой частоте вращения его вала.

Цель работы — исследование регулирования частоты вращения вентилятора для повышения его КПД и энергоэффективности системы СВП.

Действие регулятора (блока управления) направлено на автоматическое регулирование угла наклона шайбы насоса. Моделирование такой системы позволит оценить устойчивость и работоспособность СВП при изменении ОП.

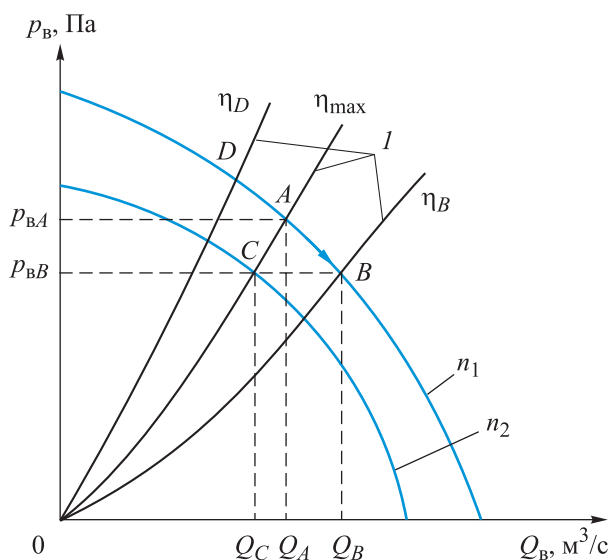


Рис. 2. Расходно-перепадная характеристика нагнетателя вентилятора (1 — линии КПД вентилятора)

Для математического моделирования приняты следующие допущения: давление и плотность воздуха по объему каждой полости ВП распределены равномерно; процессы сжатия воздуха — политропные [12].

При движении СВП необходимо поддерживать определенные частоты вращения вентиляторов, обеспечивающих функционирование шасси, оптимальные значения которых зависят от скорости движения транспортного средства и типа ОП.

**Математическое моделирование системы.** Чтобы обеспечить энергоэффективность и работоспособность системы при изменении нагрузки на выходное звено трансмиссии (при изменении давления потока воздуха до и после вентилятора), необходимо выбрать регулятор (блок управления), в котором будет реализован алгоритм адаптации к нагрузке посредством модели вентилятора (рис. 3).

При моделировании изменения давления воздуха  $p_v$  будем варьировать коэффициент  $K_n$ , вследствие чего рабочая точка вентилятора будет уходить из зоны его максимального КПД. Для увеличения КПД вентилятора предложено использовать регулятор (блок управления), в котором происходит сравнение текущего  $\eta$  и максимального  $\eta_{max}$  значений КПД при данной частоте вращения вала вентилятора с учетом сигнала  $U$ , зависящего от области его работы [13, 14].

Если рабочая точка расходно-перепадной характеристики вентилятора (см. рис. 2) находится в области слева от линии максимального КПД  $\eta_{max}$ , то сигнал имеет знак «+», и угол наклона шайбы насоса увеличивается вследствие изменения сигнала, подаваемого на насос с регулятора. Если же рабочая точка расположена в области справа от линии максимального КПД, то сигнал приобретает знак «-», и угол наклона шайбы насоса уменьшается.

Блок «Модель вентилятора» (см. рис. 3) содержит характеристики выбранного вентилятора в исследуемой области, построенные с помощью его экспериментально подтвержденной безразмерной характеристики [15].

При моделировании входной (управляющей) сигнал поступает на регулятор насоса, возмущающим сигналом служит изменение коэффициента перепада давления  $K_n$  при смене ОП, т. е. изменение давления на третьей секунде моделируемого процесса (рис. 4 и 5). Выход-

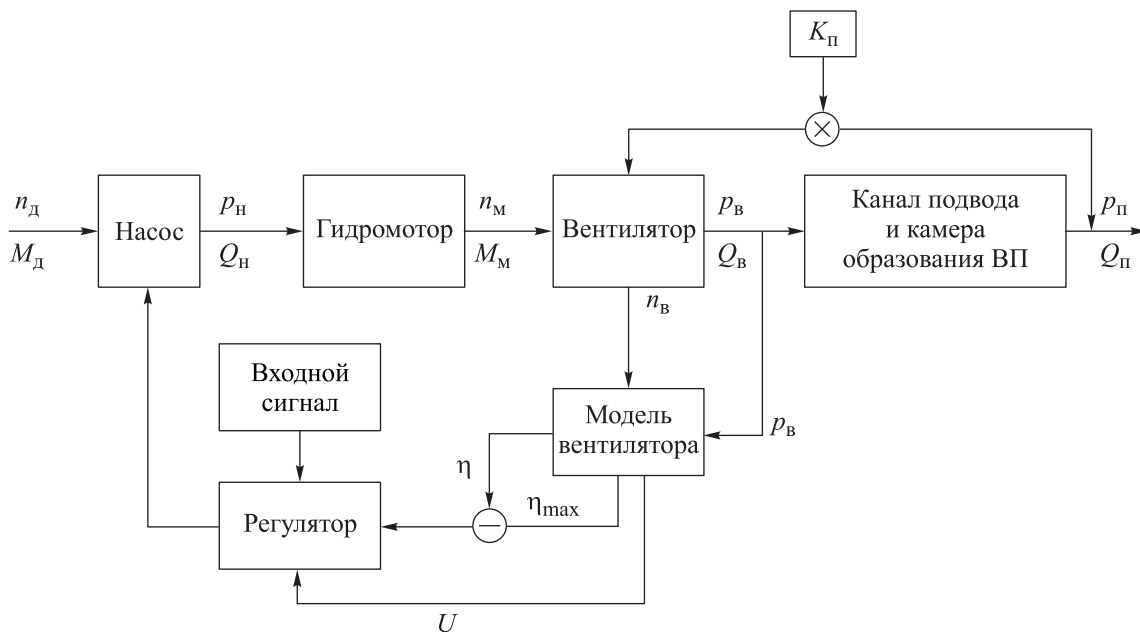


Рис. 3. Алгоритм управления системой:  
 $n_d$  и  $M_d$  — частота вращения и крутящий момент ДВС;  $p_n$  и  $Q_n$  — давление и подача насоса;  
 $n_m$  и  $M_m$  — частота вращения и крутящий момент гидромотора;  $Q_v$  и  $n_v$  — подача и частота вращения  
 вала вентилятора;  $Q_n$  — расход воздуха ВП; входной сигнал — угол наклона шайбы

ные сигналы — КПД вентилятора, высота СВП над ОП, частота вращения вала гидромотора и мощность насоса [16].

Чтобы оценить действие блока управления (состоящего из модели вентилятора и регулятора) и обратной связи, ее включали на пятой секунде.

Для моделирования гидропривода использовали программный пакет MATLAB Simulink. Результаты моделирования переходных процессов в гидроприводе СВП при уменьшении коэффициента перепада давления  $K_p$  приведены на рис. 4.

Параметр регулирования рабочего объема насоса (его относительный рабочий объем)

$$k = W/W_{max}; \quad 0 \leq k \leq 1,$$

где  $W$  и  $W_{max}$  — текущий и максимальный рабочий объем насоса.

Для регулирования объема насоса должен быть изменен угол наклона шайбы насоса.

Параметры системы при уменьшении коэффициента перепада давления  $K_p$  приведены в таблице.

До момента времени  $t = 3$  с коэффициент перепада давления  $K_p = 1,5$ , и частота вращения вала вентилятора постепенно увеличивается до  $n_v = 2487 \text{ мин}^{-1}$ , при которой он работает в ре-

жиме максимального КПД. При уменьшении  $K_p$  от 1,5 до 1,1 (что соответствует перемещению СВП с одной ОП на другую) рабочая точка  $A$  сдвигается в точку  $B$  (см. рис. 2), расход воздуха и высота СВП над ОП  $h$  увеличиваются, а КПД вентилятора  $\eta$  снижается с 71,8 до 65,5 %. Так как момент сопротивления вентилятора мало изменяется, частота вращения его вала остается практически неизменной.

После подачи блоком управления соответствующего сигнала на регулятор насоса (при моделировании на пятой секунде) уменьшаются его текущий рабочий объем насоса, частоты вращения вала гидромотора и вентилятора, повышается КПД вентилятора от 65,5 до 70,9 %, что соответствует смещению точки  $B$  в точку  $C$  (см. рис. 3). Потребляемая мощность насоса снижается с 43,8 до 29,7 кВт, т. е. на 32 %, что выгодно с точки зрения энергоэффективности системы.

Если при изменении ОП в процессе движения СВП растет давление  $p_v$ , то при моделировании коэффициент перепада давления  $K_p$  увеличивается с 1,5 до 1,7. Результаты моделирования переходных процессов в гидроприводе СВП при увеличении коэффициента перепада давления  $K_p$  показаны на рис. 5.

Параметры системы при увеличении коэффициента перепада давления  $K_p$  также приведены в таблице.

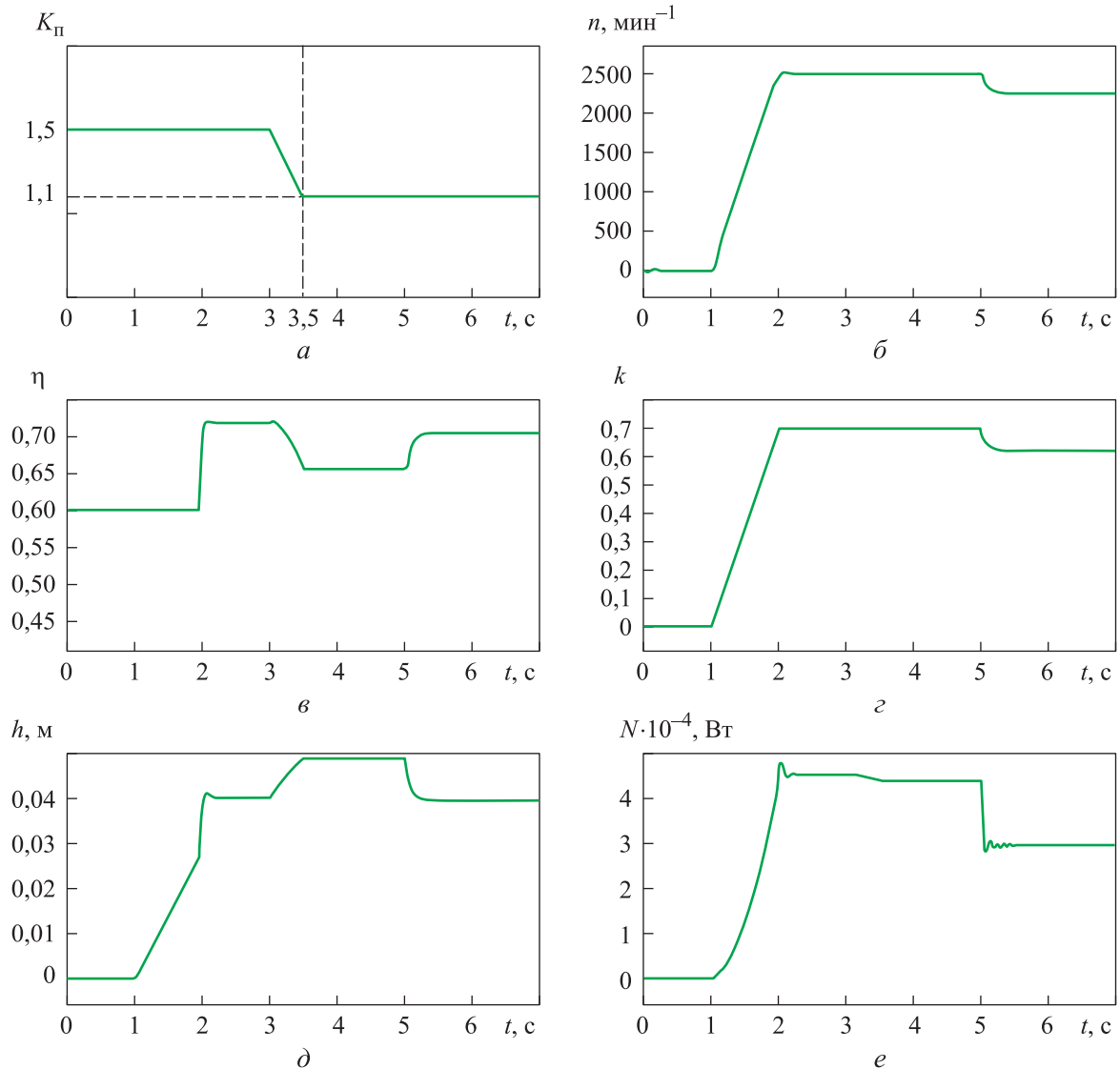


Рис. 4. Результаты моделирования переходных процессов в гидроприводе СВП при уменьшении коэффициента перепада давления  $K_{\Pi}$  (а):

б–е — изменение во времени  $t$  соответственно частоты вращения вала вентилятора  $n_{\text{в}}$ , его КПД  $\eta$ , параметра регулирования рабочего объема насоса  $k$ , высоты СВП над ОП  $h$  и мощности насоса  $N$

#### Параметры системы при изменении коэффициента перепада давления $K_{\Pi}$

$K_{\Pi}$	$n$ , мин <sup>-1</sup>	$\eta$ , %	$k$	$h$ , мм	$N$ , кВт
<i>При уменьшении коэффициента перепада давления <math>K_{\Pi}</math></i>					
1,5	2487	71,8	0,7	40,4	45,2
1,1	2498	65,5	0,7	48,8	43,8
1,5...1,1*	2243	70,5	0,615	39,6	29,7
<i>При увеличении коэффициента перепада давления <math>K_{\Pi}</math></i>					
1,5	2487	71,8	0,7	40,4	45,2
1,7	2507	59,8	0,7	28,1	42,7
1,5...1,7*	2610	70,9	0,741	40,6	52,3

\* После включения блока управления.

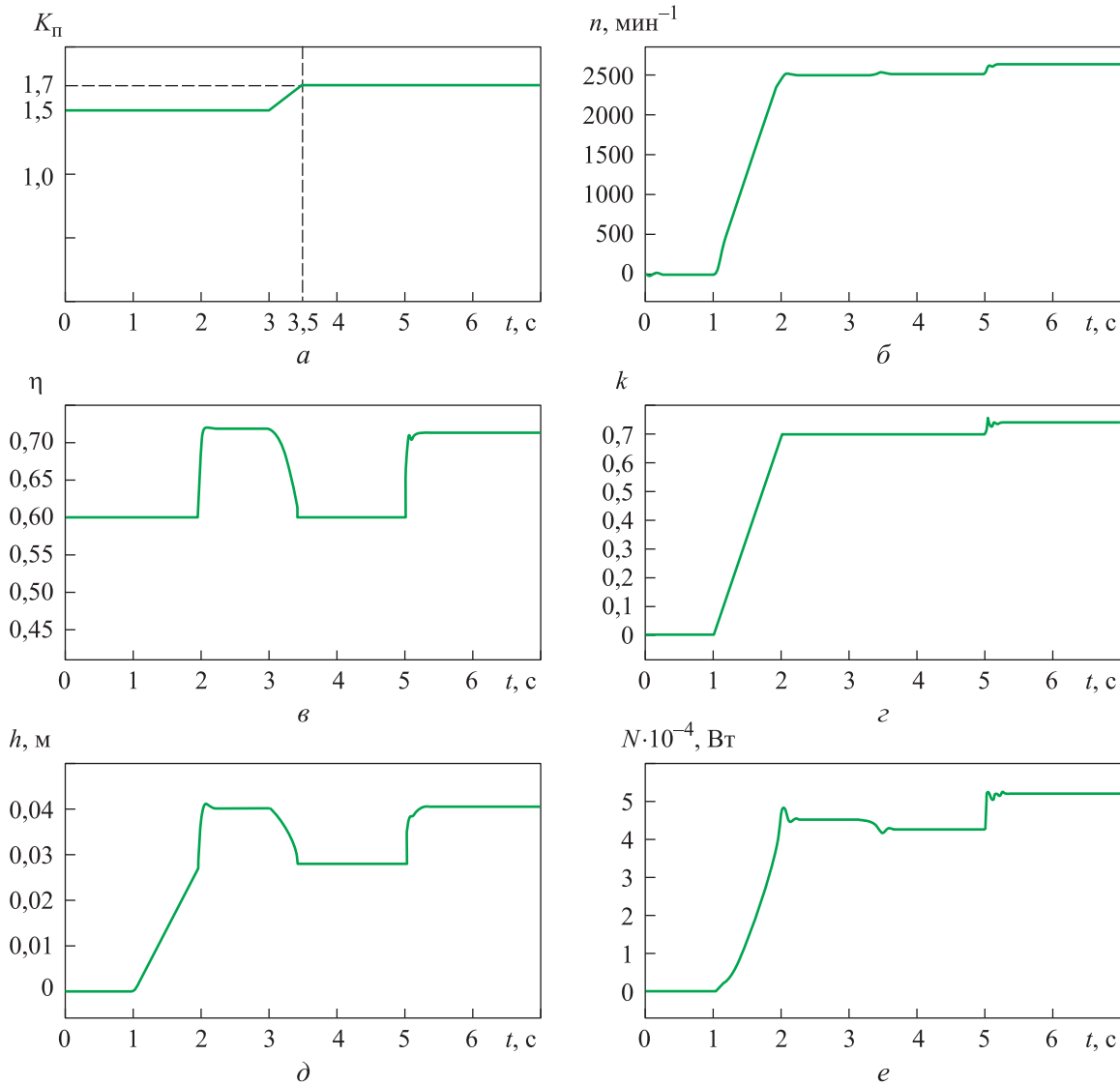


Рис. 5. Результаты моделирования переходных процессов в гидроприводе СВП при увеличении коэффициента перепада давления  $K_{п}$  (а): б-е — изменение во времени  $t$  соответственно частоты вращения вала вентилятора  $n_{в}$ , его КПД  $\eta$ , параметра регулирования рабочего объема насоса  $k$ , высоты СВП над ОП  $h$  и мощности насоса  $N$

При увеличении коэффициента перепада давления  $K_{п}$  с 1,5 до 1,7, что соответствует перемещению СВП с одной ОП на другую, рабочая точка сдвигается из  $A$  в точку  $D$  (см. рис. 3), расход воздуха и высота над ОП  $h$  уменьшаются, а КПД вентилятора снижается от 71,8 до 59,8 %. Момент сопротивления вентилятора мало изменяется, поэтому частота вращения его вала остается практически неизменной.

После срабатывания блока управления и подачи на регулятор насоса соответствующего сигнала возрастает его рабочий объем, увеличиваются частота вращения вала гидромотора и вентилятора, а КПД вентилятора повышается с 59,8 до 70,9 %. Высота СВП над ОП увели-

чивается до 40,6 мм (что наблюдалось и при  $K_{п} = 1,5$ ).

### Выводы

1. Гидравлическая трансмиссия характеризуется высокой передаваемой мощностью, возможностью реализации больших передаточных чисел и бесступенчатого регулирования, что позволяет устанавливать необходимую частоту вращения вала вентилятора, подающего воздух в секции ВП при движении СВП. Предложено регулировать частоту вращения вентилятора изменением рабочего объема насоса, входящего в состав трансмиссии.

2. Разработанная математическая модель системы позволяет выбирать и оценивать оптимальную частоту вращения вала гидромотора (вентилятора) для конкретных ОП. Использование предложенного блока управления трансмиссией СВП дает возможность поддержания КПД вентилятора и необходимой высоты судна

над ОП. При уменьшении давления воздуха вентилятора блок управления позволяет экономить энергию системы, а при увеличении — сохранять высоту СВП над ОП, что дает возможность увеличить проходимость судна и обеспечить плавность хода при движении по любым ОП.

## Литература

- [1] Качанов И.В., Ледян Ю.П., Щербакова М.К. *Конструкция быстроходных судов. Ч. 3. Суда на воздушной подушке*. Минск, БНТУ, 2015.
- [2] Брусов В.А., Мерзликин Ю.Ю., Меньшиков А.С. Разработка системы управления параметрами гидравлической системы транспортного средства с комбинированным шасси на воздушной подушке. *Труды НАМИ*, 2021, № 1, с. 35–46, doi: <https://doi.org/10.51187/0135-3152-2021-1-35-46>
- [3] Amyot J.R., ed. *Hovercraft technology, economics and applications*. Elsevier, 2013. 787 p.
- [4] Сосновский Н.Г., Брусов В.А., Нгуен В.Х. Моделирование гидропривода с объемным регулированием амфибийного транспортного средства. *Инженерный журнал: наука и инновации*, 2021, № 11, doi: <https://doi.org/10.18698/2308-6033-2021-11-2127>
- [5] Чувашев С.Н., Якимов Н.М., Чувашева Е.С. и др. Математическое моделирование эффективных и экологичных амфибийных судов на воздушной подушке для Арктики и Дальнего Востока. *Альтернативная энергетика и экология*, 2015, № 13–14, с. 117–138, doi: <https://doi.org/10.15518/isjaee.2015.13-14.013>
- [6] Овчинников В.В., Якутов А.В. *Судно на воздушной подушке с гусеничным двигателем*. Патент РФ 125946. Заявл. 09.10.2012., опубл. 20.03.2013.
- [7] Kim J.H., Jeon C.S., Hong Y.S. Constant pressure control of a swash plate type axial piston pump by varying both volumetric displacement and shaft speed. *Int. J. Precis. Eng. Manuf.*, 2015, vol. 16, no. 11, pp. 2395–2401, doi: <https://doi.org/10.1007/s12541-015-0309-5>
- [8] Пильгунов В.Н. Математическая модель гидропривода с двойным объемным регулированием. *Наука и образование*, 2014, № 7. URL: <http://engineering-science.ru/doc/719739.html>
- [9] Нгуен Ван Хоа, Сосновский Н.Г. Исследования гидропривода с объемным регулированием с различными регуляторами аксиально-поршневого насоса. Международная научная конференция «Фундаментальные и прикладные задачи механики», Москва, 7–10 декабря 2021 г. Материалы конференции. В двух частях. Часть 2. *Инженерный журнал: наука и инновации*, 2022, № 6, doi: <http://dx.doi.org/10.18698/2308-6033-2022-6-2190>
- [10] Nikitin O.F. Machine regulation volume hydraulic drive with reciprocating motion of hydraulic motors. *FPM*, 2015, pp. 593–595, doi: <https://doi.org/10.1109/FPM.2015.7337185>
- [11] Демешко Г.Ф. *Проектирование судов. Амфибийные суда на воздушной подушке*. Кн. 2. Санкт-Петербург, Судостроение, 1992. 329 с.
- [12] Наумов В.Н., Брусов В.А., Долгополов А.А. и др. Улучшение проходимости, плавности хода и управляемости летательных аппаратов и транспортных средств с регулируемым комбинированным шасси на воздушной подушке. *Инженерный журнал: наука и инновации*, 2014, № 7, doi: <http://dx.doi.org/10.18698/2308-6033-2014-7-1302>
- [13] Попов Д.Н. *Динамика и регулирование гидро- и пневмосистем*. Москва, Машиностроение, 1987. 464 с.
- [14] Hossain A., Rahman A., Mohiuddin A.K.M. Cushion pressure control system for an intelligent air-cushion trackvehicle. *J. Mech. Sci. Technol.*, 2011, vol. 25, no. 4, pp. 1035–1041, doi: <https://doi.org/10.1007/s12206-011-0216-3>
- [15] Брусиловский И.В. *Аэродинамические схемы и характеристики осевых вентиляторов ЦАГИ*. Москва, Недра, 1978. 198 с.
- [16] Кличко В.В., Дьякова Т.А., Зайцев О.А. и др. Гибкое ограждение нового типа амфибийного судна на воздушной подушке. *Труды Крыловского государственного научного центра*, 2020, № 1, с. 85–94, doi: <https://doi.org/10.24937/2542-2324-2020-1-391-85-94>

## References

- [1] Kachanov I.V., Ledyan Yu.P., Shcherbakova M.K. *Konstruktsiya bystrokhodnykh sudov*. Ch. 3. *Suda na vozduшной podushke* [Design of fast ships. Ч. 3. Hovercrafts]. Minsk, BNTU Publ., 2015. (In Russ.).
- [2] Brusov V.A., Merzlikin Yu.Yu., Menshikov A.S. Development of a control system for the hydraulic system parameters of a vehicle with a combined chassis on an air cushion. *Trudy NAMI*, 2021, no. 1, pp. 35–46, doi: <https://doi.org/10.51187/0135-3152-2021-1-35-46> (in Russ.).
- [3] Amyot J.R., ed. *Hovercraft technology, economics and applications*. Elsevier, 2013. 787 p.
- [4] Sosnovskiy N.G., Brusov V.A., Nguen V.Kh. Simulation of a hydraulic drive with volumetric regulation of an amphibious vehicle. *Inzhenernyy zhurnal: Nauka i innovatsii* [Engineering Journal: Science and Innovation], 2021, no. 11, doi: <https://doi.org/10.18698/2308-6033-2021-11-2127> (in Russ.).
- [5] Chuvashhev S.N., Yakimov N.M., Chuvashheva E.S. et al. Computer simulation of energy saving and environmentally friendly amphibious hovercrafts for arctics and Far East. *Alternativnaya energetika i ekologiya* [Alternative Energy and Ecology], 2015, no. 13–14, pp. 117–138, doi: <https://doi.org/10.15518/isjaee.2015.13-14.013> (in Russ.).
- [6] Ovchinnikov V.V., Yakutov A.V. *Sudno na vozduшной podushke s gusenichnym dvizhitelem* [Hovercraft with caterpillar engine]. Patent RU 125946. Appl. 09.10.2012., publ. 20.03.2013. (In Russ.).
- [7] Kim J.H., Jeon C.S., Hong Y.S. Constant pressure control of a swash plate type axial piston pump by varying both volumetric displacement and shaft speed. *Int. J. Precis. Eng. Manuf.*, 2015, vol. 16, no. 11, pp. 2395–2401, doi: <https://doi.org/10.1007/s12541-015-0309-5>
- [8] Pilgunov V.N. A computational model of hydraulic volume displacement drive. *Nauka i obrazovanie: nauchnoe izdanie* [Science and Education: Scientific Publication], 2014, no. 7. URL: <http://engineering-science.ru/doc/719739.html> (in Russ.).
- [9] Nguen Van Khoa, Sosnovskiy N.G. International Scientific Conference “Fundamental and Applied Problems of Mechanics” (FAPM-2021). Moscow, 7–10 December, 2021. The materials of the conference. In two parts. Part 2. *Inzhenernyy zhurnal: nauka i innovatsii* [Engineering Journal: Science and Innovation], 2022, no. 6, doi: <http://dx.doi.org/10.18698/2308-6033-2022-6-2190> (in Russ.).
- [10] Nikitin O.F. Machine regulation volume hydraulic drive with reciprocating motion of hydraulic motors. *FPM*, 2015, pp. 593–595, doi: <https://doi.org/10.1109/FPM.2015.7337185>
- [11] Demeshko G.F. *Proektirovanie sudov. Amfibiynnye suda na vozduшной podushke*. Kn. 2 [Vessel design. Amphibious hovercrafts. P. 2]. Sankt-Petersburg, Sudostroenie Publ., 1992. 329 p. (In Russ.).
- [12] Naumov V.N., Brusov V.A., Dolgopolov A.A. et al. Improving cross-country ability, run smoothness and controllability of aircrafts and vehicles with controllable combined air-cushion undercarriage. *Inzhenernyy zhurnal: nauka i innovatsii* [Engineering Journal: Science and Innovation], 2014, no. 7, doi: <http://dx.doi.org/10.18698/2308-6033-2014-7-1302> (in Russ.).
- [13] Popov D.N. *Dinamika i regulirovanie gidro- i pnevmosistem* [Dynamics and adjustment of hydro- and pneumosystems]. Moscow, Mashinostroenie Publ., 1987. 464 p. (In Russ.).
- [14] Hossain A., Rahman A., Mohiuddin A.K.M. Cushion pressure control system for an intelligent air-cushion trackvehicle. *J. Mech. Sci. Technol.*, 2011, vol. 25, no. 4, pp. 1035–1041, doi: <https://doi.org/10.1007/s12206-011-0216-3>
- [15] Brusilovskiy I.V. *Aerodinamicheskie skhemy i kharakteristiki osevykh ventilyatorov TsAGI* [Aerodynamics schemes and characteristics of TsAGI axial fans]. Moscow, Nedra Publ., 1978. 198 p. (In Russ.).
- [16] Klichko V.V., Dyakova T.A., Zaytsev O.A. et al. New flexible skirt design for amphibious ACV. *Trudy Krylovskogo gosudarstvennogo nauchnogo tsentra* [Transactions of the Krylov State Research Centre], 2020, no. 1, pp. 85–94, doi: <https://doi.org/10.24937/2542-2324-2020-1-391-85-94> (in Russ.).



## Информация об авторах

**СОСНОВСКИЙ Николай Геннадьевич** — кандидат технических наук, доцент кафедры «Гидромеханика, гидромашины и гидропневмоавтоматика». МГТУ им. Н.Э. Баумана (105005, Москва, Российская Федерация, 2-я Бауманская ул., д. 5, стр. 1, e-mail: sosn@bmstu.ru).

**НГУЕН Ван Хоа** — аспирант кафедры «Гидромеханика, гидромашины и гидропневмоавтоматика». МГТУ им. Н.Э. Баумана (105005, Москва, Российская Федерация, 2-я Бауманская ул., д. 5, стр. 1, e-mail: thoigian226@gmail.com).

### Просьба ссылаться на эту статью следующим образом:

Сосновский Н.Г., Нгуен Ван Хоа. Расчетные исследования гидравлической трансмиссии судна на воздушной подушке. *Известия высших учебных заведений. Машиностроение*, 2023, № 4, с. 46–54, doi: 10.18698/0536-1044-2023-4-46-54

### Please cite this article in English as:

Sosnovsky N.G., Nguyen Van Hoa. Computational study of the hovercraft hydraulic transmission. *BMSTU Journal of Mechanical Engineering*, 2023, no. 4, pp. 46–54, doi: 10.18698/0536-1044-2023-4-46-54

## Information about the authors

**SOSNOVSKY Nikolay Gennadievich** — Candidate of Science (Eng.), Associate Professor, Department of Hydromechanics, Hydraulic Machines and Hydraulic and Pneumatic Automation. Bauman Moscow State Technical University (105005, Moscow, Russian Federation, 2<sup>nd</sup> Baumanskaya St., Bldg. 5, Block 1, e-mail: sosn@bmstu.ru).

**NGUYEN Van Hoa** — Postgraduate, Department of Hydro-mechanics, Hydraulic Machines and Hydraulic and Pneumatic Automation. Bauman Moscow State Technical University (105005, Moscow, Russian Federation, 2<sup>nd</sup> Baumanskaya St., Bldg. 5, Block 1, e-mail: thoigian226@gmail.com).



Издательство МГТУ им. Н.Э. Баумана  
предлагает читателям монографию

### «Теоретические основы лазерной обработки»

**Авторы: А.Г. Григорьянц, И.Н. Шиганов, А.И. Мисюрлов**

В монографии рассмотрены физические основы технологических процессов лазерной обработки, а также вопросы взаимодействия концентрированного лазерного излучения с материалами, образования плазменного факела и парогазового канала. Представлены аналитические и численные методы анализа температурных полей и остаточных напряжений при лазерной обработке. На базе краткого изложения основ теории кристаллизации рассмотрены процессы затвердевания жидкого металла в условиях лазерного воздействия. Описаны особенности фазовых и структурных превращений материалов в твердом состоянии. Большое внимание уделено технологической прочности металла при лазерной обработке. Обобщены и систематизированы представления об особенностях образования трещин в различных температурных интервалах при лазерной сварке и наплавке.

Для инженерно-технических и научных работников, а также студентов высших учебных заведений машиностроительных специальностей.

### По вопросам приобретения обращайтесь:

105005, Москва, 2-я Бауманская ул., д. 5, стр. 1.  
Тел.: +7 499 263-60-45, факс: +7 499 261-45-97;  
press@bmstu.ru; <https://bmstu.press>