

Научная статья  
УДК 621.526:639.2.061  
<https://doi.org/10.24143/2073-5529-2022-1-39-46>

## Диаграммы производительности судовых вакуумных рыбонасосных установок

*Владимир Аркадьевич Наумов*

*Калининградский государственный технический университет,  
Калининград, Россия, van-old@mail.ru*

**Аннотация.** Выполнен анализ размещенных в открытом доступе компанией Samson Pumps диаграмм производительности судовых вакуумных рыбонасосных установок на базе водокольцевых компрессорных машин Ocean Master. Диаграммы представляют собой зависимости расхода водорыбной смеси от приведенного перепада уровней при различных значениях частоты вращения ротора для двух этапов работы установки. Эти экспериментальные зависимости хорошо аппроксимируются многочленами 3-го порядка во всей области допустимых значений аргументов. Расчет значений скорректированных индексов детерминации показал, что при частоте вращения ротора  $20 \text{ s}^{-1}$  и более степень многочлена можно понизить до второй. Построены контурные графики производительности вакуумных рыбонасосных установок на каждом из этапов их работы. По этим графикам можно определить значения аргументов для заданной подачи. Они позволили установить область аргументов, в которых установка не будет работать. На основе регрессионных моделей получена формула для определения производительности вакуумных рыбонасосных установок за полный цикл работы. Установлено, что наибольшая производительность исследованных вакуумных рыбонасосных установок, указанная в технической документации, относится к отдельным этапам их работы. В реальных условиях производительность за полный цикл работы может составлять 5–10 % от нее. Полученные аналитические выражения могут быть использованы при практическом применении диаграмм производительности вакуумных рыбонасосных установок с учетом гидравлических потерь напора в трубопроводе.

**Ключевые слова:** вакуумные рыбонасосные установки, диаграммы производительности, водокольцевые компрессорные машины, перепад уровней, регрессионные модели

**Благодарности:** работа выполнена в рамках государственного задания на НИОКР.

**Для цитирования:** Наумов В. А. Диаграммы производительности судовых вакуумных рыбонасосных установок // Вестник Астраханского государственного технического университета. Серия: Рыбное хозяйство. 2022. № 1. С. 39–46. <https://doi.org/10.24143/2073-5529-2022-1-39-46>.

Original article

## Performance diagrams of marine vacuum fish pumping units

*Vladimir A. Naumov*

*Kaliningrad State Technical University,  
Kaliningrad, Russia, van-old@mail.ru*

**Abstract.** The article presents the analysis of performance diagrams of marine vacuum fish-pumping units based on Ocean Master water-ring compressor machines published in the domain by Samson Pumps. The diagrams represent the dependence of the flow rate of the water-fish mixture on the given level difference at different values of the rotor speed for two stages of the plant operation. These experimental dependences are well approximated by 3<sup>rd</sup>-order polynomials over the entire range of acceptable argument values. The calculation of the values of the adjusted determination indices showed that at a rotor speed of  $20 \text{ s}^{-1}$  or more the degree of the polynomial can be reduced to the second power. Contour graphs of the performance of vacuum fish pumping units at each stage of their operation were constructed. The argument values for a given feed can be determined from these graphs. They allowed to set the scope of arguments in which the unit would not work. The formula for the performance of vacuum fish pumping units for the full cycle of operation is obtained on the basis of regression models. The maximal performance of the investigated

vacuum fish-pumping units indicated in the technical documentation refers to the individual stages of their operation. The performance for a full cycle of work in real conditions can be 5-10 % of the maximum. The obtained analytical expressions can be used in the practical application of performance diagrams of vacuum fish-pumping units, taking into account the hydraulic head losses in the pipeline.

**Keywords:** vacuum fish-pumping units, performance diagrams, water-ring compressor machines, level difference, regression models

**Acknowledgement.** The work was carried out within the framework of the state assignment for R&D.

**For citation:** Naumov V. A. Performance diagrams of marine vacuum fish pumping units. *Vestnik of Astrakhan State Technical University. Series: Fishing Industry*. 2022;1:39-46. (In Russ.) <https://doi.org/10.24143/2073-5529-2022-1-39-46>.

### Состояние проблемы

Механизация и автоматизация играют важную роль в совершенствовании технологии добычи рыбы, в управлении рыбохозяйственными системами [1, 2]. С этой целью для механизированной выборки улова уже давно используются насосы различных типов, в первую очередь, центробежные рыбонасосы (ЦРН). Центробежные рыбонасосы обладают высокой надежностью, производительностью и энергетической эффективностью [1, 3]. Однако в ЦРН часто наблюдается отрыв жабрных крышек и голов, срыв кожи, причем с увеличением частоты вращения ротора (ЧВР) механические повреждения возрастают [1]. Поэтому во многих странах ЦРН заменены на осевые рыбонасосы (ОРН) либо вакуумные рыбонасосные установки (ВРУ).

Осевые рыбонасосы повреждают рыбу не многим менее ЦРН. В работе [4] был разработан метод проектирования ОРН, который включает алгоритмы вычислительной гидродинамики и эмпирическую модель повреждаемости рыбы лопастями. Было предложено усовершенствовать конструкцию лопастей рабочего колеса существующего ОРН с целью снижения повреждаемости рыбы при одновременном контроле ее гидродинамических характеристик. Для обеспечения поведения потока, благоприятного для транспортировки рыбы, потребуются специальные изменения конструкции. Авторы [4] утверждают, что рабочие характеристики ОРН ухудшились незначительно. Они остались приемлемыми для практического применения ОРН при перекачивании не крупной рыбы, но повреждаемость крупной рыбы в таких ОРН практически не уменьшилась.

Компания Environmental Technologies Inc разработала ВРУ SilkStream [5] на базе водоструйного насоса. В первую очередь такие установки предназначены для перекачивания крупной живой рыбы. Они обеспечивают непрерывный поток водорыбной смеси (ВРС), исключая стресс и гибель рыбы, как в ВРУ бочечного типа [6]. Вакуумные рыбонасосные установки SilkStream используют и для механизированной выборки улова. Но они

не всегда могут обеспечить характеристики, необходимые в промысловых условиях, к тому же отличаются весьма низким КПД.

Целый ряд компаний, как российских, так и зарубежных, занимаются производством и совершенствованием ВРУ бочечного типа [5, 7–9]. Их отличительная особенность – работа в два этапа. На первом этапе водокольцевая компрессорная машина (ВКМ) создает разрежение в буферной емкости (бочке), куда всасывается ВРС. На втором этапе ВКМ работает в режиме компрессора и вытесняет ВРС из бочки в трюм судна, предназначенный для хранения рыбы. Таким же образом ВРУ транспортируют ВРС из трюма на береговое предприятие.

В [10, 11] в рамках гидравлического подхода разработан метод расчета производительности ВРУ  $Q$  ( $\text{м}^3/\text{с}$ ), который опирается на моделирование рабочих характеристик ВКМ [12]. Установлено, что величина  $Q$  зависит от большого количества факторов, в том числе от высоты всасывания и нагнетания, длины и диаметра трубопровода, ЧВР ВКМ, объема буферной емкости и пр., причем некоторые из значимых факторов можно найти только экспериментально, например коэффициент утечки воздуха из вакуумной системы [13]. Такой подход целесообразен при проектных расчетах ВРУ. В данной статье рассматривается иная ситуация.

Компания Samson Pumps (Дания) [9] в 2019 г. начала размещать в открытом доступе диаграммы производительности вакуумных рыбонасосных систем на базе своих ВКМ серии Ocean Master (ОМ), устанавливаемых на промысловых судах. Технические параметры этих ВРУ приведены в табл. 1, где  $Q_m$  – максимальная производительность ВРУ;  $n_1$ ,  $n_2$  – минимально и максимально допустимая ЧВР ВКМ соответственно;  $p_1$  – минимальное абсолютное давление, которое может создать ВКМ при откачке воздуха;  $p_2$  – максимальное абсолютное давление, которое может создать ВКМ на этапе вытеснения;  $m$  – масса ВКМ без трубопровода и буферной емкости.

Технические параметры вакуумных рыбонасосных установок на базе  
водокольцевой компрессорной машины (ВКМ) серии Ocean Master\*

Technical parameters of vacuum fish units based  
on ring compressor machine (BKM) Ocean Master series

Марка ВКМ	$Q_m, \text{ м}^3/\text{с}$	$n_1, \text{ с}^{-1}$	$n_2, \text{ с}^{-1}$	$p_1, \text{ кПа}$	$p_2, \text{ кПа}$	$m, \text{ кг}$
OM-250	0,086	20	30	15	300	87
OM-450	0,133	20	30	15	300	120
OM-700	0,233	13,3	30	15	400	217
OM-1000	0,306	13,3	30	15	400	253

\* Составлено по [9].

На Интернет-ресурсе [9] приведен пример использования ВРУ ОМ на одном из самых больших датских рыболовных судов «Асбьерн» (Asbjørn). Указано, что рефрижераторные емкости судна вместимостью 2 600 м<sup>3</sup> ВРС разгружаются в порту с помощью 4-х ВРУ на базе ОМ-1000 за 10–11 ч, что соответствует технологической производительности 0,018 м<sup>3</sup>/с на одну насосную установку, тогда как указанная в технической документации максимальная производительность ОМ-1000 (см. табл. 1) в 17 раз больше. Причина такого расхождения в том, что в технической документации указывается  $Q_m$  для условий равенства нулю приведенного перепада высот  $H = H_c + \Delta H$ , где  $H_c$  – статическая (геометрическая) высота подачи  $H_c$ , и гидравлические потери в трубопроводе  $\Delta H$  равны нулю, что практически нереализуемо. Учет уменьшения подачи ВРУ из-за роста  $H$  призваны полученные экспериментальным путем диаграммы

[9], которые имеют вид графиков  $H-Q$  отдельно для этапов всасывания и вытеснения ВРУ. Гидравлические потери в трубопроводе сами зависят от  $Q$  и параметров трубопровода, поэтому для корректного применения указанных диаграмм необходимы аналитические зависимости  $Q = f(H, n)$ .

Цель статьи – с помощью статистических методов проанализировать диаграммы производительности и получить аналитические зависимости среднего расхода ВРС от приведенного перепада высот (ППВ) и ЧВР за полный цикл работы промысловой ВРУ.

Материалы и методы

В качестве исходных данных были использованы диаграммы производительности ВРУ на базе ВКМ ОМ [9]. На рис. 1 и 2 представлены диаграммы ВРУ ОМ-700 и ОМ-1000, фигурными точками показаны экспериментальные данные.

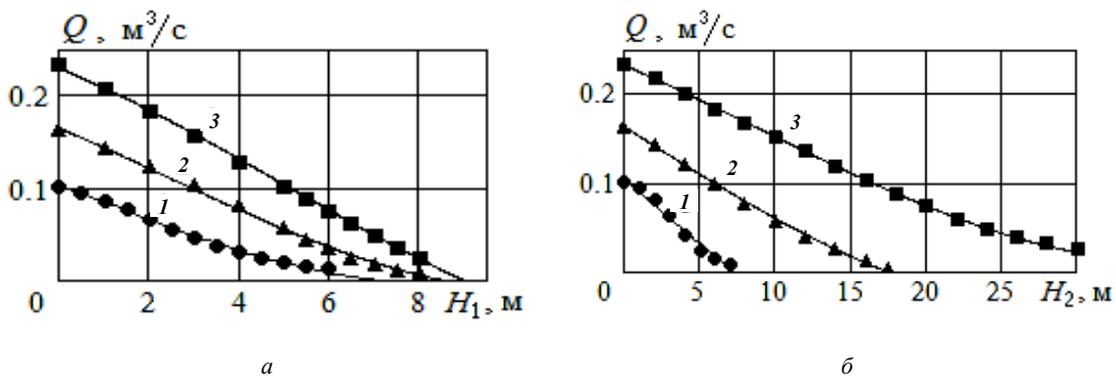


Рис. 1. Диаграмма производительности ВРУ ОМ-700 при разной ЧВР:  
а – на этапе всасывания; б – на этапе вытеснения;  
1 –  $n = 13,3 \text{ с}^{-1}$ ; 2 –  $n = 20 \text{ с}^{-1}$ ; 3 –  $n = 30 \text{ с}^{-1}$ ;  
фигурные точки – экспериментальные данные [9]; линии – результаты расчета

Fig. 1. Performance diagram of VFU OM-700 at different FVR:  
а – at the suction stage; б – at the displacement stage;  
1 –  $n = 13.3 \text{ s}^{-1}$ ; 2 –  $n = 20 \text{ s}^{-1}$ ; 3 –  $n = 30 \text{ s}^{-1}$ ;  
figure dots are experimental data [9]; lines are the results of calculation

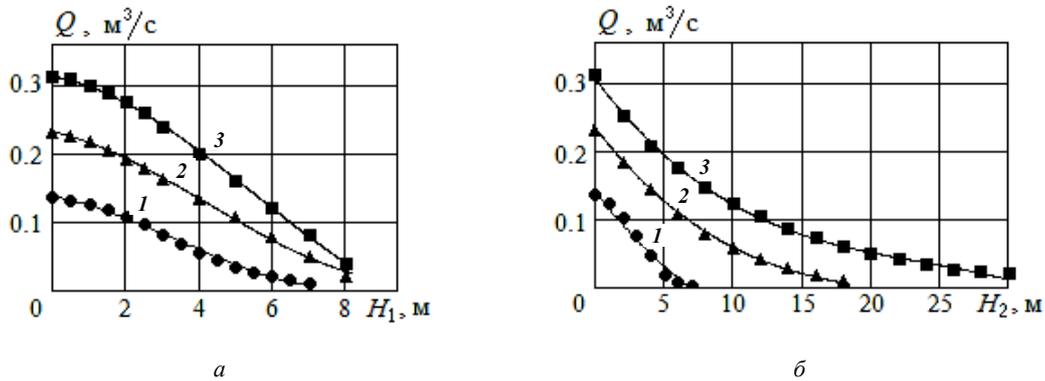


Рис. 2. Диаграмма производительности ВРУ OM-1000 при разной ЧВР:  
а – на этапе всасывания; б – на этапе вытеснения; 1 –  $n = 13,3 \text{ с}^{-1}$ ; 2 –  $n = 20 \text{ с}^{-1}$ ; 3 –  $n = 30 \text{ с}^{-1}$ ;  
фигурные точки – экспериментальные данные [9]; линии – результаты расчета

Fig. 2. Performance diagram of VFU OM-1000 with different CVR:  
а – at the suction stage; б – at the displacement stage; 1 –  $n = 13.3 \text{ s}^{-1}$ ; 2 –  $n = 20 \text{ s}^{-1}$ ; 3 –  $n = 30 \text{ s}^{-1}$ ;  
figure dots are experimental data [9]; lines are the results of calculation

Сначала по этим данным были рассчитаны ко-  
эффициенты парной корреляции ( $r_{QH}$ ,  $r_{Qn}$ ) и ко-  
эффициент множественной корреляции  $\rho$  произ-

водительности ВРУ на базе ВКМ серии Ocean  
Master (табл. 2: этап 1 и этап 2 – это всасывание  
и вытеснение).

Таблица 2

Table 2

Коэффициенты корреляции производительности вакуумных рыбонасосных установок на базе ВКМ OM  
Vacuum fish units based performance correlation coefficients based on RCM OM

Марка ВКМ	$r_{QH}$		$r_{Qn}$		$\rho$	
	Этап 1	Этап 2	Этап 1	Этап 2	Этап 1	Этап 2
OM-700	-0,808	-0,767	0,574	0,167	0,924	0,982
OM-1000	-0,721	-0,721	0,372	0,308	0,986	0,983

Для расчетного метода необходимо получить ана-  
литические зависимости подачи от ППВ  $H$  и ЧВР  $n$ .

Запишем многочлен 3-го порядка:

$$Q = f(H, n) = a_0 + a_1 H + a_2 n + a_3 H^2 + a_4 n^2 + a_5 H n + a_6 H^3 + a_7 n^3 + a_8 H^2 n + a_9 n^2 H. \quad (1)$$

Коэффициенты многочлена 1-го, 2-го и 3-го по-  
рядка были определены методом наименьших

квадратов в среде Mathcad. Примеры приведены  
в табл. 3.

Таблица 3

Table 3

Коэффициенты многочлена 3-го порядка (1)  
3rd order polynomial coefficients (1)

Коэффициент	Единицы измерения	OM-700		OM-1000	
		Этап 1	Этап 2	Этап 1	Этап 2
$a_0$	$\text{м}^3/\text{с}$	-0,1184	-0,1270	-0,3570	-0,3686
$a_1$	$\text{м}^2/\text{с}$	$-7,309 \cdot 10^{-3}$	$-2,904 \cdot 10^{-2}$	$-1,833 \cdot 10^{-3}$	$-3,105 \cdot 10^{-2}$
$a_2$	$\text{м}^3$	0,0232	0,0261	0,0595	0,0618
$a_3$	$\text{м}/\text{с}$	$9,981 \cdot 10^{-4}$	$2,670 \cdot 10^{-4}$	$-1,803 \cdot 10^{-3}$	$1,0142 \cdot 10^{-3}$
$a_4$	$\text{м}^2/\text{с}$	$-5,817 \cdot 10^{-4}$	$-8,034 \cdot 10^{-4}$	$-2,030 \cdot 10^{-3}$	$-2,127 \cdot 10^{-3}$
$a_5$	$\text{м}^2$	$-1,194 \cdot 10^{-3}$	$1,287 \cdot 10^{-3}$	$-1,008 \cdot 10^{-3}$	$4,491 \cdot 10^{-4}$
$a_6$	$\text{с}^{-1}$	$1,089 \cdot 10^{-4}$	$3,847 \cdot 10^{-6}$	$3,651 \cdot 10^{-4}$	$-1,384 \cdot 10^{-5}$
$a_7$	$\text{м}^3 \cdot \text{с}^{-2}$	$6,478 \cdot 10^{-6}$	$1,099 \cdot 10^{-5}$	$2,632 \cdot 10^{-5}$	$2,720 \cdot 10^{-5}$
$a_8$	$\text{м}$	$-8,757 \cdot 10^{-5}$	$-1,230 \cdot 10^{-5}$	$-1,425 \cdot 10^{-4}$	$-1,941 \cdot 10^{-6}$
$a_9$	$\text{м}^2/\text{с}$	$-2,630 \cdot 10^{-5}$	$-1,881 \cdot 10^{-5}$	$2,591 \cdot 10^{-5}$	$-1,032 \cdot 10^{-5}$

Качество регрессионной модели с двумя независимыми переменными будем оценивать с помощью скорректированного индекса детерминации  $R_c$  (см., например, [14]):

$$R_c^2 = 1 - (1 - R^2) \frac{N-1}{N-k};$$

$$R^2 = 1 - \frac{\sum_i (Q_i - f(H_i, n))^2}{\sum_i (Q_i - \bar{Q})^2}, \quad (2)$$

где  $R$  – стандартный индекс детерминации;  $N$  – объем выборки;  $k$  – количество коэффициентов в многочлене аппроксимации, подлежащих определению. Для многочлена первого порядка  $k = 3$ , второго –  $k = 6$ , третьего –  $k = 10$ .

#### Результаты и обсуждение

В табл. 4 и 5 приведены рассчитанные по формулам (2) значения скорректированного индекса детерминации (СИД) для многочленов 1-го, 2-го и 3-го порядка.

Таблица 4

Table 4

Скорректированный индекс детерминации для производительности ВРУ ОМ-700  
CID for VFU OM-700 performance

$n, c^{-1}$	Порядок аппроксимации					
	1		2		3	
	Этап 1	Этап 2	Этап 1	Этап 2	Этап 1	Этап 2
13,3	0,732	0,601	0,906	0,689	0,993	0,882
20	0,941	0,920	0,991	0,980	0,997	0,985
25	0,994	0,963	0,995	0,987	0,998	0,990
27,5	0,988	0,982	0,998	0,996	0,998	0,998
30	0,969	0,983	0,999	0,990	0,999	0,999

Таблица 5

Table 5

Скорректированный индекс детерминации для производительности ВРУ ОМ-1000  
CID for VFU OM-1000 performance

$n, c^{-1}$	Порядок аппроксимации					
	1		2		3	
	Этап 1	Этап 2	Этап 1	Этап 2	Этап 1	Этап 2
13,3	0,680	0,502	0,955	0,707	0,991	0,880
20	0,943	0,831	0,986	0,966	0,990	0,988
25	0,984	0,815	0,994	0,983	0,997	0,997
27,5	0,965	0,863	0,983	0,987	0,992	0,996
30	0,949	0,850	0,989	0,989	0,997	0,995

В целом значения СИД для  $Q = f(H, n)$  на втором этапе работы ВРУ меньше, чем на первом. С увеличением ЧВР значения СИД растут. Если  $n < 20 c^{-1}$ , то для аппроксимации недостаточно многочлена 2-го порядка, требуется многочлен 3-го порядка. Только в этом случае будет обеспечено выполнение условия СИД  $> 0,88$ . Если  $n \geq 20 c^{-1}$ , это условие будет выполнено уже при линейной аппроксимации, за исключением 2-го этапа ОМ-1000. В последнем случае потребуется параболическая аппроксимация.

Чтобы обеспечить соответствие регрессионной модели (1) экспериментальным данным во всей

области допустимых значений аргументов, требуется использовать многочлен 3-го порядка, как на рис. 1 и 2. Если понизить порядок регрессионной модели, то характер поведения линий 1 на указанных рисунках будет заметно отличаться от экспериментальных точек, тогда как линии 2 и 3 изменятся незначительно.

На рис. 3, 4 представлены контурные графики производительности в зависимости от ППВ и ЧВР, рассчитанные по формуле (1) на двух этапах работы ВРУ ОМ-1000:  $Q_1 = f_1(H_1, n)$ ;  $Q_2 = f_2(H_2, n)$ .

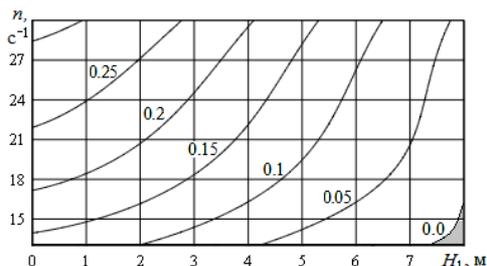


Рис. 3. Контурный график зависимости производительности ( $\text{м}^3/\text{с}$ ) ВРУ ОМ-1000 от ППВ и ЧВР на первом этапе (всасывания)

Fig. 3. Contour plot of productivity dependence ( $\text{m}^3/\text{s}$ ) VFU OM-1000 from PPV and CVR at the first stage (suction)

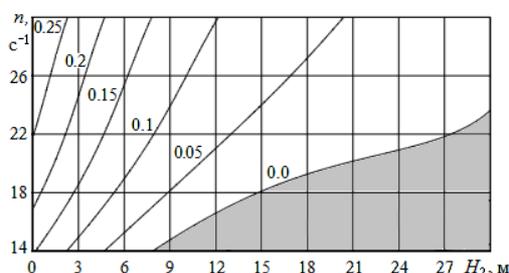


Рис. 4. Контурный график зависимости производительности ( $\text{м}^3/\text{с}$ ) ВРУ ОМ-1000 от ППВ и ЧВР на втором этапе (вытеснения)

Fig. 4. Contour plot of productivity dependence ( $\text{m}^3/\text{s}$ ) VRU OM-1000 from PPV and CVR at the second stage (displacement)

При заданной величине ППВ по графикам можно определить ЧВР, обеспечивающую необходимую производительность ВРУ. Так, если на первом этапе  $H_1 = 2$  м, чтобы производительность была  $0,25 \text{ м}^3/\text{с}$ , ВКМ должна работать в режиме вакуумного насоса с ЧВР  $27 \text{ с}^{-1}$ . При значениях переменных из закрашенной области установка работать не будет. Например, на втором этапе при  $H_2 = 27$  м,  $n = 22 \text{ с}^{-1}$  производительность ВРУ ОМ-1000 упадет почти до нуля. Для работы установки при указанном значении ППВ необходимо увеличить ЧВР.

Промысловиков интересует производительность ВРУ за весь цикл работы.

Пусть объем буферной емкости, который наполняется ВРС, равен  $V$ . Продолжительность первого этапа работы ВРУ будет  $t_1 = V/Q_1$ , второго –  $t_2 = V/Q_2$ . Длительность полного цикла работы ВРУ  $t = t_1 + t_2$ . Тогда производительность за полный цикл может быть найдена по формуле

$$Q = \frac{V}{t_1 + t_2} = \frac{Q_1 \cdot Q_2}{Q_1 + Q_2} = \frac{f_1(H_1, n) \cdot f_2(H_2, n)}{f_1(H_1, n) + f_2(H_2, n)}. \quad (3)$$

На рис. 5 представлены результаты расчета по формуле (3) при фиксированном значении ЧВР ( $n = 27,5 \text{ с}^{-1}$ ).

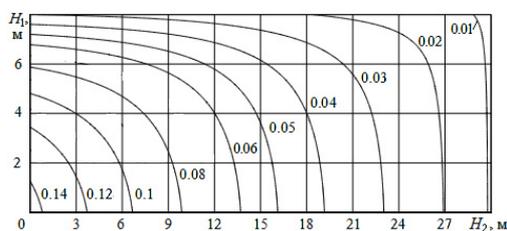


Рис. 5. Контурный график производительности ( $\text{м}^3/\text{с}$ ) ВРУ ОМ-1000 за полный цикл работы при  $n = 27,5 \text{ с}^{-1}$

Fig. 5. Contour plot of VFU OM-1000 productivity ( $\text{m}^3/\text{s}$ ) for a full working cycle at  $n = 27.5 \text{ s}^{-1}$

Даже если задать идеальные условия  $H_1 = H_2 = 0$ , производительность за цикл работы ВРУ ОМ-1000

будет примерно в 2 раза меньше, чем значение, указанное в технической документации [9]  $Q_m = 0,306 \text{ м}^3/\text{с}$

(см. табл. 1). В реальных условиях производительность уменьшится многократно. Приведенная в начале статьи производительность ВРУ ОМ-1000 на судне «Асбьерн»  $0,018 \text{ м}^3/\text{с}$  по рис. 5 при  $H_1 \leq 4 \text{ м}$  соответствует  $H_2$  приблизительно 26 м. Не следует удивляться такому большому значению  $H_2$ . Кроме перепада уровней оно включает и гидравлические потери напора  $\Delta H$  в нагнетательном трубопроводе, который при транспортировке улова на берег может быть достаточно протяженным.

Заметим, что для использования диаграмм производительности необходима гидравлическая характеристика трубопровода, как всасывающего, так и нагнетательного:  $\Delta H_1 = \varphi_1(Q_1)$ ,  $\Delta H_2 = \varphi_2(Q_2)$ . Для определения производительности на каждом этапе требуется решить нелинейное алгебраическое уравнение. Например, на втором этапе такое уравнение для  $Q_2$  имеет вид

$$Q_2 = f_2(H_{c2} + \varphi_2(Q_2), n).$$

Но это уже тема отдельной работы.

#### Заключение

Выполнен анализ размещенных компанией Samson Pumps в открытом доступе диаграмм производительности судовых ВРУ на базе ВКМ Ocean Mas-

ter. Диаграммы представляют собой зависимости расхода водорыбной смеси от ППВ при различных значениях ЧВР для двух этапов работы ВРУ. Эти экспериментальные зависимости хорошо аппроксимируются многочленами 3-го порядка во всей области допустимых значений аргументов. Расчет значений скорректированных индексов детерминации показал, что при  $n \geq 20 \text{ с}^{-1}$  степень многочлена можно понизить до второй.

Построены контурные графики производительности ВРУ на каждом из этапов. По этим графикам можно определить область аргументов для заданной подачи. Они позволили установить область аргументов, в которых ВРУ не будет работать. На основе регрессионных моделей получена формула для производительности ВРУ за полный цикл работы. Установлено, что наибольшая производительность ВРУ ОМ, указанная в технической документации  $Q_m$ , относится к отдельным этапам работы ВРУ в идеальных условиях. В реальных условиях производительность за полный цикл работы ВРУ может составлять 5–10 % от  $Q_m$ . Полученные аналитические выражения могут быть использованы при практическом применении диаграмм производительности ВРУ с учетом гидравлических потерь напора в трубопроводе.

#### Список источников

1. Мельников В. Н. Устройство орудий лова и технология добычи рыбы: учеб. пособие. М.: Агропромиздат, 1991. 384 с.
2. Божко А. П., Погужев О. А., Мельников А. В. Способы управления элементами рыбохозяйственных систем и рыбохозяйственными процессами // Вестн. Астрахан. гос. техн. ун-та. Сер.: Рыбное хозяйство. 2018. № 1. С. 84–89.
3. Таран В. Е. Гидромеханизация промысловых судов // Рыболовство – аквакультура: материалы III Междунар. науч.-техн. конф. (Владивосток, 18–20 апреля 2017 г.). Владивосток: Изд-во Дальрыбвтуз, 2017. С. 19–24.
4. Pan Q., Shi W. D., Zhang D. S., van Esch B. P. M. et al. Fish-friendly design of an axial flow pump impeller based on a blade strike model // Proceedings of the Institution of Mechanical Engineers. Power and Energy. 2020. V. 234. N. 2. P. 173–186.
5. Silkstream. URL: <https://www.transvac.com/silkstream> (дата обращения: 15.04.2021).
6. Кудакаев В. В., Карпелев Т. П., Бойцов А. Н. Автоматизированные гидравлические системы транспортировки рыбы из орудий лова рыбонасосами // Изв. ТИПРО. 2016. Т. 186. С. 207–213.
7. ООО «АгробалтПроект». URL: <http://www.agrobalt.ru/> (дата обращения: 10.04.2021).

8. Колесников П. Автоматизированная установка для транспортировки рыбы // Автоматизация и производство. 2020. № 2. С. 18–19.
9. Samson Pumps. Ocean Master Series. URL: [www.samson-pumps.com/applications/ocean-master-series/](http://www.samson-pumps.com/applications/ocean-master-series/) (дата обращения: 15.04.2021).
10. Наумов В. А., Великанов Н. Л. Этапы работы вакуумной рыбонасосной установки // Рыбное хозяйство. 2020. № 2. С. 108–112.
11. Наумов В. А., Великанов Н. Л., Землянов А. А. Производительность вакуумных рыбонасосных установок большой мощности // Рыбное хозяйство. 2020. № 4. С. 119–123.
12. Великанов Н. Л., Наумов В. А. Моделирование характеристик водокольцевых вакуумных насосов // Изв. вузов. Машиностроение. 2019. № 10. С. 70–77.
13. Naumov V. A. Influence of leakage on characteristics of the vacuum transport unit based on the water-ring pump // IOP Conf. Series: Materials Science and Engineering. 2020. 862 032007.
14. Айвазян С. А., Мхитарян В. С. Прикладная статистика. Основы эконометрики: учеб. в 2-х т. М.: ЮНИТИ-ДАНА, 2001. Т. 1. 656 с.

#### References

1. Mel'nikov V. N. *Ustroistvo orudii lova i tekhnologiya dobychi ryby: uchebnoe posobie* [Arrangement of fishing gear and technology of fish production: textbook]. Moscow, Agropromizdat, 1991. 384 p.
2. Bozhko A. P., Pogozhev O. A., Mel'nikov A. V. *Sposoby upravleniia elementami rybokhoziaistvennykh sis-*

- tem i rybokhoziaistvennymi protsessami [Ways to control elements of fishery systems and fishery processes]. *Vestnik Astrakhanskogo gosudarstvennogo tekhnicheskogo universiteta. Serii: Rybnoe khoziaistvo*, 2018, no. 1, pp. 84-89.
3. Taran V. E. *Gidromekhanizatsiia promyslovykh sudov* [Hydromechanization of fishing vessels]. *Rybolovstvo – ak-*

*vakul'tura: materialy III Mezhdunarodnoi nauchno-tekhnicheskoi konferentsii (Vladivostok, 18–20 apreliia 2017 g.). Vladivostok, Izd-vo Dal'rybvuz, 2017. Pp. 19–24.*

4. Pan Q., Shi W. D., Zhang D. S., van Esch B. P. M. et al. Fish-friendly design of an axial flow pump impeller based on a blade strike model. *Proceedings of the Institution of Mechanical Engineers. Power and Energy*, 2020, vol. 234, no. 2, pp. 173–186.

5. *Silkstream*. Available at: <https://www.transvac.com/silkstream> (accessed: 15.04.2021).

6. Kudakaev V. V., Karpelev T. P., Boitsov A. N. Avtomatizirovannye gidravlicheskie sistemy transportirovki ryby iz orudii lova rybonasosami [Automated hydraulic systems for transporting fish from fishing gear by fish pumps]. *Izvestiia TINRO*, 2016, vol. 186, pp. 207–213.

7. ООО «AgroBaltProekt» [AgroBaltProekt, LLC]. Available at: <http://www.agro-balt.ru/> (accessed: 10.04.2021).

8. Kolesnikov P. Avtomatizirovannaia ustanovka dlia transportirovki ryby [Automated installation for transporting fish]. *Avtomatizatsiia i proizvodstvo*, 2020, no. 2, pp. 18–19.

9. Samson Pumps. *Ocean Master Series*. Available at: [www.samson-pumps.com/applications/ocean-master-series/](http://www.samson-pumps.com/applications/ocean-master-series/) (accessed: 15.04.2021).

10. Naumov V. A., Velikanov N. L. Etapy raboty vakuumnoi rybonasosnoi ustanovki [Stages of operation of vacuum fish pump unit]. *Rybnoe khoziaistvo*, 2020, no. 2, pp. 108–112.

11. Naumov V. A., Velikanov N. L., Zemlianov A. A. Proizvoditel'nost' vakuumnykh rybonasosnykh ustanovok bol'shoi moshchnosti [Productivity of high power vacuum fish pumps]. *Rybnoe khoziaistvo*, 2020, no. 4, pp. 119–123.

12. Velikanov N. L., Naumov V. A. Modelirovanie kharakteristik vodokol'tsevykh vakuumnykh nasosov [Modeling characteristics of water ring vacuum pumps]. *Izvestiia vuzov. Mashinostroenie*, 2019, no. 10, pp. 70–77.

13. Naumov V. A. Influence of leakage on characteristics of the vacuum transport unit based on the water-ring pump. *IOP Conf. Series: Materials Science and Engineering*, 2020, 862 032007.

14. Aivazian S. A., Mkhitarian V. S. *Prikladnaia statistika. Osnovy ekonometriki: uchebnik: v 2-kh tomakh* [Applied statistics. Fundamentals of econometrics: textbook: in 2 volumes]. Moscow, IuNITI-DANA Publ., 2001. Vol. 1. 656 p.

Статья поступила в редакцию 02.05.2021; одобрена после рецензирования 21.02.2022; принята к публикации 10.03.2022  
The article is submitted 02.05.2021; approved after reviewing 21.02.2022; accepted for publication 10.03.2022

#### Информация об авторе / Information about the author

**Владимир Аркадьевич Наумов** — доктор технических наук, профессор; профессор кафедры техносферной безопасности и природообустройства; Калининградский государственный технический университет; Калининград, проспект Советский, 1; van-old@mail.ru

**Vladimir A. Naumov** — Doctor of Technical Sciences, Professor; Professor of the Department of Technosphere Safety and Environmental Engineering; Kaliningrad State Technical University; Kaliningrad, Sovietsky avenue, 1; van-old@mail.ru

