

УДК 621.33

## АНАЛИЗ РЕЖИМОВ РАБОТЫ СУДОВОЙ ЭЛЕКТРОСТАНЦИИ И ГРЕБНОЙ ЭЛЕКТРИЧЕСКОЙ УСТАНОВКИ (ГЭУ) ПАССАЖИРСКОГО КОЛЕСНОГО СУДНА «ЗОЛОТОЕ КОЛЬЦО»

**Бурда Евгений Мордкович**<sup>1</sup>, доцент, кандидат технических наук, доцент

*e-mail:* [burda1951@mail.ru](mailto:burda1951@mail.ru)

**Галкин Дмитрий Николаевич**<sup>2</sup>, генеральный директор

*e-mail:* [galkindn@list.ru](mailto:galkindn@list.ru)

**Перевезенцев Сергей Владимирович**<sup>1</sup>, доцент, кандидат технических наук

*e-mail:* [sergpsv70@gmail.com](mailto:sergpsv70@gmail.com)

<sup>1</sup> Волжский государственный университет водного транспорта, Нижний Новгород, Россия

<sup>2</sup> Группа Компаний «ГАМА», Нижний Новгород, Россия

**Аннотация.** Проведен анализ режимов работы судовой электростанции и гребной электрической установки по итогам первого года эксплуатации судна. Показаны особенности структуры электростанции, связанные с обеспечением функций энергосбережения и резервирования. Приведена оценка топливной эффективности при различных режимах работы гребной электрической установки.

**Ключевые слова:** колесно-двигательный рулевой комплекс, судовая электростанция, автоматизация режимов работы, гребная электрическая установка, топливная эффективность.

## ANALYSIS OF THE OPERATING MODES OF THE SHIP'S POWER PLANT AND THE ROWING ELECTRIC INSTALLATION OF THE PASSENGER WHEELED VESSEL «GOLDEN RING»

**Burda Evgeniy Mordkovich**<sup>1</sup>, Associate Professor, Candidate of Technical Sciences,

*e-mail:* [burda1951@mail.ru](mailto:burda1951@mail.ru)

**Galkin Dmitry Nikolaevich**<sup>2</sup>, General Director

*e-mail:* [galkindn@list.ru](mailto:galkindn@list.ru)

**Perevezentsev Sergey Vladimirovich**<sup>1</sup>, Associate Professor, Candidate of Technical Sciences

*e-mail:* [sergpsv70@gmail.com](mailto:sergpsv70@gmail.com)

<sup>1</sup> Volga State University of Water Transport, Nizhny Novgorod, Russia

<sup>2</sup> GAMA Group of Companies, Nizhny Novgorod, Russia

**Abstract.** An analysis of the operating modes of the ship's power plant and propulsion electric installation was carried out based on the results of the first year of operation of the vessel. The features of the power plant structure related to providing energy saving and redundancy functions

are shown. An assessment of fuel efficiency is given for various operating modes of an electric propulsion system.

**Keywords:** Wheel-propulsion steering complex, ship power plant, automation of operating modes, electric propulsion system, fuel efficiency.

В 2023 году пассажирское судно «Золотое кольцо» провело свою первую навигацию. «Золотое кольцо» — это круизный дизель-электроход проекта ПКС-180, рассчитанный на перевозку 180 пассажиров. Габариты этого судна составляют 81,6×13,8×9,5 м, а осадка судна по факту составила 1,4 м. В качестве движителей используются два гребных колеса, а также имеется азимутальное носовое подруливающее устройство. Для изменения режимов работы колесно-двигательного рулевого комплекса и маневрирования используется частотное регулирование приводных электродвигателей.

На рисунке 1 представлена структурная схема судовой электростанции и гребной электрической установки.

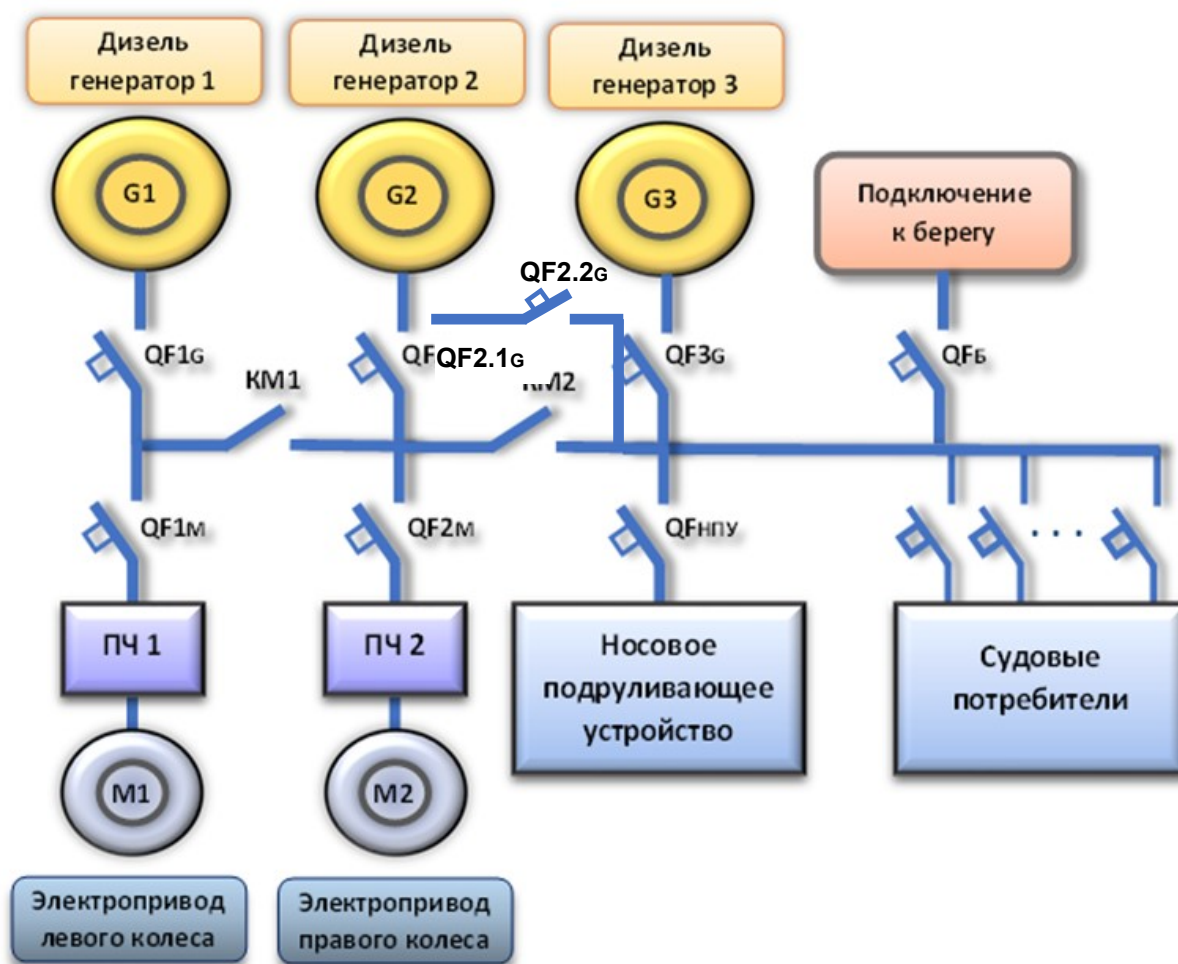


Рисунок 1 – Структурная схема судовой электростанции

Электростанция состоит из трех дизель-генераторов мощностью по 320 кВт. В главном распределительном щите (ГРЩ) имеется три секции шин по количеству генераторов, но генератор G2 может подключаться как на вторую, так и на третью секцию. В ГРЩ

установлены межсекционные контакторы КМ1 и КМ2. Такая компоновка ГРЩ позволила полностью автоматизировать режимы работы электростанции как в эксплуатационных, так и в аварийных режимах и управлять ее работой из рубки. Экипаж запускает дизель-генераторы и подключает их к шинам в любой последовательности. Нужная схема собирается автоматически [1]. При эксплуатации судна наиболее часто использовались два режима коммутации ГЭУ. Основной режим – для движения на максимальной скорости – работают все три дизель-генератора. Гребные электродвигатели через преобразователи частоты подключены к своим дизель-генераторам G1 и G2, а все судовые потребители подключены к отдельному дизель-генератору G3. И второй так называемый «экономный» режим, при скрести движения судна менее 13 км/ч, гребные электродвигатели подключены только к одному дизель-генератору G1 или G2, а G3, как и ранее, питает всех судовых потребителей.

Предусмотрен и третий режим работы электростанции – «аварийный», когда все судно питается от одного дизель-генератора, при этом скорость судна ограничивается до 6 км/ч

Использование частотных преобразователей для управления гребными электродвигателями приводит к появлению в электрической сети судна высокого процента высших гармоник, что при параллельной работе нескольких работе дизель-генераторов сказывается негативно на их длительную работу – происходит некорректная работа системы распределения реактивной и активной мощности. Поэтому экипаж снимал с шин один генератор и ставил на шины другой. Осциллограмма этого процесса приведена на рисунке 2.

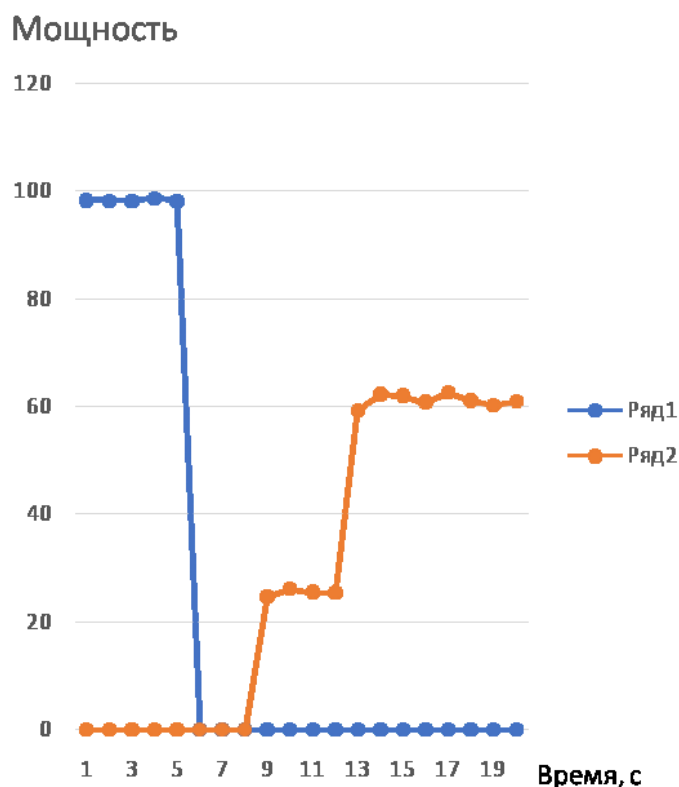


Рисунок 2 – Плановое переключение нагрузки с генератора G1 (ряд 1) на G3 (ряд 2)

Время переключения пауза в 2 секунды характеризует скорость работы экипажа. В автоматическом режиме в случае отключения G1 время постановки генератора G3 на шины

не превышает 1 секунды. Учитывая инерционность привода гребных колес, практически не сказывается на управляемости судна плановое или аварийное переключения режимов работы на шинах ГЭУ. Подхват заданной скорости вращения колеса «на ходу» происходит автоматически после восстановления питания. Поиск заданной скорости включения занимает не более 2 секунд.

На рисунке 3 показана осциллограмма мощности генератора G3 в течении суток при работе на общесудовые потребители.

По таблице нагрузок расчетная мощность дизель- генератора G3 составляет 280 кВт. За счет использования энергоэффективных решений фактическая мощность без подруливающего устройства не превышала 100 кВт.

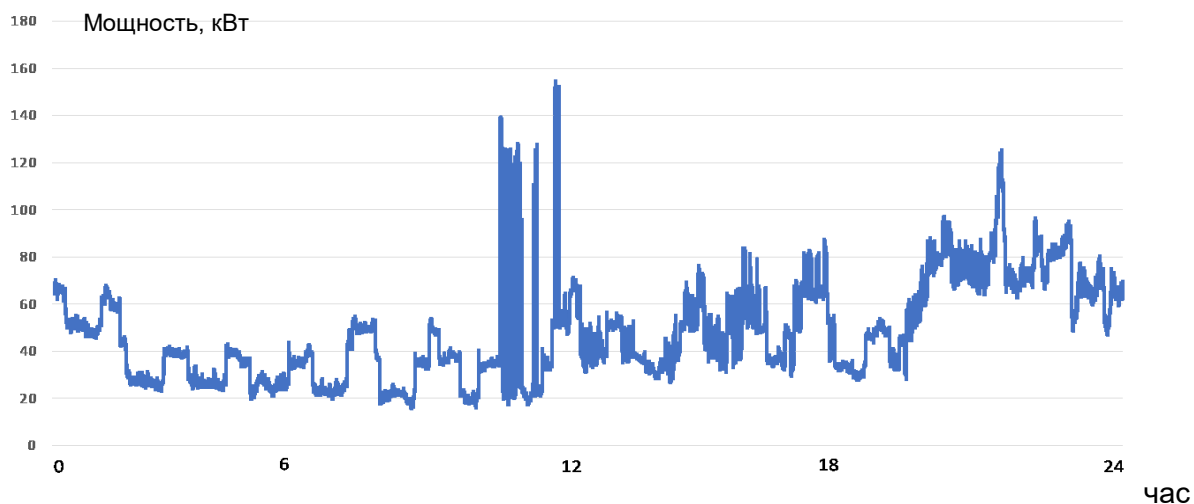


Рисунок 3 – Осциллограмма мощности генератора G3 за 24 часа

Активное использование утиль-котлов для получения горячей воды в системе водоснабжения и применение частотно-регулируемых приводов для большинства электродвигателей позволило уменьшить потребление электроэнергии до 40кВт, в судовой системе вентиляции и кондиционирования до 20 кВт, в освещении за счет использования светодиодных светильников 20 кВт.

При подключении подруливающего устройства потребляемая мощность увеличивалась на 100 кВт, но провалов напряжения не наблюдалось. Время разгона и остановки электродвигателя подруливающего устройства составляет 3 секунды. Осциллограмма работы подруливающего устройства приведена на рисунке 4.

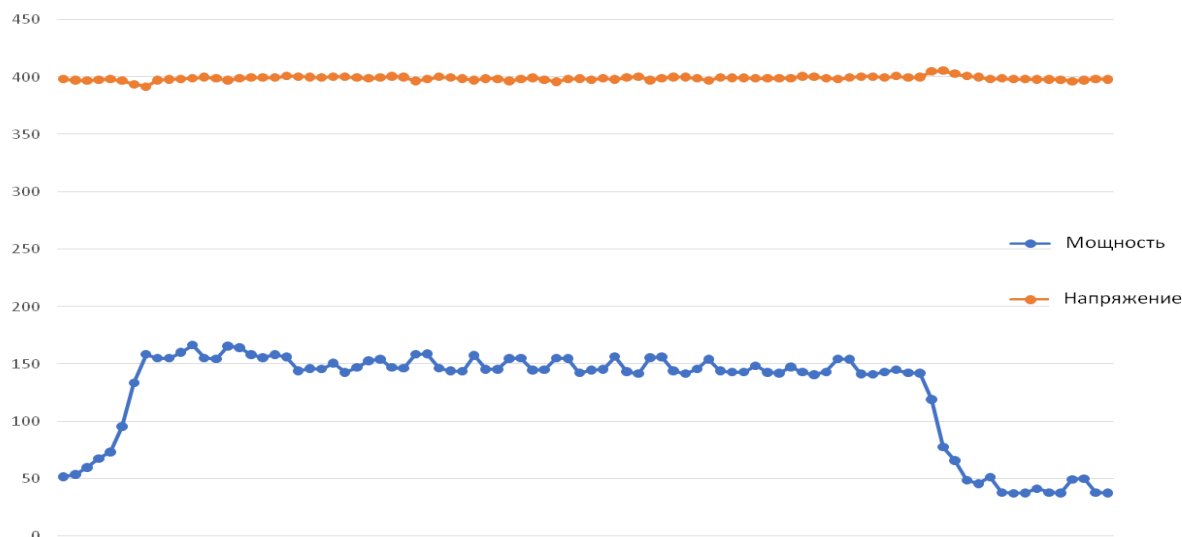


Рисунок 4 – Осциллограмма работы подруливающего устройства

При работе ГЭУ с точки зрения топливной эффективности важна работа при максимально возможном КПД колесного движителя, который зависит от кажущегося скольжения  $S$  [2] вычисляемого по формуле (1).

$$S = 1 - \frac{V}{C} \quad (1)$$

где  $V$  - скорость судна, м/с;

$C$  - линейная скорость плицы колеса, м/с.

Известна формула зависимости коэффициента полезного действия (КПД) колеса (2) от кажущегося скольжения двигателя  $S$  [3].

$$\eta = (0,5 + 0,6\sqrt[3]{S})(1 - S) \quad (2)$$

Оптимальное кажущееся скольжение  $S$  находится в пределах от 0,08 до 0,18. При этом КПД колеса достигает 65 -70%. Следует отметить, что поддержание оптимального КПД колеса эффективно при плавном разгоне судна или движения судна на скоростях 0,5-0,8 от максимальной скорости судна. На рисунке 5 показана осциллограмма разгона судна.

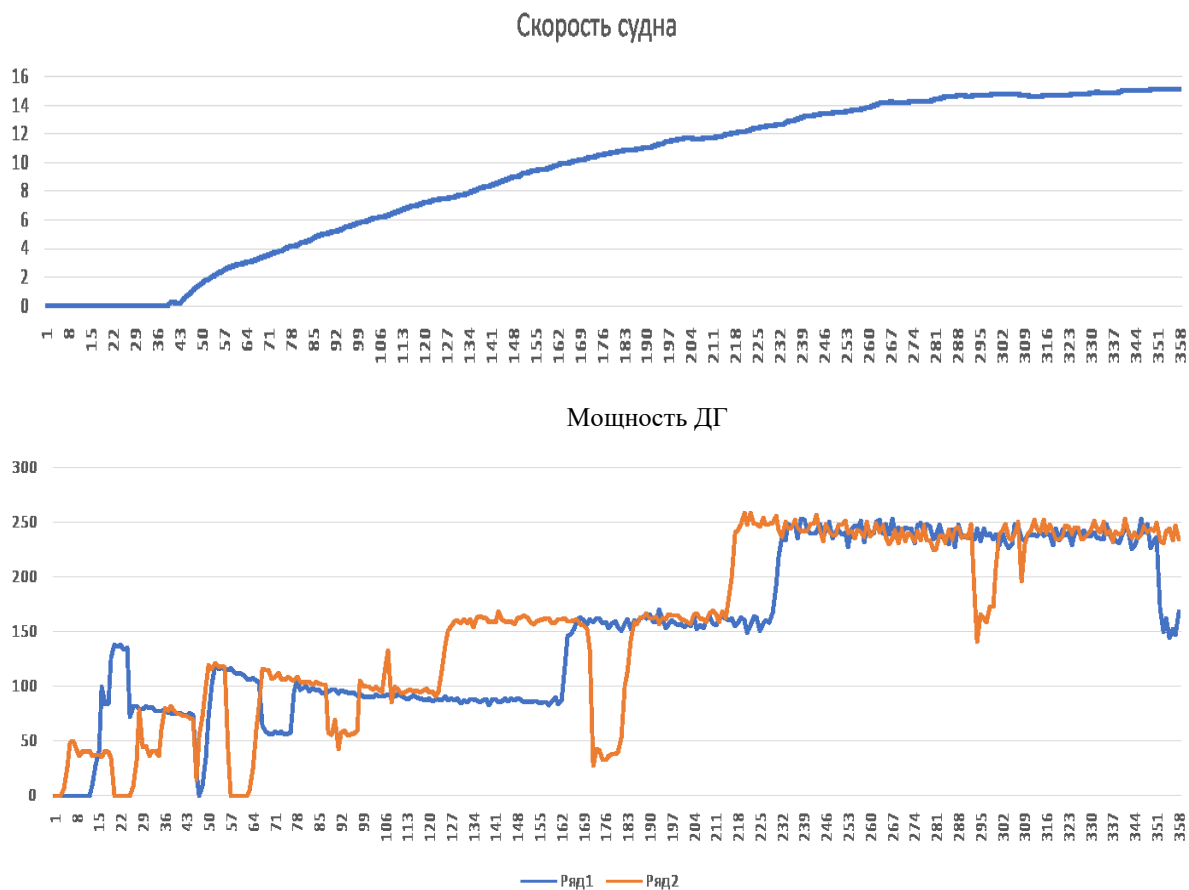


Рисунок 5 – Осциллограммы изменения скорости судна и мощности ДГ при разгоне судна

При экстренном маневрировании и движении на максимальных скоростях на первое место выходит создание необходимого упора, а не поддержание заданного кажущегося скольжения. На судне в настройках частотных преобразователей задано время разгона колес от нулевой до максимальной скорости вращения (20,4 об/мин.) равное 10 секундам, а время торможения 6 секунд. Эти уставки не являются оптимальными с точки зрения КПД. При быстром наборе колеса своей скорости (20 об/мин.) выход на заданную максимальную скорость составлял 2,5 мин. При этом наблюдались незначительные перегрузки по моменту. Фактически при эксплуатации экипаж значительно увеличивал время разгона колеса. На рисунке 5 показана осциллограмма разгона судна при КПД близким к оптимальному. Время разгона примерно 5 минут.

Для обеспечения быстрой остановки гребного колеса в ГЭУ используются тормозные сопротивления, подключенные к ПЧ. Для эффективного торможения двигателя 315 кВт достаточно сопротивления с установленной мощностью 15кВт. Время торможения с полной скорости до нуля выбрано в пределах 6 – 7с. При эксплуатации пришлось убрать режим динамического торможения, при котором колеса фиксируются в неподвижном положении. Но скорость судна за это время падает незначительно и к заторможенному колесу прикладывается усилие от набегающего потока воды в 2 – 2,5 раза превышающее расчетное, что было показано еще на ранее построенных колесных судах проекта ПКС-40 [4]. Поэтому преобразователь частоты отключает двигатель и колесо свободно вращается под действием набегающего потока воды. По результатам эксплуатации выяснилось, что реверс колеса для обеспечения дальнейшего эффективного торможения возможен со скорости менее 11км/час. На практике типовой график замедления показан на рисунке 6.

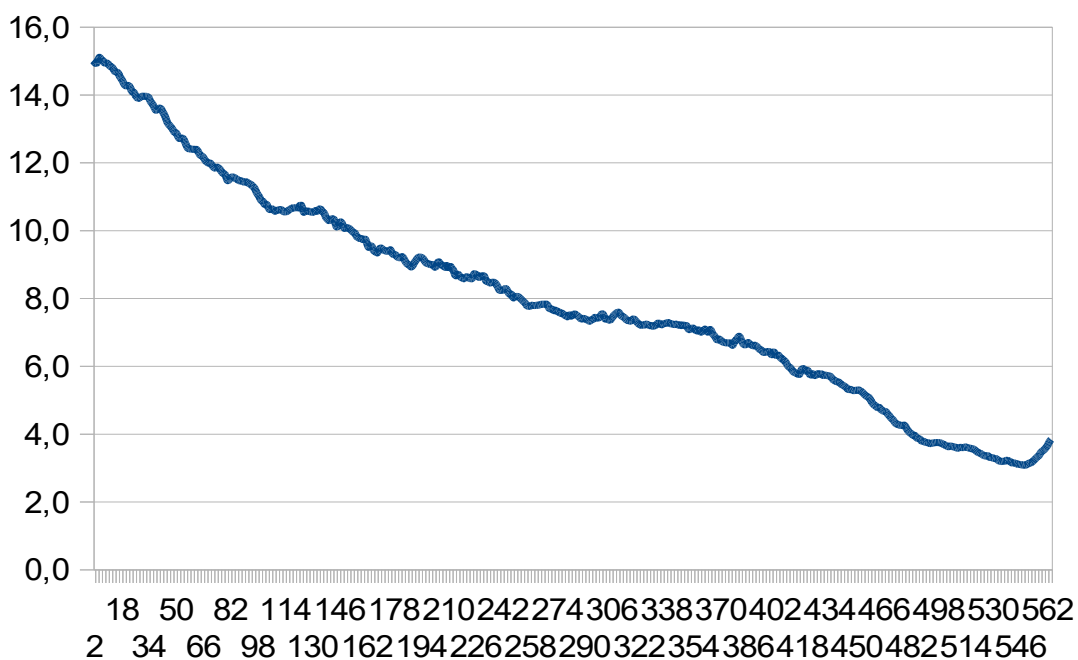


Рисунок 6 – Плавное снижение скорости без тормозных режимов

На графике показана плавная остановка судна в течение 8 минут. При экстренной остановке, которая была проведена при испытаниях судна, время замедления судна со скорости 16 км/час до остановки составило 140 секунд, а пройденный путь 300 м.

Первый год эксплуатации судна показал, что ГЭУ с частотно-регулируемым приводом обеспечивает судну хорошие разгонные и тормозные характеристики, хорошую маневренность.

Особо следует отметить топливную экономичность судна. На рисунке 7 показаны диаграммы удельных расходов топлива в час и на 1 км пути при различных скоростях движения. При построении диаграмм учитывалось, что расход на все потребители судна, исключая ГЭУ, составил 23 кг/час.

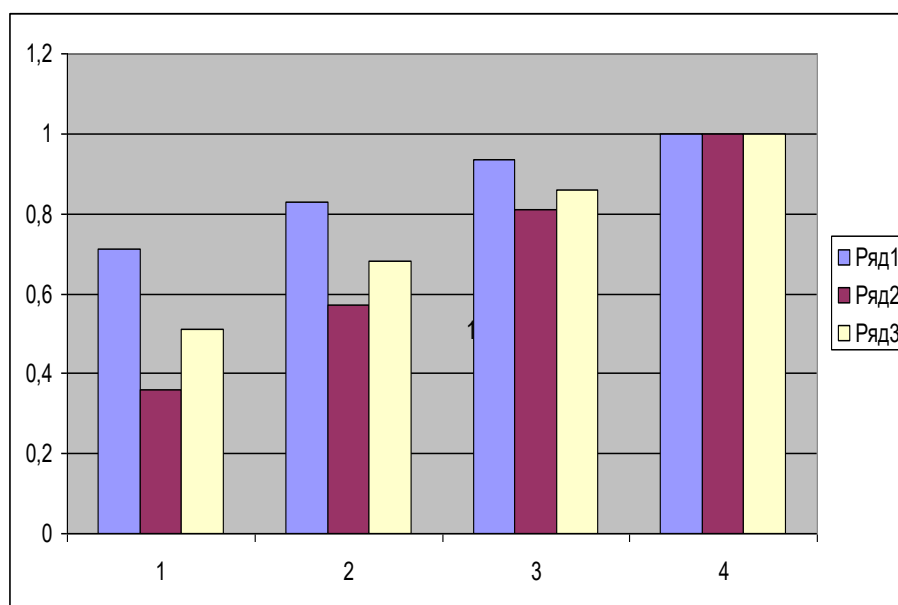


Рисунок 7 – Диаграмма удельных расходов топлива

На представленном рисунке ряд 1 – скорость судна (км/час), ряд 2 – расход топлива (кг/час) и ряд 3 – расход топлива (кг/км).

На В столбце 4 указаны максимальные полученные эксплуатационные характеристики судна: скорость – 17 км/час, удельные расходы топлива – 154 кг/час и 9,1 кг/км (положение джойстика 6). В столбце 2 (положение джойстика 4) следующие эксплуатационные характеристики судна: скорость – 14,1 км/час, удельные расходы топлива – 87,4 кг/час и 6,2 кг/км.

За время эксплуатации на судне «Золотое кольцо» не было отказов в работе электростанции и ГЭУ.

### **Список литературы:**

1. Бурда Е.М., Перевезенцев С.В., Плющаев В.И. Комплексная автоматизация судовых технологических процессов колесных судов. // Морские интеллектуальные технологии. Научный журнал № 4 том 1 2021 г., с 180 – 188.

2. Бурда Е.М., Попов С.В. Автоматическое регулирование темпа разгона гребных электродвигателей колесного судна. // Великие реки 2019: Материалы международной научно-методической конференции. ФГБОУ ВО «ВГУВТ». – 2019. – URL: <http://вф-река-море.рф/2019/6.1> (дата обращения: 20.05.2024)

3. Алферьев М. Я. Судовые движители // М. : Водный транспорт, 1938. – 651 с.

4. Галкин Д.Н., Корнев А.Б., Бурда Е.М. Инновационная гребная электрическая установка пассажирского колесного судна. // Речной транспорт (XXI век), №1 (77) 2016г., С. 24 – 26.

