



ФГБОУ ВО «Нижегородский государственный технический университет  
им Р.Е. Алексеева

Д.ф.-м.н. профессор РАН Куркин Андрей Александрович

Д.т.н. доцент Дарьенков Андрей Борисович

Автономные электростанции на основе ДВС переменной  
частоты вращения»

Нижний Новгород, 2022 г.

# Обоснование разработки дизель-генераторной установки переменной частоты вращения (ДГПЧВ)

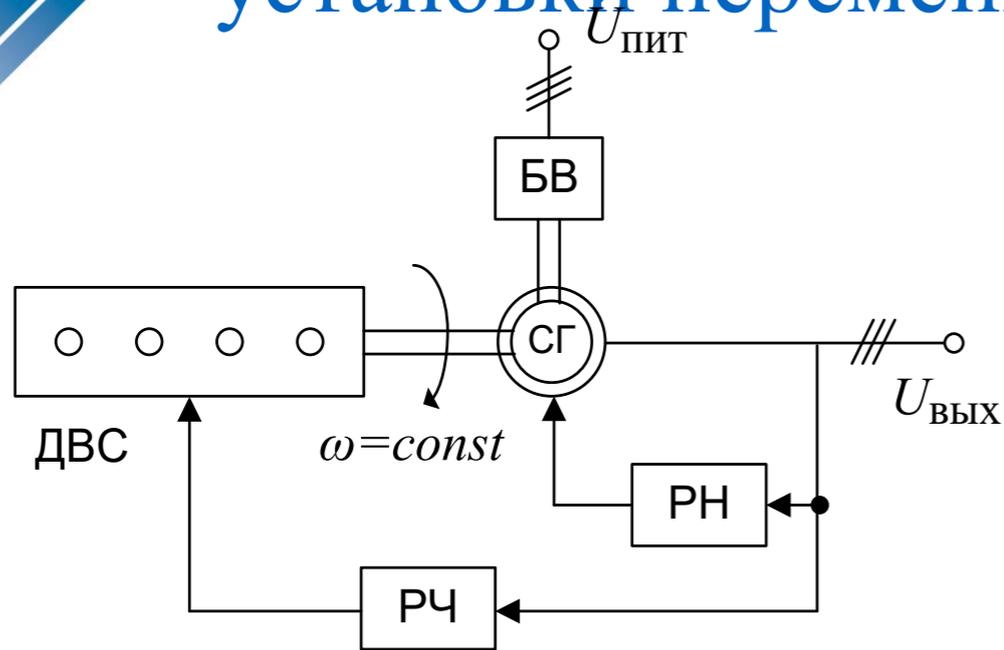


Рисунок 1 - Функциональная схема ДГУ постоянной частоты вращения

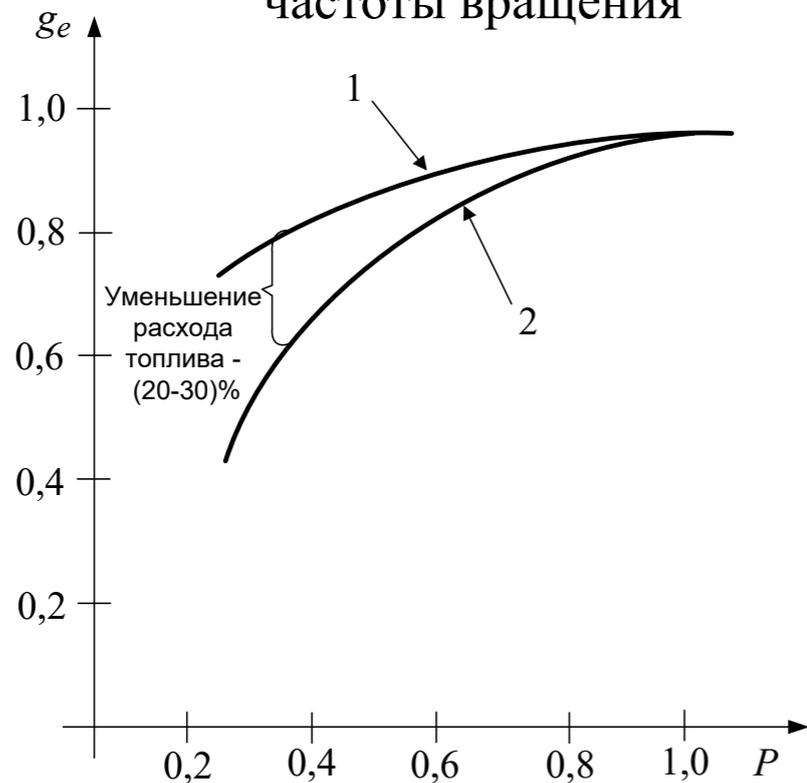


Рисунок 4 - Зависимости расхода топлива от мощности нагрузки для ДВС постоянной (1) и переменной частоты вращения (2)

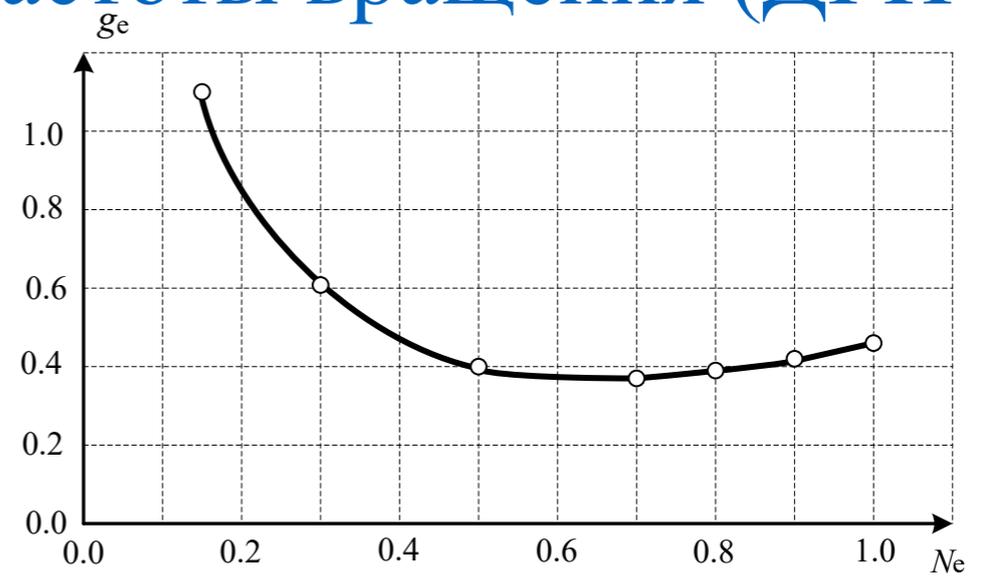


Рисунок 2 - Нагрузочная характеристика ДВС ( $\omega = const$ )

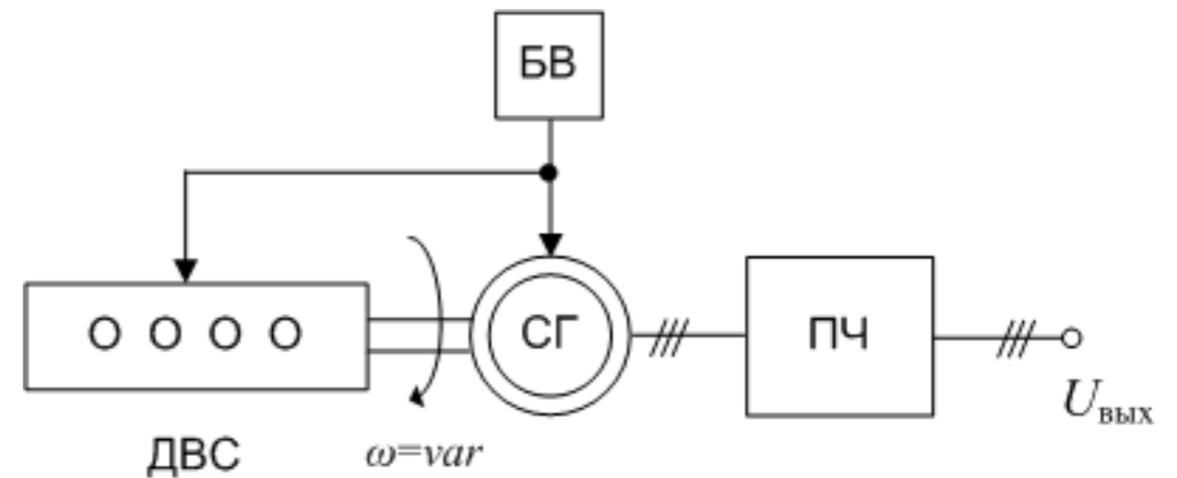


Рисунок 3 – Функциональная схема ДГПЧВ:  
 ДВС – двигатель внутреннего сгорания;  
 СГ - синхронный генератор; РН – регулятор напряжения; РЧ – регулятор частоты;  
 БВ – блок возбуждения СГ;  
 ПЧ – преобразователь частоты

1. Структуры автономной электростанции на основе ДВС переменной частоты вращения, отличающиеся новизной технических решений и обеспечивающие работу ДВС в оптимальном с точки зрения потребления топлива режиме, а также стабилизацию параметров генерируемой электрической энергии - амплитуды и частоты выходного напряжения электростанции.

- Пат. на изобретение 2666782, Российская Федерация, МПК Н 02 J 3/34. Автономная электростанция переменного тока / А.Б. Дарьенков. - №; заявл. 19.07.2017; опубл. 12.09.2018, Бюл. № 26.

- Пат. на изобретение 2666903, Российская Федерация, МПК Н 02 J 3/34. Автономная электростанция переменного тока / А.Б. Дарьенков. - № 2017135362; заявл. 05.10.2017; опубл. 13.09.2018, Бюл. № 26.

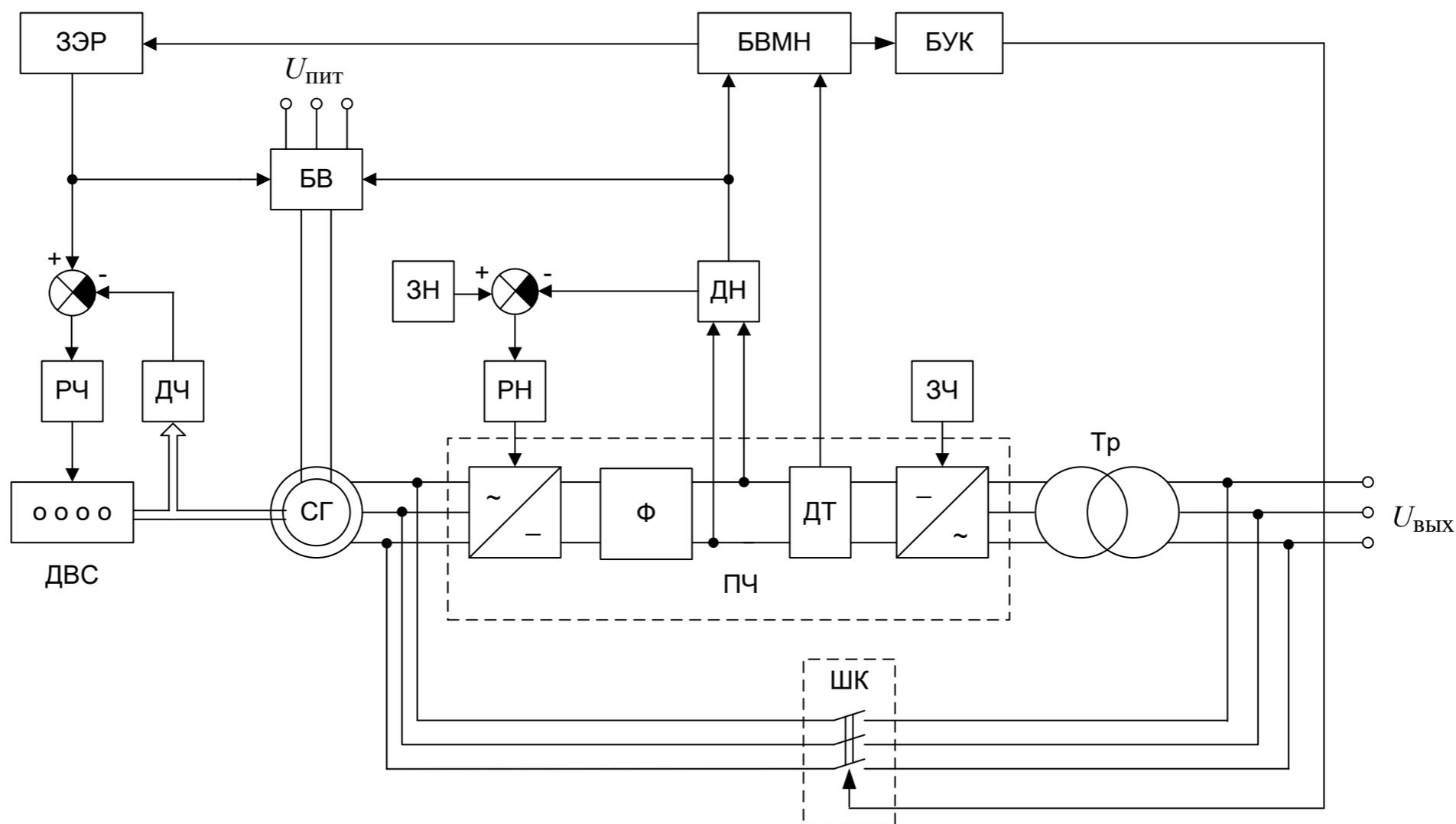
2. Способы управления автономной электростанцией на основе ДВС переменной частоты вращения, позволяющая при изменении мощности нагрузки определять значения оптимальной с точки зрения расхода топлива частоты вращения вала ДВС.

- Пат. на изобретение 2773234, Российская Федерация, МПК Н 02 J 9/08. Способ управления гибридной электростанцией / А.Б. Дарьенков, Слузов А.П. - № 2021130362; заявл. 19.10.2021; опубл. 01.06.2022, Бюл. № 16.

- Пат. на изобретение 040248, Евразийское патентное ведомство. Способ управления дизель-генераторной установкой переменной частоты вращения / И.Е. Бердников, А.Б. Дарьенков, А.А. Куркин - № 202191497; заявл. 28.06.2021; опубл. 13.05.2022.

# Структуры ДГПЧВ

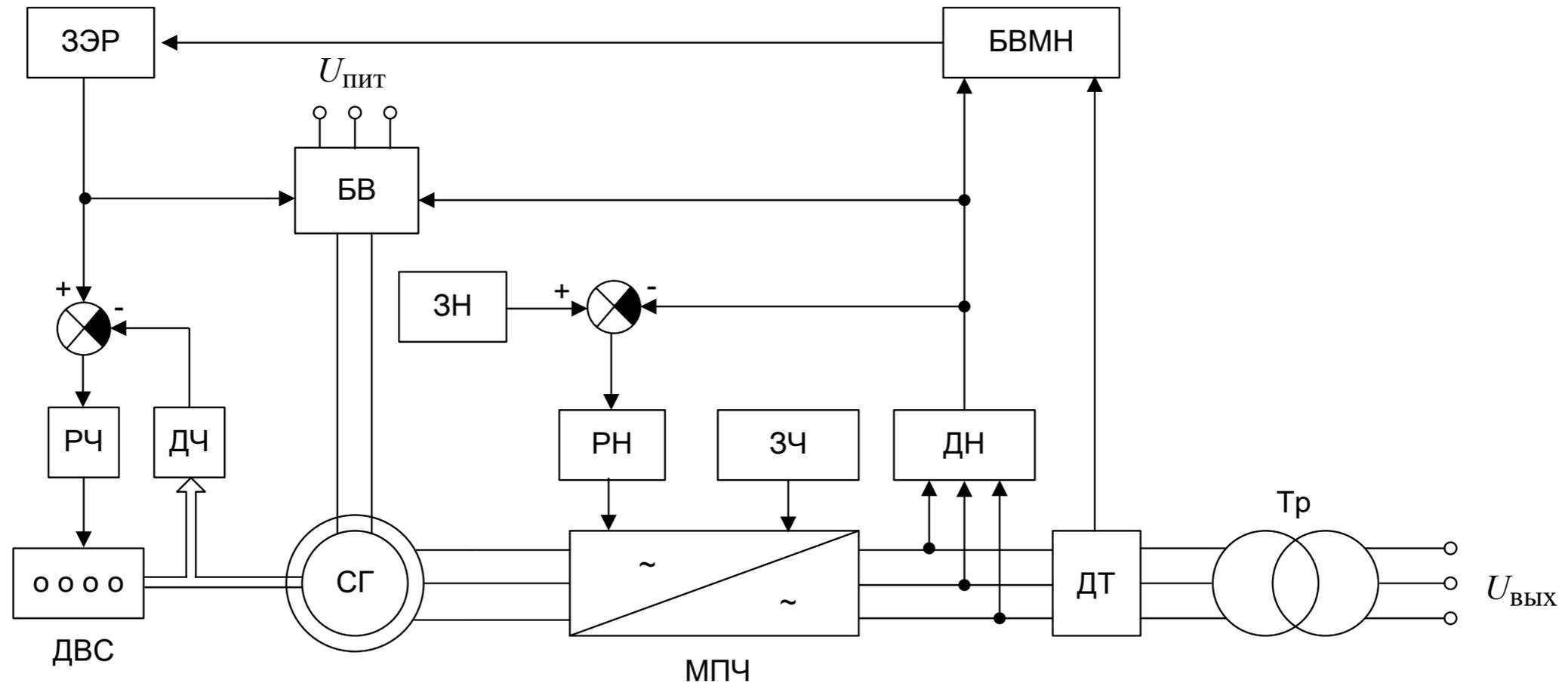
## ДГПЧВ на основе двухзвенного ПЧ



ДВС – двигатель внутреннего сгорания; СГ – синхронный генератор; УВ – управляемый выпрямитель; Ф – фильтр (конденсаторная батарея); ДТ – датчик тока; ИН – инвертор напряжения; ПЧ - преобразователь частоты; Тр – повышающий трансформатор; РЧ – регулятор частоты вращения вала ДВС; ДЧ – датчик частоты вращения вала ДВС; ЗЭР – задатчик экономичного режима ДВС; БВ – блок возбуждения СГ; ДН – датчик напряжения; РН – регулятор напряжения; ЗН – задатчик напряжения; БВМН – блок вычисления мощности нагрузки; ЗЧ – задатчик частоты выходного напряжения ИН; ШК – шунтирующий контактор; БУК – блок управления контактором

# Структуры ДГПЧВ

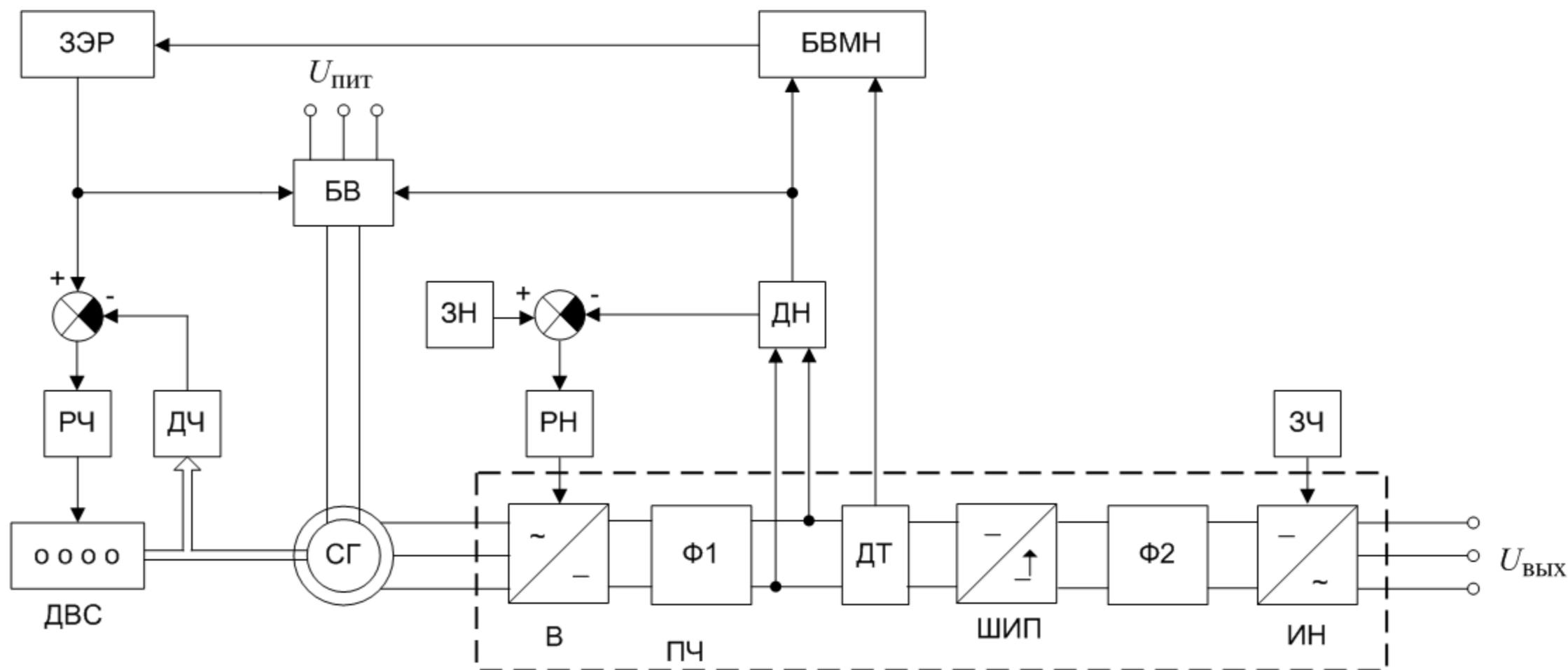
## ДГПЧВ на основе МПЧ



ДВС – двигатель внутреннего сгорания; СГ – синхронный генератор; МПЧ – матричный преобразователь частоты; ДТ – датчик тока; Тр – повышающий трансформатор; РЧ – регулятор частоты вращения вала ДВС; ДЧ – датчик частоты вращения вала ДВС; ЗЭР – задатчик экономичного режима ДВС; БВ – блок возбуждения СГ; ДН – датчик напряжения; РН – регулятор напряжения; ЗН – задатчик напряжения; БВМН – блок вычисления мощности нагрузки

# Структуры ДГПЧВ

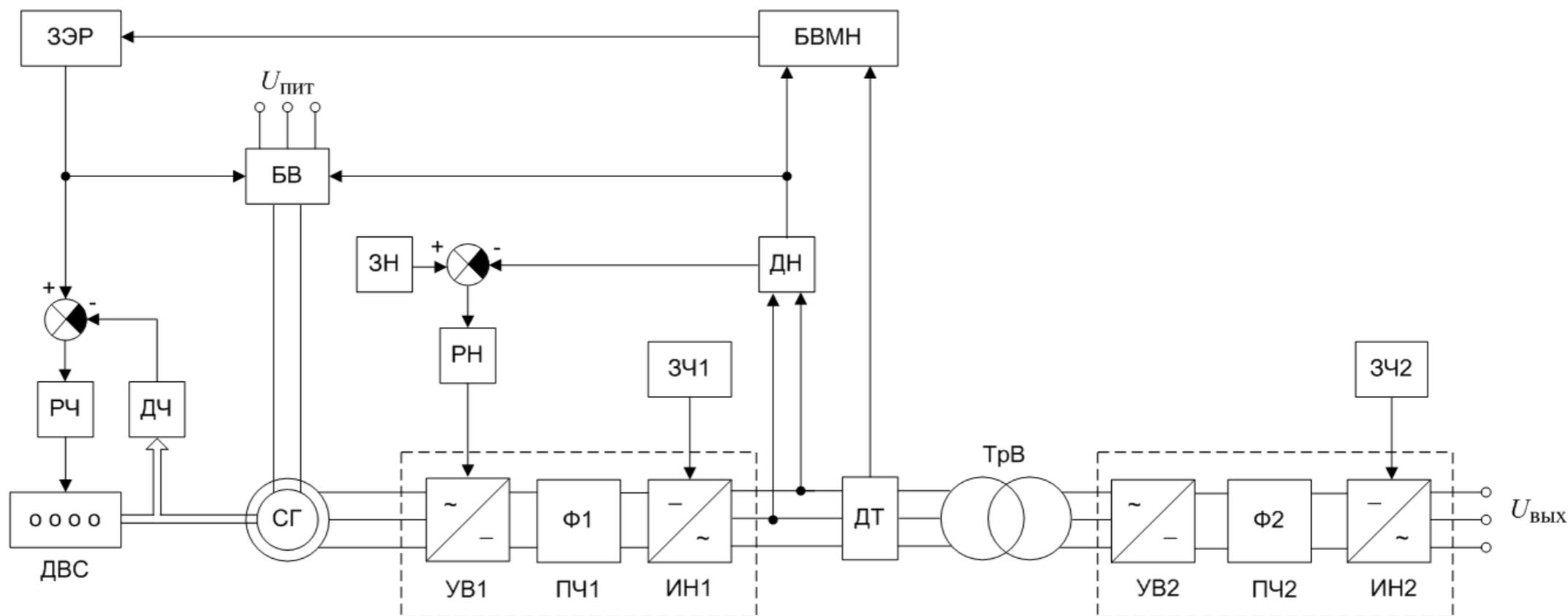
## ДГПЧВ на основе ШИП



ДВС – двигатель внутреннего сгорания; СГ – синхронный генератор; В –выпрямитель; Ф1,2 – фильтры (конденсаторные батареи); ДТ – датчик тока; ШИП – широтно-импульсный преобразователь; ИН – инвертор напряжения; ПЧ - преобразователь частоты; РЧ – регулятор частоты вращения вала ДВС; ДЧ – датчик частоты вращения вала ДВС; ЗЭР – задатчик экономичного режима ДВС; БВ – блок возбуждения СГ; ДН – датчик напряжения; РН – регулятор напряжения; ЗН – задатчик напряжения; БВМН – блок вычисления мощности нагрузки; ЗЧ – задатчик частоты выходного напряжения ИН

# Структуры ДГПЧВ

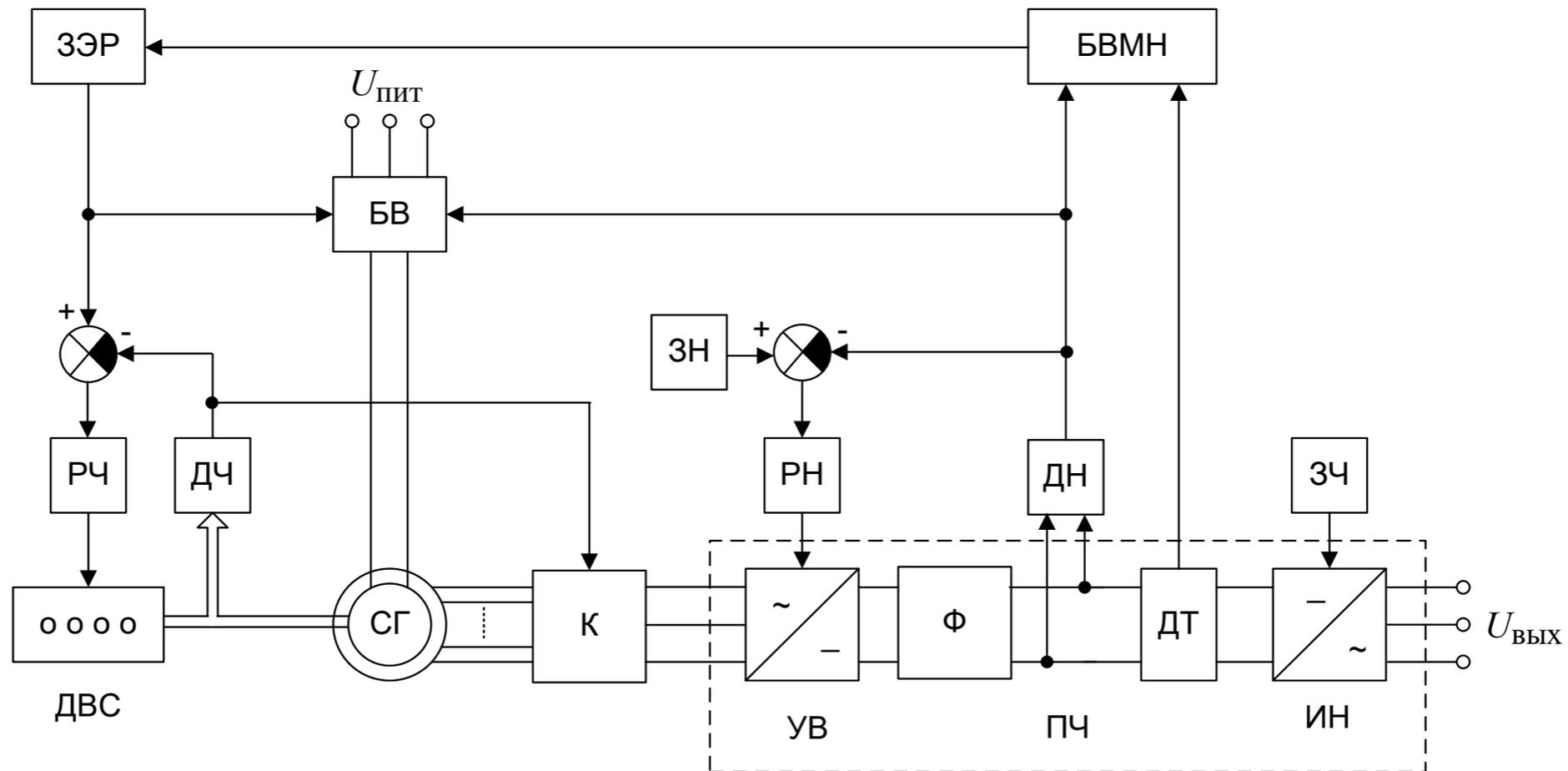
## ДГПЧВ на основе высокочастотного трансформатора



ДВС – двигатель внутреннего сгорания; СГ – синхронный генератор; УВ1, УВ2 – управляемые выпрямители; Ф1, Ф2 – фильтры (конденсаторные батареи); ДТ – датчик тока; ИН1, ИН2 – инверторы напряжения; ПЧ1, ПЧ2- преобразователи частоты; ТрВ – высокочастотный повышающий трансформатор; РЧ – регулятор частоты вращения вала ДВС; ДЧ – датчик частоты вращения вала ДВС; ЗЭР – задатчик экономичного режима ДВС; БВ – блок возбуждения СГ; ДН – датчик напряжения; РН – регулятор напряжения; ЗН – задатчик напряжения; БВМН – блок вычисления мощности нагрузки; ЗЧ1, ЗЧ2 – задатчики частоты выходного напряжения ИН1, ИН2

# Структуры ДГПЧВ

## ДГПЧВ на основе СГ специального типа

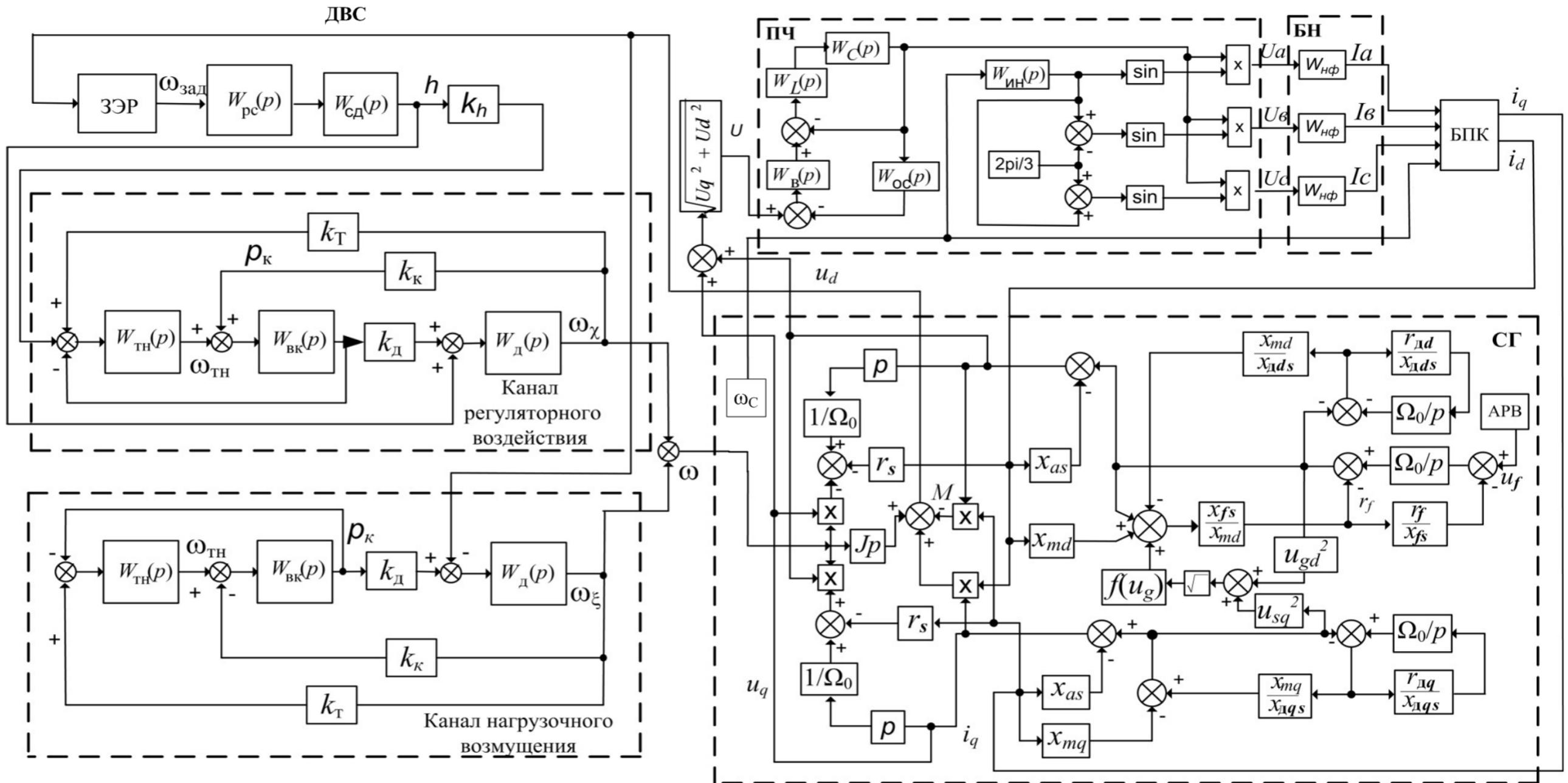


ДВС – двигатель внутреннего сгорания; СГ – синхронный генератор; К – коммутатор; ПЧ – преобразователь частоты; УВ – управляемый выпрямитель; Ф – фильтр (конденсаторная батарея); ДТ – датчик тока; ИН – инвертор напряжения; РЧ – регулятор частоты вращения вала ДВС; ДЧ – датчик частоты вращения вала ДВС; ЗЭР – задатчик экономичного режима ДВС; БВ – блок возбуждения СГ; ДН – датчик напряжения; РН – регулятор напряжения; ЗН – задатчик напряжения; БВМН – блок вычисления мощности нагрузки; ЗЧ – задатчик частоты выходного напряжения ИН



# Исследование динамических режимов работы ДГПЧВ

## Структурная схема ДГПЧВ на основе двухзвенного ПЧ





# Исследование динамических режимов работы ДГПЧВ

## Расчетные диаграммы ДГПЧВ на основе двухзвенного ПЧ

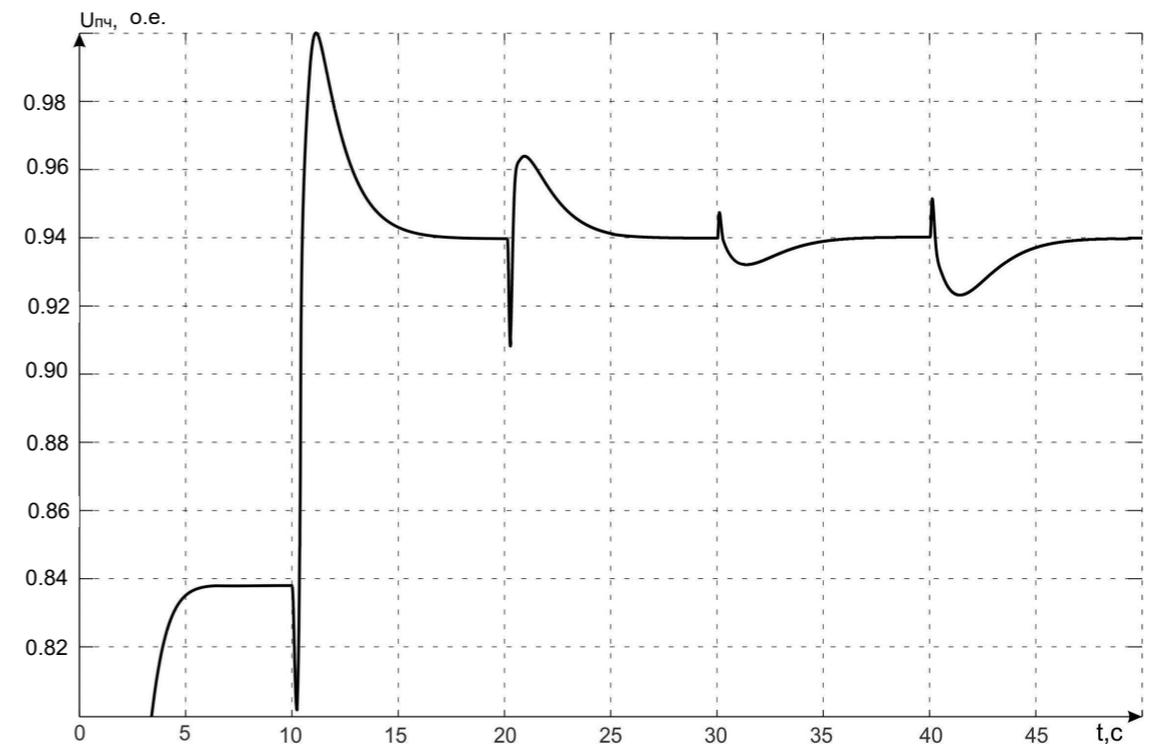
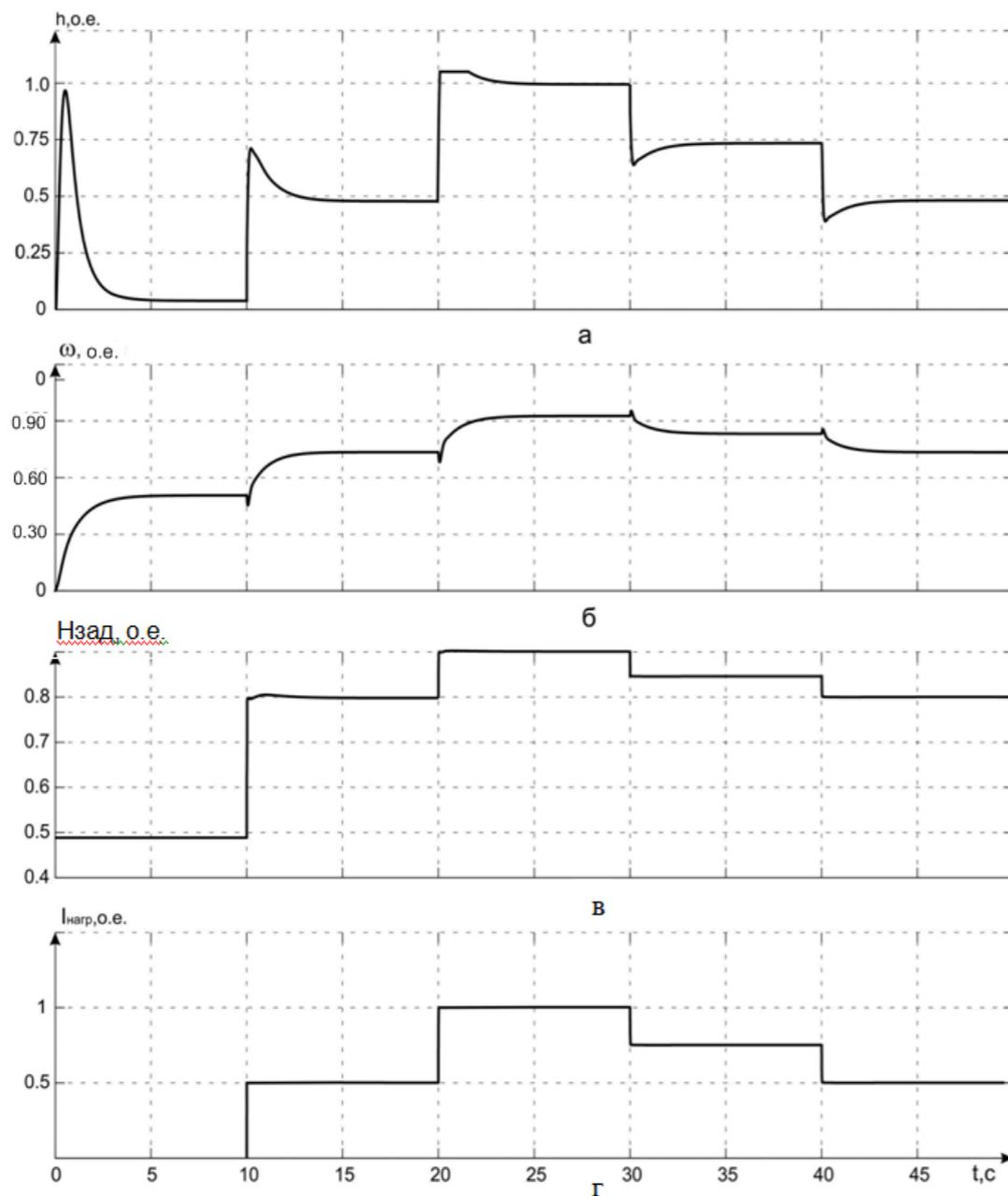


Рисунок 2 - Выходное напряжение ДГПЧВ на основе двухзвенного ПЧ с управлением от ЗЭР при нагрузочном воздействии

Рисунок 1 - Результаты моделирования ДГПЧВ на основе двухзвенного ПЧ с управлением от ЗЭР при нагрузочном воздействии: а – траектория рейки топливного насоса  $h$ , о.е.; б – частота вращения дизеля  $\omega$ , о.е.; в – управляющее воздействие ЗЭР,  $N_{зад}$  о.е.; г – ток нагрузки  $I_{нагр}$ , о.е.

# Энергетические показатели режимов работы ДГПЧВ

## Расчет КПД и расхода топлива ДГУ мощностью 160 кВт

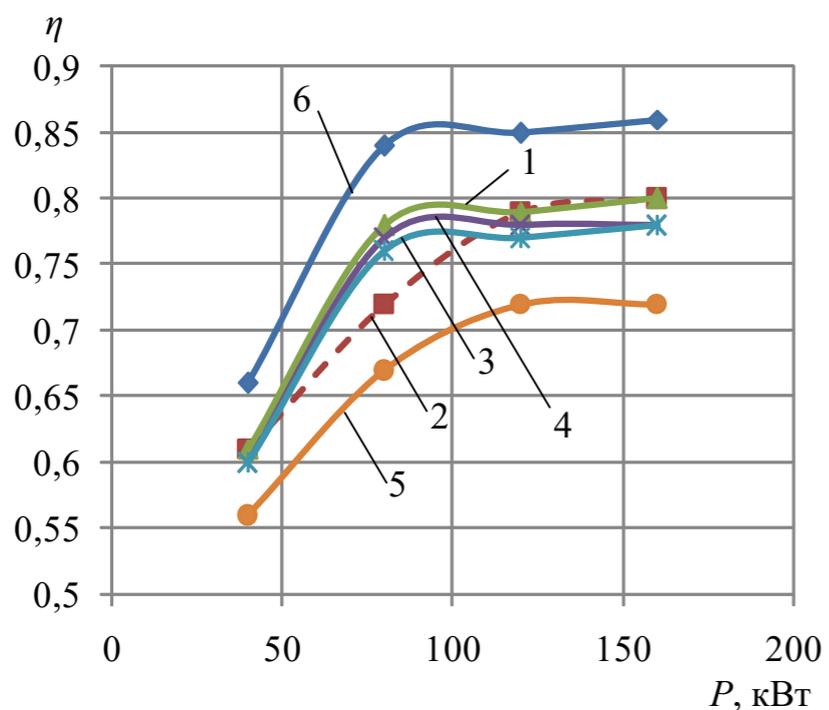


Рисунок 1 - Зависимости суммарного КПД вариантов ДГПЧВ и ДГУ постоянной частоты вращения

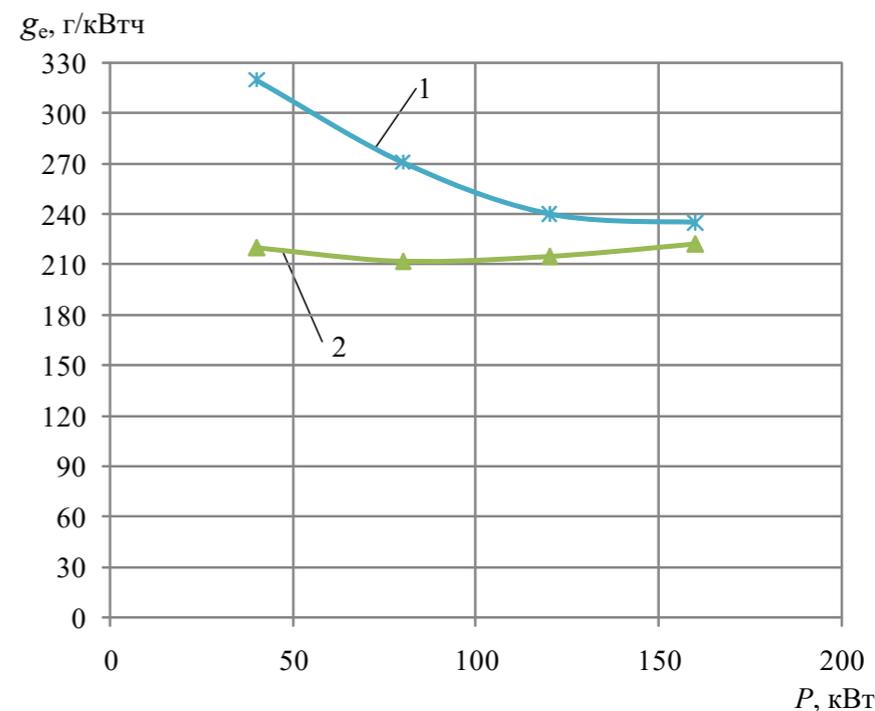


Рисунок 3 - Зависимости удельного расхода топлива для ДГУ постоянной частоты вращения (1) и ДГПЧВ на основе СГ специального типа (2)

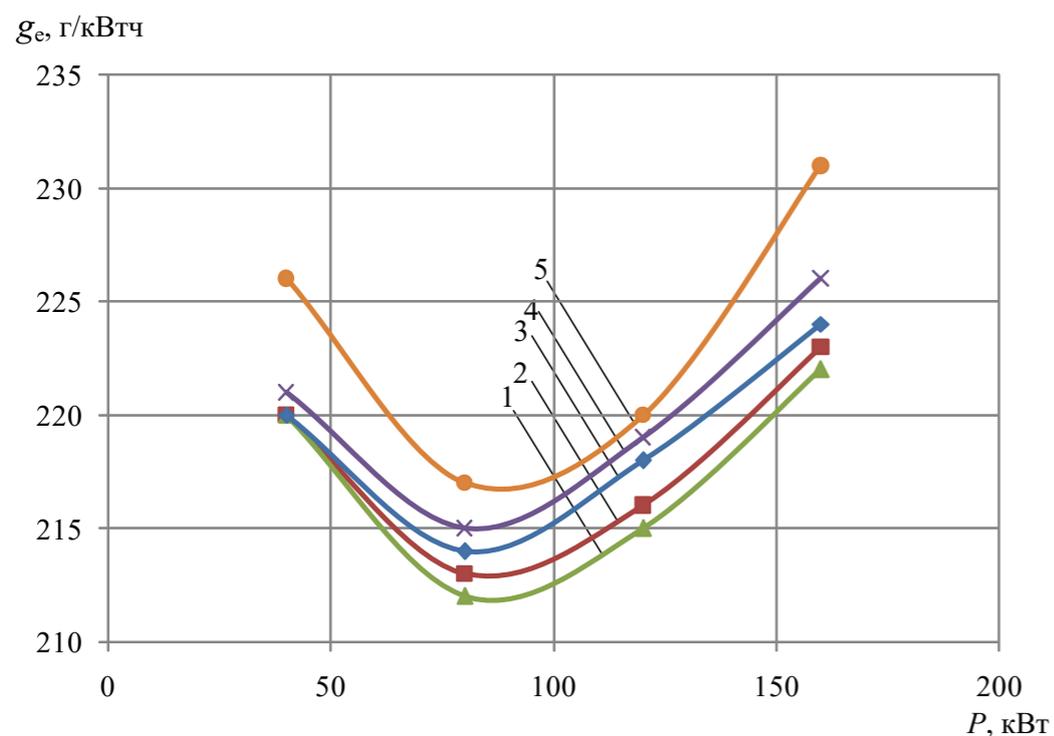


Рисунок 2 - Зависимости удельного расхода топлива вариантов ДГПЧВ:

1 – ДГПЧВ на основе многообмоточного СГ; 2 – ДГПЧВ на основе МПЧ; 3 – ДГПЧВ на основе ШИП; 4 – ДГПЧВ на основе двухзвенного ПЧ; 5 – ДГПЧВ на основе высокочастотного трансформатора; 6 – ДГУ постоянной частоты вращения



# Энергетические показатели режимов работы ДГПЧВ

## Расчет КПД и расхода топлива ДГУ мощностью 160 кВт

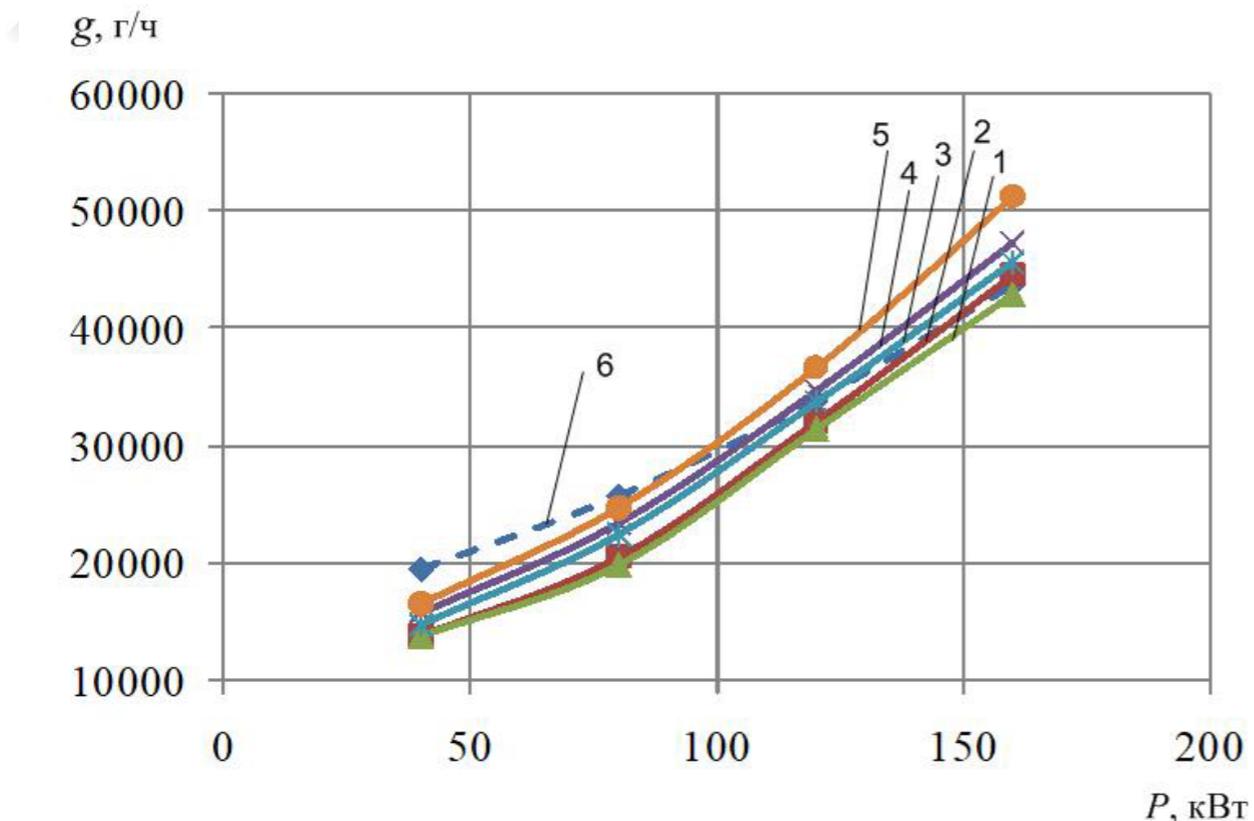


Рисунок 1 - Зависимости абсолютного расхода топлива вариантов ДГПЧВ и ДГУ постоянной частоты вращения

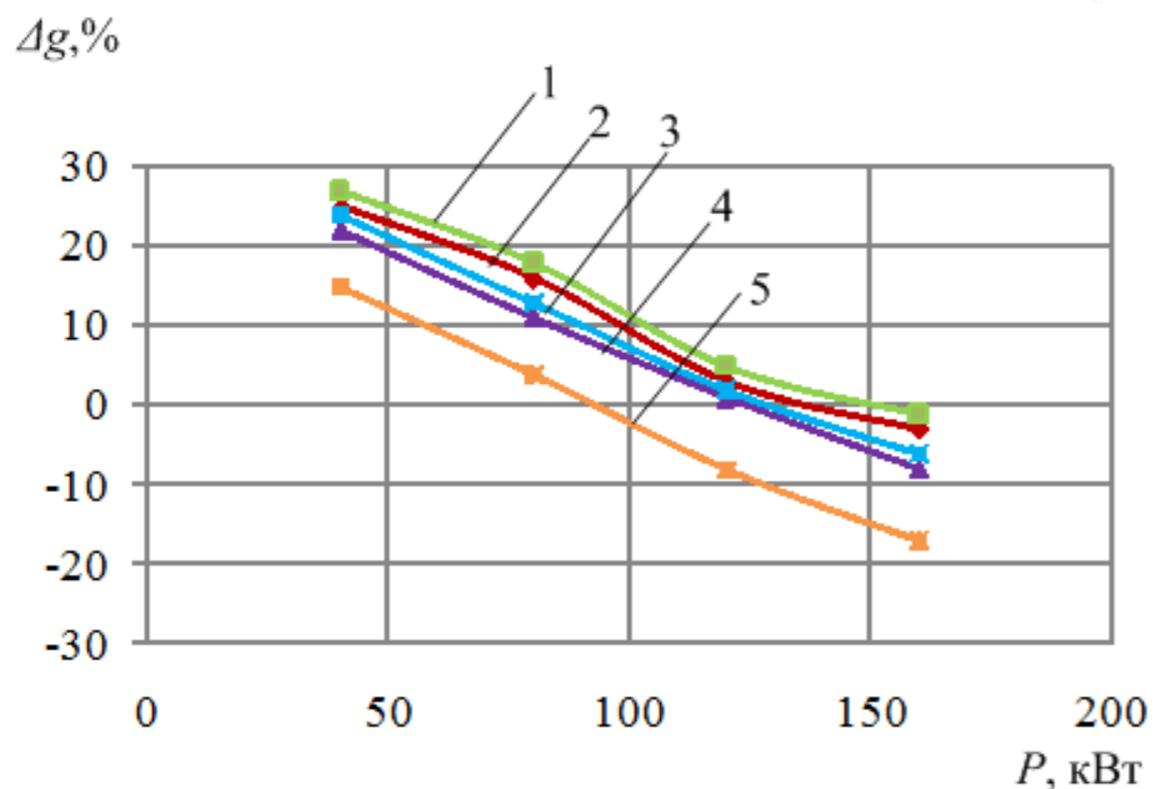


Рисунок 2 - Зависимости экономии топлива по абсолютному расходу вариантов ДГПЧВ:

1 – ДГПЧВ на основе многообмоточного СГ; 2 – ДГПЧВ на основе МПЧ; 3 – ДГПЧВ на основе ШИП; 4 – ДГПЧВ на основе двухзвенного ПЧ; 5 – ДГПЧВ на основе высокочастотного трансформатора; 6 – ДГУ постоянной частоты вращения



# Анализ надежности ДППЧВ

## Средние наработки на отказ вариантов ДГУ

№ п/п	Название схемы ДГУ	Средняя наработка на отказ, ч
1	ДГУ постоянной частоты вращения	18 315
2	ДППЧВ на основе МПЧ	13 441
3	ДППЧВ на основе двухзвенного ПЧ	12 837
4	ДППЧВ на основе СГ специального типа	12 270
5	ДППЧВ на основе ШИП	11 765
6	ДППЧВ на основе высокочастотного трансформатора	10 482

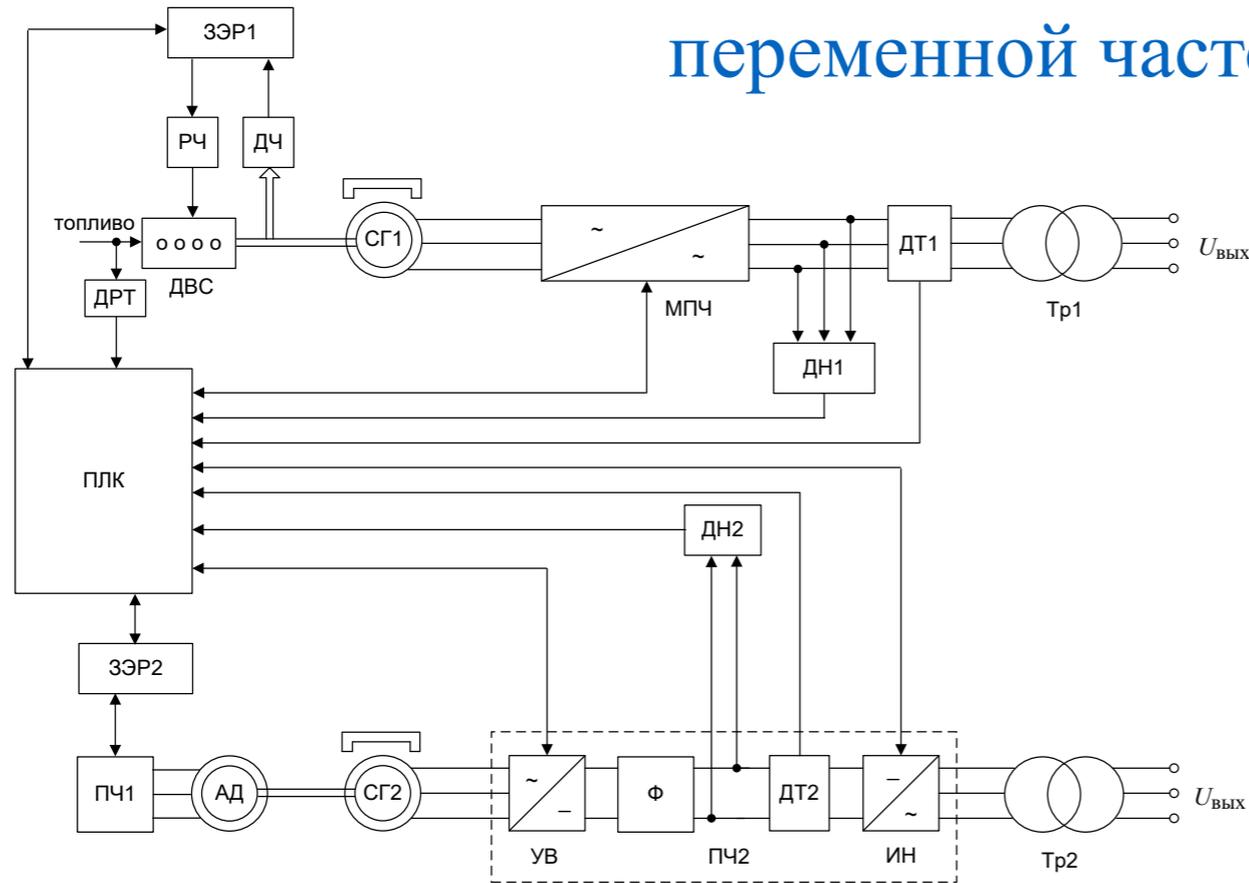


Рисунок 1 – Функциональная схема экспериментального стенда «Автономная электростанция на основе ДВС переменной частоты вращения»:

ДВС – двигатель внутреннего сгорания; СГ1, 2 – синхронные генераторы; АД – асинхронный электродвигатель; ПЧ1,2 – преобразователи частоты; УВ – управляемый выпрямитель; Ф – фильтр (конденсаторная батарея); ИН- инвертор напряжения; ДТ – датчик тока; ИН – инвертор напряжения; МПЧ – матричный преобразователь частоты; РЧ – регулятор частоты вращения вала ДВС; ДЧ – датчик частоты вращения вала ДВС; ЗЭР1,2 – задатчики экономичного режима ДВС; ДТ1,2 – датчики тока; ДН1,2 – датчики напряжения; ДРТ – датчик расхода топлива; Тр1,2 – трансформаторы; ПЛК – программируемый логический контроллер

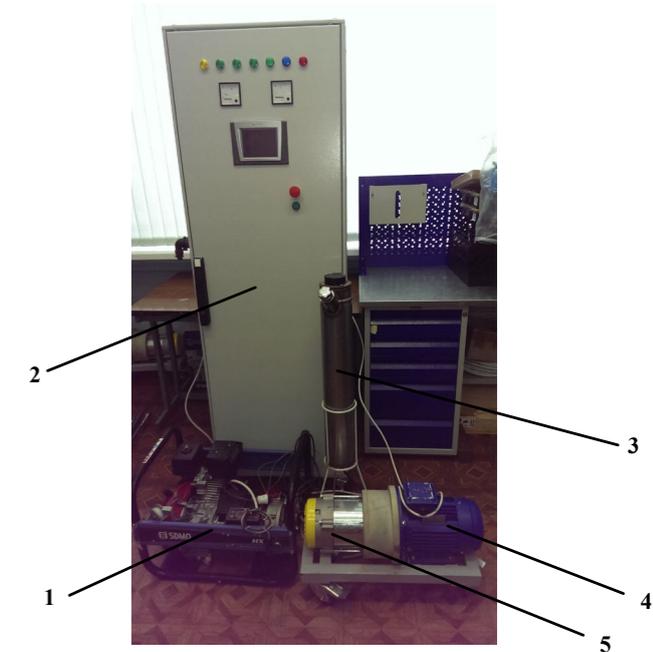
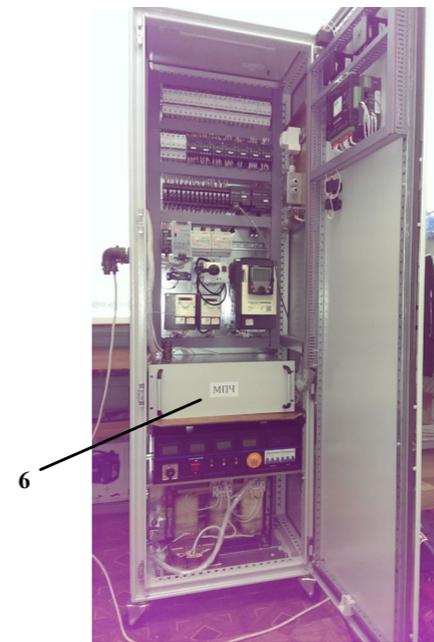


Рисунок 2 - Фото экспериментального стенда:  
 1 – установка «ДВС-генератор» SDMO HX-5000; 2 – шкаф управления; 3 – топливный бак; 4 – асинхронный двигатель; 5 – генератор; 6 - МПЧ



# Экспериментальное исследование ДГПЧВ

## Экспериментальные характеристики ДГПЧВ на основе МПЧ

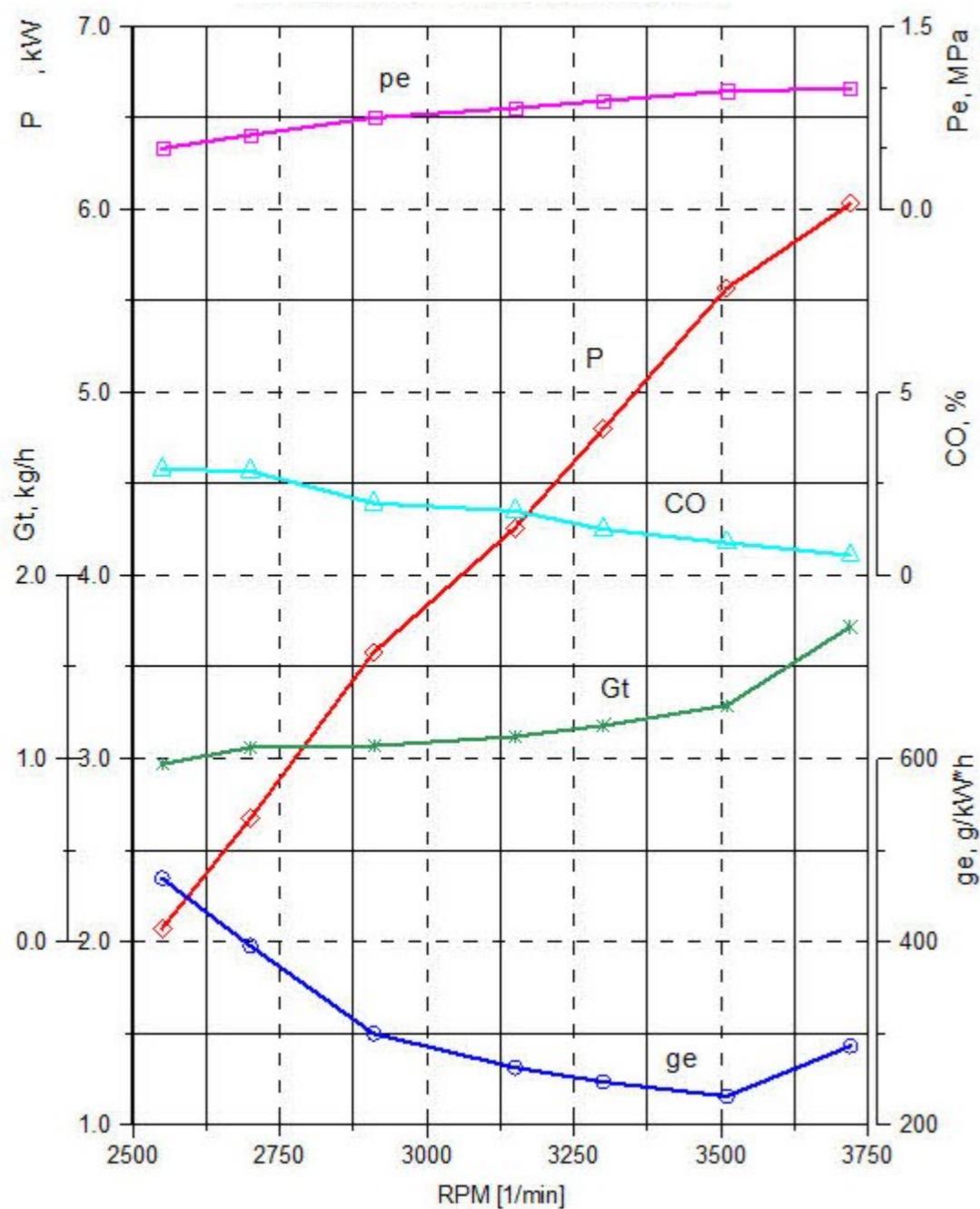


Рисунок 1 - Внешние скоростные характеристики ДВС Honda GX-270 в составе SDMO HX-5000

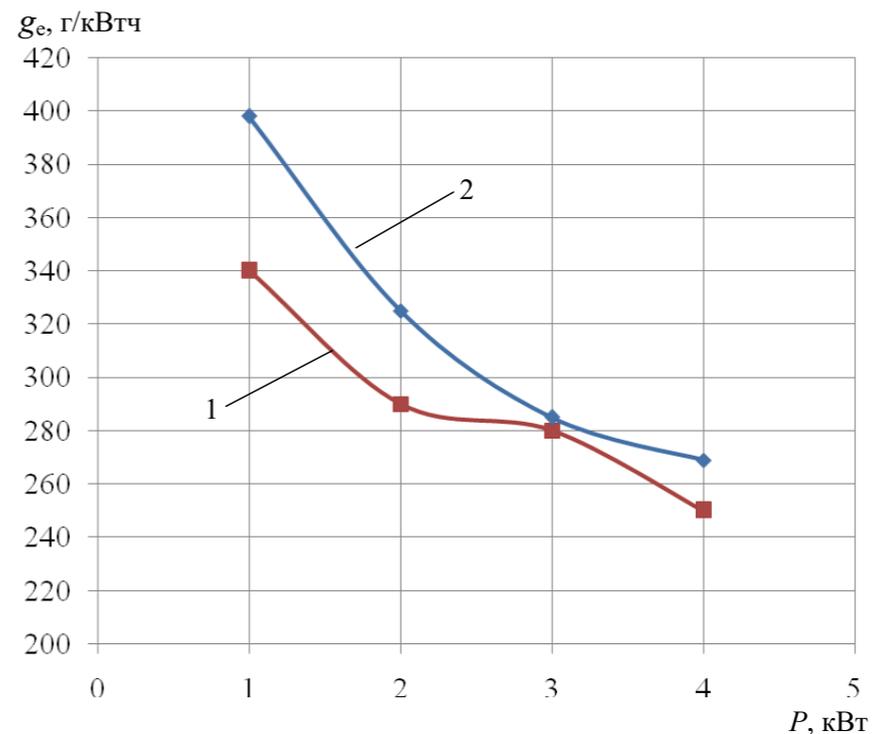


Рисунок 1 - Зависимости удельного расхода топлива ДГПЧВ на основе МПЧ мощностью 4 кВт

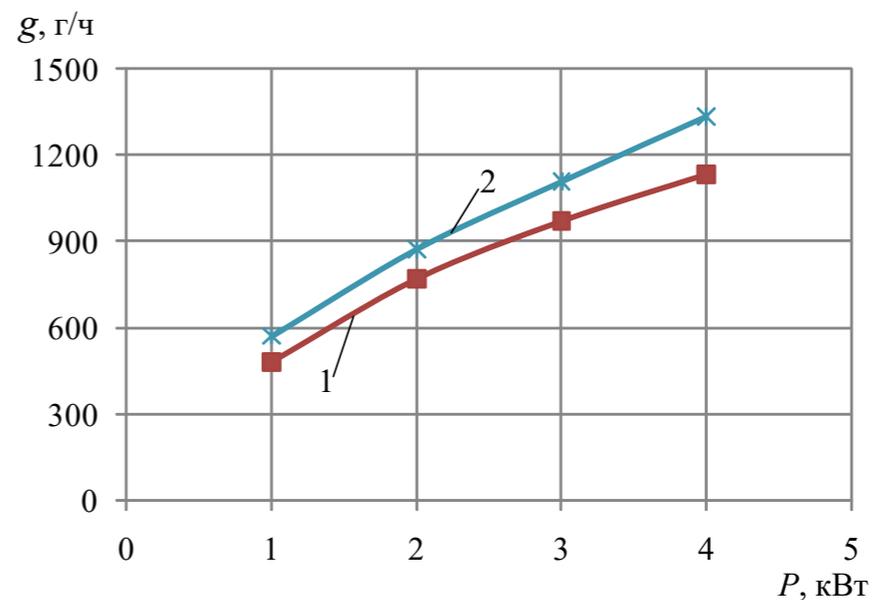
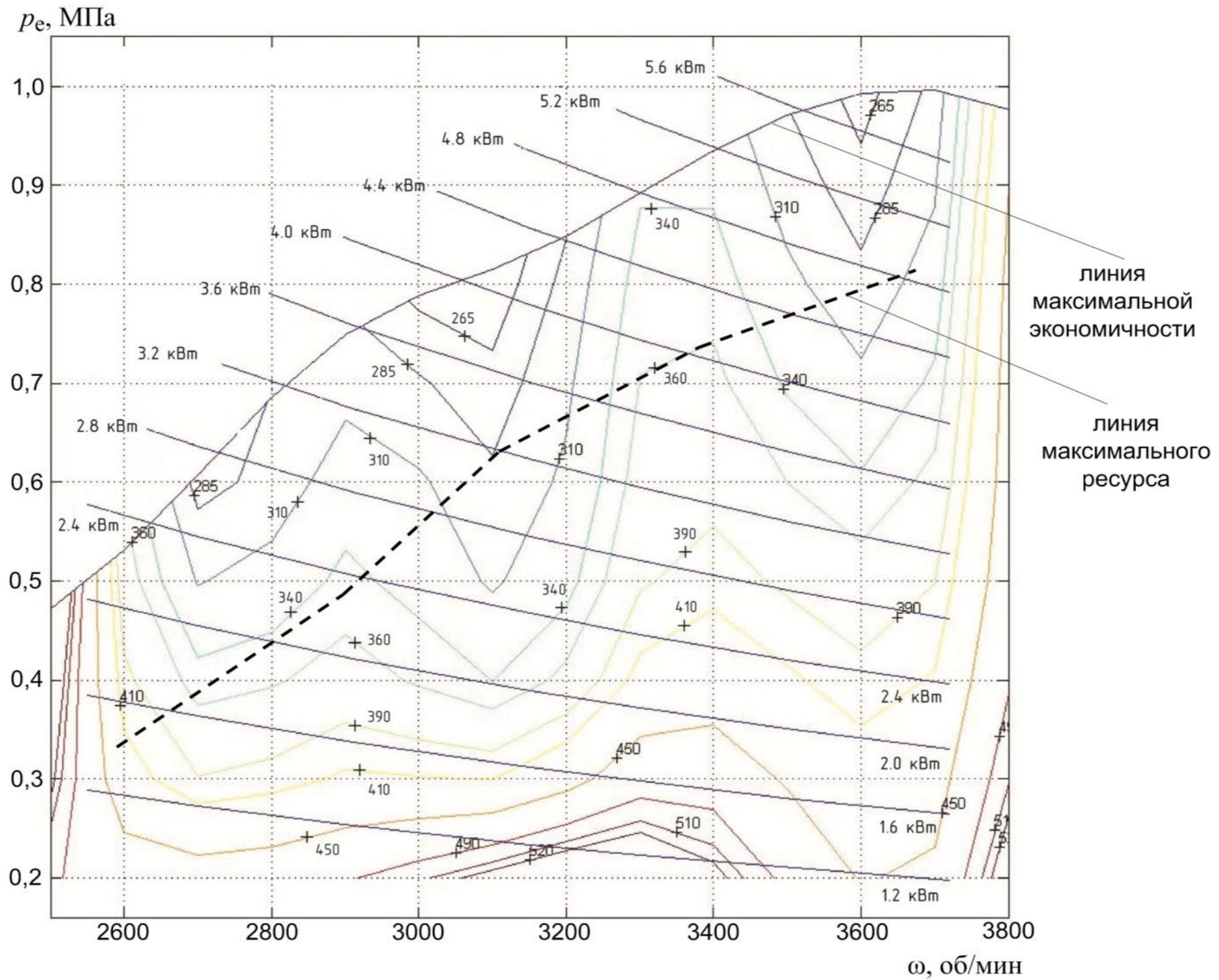


Рисунок 2 - Зависимости удельного расхода топлива ДГПЧВ на основе МПЧ мощностью 4 кВт:

1 – экспериментальная характеристика;  
2 – расчетная характеристика

# Экспериментальное исследование ДГПЧВ

## Фрагмент формирования полей рабочих режимов ДВС



# Экспериментальные исследования ДГПЧВ

## Экологическая оценка снижения расхода топлива

Максимальная концентрация CO, доли ПДК

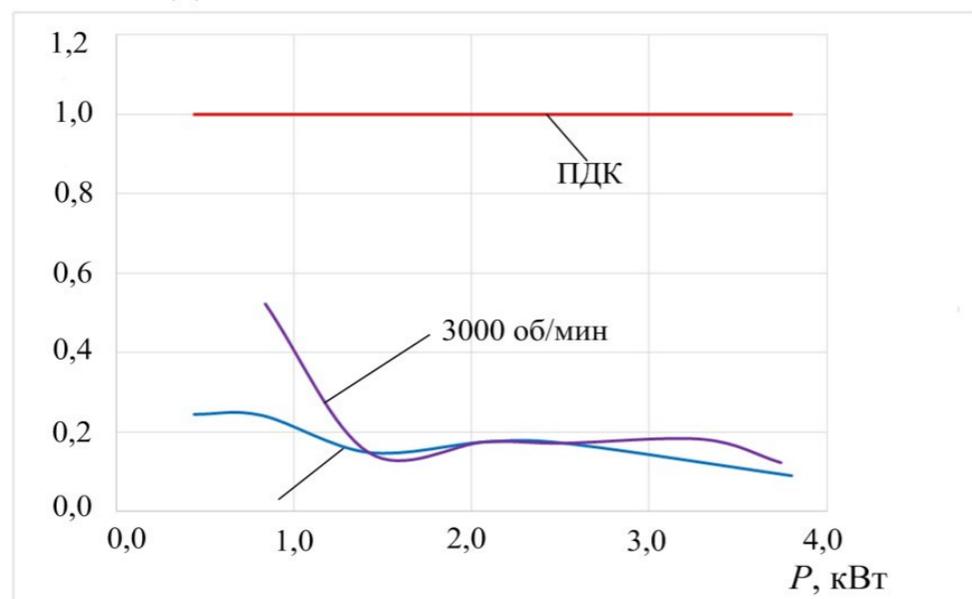


Рисунок 1 - Максимальные концентрации оксида углерода для ДВС HONDA GX-270 в составе ДГПЧВ

Таблица 1 – Снижение эмиссии парниковых газов для двигателя HONDA GX-270 при снижении расхода топлива на 100 кг

Технологический процесс	Снижение эмиссии парниковых газов, кг CO <sub>2</sub> экв, при снижении расхода топлива, кг
Добыча нефти	0,12
Транспортировка	0,03
Нефтехимические производства	0,03
Эксплуатация	352,00
Всего	352,20

Максимальная концентрация CH, доли ПДК

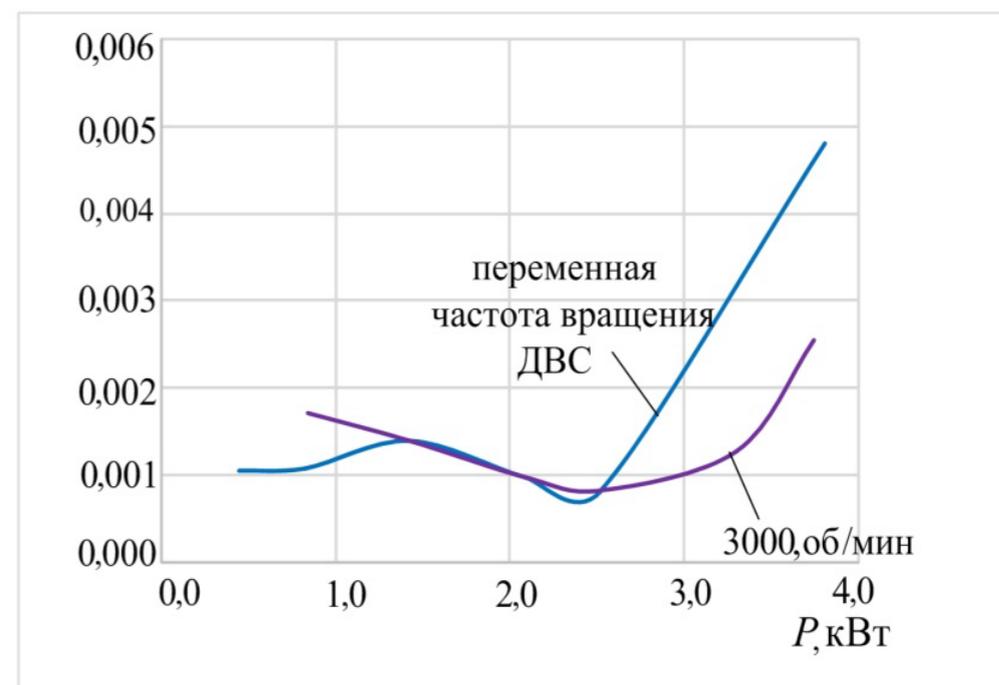


Рисунок 2 - Максимальные концентрации углеводородов для двигателя HONDA GX-270 в составе ДГПЧВ



# Технико-экономическое сопоставление вариантов ДГПЧВ

## Средняя стоимость вырабатываемой электроэнергии

Средняя стоимость кВтч энергии за нормативный период эксплуатации:

$$C_{ср} = \frac{C_{топ} \cdot g_e \cdot K_H \cdot P_{ном} \cdot T + C_{уд} P_{ном}}{T \cdot K_H \cdot P_{ном}} = C_{топ} \cdot g_e + \frac{C_{уд}}{K_H \cdot T}$$

$C_{топ}$  – стоимость 1 кг топлива, руб./кг;  $C_{уд}$  – удельная стоимость электростанции, руб./кВт;  
 $g_e$  – удельный расход топлива, кг/кВтч;  $K_H$  – коэффициент нагрузки;  
 $P_{ном}$  – номинальная мощность электростанции, кВт;  $T$  – средняя наработка на отказ, ч.

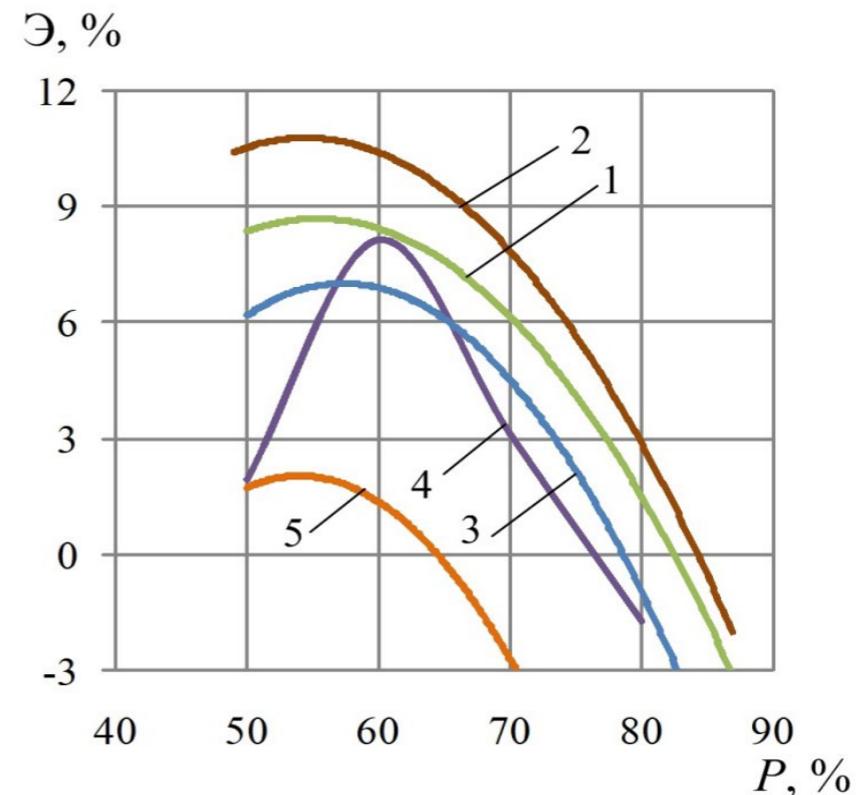
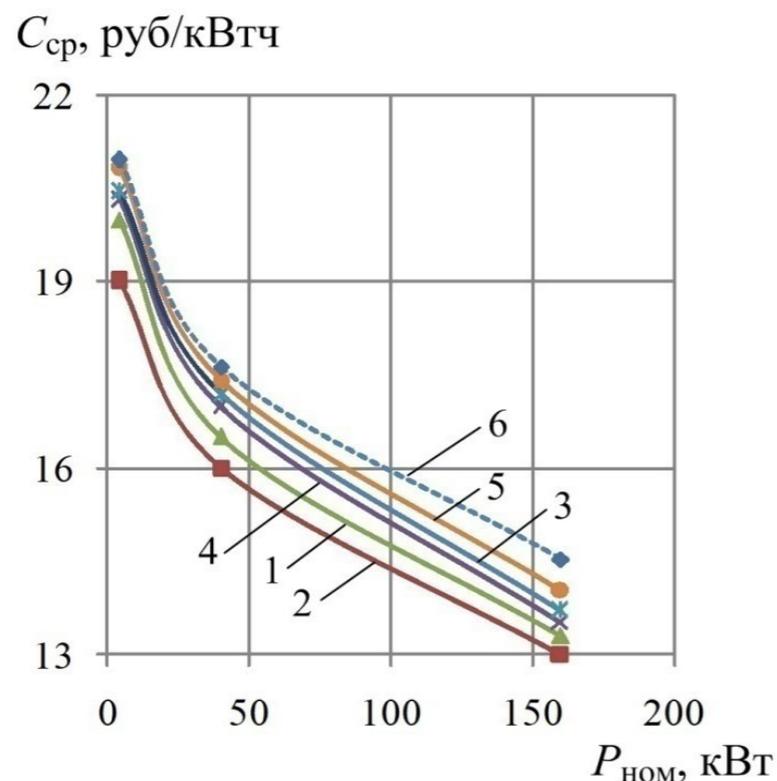


Рисунок 1 - Зависимости средней стоимости кВтч от номинальной мощности электростанции при частичной нагрузке электростанции, равной 70%

Рисунок 2 - Зависимости снижения стоимости электроэнергии, вырабатываемой вариантами ДГПЧВ по сравнению с ДГУ постоянной частоты

1 – ДГПЧВ на основе многообмоточного СГ; 2 – ДГПЧВ на основе МПЧ; 3 – ДГПЧВ на основе ШИП; 4 – ДГПЧВ на основе двухзвенного ПЧ; 5 – ДГПЧВ на основе высокочастотного трансформатора; 6 – ДГУ постоянной частоты вращения



# Технико-экономическое сопоставление вариантов ДГПЧВ

## Сроки окупаемости дополнительных капиталовложений вариантов ДГПЧВ

№ п/п	Номинальная мощность ДГПЧВ, кВт	ДГПЧВ на основе МПЧ	ДГПЧВ на основе СГ специального типа	ДГПЧВ на основе двухзвенного ПЧ	ДГПЧВ на основе ШИП	ДГПЧВ на основе высокочастотного Тр
		$T_{OK}$ , мес.	$T_{OK}$ , мес.	$T_{OK}$ , мес.	$T_{OK}$ , мес.	$T_{OK}$ , мес.
1	4	10	12	14	10	23
2	40	10	12	12	8	20
3	160	8	10	11	6	17



Спасибо за внимание!