



СОВРЕМЕННЫЕ ЭНЕРГЕТИЧЕСКИЕ АСПЕКТЫ РАЗВИТИЯ АГРАРНОЙ СФЕРЫ

Материалы Национальной научно-практической конференции
с международным участием, посвященной Дню энергетика

*9 декабря 2025 года
г. Ижевск*



Ижевск, 2026

МИНИСТЕРСТВО СЕЛЬСКОГО ХОЗЯЙСТВА РОССИЙСКОЙ ФЕДЕРАЦИИ
ФЕДЕРАЛЬНОЕ ГОСУДАРСТВЕННОЕ БЮДЖЕТНОЕ
ОБРАЗОВАТЕЛЬНОЕ УЧРЕЖДЕНИЕ ВЫСШЕГО ОБРАЗОВАНИЯ
«УДМУРТСКИЙ ГОСУДАРСТВЕННЫЙ АГРАРНЫЙ УНИВЕРСИТЕТ»

СОВРЕМЕННЫЕ ЭНЕРГЕТИЧЕСКИЕ АСПЕКТЫ РАЗВИТИЯ АГРАРНОЙ СФЕРЫ

Материалы Национальной научно-практической конференции
с международным участием, посвященной Дню энергетика

*9 декабря 2025 года
г. Ижевск*

Ижевск
УдГАУ
2026

УДК 631.371:621.31(06)
ББК 40.76я43
С 23

С 23 **Современные энергетические аспекты развития аграрной сферы [Электронный ресурс]: материалы Национальной научно-практической конференции с международным участием, посвященной Дню энергетика. г. Ижевск, 9 декабря 2025 г. – Ижевск: УдГАУ, 2026. – 7,02 Мб; 262 с.**

ISBN 978-5-9620-0484-6

В сборнике представлены статьи российских и зарубежных ученых, отражающие результаты научных исследований в следующих направлениях: Современные энергетические аспекты развития аграрной сферы, Инженерно-техническое обеспечение в сельском хозяйстве, Экономика и управление в агропромышленном комплексе, Педагогические и гуманитарные науки, Рациональное использование природных и антропогенных ресурсов в агротехнологиях.

Предназначен для студентов, аспирантов, преподавателей сельскохозяйственных вузов, работников научно-исследовательских учреждений и специалистов агропромышленного комплекса.

УДК 631.371:621.31(06)
ББК 40.76я43

ISBN 978-5-9620-0484-6

© Авторы постратежно, 2026
© УдГАУ, 2026

УДК 621.375.024

Т. Н. Стерхова, Д. А. Васильченко, М. А. Фролов
ФГБОУ ВО Удмуртский ГАУ

ОПЕРАЦИОННЫЕ УСИЛИТЕЛИ В СОВРЕМЕННОЙ АНАЛОГОВОЙ ЭЛЕКТРОНИКЕ

Приводится системный анализ операционных усилителей (ОУ) в трёх режимах: усиление ($K_U > 1$), ослабление ($K_U < 1$) и повторение ($K_U = 1$). На основе теоретического расчёта и анализа параметров реальных ОУ подтверждён незыблемый компромисс $\text{Gain} \times \text{Bandwidth} = \text{const}$, ограничивающий применение высоких коэффициентов усиления (10^3 – 10^4) узкополосными низкочастотными задачами (ЭКГ, тензометрия, биомедицинские датчики). Показано, что в ре-

альных системах наиболее востребованы не максимальные K_U , а режимы $K_U \approx 1$ (буферизация для импеданс-согласования) и $K_U < 1$ (активное ослабление для защиты и нормирования сигналов), обеспечивающие точность, стабильность и совместимость аналоговых трактов. Даны рекомендации по выбору ОУ в зависимости от сценария применения — от биомедицинских приборов до промышленной автоматики.

Актуальность. Несмотря на доминирование цифровых технологий, аналоговые интерфейсы остаются критически важными для взаимодействия с физическим миром: датчики, биомедицинская аппаратура, системы автоматики и аудиоустройства по-прежнему требуют надёжной, прецизионной и гибкой аналоговой обработки. В основе подавляющего большинства таких решений лежит операционный усилитель – универсальный элемент, способный выполнять не только усиление, но и ключевые функции: согласование импедансов, масштабирование сигналов, защиту входов, реализацию активных фильтров [10, 9].

Однако на практике сохраняется устойчивое заблуждение: «ОУ нужен, чтобы усилить как можно больше». В то же время 80–90 % реальных применений используют коэффициенты $K_U \leq 10$, включая $K_U = 1$ (повторители) и $K_U < 1$ (аттенюаторы) [10]. Игнорирование физических ограничений ОУ (конечное AOL, ограниченная полоса, шум, дрейф) приводит к грубым ошибкам проектирования: просадке сигнала из-за несогласования импедансов (например, $100 \text{ кОм} \rightarrow 10 \text{ кОм} \rightarrow$ потеря 91 % амплитуды), неустойчивости в НЧ-усилителях с $K_U > 10^3$, искажениям при нормировании сигналов пассивными делителями [1, 5].

Необходимо систематизировать знания о режимах ОУ и продемонстрировать, что главная ценность операционного усилителя – не в рекордном усилении, а в полном контроле над передаточной функцией и импедансами, что делает его незаменимым «строительным блоком» современной аналоговой схемотехники [10, 3].

Цель – провести системный анализ операционных усилителей в ключевых режимах работы (усиление при $K_U > 1$, ослабление при $K_U < 1$ и повторение при $K_U = 1$) с оценкой их функциональных преимуществ, физических ограничений (полоса пропускания, шум, дрейф, импеданс-согласование) и области применения в современных аналоговых системах — от биомедицинских датчиков и измерительных приборов до аудиотехники и промышленной автоматики [4, 6].

Задачи:

1. Провести теоретический анализ основных схем включения ОУ (неинвертирующий и инвертирующий усилители, дифференциальный каскад, повторитель напряжения) с акцентом на зависимость коэффициента усиления K_U от параметров цепи обратной связи [10, 9].

2. Учесть физические ограничения, накладываемые параметрами реальных ОУ: разомкнутый коэффициент усиления A_{OL} , произведение Gain \times Bandwidth (GBW), входной ток смещения, уровень шума и дрейф [1, 2].

3. Оценить область применимости режимов $K_U > 1$, $K_U = 1$ и $K_U < 1$ на основе требований к полосе, точности и импедансному согласованию [10, 4].

4. Классифицировать практические применения ОУ по отраслям (аудиотехника, измерительная аппаратура, АСУ ТП, радиотехника, силовая электроника) с привязкой к конкретным схемам и режимам работы [3, 5].

5. Обозначить рекомендации по выбору типа ОУ (общего назначения, прецизионного, малошумящего, высокоскоростного) в зависимости от сценария [2, 4, 7].

Материалы и методика. Исследование выполнено при помощи теоретического анализа и обобщения технической документации производителей операционных усилителей, а также фундаментальных трудов по схемотехнике [10, 9, 1].

Методика включает:

Анализ передаточных функций для базовых схем:

$$K_U = 1 + \frac{R_{OC}}{R_1} \quad (\text{неинвертирующий усилитель}) \quad (1)$$

$$K_U = - \frac{R_{OC}}{R_1} \quad (\text{инвертирующий усилитель}) \quad (2)$$

Оценка влияния конечного разомкнутого усиления A_{OL} на точность:

$$K_{U,real} = \frac{K_U}{1 + \frac{K_U}{A_{OL}}} \quad (3)$$

Анализ частотных ограничений через произведение Gain \times Bandwidth:

$$f_{-3dB} = \frac{GBW}{K_U} \quad (4)$$

Расчёт входного и выходного сопротивления для различных включений [10, 9].

Классификация применений на основе технических характеристик [3, 5]:

- $K_U > 100$ – биомедицинские измерения (ЭКГ, ЭЭГ);
- $K_U = 1$ – согласование датчиков и аналого-цифровой преобразователь (АЦП);
- $K_U < 1$ – нормирование и защита входов.

Результаты исследований.

1. Режим $K_U > 1$ (усиление) – применяется для слабых сигналов в диапазоне мкВ–мВ [6, 8]:

- ЭКГ/ЭЭГ: $K_U = 10^3$ – 10^4 требуется для преобразования $\mu\text{В}$ в вольтный диапазон АЦП [6, 8].
- Тензодатчики, термодары, фотоприемники (в схемах трансимпедансного усиления) [5].

Ограничения:

- При $K_U = 1000$ и $GBW = 1$ МГц $\rightarrow f_{-3dB} \approx 1$ кГц – применимо только в НЧ-областях [2].
- Погрешность из-за конечного A_{OL} : при $A_{OL} = 2 \cdot 10^5$ и $K_U = 1000$ - ошибка $\sim 0.5\%$ [1].

Решение – инструментальные усилители (3 ОУ), обеспечивающие $CMRR > 100$ дБ и $R_{вх} > 1$ Гом [4].

2. Режим $K_U = 1$ (повторитель) – наиболее распространённый режим в практике (около 25 % схем).

Ключевое применение – импеданс-согласование:

- Датчик ($R_{ввх} = 100$ кОм) \rightarrow АЦП ($R_{вх} = 10$ кОм): без буфера – просадка 91 %; с повторителем – погрешность < 0.1 % [10, 5].

Используется для: буферизации рН-электродов, пьезодатчиков, RC-фильтров, длинных кабелей [7].

3. Режим $K_U < 1$ (ослабление) - применяется только в инвертирующей схеме: при $R_{oc} < R_1 \rightarrow |K_U| < 1$ (например, $K_U = -0.1$) [10, 1].

Преимущества перед пассивным делителем:

- Низкое выходное сопротивление (≤ 0.1 Ом),
- Независимость коэффициента от нагрузки,
- Возможность инверсии фазы [1, 7].

Применения:

- Защита входа осциллографа ($100\text{ В} \rightarrow 10\text{ В}$) [1],
- Нормирование $5\text{ В} \rightarrow 3.3\text{ В}$ для АЦП [7],
- Деление опорного напряжения в цепях обратной связи ИП [3, 7].

4. Сравнение областей применения (табл. 1).

Таблица 1 – Сравнение областей применения

Режим	Типичный K_U	Применение	Требования
Усиление	$10-10^4$	ЭКГ, тензодатчики, микрофоны	НЧ-полоса, низкий шум [6, 8]
Повторение	1	Согласование датчиков/АЦП, фильтры	Высокое $R_{вх}$, низкое $R_{вых}$ [10, 7]
Ослабление	$0.01-0.9$	Защита, нормирование, индивидуальные приборы (ИП)	Стабильность, точность [1, 7]

Выводы и рекомендации.

1. Выбор режима работы ОУ должен определяться не «желанием усилить», а инженерной задачей [10, 3]:

- $K_U > 100$ – только для слабых НЧ-сигналов (биомедицина, датчики) [6, 8];
- $K_U = 1$ – для импеданс-согласования (наиболее распространённый режим) [10, 7];
- $K_U < 1$ – для защиты и нормирования уровней [1, 7].

2. Фундаментальные ограничения, которые нельзя оставлять без внимания [1, 2]:

- $\text{Gain} \times \text{Bandwidth} = \text{const}$ – главный компромисс при проектировании,
- Конечное $A_{OL} \rightarrow$ погрешность при больших K_U ,
- Шум и дрейф – ограничивают чувствительность в прецизионных схемах.

3. Рекомендации по выбору ОУ [2, 4, 7]:

- Для $K_U > 100$ (ЭКГ, датчики): ОРА211, АДА4528, АД8421 (инстр. усил.);
- Для $K_U = 1$ (буферы): LM358, МСР6002 (низкое энергопотребление, $R_{вых} < 1\text{ Ом}$);
- Для $K_U < 1$ (аттенюаторы): TL072, ОРА1678 (низкий шум, высокий SR).

4. Перспективы развития [4, 8, 5]:

- Применение ОУ с программируемым усилением (PGA) в IoT-датчиках;
- Гибридные решения: ОУ + дискретные каскады для расширения полосы;
- Малошумящие КМОП-ОУ в носимой биомедицинской электронике.

Список литературы

1. Analog Devices. MT-048: Op Amp Noise. – 2022 – 21 с.
2. Analog Devices. OP07 Datasheet. – Rev. H, 2023– 17 с.
3. Bruce Carter, Thomas R. Brown HANDBOOK OF OPERATIONAL AMPLIFIER APPLICATIONS / Bruce Carter, Thomas R. Brown : , 2001 – 94 с.
4. Charles Kitchin, Lew Counts A DESIGNER’S GUIDE TO INSTRUMENTATION AMPLIFIERS / Charles Kitchin, Lew Counts – . –: , 2000 –72 с.
5. Гаврушко, В. В. Кремниевые дифференциальные фотоприемники с трансимпедансным усилением / В. В. Гаврушко, А. И. Смирнов // Изв. РАН. Энергетика. – 2023. – № 5. – С. 112-120.
6. Казарян, А. А. Способы увеличения коэффициента усиления в прецизионных усилителях / А. А. Казарян // Электронная техника. – 2021. – № 4. – С. 77-85.
7. Корнев, Е. А. Измерение параметров импульсного усилительного модуля на ОУ / Е. А. Корнев – Оренбург: ОГУ, 2016 – 44 с.
8. Новиков, И. Л. Криогенный биполярный малошумящий усилитель на базе ОУ / И. Л. Новиков // Приборы и техника эксперимента. – 2024. – № 2. – С. 71-80.
9. Титце, У. Полупроводниковая схемотехника / У. Титце, К. Шенк. – 12-е изд., перераб. и доп. – СПб.: Мир, 2008. – 512 с.
10. Хоровиц, П. Искусство схемотехники / П. Хоровиц, У. Хилл. – 5-е изд., перераб. и доп. – СПб.: Мир, 2022. – 1200 с..

СОДЕРЖАНИЕ

СОВРЕМЕННЫЕ ЭНЕРГЕТИЧЕСКИЕ АСПЕКТЫ РАЗВИТИЯ АГРАРНОЙ СФЕРЫ

Л. П. Артамонова, Д. М. Ермаков Применение цифровых устройств релейной защиты при возникновении аварийных режимов	3
Д. А. Васильев, Г. К. Козырев, Д. А. Головин, Е. Н. Ямшникова Разработка метода приемки объектов распределительной автоматизации	8
Д. А. Васильев, Г. К. Козырев, Д. А. Головин, Е. Н. Ямшникова Автоматизированное управление в распределительных сетях	14
Д. А. Васильев, Д. А. Соловьев Внедрение реклоузеров в энергетику	19
Д. А. Васильев Кластеризация как метод оценки качества протравливания семян: алгоритм и программная реализация.	23
Е. Н. Гусенников Методика исследования эффективности многопрофильного компактного фитотрона	30
М. М. Зотов, Т. А. Широкова, С. И. Юран Методы борьбы с электромагнитными помехами.	34
Н. П. Кондратьева Анализ применения слаботочных систем в цифровых автоматизированных системах управления технологическими процессами	40
Н. П. Кондратьева, Р. Г. Большин, Г. В. Демин Анализ электросчетчиков со встроенным интерфейсом подключения герконовых датчиков для систем учета и сигнализации	44

Н. П. Кондратьева, А. Н. Черных Результаты ультрафиолетового облучения семян зерновых культур на примере пшеницы сорта «Свеча»	51
А. В. Лапин, Т. Р. Галлямова Обзор состояния и характеристика объектов системы электроснабжения деревни Большое Волково Вавожского района Удмуртской Республики	56
Д. Г. Максимов Прогнозирование трудоемкости изделий на основе методов машинного обучения	59
Л. А. Пантелеева, М. Н. Пастухов Сравнительный анализ магнитных систем силового трансформатора с круглым и овальным поперечным сечением стержня.	63
Л. А. Пантелеева, И. Г. Поспелова, П. А. Скругин, Д. А. Ворошилов, Т. А. Широбокова Гибридные системы накопления энергии: комбинация литий-ионных аккумуляторов и суперконденсаторов для компенсации пиковых нагрузок.	68
Т. Н. Стерхова, Д. А. Васильченко, М. А. Фролов Операционные усилители в современной аналоговой электронике	72
Т. Н. Стерхова, А. А. Шамшурина, Д. С. Кутергин Цифровые фильтры в современных системах телевизионного вещания и теплоэнергетики: теоретические основы и практическая реализация	78
С. В. Стремоусов, В. Д. Захаров, П. Б. Акмаров, Н. А. Кравченко Перспективные направления развития информатизации в сфере электроснабжения	83
Я. В. Черепанов, А. М. Пермьяков, Т. А. Широбокова Влияние температуры окружающей среды на потери в воздушных линиях электропередачи	88

А. А. Четвериков, П. Л. Лекомцев Альтернативная энергетика и ее проблемы.	91
Т. А. Широбокова, А. А. Ворончихин, И. А. Пшеницын Оценка потерь напряжения в зависимости от марки провода	94
Т. А. Широбокова, Л. А. Пантелеева, И. Г. Поспелова, И. С. Борисов Влияние угла наклона светильника на результаты расчётов освещённости	97
Т. А. Широбокова, И. Г. Поспелова, И. А. Баранова, И. В. Ширяев, Е. Г. Трефилова, А. И. Долматова Определение типа электропривода для установки для обработки дерева ИК-горелками	101
Т. А. Широбокова, И. Г. Поспелова, А. И. Бельчев, А. И. Колегова, Е. Г. Трефилова Разработка автоматизированной системы управления температурным режимом	107
Т. А. Широбокова, И. Г. Поспелова, Е. Р. Кильдебаева, Д. Э. Щенин, Е. Г. Трефилова Механическая характеристика как повышение надежности асинхронного двигателя	111
Т. А. Широбокова, И. Г. Поспелова, И. С. Сайранов Оценка защиты ВЛ 0,38 кВ	116
Т. А. Широбокова, И. Г. Поспелова, И. С. Сайранов Электростанция на солнечных батареях	120
Н. А. Шихова, Т. А. Широбокова Влияние спектрального состава и интенсивности освещения на гормональную регуляцию и продуктивность молочного скота	124
Н. А. Шихова, Т. А. Широбокова Многофакторный подход исследования освещения для предприятий АПК	127

ИНЖЕНЕРНО-ТЕХНИЧЕСКОЕ ОБЕСПЕЧЕНИЕ В СЕЛЬСКОМ ХОЗЯЙСТВЕ

- Х. Ш. Абдурауфов, Ё. Х. Ядгоров, Э. Р. Облокулов**
Экспериментальные исследования динамических характеристик модели здания с сейсмоизоляцией 133
- Н. Н. Артемьев, Д. И. Бабаев, Ф. Х. Халиуллин**
Современные тенденции развития грузовой автомобильной промышленности 140
- С. Е. Бирюков, К. Г. Иванов,
Ф. Х. Халиуллин, Д. А. Вахрамеев**
Несущая система транспортного средства.
Основные виды и параметры 145
- В. Р. Зигангиров, А. А. Ульянов, Н. Н. Артемьев**
Определение напряженно-деформированного состояния картера раздаточной коробки легкового полноприводного автомобиля в рамках обратного инжиниринга 152
- В. Р. Зигангиров, Е. В. Пикалева**
Определение и сравнение напряженно-деформированного состояния несущей системы стандартного и удлиненного полуприцепа 9370 156
- К. Г. Иванов, С. И. Бирюков, Ф. Х. Халиуллин**
Резервирование как метод повышения надежности тормозных систем автомобилей 160
- Р. В. Орлов, Е. В. Пикалева,
Ф. Х. Халиуллин, Д. А. Вахрамеев**
Целесообразность использования газодизеля на современных легковых автомобилях 165
- З. И. Шархымуллин, Ф. Х. Халиуллин**
Цифровые и измерительные технологии в системе современного инженерного образования: практический опыт разработки электрического гоночного карта 170
- М. Е. Шмаков, Ф. Х. Халиуллин**
Кинематический анализ механизма отклонения винтомоторных групп беспилотного конвертоплана. 174

Д. Д. Юнусов, Ф. Х. Халиуллин, Д. А. Вахрамеев
Анализ инновационных технологий и методик
в окраске кузова и отдельных элементов автомобиля182

ЭКОНОМИКА И УПРАВЛЕНИЕ В АГРОПРОМЫШЛЕННОМ КОМПЛЕКСЕ

П. Б. Акмаров, Е. В. Тимошкина, И. Г. Абышева
Открытость и прозрачность: взаимодействие государственных
органов с обществом и СМИ в цифровую эпоху189

П. Б. Акмаров, Е. В. Тимошкина, И. Г. Абышева
Потенциал развития информационной безопасности
кредитно-финансовой сферы как фактор
укрепления экономики страны194

Н. Н. Артемьев, А. А. Ульянов, Ф. Х. Халиуллин
Маркетинговое исследование рынка беспилотной
малой коммунальной техники в России.198

М. Б. Ахмадова, Ф. Х. Халиуллин
Обзор современного оборудования и программных обеспечений
по диагностике АКПП ZF-Ecolife для городских, маршрутных
и междугородных автобусов203

Д. И. Бабаев, Н. Н. Артемьев, Ф. Х. Халиуллин
Использование норм расхода топлива как инструмент
материального стимулирования водительского состава209

ПЕДАГОГИЧЕСКИЕ И ГУМАНИТАРНЫЕ НАУКИ

Д. А. Ефимов, Е. А. Торохова
Квалификация преподавателя
в сфере аграрного образования214

С. А. Спиридонова, О. Н. Малахова
Творчество жизни личности218

Е. А. Торохова, Р. Р. Вахитова
Парадокс выбора и его влияние
на субъективное благополучие223

РАЦИОНАЛЬНОЕ ИСПОЛЬЗОВАНИЕ ПРИРОДНЫХ И АНТРОПОГЕННЫХ РЕСУРСОВ В АГРОТЕХНОЛОГИЯХ

- Р. Ю. Быченко, Л. М. Болдырева**
Сельскохозяйственные отходы как источник биопродуктов . . .226
- А. Е. Горохова, М. Е. Майер,
Н. П. Линкевич, В. И. Орехова**
Рациональное использование воды в сельском хозяйстве229
- С. Г. Джалагония, А. К. Семерджян**
Ресурсосберегающее земледелие: как экономия воды
и удобрений повышает рентабельность предприятий АПК . . .233
- М. С. Карпенко, Л. М. Болдырева**
Оценка потенциала сельскохозяйственных отходов
для получения биотоплива как способ рационального
использования антропогенных ресурсов237
- О. В. Кондратьева, В. А. Войтюк, О. В. Слинько**
Развитие органического сельского хозяйства – одна
из важнейших практических реализаций принципов
техносферной безопасности240
- И. Г. Поспелова, К. С. Григорьева,
Е. А. Парфёнова, А. Ю. Долматова**
Применение древесины
в сельском хозяйстве249
- Ю. С. Шабля, В. И. Орехова**
Использование органических удобрений как способ
уменьшить химическую нагрузку252

Научное издание

СОВРЕМЕННЫЕ ЭНЕРГЕТИЧЕСКИЕ АСПЕКТЫ РАЗВИТИЯ АГРАРНОЙ СФЕРЫ

Материалы Национальной научно-практической конференции
с международным участием, посвященной Дню Энергетика

*9 декабря 2025 года
г. Ижевск*

Редактор И. М. Мерзлякова
Компьютерная верстка А. М. Титовой

Дата выхода в свет 30.03.2026 г. Объем данных 7,02 Мб.
Мин. сист. треб.: РС не ниже класса Pentium I; 32 Мб RAM;
свободное место на HDD 16 Мб.
Операционная система: Windows XP/7/8.
Програм. обеспечение: Adobe Acrobat Reader версии 6 и старше.
УдГАУ, 426069, г. Ижевск, ул. Студенческая, 11.