



1. Read ЭЭГ window (1 second = 250 samples)

Time: continuous streaming

2. Preprocess:

- Bandpass filter
- Notch filter
- Normalization

Time: ~30ms

3. AI Inference:

- Forward pass through model
- Get prediction + confidence

Time: ~20ms (оптимизированная модель)

4. Voting mechanism:

- Check last 3 predictions
- If 2/3 agree + confidence >0.7: execute

Time: ~1ms

5. Send to Arduino:

- Serial write "COMMAND\n"
- Wait for "OK"

Time: ~10ms

6. Update buffers:

- Store (ЭЭГ, prediction, confidence)
- For online learning

Time: ~1ms

7. Background tasks (async):

- If buffer full (50 samples): trigger fine-tuning
- Update statistics

Time: не блокирует main loop

Total loop time: ~60-70ms

Loop frequency: ~10-15 Hz

Latency Budget

От мысли до действия:

Этап	Время	Оптимизация
ЭЭГ acquisition	10ms	Аппаратная (fixed)
Bluetooth transmission	20–50ms	Хорошее соединение
Preprocessing	20–30ms	Efficient filters
AI inference	10–30ms	Model optimization
Voting	1ms	Простая логика
Serial communication	5–10ms	High baud rate
Servo response	50–100ms	Качественные сервоприводы
ИТОГО	120–230ms	Под целью 500ms!

Worst case: ~300ms (still acceptable!)

Safety Mechanisms

Критично: Протез не должен случайно повредить пользователя или окружающих!

Safety Layers:

1. Confidence Threshold:

- Выполнять команду только если AI уверен >70%
- Низкая уверенность → игнорировать или запросить подтверждение

2. Voting Mechanism:

- Нужно 2 из 3 последних предсказаний совпадают
- Предотвращает случайные срабатывания от шума

3. Rate Limiting:

- Не более 1 смены команды в секунду
- Предотвращает rapid switching (дрожание)

4. Servo Limits:

- Software limits в Arduino: min/max angles
- Предотвращает перегрузку механики

5. Watchdog Timer:

- Если Raspberry Pi зависла (нет команд >2 сек):
 - Arduino переходит в safe mode
 - Открывает руку
 - Отключает моторы

6. Emergency Stop:

- Физическая кнопка на протезе
- Голосовая команда "STOP"
- ЭМГ сигнал (если добавлены датчики): "дважды сжать кулью"

7. Current Limiting:

- Если серво потребляет >1A: что-то застряло
- Arduino отключает питание
- Prevent damage

Power Management

Компоненты и потребление:

Компонент	Idle	Active	Peak
Raspberry Pi 5	2W	5W	8W
Arduino Mega	0.2W	0.5W	0.5W
ЭЭГ (OpenBCI)	-	1W	1W
Servos (3x)	0W	3W	15W
Vibration motors	0W	0.5W	1W
TOTAL	2.2W	10W	25.5W

Battery Configuration:

Option A: Integrated (в протезе)

- 8× 18650 cells (3000mAh)
- Configuration: 4S2P = 14.8V, 6000mAh
- Capacity: 88.8 Wh
- Runtime:
 - Normal use (10W avg): 8.8 часов
 - Intensive use (15W avg): 5.9 часов

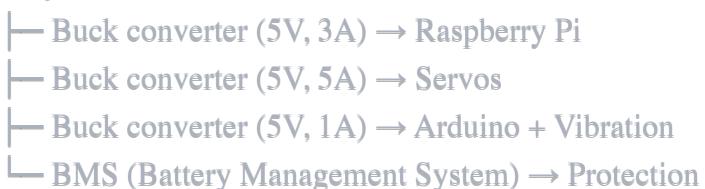
Option B: External (powerbank на поясе)

- 20,000mAh @ 5V powerbank
- Capacity: 100 Wh
- Легче снимать и заряжать
- Runtime: 10+ часов

Power Distribution:



Battery Pack (14.8V)



Total converters needed: 3x (или 1x мощный с несколькими выходами)

Power Optimization Modes:

Mode	When	Raspberry Pi	Servos	Runtime
Active	В использовании	5W	10W (moving)	6 часов
Idle	Рука не двигается	3W	0W (hold)	12 часов
Sleep	Не используется	5+ мин	1W	3 дня

Индикация заряда:

- LED на запястье:
 - Зеленый: >50%

- Желтый: 20-50%
- Красный мигает: <20%
- Красный + beep: <5% (скоро выключится)

Тестирование

Протокол тестирования PoC

Цель: Доказать, что система работает с приемлемой точностью и удобством

Phase 1: Offline Evaluation (Неделя 3-8)

Что тестируем: AI модель на заранее собранных данных

Метрики:

Метрика	Target	Как измерить
Accuracy	>70%	% правильных predictions
Precision (per class)	>70%	True Positives / (TP + FP)
Recall (per class)	>70%	True Positives / (TP + FN)
F1-score	>70%	Harmonic mean Prec & Rec

Confusion Matrix Analysis:



		Predicted			
		G	O	R	Rest
Actual G	[85 5 7 3]	85	5	7	3
	O [3 80 5 12]	3	80	5	12
R	[8 4 78 10]	8	4	78	10
Rest	[2 8 5 85]	2	8	5	85

Average Accuracy: 82% 

Cross-validation: 5-fold для проверки стабильности

Phase 2: Online Testing with New Users (Неделя 10)

Участники: 5 новых пользователей (не из команды)

Процедура:

Step 1: Калибровка (10-15 минут)

- Надеть ЭЭГ шлем
- Проверить impedance (<10kΩ)
- Выполнить калибровочную процедуру:
 - 20 примеров × 4 команды = 80 trials

- Система обучает персональную модель
- Оценить начальную точность

Step 2: Real-world Tasks (20 минут)

Набор задач:

#	Задача	Объект	Метрика успеха	Попыток
1	Взять бутылку 0.5L	пластик	Поднять без падения	10
2	Взять ручку	Шариковая	Pinch grip, удержать 5с	10
3	Поднять чашку	Кофейная (пустая)	Power grasp, к рту	10
4	Открыть дверь	Повернуть ручку	Rotate + grasp	10

Success criteria:

- Задача выполнена если: успех ≤ 3 попыток
- Task success rate = успешных задач / 4

Step 3: Questionnaire (5 минут)

Шкала 1-10 (1=ужасно, 10=отлично):

1. **Naturalness:** Насколько естественным было управление?
2. **Responsiveness:** Насколько быстро рука реагировала?
3. **Accuracy:** Насколько точными были движения?
4. **Comfort (headset):** Удобен ли ЭЭГ-шлем?
5. **Comfort (hand):** Удобна ли рука (вес, баланс)?
6. **Intuitiveness:** Легко ли научиться?
7. **Reliability:** Можно ли доверять протезу?

Бинарные вопросы:

- Использовали бы ежедневно? (да/нет)
- Порекомендовали бы другу? (да/нет)

Открытые вопросы:

- Что больше всего понравилось?
- Что больше всего разочаровало/раздражало?
- Какие улучшения предложите?

Phase 3: Adaptive Learning Demo (Неделя 11)

Цель: Показать что система учится и улучшается

Протокол:

Участник: 1 человек (новый)

Duration: 30 минут непрерывного использования

Procedure:



T=0 мин: Начальная калибровка

Test task: поднять бутылку 10 раз

Measure: Success rate baseline

T=5 мин: Продолжение использования (свободные задачи)

Система собирает данные

Test task: поднять бутылку 10 раз

Measure: Success rate

T=10 мин: Background fine-tuning происходит

Test task: 10 раз

Measure: Success rate

T=15 мин: Продолжение...

T=20 мин: Test task + measure

T=30 мин: Final test task + measure

Expected Result:

Time	Success Rate Improvement
0 min	60–70% Baseline
5 min	65–72% +5%
10 min	70–78% +10%
15 min	73–80% +13%
20 min	75–82% +15%
30 min	78–85% +18%

Visualization: График с upward trend

Significance: Показывает что система адаптируется!

Success Criteria для PoC

Minimum Viable Product (MVP) должен:

Technical:

- Offline accuracy: $\geq 70\%$ (4-6 classes)
- Online success rate: $\geq 60\%$ (real tasks)
- Latency: $\leq 500\text{ms}$ (brain to action)
- Battery life: ≥ 6 hours
- Adaptive improvement: $+10\%$ after 30 min
- Reliability: No crashes in 1-hour session

User Experience:

- Calibration time: ≤ 15 minutes
- User satisfaction: $\geq 7/10$ average

- Would use daily: ≥60% say "yes"
- Can complete: 3/4 basic tasks

Business:

- Working prototype exists
- Demo video produced
- Technical report written
- ≥1 grant application submitted
- ≥3 potential partners identified

If all criteria met: PoC is SUCCESS!  Proceed to clinical pilot phase.

Бизнес-модель

Рынок

Global Market Size:

Metric	2024	2030 (projected)	CAGR
Prosthetics Market	\$1.8 billion	\$3.2 billion	10.2%
BCI Market	\$2.0 billion	\$5.4 billion	18.1%
Our Target (overlap)	\$500 million	\$1.2 billion	15.7%

Target Audience Breakdown:

Primary (Year 1-3):

- High-level amputations: 20-30% всех ампутаций
- Peripheral nerve damage: 15% amputees
- Congenital limb differences: children
- **Addressable:** ~10-15 million people globally

Secondary (Year 3-5):

- Standard amputations (alternative to ЭМГ)
- Stroke rehabilitation (20M новых случаев/год)
- Cerebral palsy: 17M worldwide
- **Addressable:** ~50 million people

Geography Priority:

Region	Why	Entry Year
Uzbekistan	Home market, connections	Year 1
Central Asia	Similar markets, logistics	Year 1-2
South Asia	Huge population, affordable	Year 2-3
Africa	Large unserved market	Year 3-4
Latin America	Growing economy	Year 3-4
Global	Developed markets	Year 5+

Revenue Streams

Stream 1: Hardware Sales (primary)

Pricing Tiers:

Tier	Target	Price Margin
Basic	Budget-conscious	\$1,500 180%
Standard	Most users	\$2,000 250%
Advanced	Premium features	\$3,000 400%

Volume Projections:

Year	Units	Avg Price	Revenue
1	50	\$1,800	\$90K
2	200	\$2,000	\$400K
3	500	\$2,200	\$1.1M
4	1,500	\$2,200	\$3.3M
5	5,000	\$2,000	\$10M

Stream 2: Software/AI Licensing

Model: License AI technology to prosthetic manufacturers

Pricing:

- Per-device license: \$200-500
- Annual SDK fee: \$50,000-200,000 (enterprise)

Potential Partners:

- Össur (Iceland)
- Ottobock (Germany)
- Touch Bionics (UK)

Projected (Year 3+): \$200-500K annually

Stream 3: Customization Services

- Custom end effectors design: \$100-500
- Personalized fitting: \$200
- Training programs for clinics: \$1,000-5,000

Projected (Year 2+): \$50-100K annually

Stream 4: Subscription (future)

- Cloud AI improvements: \$10/month
- Data analytics dashboard: \$20/month
- Premium support: \$50/month

Projected (Year 4+): Recurring revenue stream

Go-to-Market Strategy

Phase 1: Pilot & Validation (Year 1)

Focus: Uzbekistan

Strategy:

1. Partner with 2-3 rehab centers in Tashkent
2. Provide 10-20 units for pilot program
3. Collect testimonials, case studies
4. Media coverage (TV, newspapers, social media)
5. Government attention (Ministry of Health)

Goal: Validation + awareness

Phase 2: Direct Sales (Year 1-2)

Channels:

- Direct to patient (website, social media)
- Through rehab centers (B2B2C)
- NGO partnerships (subsidized programs)

Marketing:

- Patient success stories (video)
- Social media (Instagram, Facebook, Telegram)
- Medical conferences
- Government tenders

Phase 3: Scale & Distribution (Year 2-3)

Strategy:

- Distributor network in Central Asia
- Partner with prosthetic clinics (revenue share)
- Insurance coverage (negotiate with insurers)

Phase 4: Licensing & Global (Year 3-5)

- License tech to manufacturers
- Enter developed markets (Europe, North America)
- Strategic partnerships (Boston Scientific, Medtronic?)

Competitive Advantage

vs Traditional ЭМГ Prosthetics:

Feature	ЭМГ	NeuroHand
Requires muscles	✓ Yes	✗ No
Works high amputation	✗ No	✓ Yes
Intuitive control	⚠ Need training	✓ Natural
Adaptive learning	✗ No	✓ Yes
Price	\$40K-100K	\$1.5K-2K

vs Invasive BCI (Neuralink):

Feature	Invasive BCI	NeuroHand
Surgery needed	✓ Yes	✗ No
Risk	High	Low
Price	\$200K+	\$1.5K-2K
Availability	Research only	Product ready
FDA approval	Years away	Faster path

Our Moat (defensibility):

1. **First-mover** in affordable ЭЭГ prosthetics
2. **Data advantage:** More users = better AI
3. **Network effects:** Community improves designs
4. **Brand:** Positioned as accessible innovation
5. **Patents (planned):** Adaptive learning algorithm, hybrid control

Unit Economics

At Scale (1000+ units/year):

Metric	Value
Revenue per unit	\$2,000
COGS	\$530
Gross Margin	73.5%
Gross profit per unit	\$1,470
Sales & Marketing (15%)	-\$300
R&D (10%)	-\$200
Operations (8%)	-\$160
Operating Margin	40.5%
Operating profit per unit	\$810

CAC (Customer Acquisition Cost): \$300 **LTV (Lifetime Value):** \$2,000 (hardware) + \$360 (3yr software) = \$2,360

LTV/CAC Ratio: 7.9x  (target >3x)

Payback Period: <6 months 

Финансирование

Funding Needs & Timeline

Phase 1: Proof of Concept (Months 1-3)

Need: \$2,000-3,000

For:

- Equipment (ЭЭГ, Raspberry Pi, components)
- Materials (filament, electronics)
- Testing supplies

Sources:

- Personal savings: \$500-1,000
- Friends & family: \$500
- Crowdfunding (Kickstarter): \$1,000-2,000
- Hackathon prizes: \$500-1,000

Status: CURRENT PHASE

Phase 2: Clinical Pilot (Months 4-9)

Need: \$20,000-30,000

For:

- 10-20 test units
- Clinical partner support
- Regulatory documentation
- Team expansion (1-2 hires)

Sources:

- **Grants:**
 - Zmin Fund (Uzbekistan): \$5,000
 - USAID Innovation: \$10,000
 - InnoWeek prize: \$5,000-10,000
- **Competitions:**
 - IT Park Demo Day: \$5,000-15,000
 - NASA Space Apps: \$3,000
- **Angel investors:** \$10,000-20,000

Phase 3: Product Development (Months 10-18)

Need: \$100,000-150,000

For:

- Industrial design
- Custom PCB development
- Injection mold tooling
- CE Mark certification
- Manufacturing setup (100 units)
- Marketing

Sources:

- **VC investment (Seed):** \$75,000-100,000
- **Government grants:** \$20,000-30,000
- **Pre-orders:** \$10,000-20,000
- **Strategic partners:** \$10,000-30,000

Equity: 15-20% for \$100K

Phase 4: Scale (Year 2-3)

Need: \$500K-1M

For:

- Scale manufacturing (1000+ units)
- Team (10-15 people)
- Distributors & sales
- International expansion
- R&D (next-gen features)

Sources:

- **Series A:** \$500K-1M
- **Revenue:** Reinvest profits
- **Debt financing:** Equipment loans

Equity: 20-25% for \$750K

Grant Opportunities (Immediate)

Uzbekistan:

Grant	Amount	Deadline	Fit
Zmin Fund	Up to \$5K	Rolling	<input checked="" type="checkbox"/> Excellent
IT Park Startup Grant	\$10–50K	Quarterly	<input checked="" type="checkbox"/> Good
InnoWeek Competition	\$5–15K	Annual (Nov)	<input checked="" type="checkbox"/> Excellent

International:

Grant	Amount	Eligibility	Fit
USAID DIV	\$15–150K	Developing countries	<input checked="" type="checkbox"/> Good
Google.org Impact	\$100K–1M	Social impact	<input checked="" type="checkbox"/> Good
MIT Solve	\$10–50K	Global challenges	<input checked="" type="checkbox"/> Excellent
Echoing Green	\$80K	Social entrepreneurs	<input type="checkbox"/> Competitive

Investment Ask (Current)

Seeking: \$30,000-50,000

For: Clinical pilot phase (6 months)

Use of Funds:

Category	Amount	%
Hardware (10–15 units)	\$15,000	40%
Clinical partnerships	\$5,000	13%
Team (2 part-time)	\$10,000	27%
Regulatory prep	\$5,000	13%
Marketing	\$3,000	8%
TOTAL	\$38,000	100%

Offering:

- 10-15% equity
- Advisory role
- First access to technology

Milestones (6 months):

- 10 patients using successfully
- CE Mark application submitted
- Manufacturing partnership secured
- Revenue: First sales (\$10-20K)

Exit Scenarios (5-7 years):

- Acquisition by prosthetics company: \$10-50M
- Strategic partnership with medtech giant
- Continue as sustainable social enterprise

⚠ Риски и решения

Technical Risks

Risk 1: ЭЭГ Signal Quality Insufficient

Probability: Medium **Impact:** High

Mitigation:

- Hybrid approach: Add ЭМГ as backup (if needed)
- Better electrode placement protocols
- Advanced noise filtering AI
- Dry electrode improvements

Contingency: Pivot to ЭЭГ+ЭМГ hybrid (still unique!)

Risk 2: AI Accuracy Below Target

Probability: Low-Medium **Impact:** High

Mitigation:

- Start with more training data (20+ people)
- Try multiple architectures
- Transfer learning from large datasets
- Conservative claims (60-70% OK for start)

Contingency: Simplify to 2-3 commands initially

Risk 3: Latency Too High

Probability: Low **Impact:** Medium

Mitigation:

- Model optimization (pruning, quantization)
- Upgrade to Jetson if needed
- Simplify preprocessing pipeline
- Parallel processing

Contingency: 500-800ms still acceptable for PoC

Regulatory Risks

Risk 4: CE Mark / FDA Approval Delays

Probability: High (normal for medtech) **Impact:** Medium

Mitigation:

- Start regulatory prep early (Month 6)
- Hire consultant with experience
- Design for compliance from start
- Plan 12-18 months for approval

Contingency:

- Launch in less-regulated markets first
 - Research/experimental use exemption
-

Risk 5: Liability / Safety Issues

Probability: Low (with proper design) **Impact:** Very High

Mitigation:

- Rigorous safety testing
- Multiple failsafe mechanisms
- Insurance (product liability)
- Clear user warnings and training
- Clinical supervision initially

Contingency: Comprehensive insurance coverage

Market Risks

Risk 6: Low Adoption / User Resistance

Probability: Medium **Impact:** High

Mitigation:

- Extensive user testing (iterate based on feedback)
- Partner with patient advocacy groups
- Success stories and testimonials
- Free trials for early adopters
- Clinical validation

Contingency: Adjust pricing, features, positioning

Risk 7: Competition from Big Players

Probability: Medium (long-term) **Impact:** High

Mitigation:

- First-mover advantage (build brand NOW)
- Patents on key innovations
- Community-driven development (hard to replicate)
- Focus on underserved markets (they ignore)
- Speed: iterate faster than giants

Contingency: Licensing deal / acquisition by competitor

Financial Risks

Risk 8: Unable to Raise Funds

Probability: Medium **Impact:** High

Mitigation:

- Multiple funding sources (grants, competitions, angels)

- Bootstrap with minimal resources (\$500-1000)
- Revenue from early sales
- Strong demo = easier to fundraise

Contingency:

- Slower timeline (part-time)
- Partner with university (shared resources)
- Crowdfunding campaign

Risk 9: Manufacturing Costs Higher Than Expected

Probability: Medium **Impact:** Medium

Mitigation:

- Detailed BOM early
- Quotes from multiple suppliers
- Design for manufacturability
- Economies of scale projections

Contingency:

- Adjust pricing
- Simplify design
- Find cheaper components

Team Risks

Risk 10: Team Member Leaves

Probability: Low-Medium **Impact:** Medium

Mitigation:

- Clear roles and agreements
- Equity vesting (1 year cliff)
- Document everything
- Cross-training

Contingency: Recruit from student community (School 21, TashPMI)

Следующие шаги

Immediate Actions (Next 2 Weeks)

Week 1:

- **Team meeting:** Review this document, assign roles
- **GitHub setup:** Create repo, invite team
- **Equipment order:** OpenBCI, Raspberry Pi, components (priority list)
- **Volunteer recruitment:** Find 5 people for first data collection
- **Ethics committee:** Submit application to TashPMI

Week 2:

- **Python environment:** Setup on all team computers
- **Literature review:** Each person reads 3 key papers
- **School 21 meeting:** Schedule access, plan printing
- **Budget finalization:** Exact costs, who pays what
- **Timeline:** Detailed weekly plan (use this document as base)

Success Metrics (Track Weekly)

Technical Progress:

- Equipment arrived and working
- First ЭЭГ data collected
- Baseline model trained
- Prototype hand printed
- Integration working

Team Health:

- All members engaged
- Clear communication
- No blockers >1 week
- Meeting weekly targets

Business Progress:

- 1+ grant application submitted
- 3+ media mentions
- 10+ people interested to try
- 1+ potential partner contacted

Long-term Vision (5 Years)

Year 1: PoC complete, 50 units deployed, grants won **Year 2:** Clinical pilot done, CE Mark obtained, 200 units sold
Year 3: Manufacturing scaled, 500 units, break-even **Year 4:** Regional expansion, 1,500 units, profitable **Year 5:** Global presence, 5,000 units, acquisition interest

Impact Goal: 10,000+ lives improved by 2030

Контакты и ресурсы

Team Contact

Project Leader:

- Temur Turaev
- Email: temurturayev7822@gmail.com
- Telegram: @Turayev_Temur
- LinkedIn: linkedin.com/in/temur-turaev-389bab27b

Project Email:

- neurohand.uz@gmail.com

Useful Resources

Community & Forums:

- OpenBCI Forum: openbci.com/forum
- Reddit: r/BCI, r/OpenBCI, r/bionics
- Discord: NeuroTech community

Learning:

- MNE-Python tutorials: mne.tools
- BCI course: Graz BCI Summer School (YouTube)
- Papers: arXiv.org (search "EEG motor imagery")

Open Source Projects:

- OpenBCI: github.com/OpenBCI
- Open Bionics: openbionics.com
- e-NABLE: enablingthefuture.org

Support Network

Mentorship:

- IT Park Uzbekistan mentors
- TashPMI professors (neurorehabilitation)
- School 21 community

Potential Partners:

- Республиканский научный центр экстренной медицинской помощи
- Tashkent Prosthetic Center
- Uzbekistan Association for Persons with Disabilities

Заключение

У вас есть все для успеха:

- Сильная команда:** Медики + DS + Hardware **Четкий план:** 3 месяца до PoC **Уникальная технология:** ЭЭГ-only, adaptive AI **Огромный рынок:** Миллионы нуждающихся **Социальное влияние:** Меняете жизни
 Доступ к ресурсам: Школа 21, TashPMI **Финансирование:** Гранты доступны **Страсть к миссии:** Помогаете людям

Ключевые принципы успеха:

- 1. Фокус:** Не пытайтесь сделать все сразу. 3 месяца - на PoC с 3-4 командами. Всё остальное - потом.
- 2. Скорость:** Iterate fast. Лучше работающий прототип за 3 месяца, чем идеальный за год.
- 3. Документация:** Записывайте всё. Каждый эксперимент, каждую ошибку, каждое решение. Это станет вашей научной статьей.
- 4. Коммуникация:** Еженедельные встречи команды. Ежедневные обновления в Telegram. Прозрачность = доверие.
- 5. Адаптация:** План не высечен в камне. Если что-то не работает - меняйте. Pivot is OK!

6. Сообщество: Делитесь прогрессом. Просите помощи. Open source community очень supportive.

7. Вера: Будут сложные моменты. Помните ЗАЧЕМ вы это делаете. Каждый прорыв меняет чью-то жизнь.

Приложения

Приложение А: Еженедельный чеклист

Копируйте и заполняйте каждую неделю:



markdown

Week [N]: [Dates]

Hardware Team

Tasks:

- [] Task 1
- [] Task 2
- [] Task 3

Completed:

- ...

Blockers:

- ... (and plan to resolve)

Next week:

- Plan...

Software/DS Team

Tasks:

- [] Task 1
- [] Task 2
- [] Task 3

Completed:

- ...

Blockers:

- ...

Next week:

- Plan...

Medical Team

Tasks:

- [] Task 1
- [] Task 2

Completed:

- ...

Blockers:

- ...

Next week:

- Plan...

All Team

- [] Weekly sync meeting (Friday)
- [] Update GitHub
- [] Document progress
- [] Social media post (progress update)

Metrics

- Equipment status: [% arrived]
- Data collected: [X trials]
- Model accuracy: [X%]
- Prototype status: [% complete]
- Funding: [applied/received]

Приложение B: Key Performance Indicators (KPIs)

Track это еженедельно:

Technical KPIs

KPI	Week 4	Week 8	Week 12	Goal
Data collected (trials)	1,000	5,000	18,000	✓
Participants tested	5	10	20	✓
Model accuracy (%)	60–65	70–75	75–80	>70%
Inference time (ms)	100	50	30	<50ms
Prototype iterations	1	2	3	3+
System latency (ms)	500	300	200	<500ms
Battery life (hours)	4	6	8	>6h

Business KPIs

KPI	Month 1	Month 2	Month 3	Goal
Grant applications	1	2	3	2+
Grants won (\$)	0	2,000	5,000	\$3K+
Media mentions	1	3	8	5+
Social media followers	50	200	500	300+
Potential partners	1	2	3	3+
Demo video views	–	–	1,000	500+

Team KPIs

KPI	Check
All 5 members active	Weekly
Meeting attendance >80%	Weekly
Tasks on schedule	Weekly
No blockers >1 week	Weekly
Team morale (1–10)	Monthly

Приложение С: Полезные ссылки

Hardware

ЭЭГ Systems:

- OpenBCI: <https://openbci.com>
- OpenBCI Forum: <https://openbci.com/forum>
- PiEEG: <https://www.crowdsupply.com/pieeg/pieeg>

3D Models:

- Open Bionics: <https://openbionics.com>
- Thingiverse prosthetics: <https://thingiverse.com/tag:prosthetic>
- e-NABLE: <https://enablingthefuture.org>

Electronics:

- Arduino Reference: <https://arduino.cc/reference>
- Raspberry Pi Docs: <https://raspberrypi.com/documentation>

Software

Libraries:

- MNE-Python: <https://mne.tools>
- BrainFlow: <https://brainflow.org>
- PyTorch: <https://pytorch.org>
- scikit-learn: <https://scikit-learn.org>

Datasets:

- PhysioNet: <https://physionet.org/about/database/#neuro>
- BCI Competition: <http://bnci.de/competition/>
- OpenNeuro: <https://openneuro.org>

Tutorials:

- MNE Tutorials: https://mne.tools/stable/auto_tutorials/index.html
- PyTorch Tutorials: <https://pytorch.org/tutorials/>
- BCI Tutorial (YouTube): Search "BCI summer school"

Papers (must-read)

ЭЭГ Motor Imagery:

1. Pfurtscheller & Neuper (2001) - "Motor imagery and direct brain-computer communication"
2. Blankertz et al. (2008) - "The Berlin Brain-Computer Interface: EEG-based communication without subject training"

Deep Learning for ЭЭГ:

1. Lawhern et al. (2018) - "EEGNet: A Compact Convolutional Network for EEG-based Brain-Computer Interfaces"
2. Schirrmeister et al. (2017) - "Deep learning with convolutional neural networks for EEG decoding"

Online Learning:

1. Kirkpatrick et al. (2017) - "Overcoming catastrophic forgetting in neural networks" (EWC)

Access: Sci-Hub (не говорите что я говорил 😊)

Funding

Uzbekistan:

- Zmin Fund: <https://zmin.uz>
- IT Park Uzbekistan: <https://itpark.uz>
- InnoWeek: [Google "InnoWeek Uzbekistan"]

International:

- USAID DIV: <https://www.usaid.gov/div>
- MIT Solve: <https://solve.mit.edu>
- Google.org: <https://google.org>
- Echoing Green: <https://echoinggreen.org>

Community

Forums:

- r/BCI: <https://reddit.com/r/BCI>
- r/OpenBCI: <https://reddit.com/r/OpenBCI>
- NeuroTech Discord: [Search "neurotech discord"]

Conferences (для будущего):

- BCI Meeting (каждые 2 года)
- NER (Neural Engineering)
- EMBC (Engineering in Medicine and Biology)

Приложение D: Troubleshooting Guide

Общие проблемы и решения:

ЭЭГ Problems

Problem: High impedance ($>20\text{k}\Omega$)

- Solution 1: Clean skin with alcohol
- Solution 2: Apply NuPrep gel (light abrasion)
- Solution 3: More conductive gel
- Solution 4: Press electrode firmer
- Solution 5: Check electrode condition (oxidized?)

Problem: 50Hz noise visible

- Solution 1: Check Ground electrode connection
- Solution 2: Move away from power cables
- Solution 3: Use shielded cables
- Solution 4: Apply notch filter in software

Problem: Electrode keeps falling off

- Solution 1: Better headset design (Ultracortex)
- Solution 2: Elastic bands tighter
- Solution 3: Hair net to hold in place

- Solution 4: Different electrode type

Problem: Signal looks very noisy

- Solution 1: Check all connections
- Solution 2: Re-reference (try different reference)
- Solution 3: ICA for artifact removal
- Solution 4: Participant to stay still, relax face

AI/ML Problems

Problem: Accuracy stuck at ~50% (chance level)

- Solution 1: Check data labels (are they correct?)
- Solution 2: Visualize ЭЭГ (do you see differences between classes?)
- Solution 3: Try simpler model (CSP+LDA) first
- Solution 4: More data needed (>100 trials/class)
- Solution 5: Check preprocessing (maybe removing useful signal)

Problem: Training loss decreases but validation doesn't

- Solution 1: Overfitting - reduce model capacity
- Solution 2: Add dropout layers
- Solution 3: Data augmentation
- Solution 4: More training data
- Solution 5: Early stopping

Problem: Model works offline but not online

- Solution 1: Check that preprocessing is identical
- Solution 2: Participant position changed (re-calibrate)
- Solution 3: Different impedances than training
- Solution 4: Add confidence threshold (ignore low confidence)

Problem: Inference too slow

- Solution 1: Model optimization (quantization)
- Solution 2: Simplify preprocessing
- Solution 3: Use ONNX Runtime
- Solution 4: Upgrade to Jetson Orin Nano
- Solution 5: Reduce input size (fewer channels/timepoints)

Mechanical Problems

Problem: Tendon breaks

- Solution 1: Use thicker fishing line (80lb instead of 50lb)
- Solution 2: Avoid sharp edges in channels (sand smooth)
- Solution 3: Reduce servo force (lower max angle)
- Solution 4: Use Spectra fiber (stronger)

Problem: Finger doesn't curl fully

- Solution 1: Increase tendon tension
- Solution 2: Check for friction in channels (lubricate?)
- Solution 3: Servo not strong enough (upgrade to MG996R)
- Solution 4: Print with less infill (lighter finger)

Problem: Servo jitters/vibrates

- Solution 1: Code issue - smooth movement (use write() not writeMicroseconds())
- Solution 2: Power supply insufficient (use separate 5V for servos)
- Solution 3: Bad servo (replace)

Problem: Hand too heavy

- Solution 1: Reduce infill (from 50% to 30%)
- Solution 2: Print with PLA (lighter than ABS)
- Solution 3: Hollow out non-structural parts
- Solution 4: Smaller battery pack (external powerbank)

Integration Problems

Problem: Latency too high (>1 second)

- Solution 1: Profile code (where is bottleneck?)
- Solution 2: Optimize preprocessing (use scipy not mne in loop)
- Solution 3: Reduce ЭЭГ window size (1 sec → 0.5 sec)
- Solution 4: Upgrade compute (Jetson)
- Solution 5: Parallel processing (threading)

Problem: Commands not reaching Arduino

- Solution 1: Check serial port (/dev/ttyACM0 or ttyUSB0?)
- Solution 2: Check baud rate matches (115200)
- Solution 3: Serial cable issue (try different)
- Solution 4: Arduino not responding (reset, re-upload firmware)

Problem: System crashes after 10-15 minutes

- Solution 1: Memory leak (check Python script)
- Solution 2: Buffer overflow (limit buffer size)
- Solution 3: Overheating (add cooling, reduce CPU frequency)
- Solution 4: Power supply issue (check voltage)

Приложение E: FAQ

Q: Нужна ли хирургия для установки ЭЭГ? А: Нет! ЭЭГ полностью неинвазивный. Надевается как шапка. Никакой хирургии.

Q: Как долго нужно тренироваться чтобы управлять? А: Первая калибровка: 10-15 минут. После этого можно начинать. С каждым использованием становится лучше.

Q: Будет ли работать если нет вообще руки? А: Да! Это ключевое преимущество. ЭЭГ читает из мозга, не требует мышц или нервов в культе.

Q: Сколько стоит для пациента? А: Цель: \$1,500-2,000 (серийно). Для сравнения: обычные протезы \$40,000-100,000.

Q: Можно ли использовать для ног? А: В теории да, но нужна адаптация. Сейчас фокус на руках, ноги - в будущем.

Q: Что если я моргну - рука случайно двигается? А: Нет. AI обучен отличать артефакты (моргания) от намерений. Плюс voting mechanism предотвращает случайные команды.

Q: Как долго работает батарея? А: Цель: 6-8 часов. Можно подключать внешний powerbank для продления.

Q: Можно ли мочить протез? А: Нет (в первой версии). Водонепроницаемость - в roadmap для будущего.

Q: А если у меня две руки ампутированы? А: Теоретически можно два протеза. Но управление усложняется (нужно различать "левая" vs "правая"). Исследуем в будущем.

Q: Как чистить ЭЭГ электроды? А: После каждого использования: протереть спиртом. Раз в неделю: промыть водой с мылом. Сушить на воздухе.

Q: Сколько живет протез? А: Механика: 3-5 лет (при нормальном использовании). Электроника: 5-10 лет. Все части заменяемые.

Q: Могу ли я плавать/заниматься спортом? А: Легкие нагрузки: да. Контактные виды спорта: не рекомендуется (может повредиться). Плавание: нет (не водонепроницаемый).

Q: Будет ли больно если случайно ущипнет? А: Нет датчиков боли в протезе. Но есть вибрация для обратной связи (чувствуете когда касаетесь).

Q: Как вы защищены от копирования? А: Open source philosophy - мы ХОТИМ чтобы другие улучшали. Но патентуем ключевые инновации (adaptive AI algorithm). Plus, first-mover advantage.

Q: Что если технология не сработает? А: План В: hybrid ЭЭГ+ЭМГ (все еще уникально). План С: focus на ЭМГ часть, используя наш AI approach.

Q: Когда будет доступен для покупки? А: Оптимистично: конец 2026 (через 1.5 года). Реалистично: 2027.

Приложение F: Глоссарий терминов

ЭЭГ (Electroencephalography): Запись электрической активности мозга через электроды на коже головы.

ЭМГ (Electromyography): Запись электрической активности мышц.

BCI (Brain-Computer Interface): Интерфейс мозг-компьютер. Прямая коммуникация между мозгом и устройством.

Motor Imagery (MI): Воображение движения без фактического выполнения. Активирует моторную кору.

Моторная кора: Область мозга (C3, Cz, C4 в системе 10-20) ответственная за планирование и выполнение движений.

Impedance: Электрическое сопротивление между электродом и кожей. Низкое = лучше сигнал.

Artifact: Нежелательный сигнал (шум) в ЭЭГ. Например: моргания, мышечная активность, движения.

ICA (Independent Component Analysis): Математический метод для разделения смешанных сигналов. Используется для удаления артефактов.

Epoch: Временной отрезок ЭЭГ данных (например, -1 до 4 сек от начала команды).

Feature Extraction: Извлечение полезных характеристик из сырых данных для ML.

CSP (Common Spatial Patterns): Алгоритм для выделения пространственных паттернов в ЭЭГ.

Transfer Learning: Использование модели, обученной на одних данных, для другой задачи.

Fine-tuning: Дообучение pre-trained модели на новых данных.

Online Learning: Обучение модели в реальном времени по мере получения новых данных.

EWC (Elastic Weight Consolidation): Техника для предотвращения "забывания" при online learning.

Inference: Процесс использования обученной модели для предсказаний.

Latency: Задержка между входом (мысль) и выходом (движение протеза).

DoF (Degrees of Freedom): Число независимых движений. Человеческая рука: ~25 DoF.

Tendon-driven: Система привода где тросы (как сухожилия) тянутся моторами для движения.

Servo: Мотор с обратной связью для точного позиционирования.

PWM (Pulse Width Modulation): Способ управления сервоприводами через изменение ширины импульса.

Prosthesis: Протез. Искусственная замена части тела.

Amputee: Человек с ампутацией.

Rehabilitation: Реабилитация. Восстановление функций после травмы/болезни.

CE Mark: Европейская сертификация для медицинских изделий.

FDA 510(k): Американское одобрение для медицинских устройств.

PoC (Proof of Concept): Доказательство концепции. Работающий прототип.

MVP (Minimum Viable Product): Минимально жизнеспособный продукт.

CAC (Customer Acquisition Cost): Стоимость привлечения клиента.

LTV (Lifetime Value): Пожизненная ценность клиента.

BOM (Bill of Materials): Список материалов и компонентов с ценами.

CAGR (Compound Annual Growth Rate): Совокупный годовой темп роста.

Финальная мотивация

Вы создаете не просто протез. Вы создаете будущее.

Представьте:

Ребенок с врожденным отсутствием руки, который никогда не мог играть на музыкальном инструменте - **теперь может.**

Ветеран войны с высокой ампутацией, которому отказали все существующие протезы - **теперь получает шанс.**

Пациент после инсульта, который потерял контроль над рукой - **теперь учится управлять ею заново.**

Мать в Узбекистане, которая не может позволить \$50,000 за протез - **теперь может купить за \$1,500.**

Это больше чем технология. Это возвращение достоинства.

57 миллионов человек ждут решения, которое вы создаете.

85% из них в развивающихся странах, где существующие технологии недоступны.

Вы - их надежда.

История начинается сегодня.

Каждый великий проект начинался с маленькой команды энтузиастов:

- **Wright Brothers:** 2 брата в велосипедной мастерской → первый полет
- **HP:** 2 студента в гараже → компьютерная революция
- **Open Bionics:** несколько энтузиастов → тысячи протезов

Теперь ваша очередь.

У вас есть:

- Знания (медицина + AI + инженерия)
- Ресурсы (Школа 21, TashPMI)
- План (этот документ)
- Команда (5 талантливых людей)
- Миссия (изменить миллионы жизней)

Единственное что осталось - начать.

"The best time to plant a tree was 20 years ago. The second best time is now."

Не ждите идеального момента.

Идеального момента не существует. Всегда будут сомнения, страхи, препятствия.

Но каждый день промедления - это день, когда кто-то живет без руки, которую вы могли бы им дать.

Начните сегодня.

Закажите первое оборудование. Соберите команду. Напишите первую строчку кода. Напечатайте первую деталь.

Маленькие шаги каждый день = революция через 3 месяца.

Финальное послание

Темур и команда NeuroHand,

Вы держите в руках нечто большее, чем бизнес-план или технический документ.

Это **blueprint для изменения мира.**

Используйте его. Адаптируйте его. Улучшайте его.

Но главное - **ДЕЙСТВУЙТЕ.**

Через 3 месяца у вас будет working prototype. Через год - первые пациенты, чьи жизни изменились. Через 5 лет - тысячи людей с вашими протезами.

Но только если вы начнете сейчас.

⭐ Последние слова

"They said it couldn't be done.
They said it was too complex.
They said no one would use it.
They said you're too young.
They said you don't have resources.

They were wrong.

Because you're not building this for them.
You're building it for the millions who need it.

And that makes all the difference."

Welcome to NeuroHand.

Welcome to the future.

Let's change the world.  

Document Version: 1.0

Created: October 29, 2025

Team: NeuroHand (Temur Turaev & Team)

Status: READY TO LAUNCH

Next Update: After PoC completion (Month 3)

NOW GO BUILD IT!  #  NeuroHand: Универсальный бионический протез с ЭЭГ-управлением

Первый доступный протез, управляемый силой мысли

Содержание

1. [Обзор проекта](#)
2. [Проблема и решение](#)
3. [Команда](#)
4. [Roadmap на 3 месяца](#)
5. [Техническая архитектура](#)
6. [Оборудование и бюджет](#)
7. [ЭЭГ система](#)
8. [Искусственный интеллект](#)
9. [Механическая часть](#)
10. [Интеграция системы](#)
11. [Тестирование](#)
12. [Бизнес-модель](#)
13. [Финансирование](#)
14. [Риски и решения](#)
15. [Следующие шаги](#)

Обзор проекта

Что такое NeuroHand?

NeuroHand - это инновационный бионический протез верхней конечности, который управляется **исключительно сигналами мозга** (ЭЭГ) через встроенный адаптивный искусственный интеллект.

Ключевые характеристики

Параметр	Значение
Тип управления	Чистый ЭЭГ (без ЭМГ)
Универсальность	Работает при любом уровне ампутации
ЭЭГ каналы	6–8 каналов
Степени свободы	3–4 (4 пальца, большой палец, запястье)
Задержка	<500ms (от намерения до движения)
Точность	70–85% (адаптивно растет)
Автономность	6–8 часов
Вес протеза	~400–500г
Себестоимость	\$760 (серийно)
Розничная цена	\$1,500–2,000

Уникальные преимущества

- Универсальность** - работает без мышц, подходит для высоких ампутаций, неврологических пациентов
- Адаптивность** - AI учится под каждого пользователя, точность растет с использованием
- Кастомизация** - модульный дизайн, можно менять насадки (рука, клещня, щупальца, инструменты)
- Доступность** - в 25-50 раз дешевле аналогов (\$1,500 vs \$40,000-100,000)
- Open Source** - открытый исходный код, сообщество может улучшать

! Проблема и решение

Существующая проблема

Цифры

Показатель	Значение
Люди с ампутацией верхних конечностей в мире	57 миллионов
Ежегодно новых ампутаций	3–5 тысяч (только в Узбекистане)
Не могут позволить протез (развивающиеся страны)	85%
Средняя цена качественного протеза	\$40,000 – 100,000

Ограничения текущих технологий

ЭМГ-протезы (миоэлектрические):

- ✗ Требуют функциональные мышцы в культе
- ✗ Не работают при высокой ампутации (близко к плечу)
- ✗ Не подходят при повреждении нервов
- ✗ Дети с врожденными дефектами не могут использовать
- ✗ Нужно "переучиваться" напрягать определенные мышцы
- ✗ Не адаптируются под пользователя

- **✗** Очень дорогие (\$40,000-100,000)

Инвазивные BCI (Neuralink и т.д.):

- **✗** Требуют операцию на мозге
- **✗** Риски инфекции и осложнений
- **✗** Стоимость операции + имплант = \$200,000+
- **✗** Недоступны для 99.9% нуждающихся

Наше решение

NeuroHand решает все эти проблемы:

- ✓ Не требует мышц** - читает намерение напрямую из мозга (моторная кора)
- ✓ Неинвазивный** - портативный ЭЭГ-шлем, надевается как шапка
- ✓ Интуитивное управление** - "думаешь о движении" → протез двигается
- ✓ Универсальный** - работает при любом уровне ампутации, подходит для неврологических пациентов
- ✓ Адаптивный AI** - система учится под каждого человека, точность растет с использованием
- ✓ Доступный** - себестоимость \$760, цена \$1,500-2,000 (в 25-50 раз дешевле)

Целевая аудитория

Первичная аудитория

- Люди с **высокой ампутацией** (где ЭМГ не работает)
- Пациенты с **повреждениями периферических нервов**
- Дети с **врожденными дефектами** конечностей
- Пациенты после **инфаркта, ДЦП, травм спинного мозга**

Вторичная аудитория (будущее)

- Все остальные с ампутациями (как альтернатива ЭМГ)
- Реабилитация после неврологических травм (экзоскелеты)
- Управление инвалидными колясками
- Brain-computer interface для парализованных

География

- **Год 1-2:** Узбекистан, Центральная Азия
- **Год 3-5:** Развивающиеся страны (Африка, Южная Азия, Латинская Америка)
- **Год 5+:** Глобально

Команда

Текущий состав (5 человек)

Роль 1-2: Медики + Data Science

Члены:

- Темур Тураев (Лидер проекта)
- [Участник 2]

Образование:

- 5 курс Ташкентского педиатрического медицинского института
- Изучают Data Science

Ответственность:

- Протоколы сбора данных ЭЭГ
- Медицинская валидация
- Контакты с пациентами и клиниками
- Обработка биосигналов (preprocessing)
- Разметка датасетов
- Этические одобрения

Роль 3: Data Scientist

Член: [Участник 3]

Ответственность:

- Разработка архитектуры нейросети
- Обучение и оптимизация моделей
- Алгоритмы online learning
- Deployment на embedded устройства
- А/В тестирование моделей

Роль 4-5: Hardware Engineers

Члены: [Участник 4], [Участник 5]

Ответственность:

- Механический дизайн протеза
- 3D-печать и сборка
- Электроника (сервоприводы, контроллеры)
- Интеграция ЭЭГ → Процессор → Протез
- Системы питания (батареи, управление энергией)
- Разработка крепления ЭЭГ-шлема

Роли для будущего расширения

Роль	Когда нужна	Зачем
Embedded Software Engineer	Месяц 6–9	Оптимизация для Jetson, real-time системы
UX/UI Designer	Месяц 6–9	Интерфейс калибровки, мобильное приложение
Clinical Coordinator	Месяц 9–12	Организация клинических испытаний
Business Developer	Месяц 9–12	Продажи, партнерства, инвестиции
Industrial Designer	Год 2	Эстетический дизайн продукта
Regulatory Specialist	Год 2	Сертификация (CE mark, FDA)

Доступ к ресурсам

Школа 21 (безлимитный доступ):

- 3D-принтеры (ABS, PLA, PETG)
- Мастерская с инструментами
- Рабочее пространство
- Менторы (программирование)
- Нетворкинг с IT сообществом

TashPMI:

- Доступ к пациентам (стажировки в больницах)
- Научные руководители (профессора неврологии)
- Лаборатория биосигналов
- Этический комитет (для одобрений)

Roadmap: 3 месяца до Proof of Concept

Общая стратегия



МЕСЯЦ 1: Foundations



МЕСЯЦ 2: Integration



МЕСЯЦ 3: Refinement & Demo



РЕЗУЛЬТАТ: Working Prototype + Demo Video + Grant Applications

МЕСЯЦ 1: Foundations (Недели 1-4)

Неделя 1: Setup & Planning

Цели:

- Заказать все оборудование
- Настроить рабочее окружение
- Распределить задачи

Hardware Team:

- Заказать OpenBCI Cyton v3 (6-8 каналов) - \$250
- Заказать PiEEG kit (backup) - \$150
- Заказать Raspberry Pi 5 (8GB) - \$80
- Заказать базовые компоненты (см. список оборудования)
- Инвентаризация в Школе 21 (что есть, что нужно докупить)

Software/DS Team:

- Создать GitHub repository (private)
- Настроить Python окружение (PyTorch, MNE-Python, scikit-learn)
- Изучить документацию OpenBCI
- Скачать публичные датасеты ЭЭГ (PhysioNet, BCI Competition)
- Изучить state-of-art papers по EEG motor imagery

Medical Team:

- Подать заявку в этический комитет TashPMI
- Разработать протокол информированного согласия
- Набрать 5 здоровых добровольцев (команда + друзья)
- Изучить литературу: EEG motor imagery, artifact removal

Deliverables:

- GitHub repo создан
- Оборудование заказано
- 5 добровольцев найдены
- Заявка в этком подана

Неделя 2: First Data Collection

Цель: Собрать первый сырой датасет ЭЭГ

Hardware:

- Получить и протестировать OpenBCI
- Подобрать оптимальное расположение электродов (C3, C4, Cz обязательны)
- Решить вопрос крепления (заказать Ultracortex или DIY шапка)
- Проверить качество сигнала (impedance <10kΩ)

Протокол сбора данных:

Параметр	Значение
Участники	5 человек
Длительность сессии	~60 минут
Команды	4 (Сжать, Разжать, Повернуть, Покой)
Trials на команду	50
Длительность trial	7 секунд (1с кью + 4с воображение + 2с отдых)
Общее количество trials	200 на человека

Структура trial:

1. **Подсказка (1 сек):** На экране появляется текст "Prepare: GRASP"
2. **Воображение (4 сек):** "Imagine: GRASP" - участник воображает движение
3. **Отдых (2 сек):** "Rest" - расслабление

Software:

- Написать скрипт стриминга данных с OpenBCI
- Визуализация real-time
- Сохранение данных в формат MNE (.fif) или .csv

Deliverables:

- Собраны данные от 5 добровольцев
- ~1000 trials (5 человек × 200 trials)
- Данные сохранены и структурированы

Неделя 3: Data Preprocessing & Baseline Model

DS Team:

Задачи по обработке данных:

- Реализовать pipeline preprocessing
- Визуальный контроль качества (найти плохие каналы, артефакты)
- Разделить на train/val/test: 70%/15%/15%

Pipeline обработки:



1. Bandpass filter (0.5-50 Hz) - удалить очень низкие и высокие частоты
2. Notch filter (50 Hz) - удалить сетевую наводку
3. ICA - Independent Component Analysis - отделить артефакты (моргания, движения)
4. Epoch extraction - нарезать на окна (например, -1 до 4 сек от начала команды)
5. Normalization - привести к единому масштабу
6. Feature extraction (опционально) - CSP, wavelet, или сырые данные для DL

Baseline модели:

Модель	Подход	Ожидаемая точность
CSP + LDA	Classical ML	60–65%
CSP + SVM	Classical ML	60–65%
EEGNet	Deep Learning (CNN)	65–75%
ShallowConvNet	Deep Learning (CNN)	65–75%

Метрики оценки:

- Accuracy (4-class classification)
- Confusion matrix
- Precision, Recall, F1 per class
- Cross-validation (5-fold)

Deliverables:

- Данные обработаны и чистые
 - Обучена baseline модель
 - Accuracy >60% на validation set
 - Документация pipeline
-

Неделя 4: Mechanical Design

Hardware Team:

3D-печать протеза:

- Выбрать базовую модель: Open Bionics Brunel Hand v2
- Скачать STL файлы с GitHub
- Модифицировать под ваши требования (4 пальца группой, большой отдельно)
- Напечатать все части

Параметры печати:

Параметр	Значение
Материал	ABS (прочность)
Layer height	0.2mm
Infill	30% (пальцы), 50% (ладонь)
Температура	230–250°C
Скорость	40mm/s
Поддержки	Да (для пальцев)
Время печати	~24 часа (весь протез)
Филамент	~600–700г

Электроника:

- Заказать сервоприводы: 3x MG996R (по \$8)
- Купить тросики (fishing line 50lb)
- Arduino Mega для первых тестов
- Breadboard, провода, коннекторы

Deliverables:

- Все части протеза напечатаны
- Электроника заказана

- Начальная сборка (пальцы + ладонь)
-

МЕСЯЦ 2: Integration (Недели 5-8)

Неделя 5: Enhanced Data Collection

Цель: Расширить датасет, улучшить качество

Hardware:

- Финиализировать крепление ЭЭГ-шлема
- Тестировать impedance (<10kΩ всегда)
- Решить проблемы с артефактами (экранирование проводов)

Data Collection v2:

- Набрать еще 10 участников (всего 15)
- Расширенный протокол: 6 команд вместо 4

Команды:

#	Команда	Описание
1	Сжать кулак	Воображение полного сжатия
2	Разжать	Открытая ладонь
3	Повернуть влево	Поворот запястья против часовой
4	Повернуть вправо	Поворот запястья по часовой
5	Pinch grip	Большой + указательный
6	Покой	Полное расслабление

- По 200 trials на команду на человека
- Разные условия: утро/вечер, усталый/свежий (для проверки стабильности)

Deliverables:

- Собраны данные от 15 человек
 - ~18,000 trials (15 человек × 6 команд × 200 trials)
 - Высокое качество (impedance контролируется)
-

Неделя 6: Advanced ML Models

DS Team:

Transfer Learning:

- Загрузить pre-trained модель (обученную на PhysioNet MI dataset)
- Fine-tune на ваших данных
- Сравнить с baseline

Custom Architectures:

Варианты для экспериментов:

Архитектура	Описание	Сложность
EEGNet	CNN оптимизированная для ЭЭГ	Средняя
DeepConvNet	Глубокая CNN	Средняя
EEG Transformer	Attention-based	Высокая
LSTM + CNN	Hybrid рекуррентная + сверточная	Высокая

Online Learning Prototype:

- Реализовать incremental learning с EWC (Elastic Weight Consolidation)
- Тестировать: базовая модель → дообучение на 50 новых примерах
- Измерить улучшение accuracy

Target метрики:

- Accuracy >75% на validation (6 классов)
- Inference time <50ms на Raspberry Pi

Deliverables:

- Несколько моделей протестираны
- Лучшая модель выбрана
- Online learning работает

Неделя 7: Mechanical Assembly

Hardware Team:

Сборка руки:

- Установить тросики во все пальцы
- Закрепить сервоприводы в предплечье
- Подключить сервоприводы к Arduino
- Калибровать натяжение тросов

Калибровка (критично!):

Сервопривод	Позиция 0°	Позиция 90°	Результат
4 пальца	Пальцы вытянуты	Пальцы согнуты 90°	Функциональный хват
Большой палец	Вытянут	Противопоставлен	Оппозиция
Запястье	Нейтральное	Согнуто вверх/вниз	Подвижность

Тестирование хватов:

- Cylindrical grasp (бутылка)
- Pinch (монета, ключ)
- Hook (сумка)

Vibration Feedback:

- Добавить 3 вибромотора (большой палец, указательный, запястье)
- Протестировать ощущения

Deliverables:

- Полностью собранный и функциональный протез

- Может выполнять базовые хваты
 - Вибрация работает
-

Неделя 8: First Integration (ЭЭГ → AI → Протез)

Full Team:

Архитектура:



ЭЭГ (OpenBCI)

→ Bluetooth →

Raspberry Pi (AI Model)

→ USB →

Arduino (Servo Control)

→ PWM →

Servos (Рука двигается!)

Задачи:

- Написать main control loop на Python (Raspberry Pi)
- Интеграция: стриминг ЭЭГ → preprocessing → AI inference → команда Arduino
- Тестирование latency (цель: <500ms)

Первое тестирование:

- Участник надевает ЭЭГ шлем
- Думает "сжать кулак"
- Рука сжимается!

Типичные проблемы и решения:

Проблема	Причина	Решение
Задержка >1 сек	Медленный preprocessing	Оптимизировать фильтры, упростить
Ложные срабатывания	Низкий порог уверенности	Увеличить confidence threshold
Дрожание руки	Шум в предсказаниях	Voting mechanism (3 последних)
Рука не двигается	Неправильный mapping	Проверить Arduino serial

Deliverables:

- End-to-end система работает
 - Участник может управлять протезом ЭЭГ
 - Latency <500ms
 - Видео-демо (30 сек)
-

МЕСЯЦ 3: Refinement & Demo (Недели 9-12)

Неделя 9: Optimization

DS Team:

Model Optimization:

- Pruning: удалить 30% весов (уменьшить размер модели)
- Quantization: FP32 → INT8 (ускорить inference)
- ONNX export (для кросс-платформенности)

Целевые метрики:

Метрика	До оптимизации	После оптимизации
Inference time	100ms	<50ms
Model size	50MB	<10MB
Accuracy drop	-	<5%

Hardware Team:

Power Optimization:

- Измерить текущее потребление
- Найти баланс: производительность vs батарея
- Тестировать battery life (цель: >6 часов)

Если нужно:

- Upgrade to Jetson Orin Nano (если Raspberry Pi не справляется)
- TensorRT optimization на GPU

Deliverables:

- Модель оптимизирована
- Система быстрая и энергоэффективная
- Battery life 6+ часов

Неделя 10: User Testing (Alpha)

Цель: Протестировать с новыми пользователями (не из команды)

Протокол:

Участники: 5 новых добровольцев

Процедура для каждого:

- Калибровка (10 минут):**
 - 20 примеров × 4 команды = 80 trials
 - Система обучает персональную модель
- Real-world Tasks (20 минут):**

Задача	Описание	Success criteria
Взять бутылку	Пластиковая бутылка 0.5L	Поднять без падения
Взять ручку	Шариковая ручка	Удержать в pinch grip
Поднять чашку	Кофейная кружка (пустая)	Cylindrical grasp
Открыть дверь	Повернуть ручку	Rotate wrist + grasp

- По 10 попыток на задачу
- Success: выполнить за ≤ 3 попытки

3. Questionnaire (5 минут):

Вопросы (шкала 1-10):

- Насколько естественным было управление?
- Насколько быстро рука реагировала?
- Насколько точными были движения?
- Удобен ли ЭЭГ-шлем?
- Использовали бы ежедневно? (да/нет)

Метрики:

Метрика	Target
Success rate	>60%
Avg attempts per task	<2.5
User satisfaction	>7/10
Willing to use daily	>80% "да"

Deliverables:

- 5 участников протестированы
- Success rate измерен
- Feedback собран
- Видео успешных executions

Неделя 11: Adaptive Learning Showcase

Цель: Продемонстрировать, что система учится

Эксперимент:

Протокол:

- Участник использует протез 30 минут
- Каждые 5 минут: тест на стандартной задаче (поднять бутылку)
- Система собирает данные и автоматически дообучается
- Измерить improvement в точности

Ожидаемый результат:

Время (мин) Success Rate Улучшение

0 (baseline)	70%	-
5	72%	+2%
10	75%	+5%
15	78%	+8%
20	80%	+10%
30	82%	+12%

Visualization:

- График: ось X = время, ось Y = accuracy
- Показывает upward trend
- Доказывает адаптивность!

Deliverables:

- Adaptive learning работает
 - Доказано улучшение +10-15%
 - График для презентации
-

Неделя 12: Documentation & Demo Preparation

All Team:

Demo Video (5 минут):

Структура:

1. **Intro (1 мин):** Проблема - миллионы людей без доступа к протезам
2. **Технология (1 мин):** Как работает NeuroHand (ЭЭГ → AI → Протез)
3. **Live Demo (2 мин):** Человек управляет рукой силой мысли, выполняет задачи
4. **Adaptive Learning (30 сек):** График улучшения
5. **Call to Action (30 сек):** Призыв к инвестициям/партнерству

Presentation (Pitch Deck):

- Обновить слайды
- Добавить реальные данные с тестирований
- Финансовые проекции

Technical Report (15-20 страниц):

Структура:

- Abstract
- Introduction
- Methods (ЭЭГ, AI, механика)
- Results (accuracy, latency, user satisfaction)
- Discussion
- Conclusion
- Appendices

GitHub Repository:

- Сделать публичным (или оставить private до патента)
- README с инструкциями
- Документация API
- Видео демо на главной

Grant Applications:

- Подать заявку на грант Zmin Fund (Uzbekistan) - до \$5,000
- USAID Innovation Grant
- Конкурс InnoWeek Uzbekistan
- IT Park Demo Day (регистрация)

Deliverables:

- Demo video готово (5 мин, профессиональное качество)
 - Pitch deck finalized
 - Technical report написан
 - 2+ grant applications поданы
 - GitHub репо структурирован
-

Итоговые цели Proof of Concept

К концу 3 месяцев должно быть:

Технические метрики

Метрика	Target	Измерение
Offline accuracy	>70%	4–6 классов, validation set
Online success rate	>60%	Real-world tasks
Latency	<500ms	От намерения до движения
Battery life	>6 часов	Непрерывное использование
Adaptive improvement	+10–15%	После 30 мин использования
Inference time	<50ms	На Raspberry Pi / Jetson

Пользовательские метрики

Метрика	Target
User satisfaction	>7/10
Calibration time	<15 минут
Willing to use daily	>80%
Task completion	Can perform 4 basic tasks

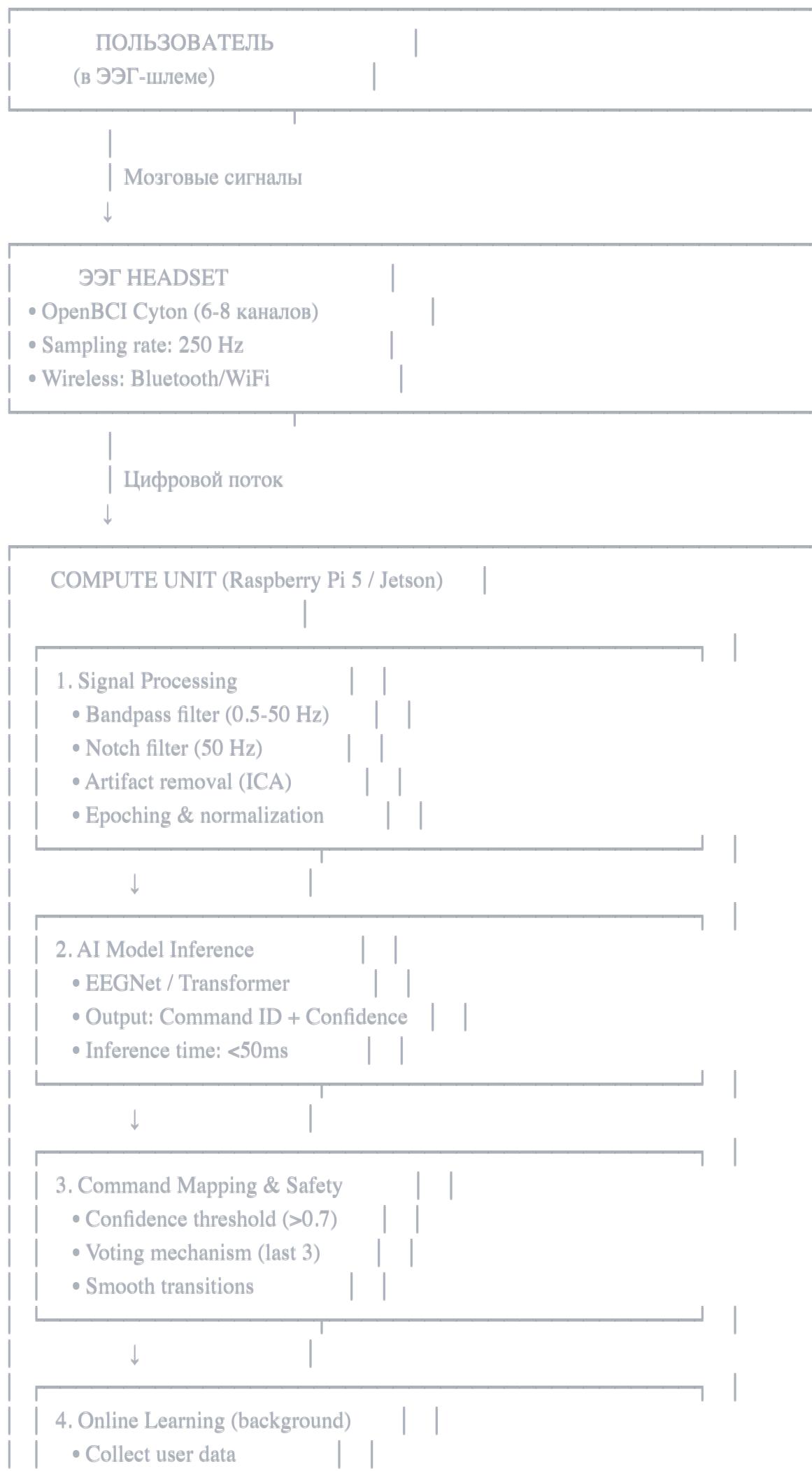
Бизнес метрики

Метрика	Target
Working prototype	<input checked="" type="checkbox"/> Да
Demo video	<input checked="" type="checkbox"/> 5 минут, professional
Grant applications	≥2 поданы
Team complete	5+ человек
Potential partners	3+ identified

Техническая архитектура

System Overview





- Incremental fine-tuning (EWC)
- Improve accuracy over time

Serial/USB: "GRASP\n"

- MOTOR CONTROLLER (Arduino Mega)
- Receives commands via Serial (115200 baud)
 - Controls servos (PWM signals)
 - Drives vibration motors
 - Safety checks (timeout, range limits)

PWM Signals

- PROSTHETIC HAND
- 3× Servos → pull tendons
 - Fingers curl/extend
 - Vibration feedback to user

Data Flow

Real-time Loop (10 Hz):



1. Stream ЭЭГ: Collect 1 second window (250 samples × 6 channels)



2. Preprocess: Filter, clean, normalize (~30ms)



3. AI Inference: Predict command (~20ms)



4. Voting: Check last 3 predictions for stability (~1ms)



5. Send to Arduino: Serial command "GRASP\n" (~10ms)



6. Execute: Arduino moves servos (~50-100ms)



7. Feedback: Vibration confirms action (~50ms)

Total latency: ~200-300ms (well under 500ms target!)

Software Stack

Layer	Technology	Purpose
Data Acquisition	pyOpenBCI, pylsl	ЭЭГ streaming
Signal Processing	MNE-Python, scipy	Filtering, ICA, epoching
Machine Learning	PyTorch, scikit-learn	Model training & inference
Optimization	ONNX, TensorRT	Fast deployment
Control Logic	Python (custom)	State machine, safety
Communication	pySerial	Arduino communication
Embedded	C++ (Arduino)	Servo control



Оборудование и бюджет

Phase 1: Must Have (Первый месяц)

Для запуска проекта:

Категория	Item	Specs	Qty	Unit	Price	Total	Where to Buy
ЭЭГ	OpenBCI Cyton Board	8-ch, 250Hz	1	\$250	\$250	openbci.com	
ЭЭГ	Electrode Starter Kit	Gold cup, paste	1	\$60	\$60	openbci.com	
Compute	Raspberry Pi 5	8GB RAM	1	\$80	\$80	raspberrypi.com	
Storage	MicroSD Card	128GB UHS-I	2	\$20	\$40	Amazon	
Control	Arduino Mega 2560	54 I/O pins	1	\$15	\$15	AliExpress	
Actuators	Servo MG996R	10kg torque	5	\$8	\$40	AliExpress	
Mechanical	Fishing Line	50lb, 100m	1	\$10	\$10	Amazon	
Electronics	Breadboard + Jumpers	Prototyping kit	1	\$15	\$15	AliExpress	
Power	5V 10A Power Supply	For servos	1	\$20	\$20	AliExpress	
Power	18650 Li-Ion cells	3000mAh	8	\$5	\$40	AliExpress	
Power	BMS 3S Module	Battery management	1	\$10	\$10	AliExpress	
Feedback	Vibration Motors	3V coin type	5	\$2	\$10	AliExpress	
Material	ABS Filament	1kg, black	2	\$25	\$50	Local / Amazon	
Tools	Basic toolkit	См. ниже	-	-	\$95	Local	
					TOTAL	\$735	

Phase 2: Upgrades (Месяц 2-3)

Для улучшения производительности:

Item	Specs	Qty	Price	Total	When Needed
Jetson Orin Nano	8GB, Dev Kit	1	\$500	\$500	Если Raspberry медленный
PiEEG	Backup ЭЭГ	1	\$150	\$150	Альтернатива OpenBCI
Dynamixel XL430	Smart servo	3	\$50	\$150	Для точности
Coral USB Accelerator	TPU for Raspberry	1	\$60	\$60	Ускорение AI
FSR Sensors	Force feedback	5	\$5	\$25	Тактильная обратная связь
Ultracortex Mark IV	Профессиональный шлем	1	\$500	\$500	Или печатать самим
				TOTAL \$1,385	

Tools (если нет в Школе 21)

Tool	Price
Паяльник + припой	\$40
Мультиметр	\$20
Wire strippers/cutters	\$15
Набор отверток	\$10
Клеевой пистолет	\$10
Total	\$95

Бюджетные сценарии

Минимальный старт (\$500):

- Muse 2 headband (б/у) - \$150
- Raspberry Pi 4 - \$60
- Coral TPU - \$60
- Базовые сервоприводы - \$40
- Минимальная электроника - \$50
- Расходники - \$40
- ABS филамент (1кг) - \$25
- Инструменты (базовые) - \$75

Оптимальный (\$735):

- OpenBCI Cyton - \$250
- Raspberry Pi 5 - \$80

- Все необходимое из Phase 1

Продвинутый (\$2,120):

- Phase 1 + Phase 2
- Jetson Orin Nano
- Профессиональный шлем
- Лучшие сервоприводы

Стоимость производства (после R&D)

Bill of Materials - один протез:

Компонент	Единично	При 100 шт	При 1000 шт
Механика (печать + компоненты)	\$50	\$30	\$20
Сервоприводы (3–4 шт)	\$250	\$150	\$100
Jetson Orin Nano	\$500	\$350	\$300
Электроника (PCB, датчики)	\$150	\$80	\$50
Батарея	\$40	\$25	\$20
ЭЭГ шлем (расходники)	\$100	\$50	\$30
Упаковка + документация	\$20	\$15	\$10
TOTAL	\$1,110	\$700	\$530

Розничная цена:

Масштаб	Себестоимость	Розница	Маржа
Прототипы (1–10)	\$1,110	\$3,000–5,000	170–350%
Мелкая серия (10–100)	\$700	\$2,000–3,000	185–330%
Серийное (1000+)	\$530	\$1,500–2,000	185–280%

🧠 ЭЭГ Система

Electrode Placement (система 10-20)

Минимальная конфигурация (6 каналов):



Лоб

Fz

|

F3--Cz--F4

|

C3-----C4 ← САМЫЕ ВАЖНЫЕ! (моторная кора)

|

P3--Pz--P4

Затылок

Назначение каналов:

Электрод	Позиция	Зачем нужен
C3	Левая моторная кора	Воображение движения правой руки
C4	Правая моторная кора	Референс / контроль
Cz	Центральная	Общая моторная активность
F3, F4	Лобные	Внимание, концентрация
P3 или P4	Теменные	Сенсорная интеграция
Fpz	Лоб (центр)	Ground (земля)
Ухо	Мочка / сосцевидный отросток	Reference (референс)

Типы электродов

Wet Electrodes (мокрые):

- Лучшее качество сигнала (impedance <5kΩ)
- Стабильный контакт
- Нужна подготовка кожи (10-15 мин)
- Гель пачкает волосы
- Срок службы: 2-4 часа

Dry Electrodes (сухие):

- Быстрая установка (2-3 мин)
- Без геля
- Удобно для ежедневного использования
- Качество хуже (impedance 20-50kΩ)
- Чувствительны к движению

Рекомендация: Wet для исследований, Dry для конечного продукта

Крепление шлема - КРИТИЧНО!

Проблема: Сдвиг электродов на 1-2 см = совершенно другой сигнал!

Решения:

Вариант А: Ultracortex Mark IV (рекомендуется)

Характеристики:

- Профессиональный дизайн от OpenBCI
- 3D-печатная рама
- Пружинные держатели электродов = стабильное давление
- Adjustable для разных размеров
- Время установки: 5-10 минут

Стоимость:

- Купить готовый: \$500
- Напечатать самому: \$50 (только компоненты)

Файлы: github.com/OpenBCI/Ultracortex

Вариант Б: DIY Шапка (бюджет)

Материалы:

- Плавательная шапка (латекс/силикон): \$10
- Elastic bands: \$5
- Липучки: \$5

Как сделать:

1. Отметить позиции 10-20 на шапке
2. Вырезать отверстия для электродов
3. Вшить кармашки с липучками
4. Elastic bands для плотной посадки

Плюсы: Дешево (\$20), быстро сделать **Минусы:** Менее стабильно, нужны итерации

Вариант B: Bandana Style (быстрый прототип)

- 3D-печатные клипсы для электродов
- Крепятся на эластичные ленты
- Быстро надевать (2 мин)
- Хорошо для начальных тестов

Проверка качества сигнала

Impedance Test (обязательно!):

Impedance	Качество	Действия
<5 kΩ	Отлично ✓	Можно начинать
5–10 kΩ	Хорошо ✓	Приемлемо
10–20 kΩ	Средне ⚠	Попробовать улучшить
>20 kΩ	Плохо ✗	Переустановить электрод

Как улучшить impedance:

1. Очистить кожу спиртом
2. Легкая абразия (NuPrep gel) - снимает мертвые клетки
3. Больше геля (для wet electrodes)
4. Сильнее прижать (для dry electrodes)

Борьба с артефактами

Типы артефактов:

Артефакт	Частота	Амплитуда	Как выглядит
Моргания	3–4 Hz	Очень высокая	Резкие пики
Движения глаз	<2 Hz	Высокая	Медленные дрифты
Мышечная активность	20–100 Hz	Средняя	Высокочастотный шум
Сетевая наводка	50 Hz (Узбекистан)	Средняя	Синусоида 50 Hz
Дрейф электродов	<0.5 Hz	Низкая	Медленный тренд

Решения:

1. Фильтрация (программная):

- **Bandpass filter:** 0.5-50 Hz (убирает очень низкие и высокие частоты)
- **Notch filter:** 50 Hz (убирает сетевую наводку)
- **ICA (Independent Component Analysis):** Отделяет артефакты от полезного сигнала

2. Предотвращение (аппаратная):

- Экранированные провода (уменьшают помехи)
- Хороший Ground и Reference (стабилизируют сигнал)
- Попросить участника:
 - Расслабить лицо (меньше мышечных артефактов)
 - Смотреть в одну точку (меньше движений глаз)
 - Не жевать, не говорить

3. AI подход:

- Обучить модель игнорировать артефакты
- Использовать данные с артефактами в обучающей выборке
- Модель научится отличать "моргание" от "намерение двигать рукой"

Протокол калибровки

Первичная калибровка (день 1):

Длительность: 10-15 минут

Процедура:

1. Baseline (2 мин):

- Глаза открыты, расслаблен: 1 минута
- Глаза закрыты, расслаблен: 1 минута

2. Обучение команд (8-10 мин):

- Для каждой команды: 20 примеров
- 4 команды \times 20 = 80 trials
- Структура trial:
 - Подсказка (1 сек): "Prepare: GRASP"
 - Воображение (4 сек): интенсивно представлять движение
 - Отдых (2 сек)

3. Проверка (2-3 мин):

- 10 случайных commands
- Система дает обратную связь
- Участник видит точность

Ежедневная калибровка (5 минут):

- По 10 примеров каждой команды
- 4 команды \times 10 = 40 trials
- Система подстраивается под сегодняшнее состояние

Когда нужна рекалибровка:

- Каждое утро (обязательно)
- После 4+ часов использования
- Если точность упала >10%
- После переустановки шлема



Стратегия с данными

Phase 1: Публичные датасеты (pre-training)

Датасет	Участники	Каналы	Задачи	Размер
PhysioNet Motor MI	109	64	Левая/правая рука, ноги	~2 GB
BCI Competition IV-2a	9	22	4 класса (руки, ноги, язык)	~500 MB
GigaDB	52	64	Motor imagery	~5 GB

Зачем:

- Предобучить модель на большом количестве данных
- Научить распознавать общие паттерны моторного воображения
- Transfer learning на ваших данных будет быстрее

Phase 2: Собственные данные

План сбора:

Этап	Участников	Trials/чел	Всего trials	Цель
Неделя 2	5	200	1,000	Baseline модель
Неделя 5	15	1,200	18,000	Продвинутая модель
Неделя 10	20	1,200	24,000	Финальная модель

Формат данных:

- ЭЭГ: (n_samples, n_channels, n_timepoints)
- Labels: (n_samples,) - command ID
- Metadata: participant_id, session_id, timestamp

Архитектуры моделей

Baseline: EEGNet

Характеристики:

- Легковесная CNN оптимизированная для ЭЭГ
- Параметров: ~2,000-5,000
- Размер модели: ~2-5 MB
- Inference time: 10-20ms (CPU)

Структура:



Input (1, channels, timepoints)



Temporal Convolution (выделяет временные паттерны)



Spatial Convolution (выделяет пространственные паттерны)



Separable Convolution (эффективное извлечение признаков)



Fully Connected → Output (n_classes)

Плюсы:

- Быстрая
- Мало параметров (не переобучается)
- State-of-art для ЭЭГ
- Легко развернуть на embedded

Advanced: EEG Transformer

Характеристики:

- Attention-based архитектура
- Параметров: ~50,000-200,000
- Размер: ~20-50 MB
- Inference: 30-50ms (GPU)

Структура:



Input → Patch Embedding (делим сигнал на куски)



Positional Encoding (где во времени/пространстве)



Multi-head Self-Attention (какие части важны)



Feed-Forward Network



Classification Head → Output

Плюсы:

- Может найти долговременные зависимости
- Лучше handling шума
- Потенциально выше точность (+5-10%)

Минусы:

- Медленнее
- Больше данных нужно
- Сложнее интерпретировать

Рекомендация: Начать с EEGNet, если время/данные позволяют - попробовать Transformer

Training Pipeline

Этапы обучения:

1. Preprocessing (на этапе подготовки данных):



Raw ЭЭГ

- ↓ Bandpass filter (0.5-50 Hz)
- ↓ Notch filter (50 Hz)
- ↓ ICA (artifact removal)
- ↓ Epoching (-1 to 4 sec от команды)
- ↓ Normalization (z-score)
- ↓

Clean ЭЭГ готов для обучения

2. Data Augmentation (опционально):

- Time shifting: сдвиг окна на ± 0.1 сек
- Gaussian noise: добавить малый шум
- Channel dropout: случайно отключить 1-2 канала
- Цель: модель более robust

3. Train/Val/Test Split:

- 70% training
- 15% validation (для early stopping)
- 15% testing (финальная оценка)

4. Training Loop:



For каждый epoch (обычно 50-200):

For каждый batch (обычно 32-64 samples):

1. Forward pass: предсказания
2. Compute loss: cross-entropy
3. Backward pass: градиенты
4. Update weights: Adam optimizer

Validate на validation set

If validation loss не улучшается 10 epochs:

Early stopping (прекратить)

Save лучшую модель

5. Evaluation:

Метрика	Что показывает	Target
Accuracy	% правильных предсказаний	>70%
Precision	Из предсказанных X, сколько правильно	>70% per class
Recall	Из истинных X, сколько нашли	>70% per class
F1-Score	Гармоническое среднее Prec & Rec	>70%
Confusion Matrix	Где модель ошибается	Анализ ошибок

Adaptive Learning (Online Learning)

Проблема: ЭЭГ сигналы меняются день ото дня, даже час к часу

Решение: Система постоянно учится на новых данных пользователя

Метод: Elastic Weight Consolidation (EWC)

Как работает:



1. Обучили базовую модель на общих данных

2. Вычислили "важность" каждого веса:

- Какие веса критичны для старых знаний
- Используем Fisher Information Matrix

3. При дообучении на нового пользователя:

- Обычная loss (cross-entropy)
- + EWC penalty (штраф за изменение важных весов)
- = Модель учится новому, не забывая старое!

Параметры:

Параметр	Значение	Зачем
Update frequency	Каждые 50 samples	Как часто дообучаться
Learning rate	1e-5 (очень малый)	Медленные изменения
EWC lambda	1000	Сила защиты от забывания
Fine-tune epochs	3-5	Быстрые обновления

Workflow:



Пользователь использует протез



Система собирает: (ЭЭГ, намерение, результат)



После 50 samples: фоновое дообучение (не мешает работе)



Новая модель применяется



Accuracy постепенно растет!

Ожидаемый эффект:

- Стартовая точность: 70%
- После 30 минут использования: 80-85%
- Improvement: +10-15%

Model Optimization

Для deployment на Raspberry Pi / Jetson:

Техника 1: Pruning (обрезка)

- Удаляем 30% самых малых весов
- Модель становится быстрее и меньше
- Потеря accuracy: обычно <3%

Техника 2: Quantization (квантизация)

- Float32 → Int8 (4x меньше памяти)
- Inference 2-4x быстрее
- Потеря accuracy: 1-5%

Техника 3: ONNX Export

- Формат для кроссплатформенности
- ONNX Runtime оптимизирован для inference
- Ускорение: 1.5-3x

Техника 4: TensorRT (только Jetson)

- NVIDIA оптимизация для GPU
- Ускорение: 5-10x
- Самый быстрый вариант!

Результаты:

Оптимизация	Размер	Inference	Accuracy
Baseline PyTorch	50 MB	100ms	75%
+ Pruning	35 MB	70ms	73%
+ Quantization	10 MB	30ms	72%
+ ONNX	10 MB	20ms	72%
+ TensorRT (Jetson)	10 MB	10ms	72%

Target для продукта: <50ms, <10MB, >70% accuracy

Механическая часть

Выбор дизайна

Базовая модель: Open Bionics "Brunel Hand v2"

Почему:

- Проверенный дизайн (тысячи загрузок)
- Open source (бесплатно)
- Модульный (легко модифицировать)
- STL файлы готовы к печати
- Подробная документация

Источник: github.com/OpenBionics/Brunel-Hand-v2

Ваши модификации:

Упрощенная система управления

Original design: 5 независимых пальцев = 5 сервоприводов

Ваша версия: 2-3 группы = 3-4 сервопривода

Группа	Пальцы	Серво	Функция
1	Указательный, средний, безымянный, мизинец	1	Основной хват
2	Большой палец	1	Противопоставление
3	Запястье (flex/extend)	1	Вверх/вниз
4	Запястье (rotation)	1 (опц.)	Вращение

Преимущества:

- Меньше сервоприводов = дешевле, легче
- Проще управление (меньше команд)
- Ниже энергопотребление
- Для ЭЭГ легче декодировать 3-4 команды, чем 5-10

Система приводов (Tendon-driven)

Принцип: Сервоприводы тянут тросики, которые сгибают пальцы (как настоящие сухожилия!)

Конструкция:



[Servo в предплечье]

↓ тянет тросик

[Тросик проходит через каналы в пальце]

↓

[Привязан к кончику пальца]

↓

Servo тянет → Палец сгибается

Servo отпускает + пружина → Палец разгибается

Материал тросиков: Fishing line (леска) 50lb test

- Прочная: выдерживает 22кг
- Тонкая: диаметр 0.5mm
- Дешевая: \$10 за 100 метров
- Гибкая: не ломается при многократном сгибании

Routing (прокладка тросиков):

Палец	Длина тросика	Путь
Указательный	~15 см	Кончик → MCP сустав → ладонь → серво
Средний	~16 см	Аналогично
Безымянный	~15 см	Аналогично
Мизинец	~14 см	Аналогично
Большой	~12 см	Кончик → СМС → серво

Все 4 тросика группы 1 → одна катушка на сервоприводе

3D-печать

Параметры для ABS:

Параметр	Значение	Зачем
Layer height	0.2 mm	Баланс скорость/качество
Perimeters	3–4	Прочность стенок
Infill	30% (пальцы), 50% (ладонь)	Прочность vs вес
Print temp	230–250°C	Оптимально для ABS
Bed temp	100–110°C	Предотвращает warping
Speed	40 mm/s	Качество
Supports	Да	Для нависающих частей

Ориентация печати:

Деталь	Ориентация	Почему
Пальцы	Вертикально	Прочность вдоль оси
Ладонь	Горизонтально	Большая площадь контакта
Запястье	Под 45°	Минимум supports

Время печати:

Деталь	Время	Вес
5 пальцев	~8 ч	150г
Ладонь	~6 ч	200г
Запястье	~4 ч	100г
Предплечье (корпус)	~6 ч	150г
ИТОГО		~24 ч 600г

Можно печатать параллельно на нескольких принтерах!

Сборка

Инструменты:

- Отвертки (Phillips, flathead)
- Шестигранники (M3, M4)
- Плоскогубцы
- Кусачки
- Зажигалка (для оплавления концов лески)
- Суперклей

Пошаговая инструкция:

Шаг 1: Установка тросиков в пальцы

1. Продеть леску через каналы в пальце
2. На кончике пальца: узел + капля клея
3. Провести обратно через ладонь к месту крепления серво
4. Оставить 10см запас для настройки

Шаг 2: Монтаж сервоприводов

1. Вставить серво в посадочное место (напечатанное)
2. Закрепить винтами M3
3. Прикрепить servo horn (рычаг)
4. Привязать тросики к отверстиям на horn

Шаг 3: Калибровка натяжения (КРИТИЧНО!)

Позиция серво	Состояние пальца	Что делать
0°	Полностью вытянут	Установить базовое натяжение
90°	Согнут на 90°	Затянуть до нужного угла
180°	Полностью согнут	Проверить не перетянуто ли

Как настроить:

1. Серво на 0° → отрегулировать леску → палец прямой
2. Серво на 90° → палец должен согнуться комфортно
3. Закрепить леску (узел + клей или зажим)
4. Протестировать 50 циклов: работает плавно?

Шаг 4: Электроника

1. Подключить сервоприводы к Arduino:
 - Красный → 5V
 - Коричневый → GND
 - Оранжевый → Digital pin (PWM)
2. Питание сервоприводов: отдельный 5V источник (они потребляют много!)

Шаг 5: Обратная связь (вибрация)

1. Вставить вибромоторы в полости:
 - Большой палец (кончик)
 - Указательный палец (кончик)
 - Запястье (контакт с культей)
2. Подключить к Arduino PWM pins
3. Закрепить горячим kleem

Тестирование хватов

Базовые хваты (для начала):

Хват	Описание	Серво позиции	Применение
Power Grasp	Цилиндрический	4пал: 120°, Бол: 60°	Бутылка, стакан
Precision Pinch	Щипковый	4пал: 20°, Бол: 90°	Монета, ключ, ручка
Hook Grasp	Крюк	4пал: 90°, Бол: 0°	Сумка, дверная ручка
Open Hand	Открытая ладонь	Все: 0°	Отпустить, готовность

Тесты функциональности:

Тест	Объект	Success criteria
1	Пластиковая бутылка 0.5L	Поднять и удержать 10 сек
2	Теннисный мяч	Сжать, не выпустить
3	Шариковая ручка	Pinch grip, удержать
4	Кофейная чашка (пустая)	Power grasp, поднести ко рту
5	Дверная ручка	Hook + rotate wrist

Критерии успеха PoC: 4 из 5 тестов выполняются успешно

Кастомизация: Alternative End Effectors

Философия: Модульная система - менять насадки под задачу!

Стандартный интерфейс:



[Предплечье] ← 4x M4 болта (стандартный крепеж)

↓ Quick release

[Attachment plate]

↓ Snap-on или болты

[End effector - любой!]

Варианты насадок:

Насадка	Описание	Для чего
5-finger hand	Стандартная рука	Повседневные задачи
3-finger gripper	Упрощенный	Промышленные задачи
2-jaw clamp	Сильный хват	Тяжелые предметы
Tentacle gripper	Мягкие щупальца (TPU)	Хрупкие объекты
Tool holder	Держатель инструмента	Отвертка, нож, кисть
Hook	Простой крюк	Сумки, одежда

Пример: Tentacle Gripper

- Материал: TPU (гибкий филамент)
- 3-4 щупальца с проволокой внутри
- Один серво тянет все вместе
- Обхватывает объекты любой формы!

Как пользователь может кастомизировать:

1. Скачать базовую модель attachment plate
2. Спроектировать свою насадку в Tinkercad / Fusion360
3. Напечатать дома или в Школе 21
4. Прикрутить 4 болтами
5. Загрузить конфигурацию в софт
6. Готово! Можно менять за 5 минут

Конфигурационный файл (пример):



json

```
{
  "attachment": "tentacle_gripper",
  "servos": {
    "tentacles": {"pin": 9, "min": 0, "max": 180}
  },
  "commands": {
    "wrap": {"tentacles": 150},
    "release": {"tentacles": 0}
  }
}
```

[](#)

🔗 Интеграция системы

Communication Protocol

Raspberry Pi ↔ Arduino:

Interface: USB Serial **Baud rate:** 115200 **Format:** ASCII text, newline-terminated

Commands (Raspberry → Arduino):

Command	Description	Example
GRASP\n	Close hand	Power grasp
OPEN\n	Open hand	Release
ROTATE_LEFT\n	Rotate wrist CCW	-45°
ROTATE_RIGHT\n	Rotate wrist CW	+45°
PINCH\n	Pinch grip	Thumb + index
REST\n	Neutral position	Low power
VIB_THUMB,100\n	Vibrate thumb 100ms	Feedback

Responses (Arduino → Raspberry):

Response	Meaning
OK\n	Command executed successfully
ERROR\n	Command failed
BUSY\n	Still executing previous command

Handshake при старте:



Raspberry: "HELLO\n"

Arduino: "NEUROHAND_V1\n"

Raspberry: готов к работе

Control Loop

Main Loop (10 Hz = каждые 100ms):



1. Read ЭЭГ window (1 second = 250 samples)