

УДК 621.316

UDC 621.316

ОСНОВЫ РАСЧЕТА ПАРАМЕТРОВ ЭЛЕКТРОАКТИВАТОРА ВОДЫ

BASES FOR DESIGN OF PARAMETERS OF ELECTROACTIVATOR FOR WATER SOLUTIONS

Оськин Александр Сергеевич
аспирант
Кубанский государственный аграрный университет, Краснодар, Россия

Oskin Alexander Sergeevich
postgraduate student
Kuban State Agrarian University, Krasnodar, Russia

В статье представлены: существующие методики расчета электроактиваторов водных растворов, проанализированы процессы, протекающие в электроактиваторах, предложены новые формулы для расчета основных характеристик таких аппаратов, построены зависимости параметров от факторов, влияющих работу установок, сделаны выводы по процессам и даны предложения по проектированию и эксплуатации

In the article below the following items are represented: existing methods for design of electroactivator for water solutions, processes within an electroactivator are examined, the new formulas for calculation of the main characteristics of electroactivator are proposed, dependences of the parameters upon the factors which influence on device functioning are plotted, conclusions regard processes and proposals for design and operating are made

Ключевые слова: ЭЛЕКТРОАКТИВАТОР, ВОДОРОДНЫЙ ПОКАЗАТЕЛЬ, АНОЛИТ, КАТОЛИТ, УДЕЛЬНОЕ СОПРОТИВЛЕНИЕ

Keywords: ELECTROACTIVATOR, PH, ANOLYTE, CATHOLYTE, RESISTIVITY

Электроактиватор воды предназначен для получения экологически чистого активированного раствора на водной основе и использования в технологических целях в сельском хозяйстве. Электроактивированная вода получается пропусканием электрического тока через обычную воду или слабые ее солевые растворы. Активированная вода обладает как высокой растворяющей способностью, так и широким спектром действия благодаря большим электрическим зарядам: положительному в кислотной воде (анолит) и отрицательному в щелочной воде (католит).

В качестве основных характеристик электроактиваторов можно отметить следующие: производительность по анолиту и католиту, общая потребляемая мощность и ее удельное значение на литр раствора с определенным значением водородного показателя, масса-габаритные размеры, количество часов наработки до профилактического обслуживания. Обычно производительностью приходится задаваться в зависимости от технологических нужд. Есть также формула расчета производительности по количеству молей переносимого вещества [1]:

$$Q_i = \frac{j \times S \times n}{95,24 \times 10^3}, \quad \text{моль/с.}$$

(1)

где j - плотность тока, А/мм², S - поперечное сечение мембраны, мм², n - число единичных ячеек мембраны.

Общую потребляемую мощность электроактиватором можно определить по формуле:

$$P = I \times U_d + I^2 \times (R_m + R_p),$$

(2)

где I - величина протекающего тока; U_d - сумма потенциалов разложения и перенапряжения на электродах, В; (предполагается малой по сравнению с перепадом напряжения на n ячейках); R_m - сопротивление мембраны; Ом; R_p - сопротивление раствора, Ом.

В литературе не приводятся формулы по определению мощности электроактиватора в зависимости от необходимого уровня водородного показателя. Известно, что сопротивление воды зависит от температуры, следовательно, при регулировании в процессе работы, нелинейная вольт-амперная характеристика будет влиять на производительность установки и величину потребляемой мощности. Кроме того, сопротивления растворов в анодной и катодной камерах будут различны, что связано с разной температурой и процессами диссоциации. Электролизные уравнения Фарадея не могут адекватно описывать происходящие процессы в электроактиваторах с мембраной. Большинство публикаций по активаторам связывают степень активации с величиной проходящего тока, что не совсем правильно из-за нелинейности вольт-амперной характеристики и большой зависимости степени диссоциации ионов от температуры.

Таким образом, необходимо получить формулы по расчету потребляемой мощности электроактиватора в зависимости от производительности установки, значения водородного показателя, температуры жидкости.

Анализ процесса нагрева жидкости в электроактиваторе можно произвести при следующих допущениях: электроактиватор принимаем как однородное тело, количество теплоты, отдаваемое воде пропорционально разности температур входной и выходной жидкости и в процессе работы не изменяется, теплоотдача угольных электродов очень мала и ей можно пренебречь. На основании этого можно записать уравнение теплового баланса:

$$P \times dt = A \times t \times dt + C \times dt \tag{3}$$

где $P \times dt$ - количество теплоты, выделяемой в электроактиваторе за время dt , Вт · с; $A \times t \times dt$ - количество теплоты, уходящей из электроактиватора вместе с активированной водой, Вт · с; $C \times dt$ - количество теплоты, идущие на нагрев жидкости; A - теплоотдача электроактиватора (принимается равной теплоотдаче воды), Вт/°С; C - теплоемкость массы жидкости, находящейся в активаторе, Дж/°С; t - превышение температуры выходной над температурой входной жидкостей, °С.

При установившемся процессе уравнение, описывающее изменение температуры принимает вид:

$$t = t_{\text{вход}} \times \left(1 - \exp\left(-\frac{t}{\tau}\right) \right) + t_{\text{выход}} \times \exp\left(-\frac{t}{\tau}\right), \tag{4}$$

где $t_{i\grave{a}} - t_{\acute{o}\grave{n}\grave{o}}$ - начальное и конечное значение установившегося превышения температуры, \acute{O}_i - постоянная времени нагрева жидкости в электроактиваторе.

При условии, что начальное превышение температуры будет равно 0, выражение (4) будет иметь вид:

$$t = t_{\acute{o}\grave{n}\grave{o}} \times \left(1 - \exp\left(-\frac{t}{\acute{O}_i}\right) \right) \quad (5)$$

Для дальнейших анализов работы электроактиватора в автоматическом режиме необходимо иметь расчетные формулы для определения его теплоотдачи и постоянной времени. В соответствии с ранее принятыми обозначениями имеем:

$$t_{\acute{o}\grave{n}\grave{o}} = \frac{D}{A} \quad \dot{A} = \frac{D}{t_{\acute{o}\grave{n}\grave{o}}} \quad (6)$$

В тоже время из литературы по расчету водонагревателя [2] известно:

$$D = \frac{Q \times r_w \times \tilde{n} \times (t_e - t_i)}{h_i} \quad (7)$$

где Q - производительность активатора, м³/с; r_w - плотность жидкости, кг/м³; C - удельная теплоемкость воды, 4,19 кДж/кг·°С; t_e , t_i - температура соответственно в конце и начале нагрева, °С; h_i - КПД активатора при нагреве, принимается в пределе 0,9-0,98.

Разница температур t_e , t_i это фактически является превышением температуры конечной над начальной. Подставим (7) в (6) и получим следующее выражение для определения теплоотдачи:

$$\dot{A} = \frac{Q \times r_{ae} \times \tilde{n} \times t_{\text{онд}}}{h_i \times t_{\text{онд}}} = \frac{Q \times r_{ae} \times \tilde{n}}{h_i} .$$

(8)

Полученное выражение может быть применено для расчета теплоотдачи электроактиватора для любой жидкости. Так как планируется использовать активатор только для воды и приняв КПД установки равной 0,98, то выражение (8) можно записать в виде:

$$\dot{A} = 4,19 \times 10^6 \times Q , \quad \text{Вт/}^\circ\text{С,} \quad \text{если} \quad \text{размерность} \quad Q \quad \text{в} \quad \text{м}^3/\text{с};$$

(9)

$$\dot{A} = 1,164 \times Q , \quad \text{Вт/}^\circ\text{С,} \quad \text{если} \quad \text{размерность} \quad Q \quad \text{в} \quad \text{л/ч.}$$

(10)

В соответствии с принятыми ранее обозначениями постоянная времени нагрева активатора определяется по следующему выражению:

$$\dot{O}_i = \frac{\tilde{N}}{\dot{A}}$$

(11)

Общую теплоемкость воды, находящейся в активаторе можно представить в виде:

$$\tilde{N} = \tilde{n} \times m_{\dot{a}} ,$$

(12)

где $m_{\dot{a}}$ - масса воды в активаторе, кг.

Для определения выражения по расчету постоянной времени нагрева активатора подставим в формулу (11) выражения (8) и (12):

$$\dot{O}_i = \frac{\tilde{N}}{\dot{A}} = \frac{\tilde{n} \times m_{\dot{a}} \times h}{Q \times r_{ae} \times \tilde{n}} = \frac{m_{\dot{a}} \times h}{Q \times r_{ae}} . \quad (13)$$

Таким образом, уравнение (13) позволяет рассчитать постоянную времени нагрева активатора для различных жидкостей. Если использовать в качестве жидкости только воду, то выражение (13) принимает вид:

$$\dot{O}_i = \frac{m_{\dot{a}} \times 10^{-3}}{Q}, \quad \text{с при размерности } Q \text{ в } \text{м}^3/\text{с}, \quad (14)$$

$$\dot{O}_i = 3600 \frac{m_{\dot{a}}}{Q}, \quad \text{с при размерности } Q \text{ в } \text{л/ч}. \quad (15)$$

По полученным формулам можно построить графики зависимости постоянной времени от производительности при разной массе воды в активаторе (рис.1). Такие графики дают возможность оценить изменение постоянной времени при регулировании производительности на одном активаторе. Так как часто приходится регулировать производительность отдельно по камерам (для повышения или понижения водородного показателя), то по полученным формулам рассчитывать постоянные времени нужно отдельно – по католиту и анолиту.

Для определения удельных затрат энергии ($\text{Вт} \cdot \text{с}/\text{м}^3$) на нагрев воды в активаторе по отдельным камерам воспользуемся формулой (7):

$$w = \frac{P}{Q} = \frac{Q \times r_{\text{a}} \times \tilde{n} \times (t_{\text{e}} - t_{\text{i}})}{h_{\text{i}} \times Q} = \frac{r_{\text{a}} \times \tilde{n} \times (t_{\text{e}} - t_{\text{i}})}{h_{\text{i}}}. \quad (16)$$

Из полученной формулы видно, что удельные затраты энергии пропорциональны разности температур в активаторе. Следовательно, при производстве анолита нужно стремиться к невысокой температуре на выходе активатора, тем более что это связано с выпадением солей в осадок.

С аналогией формулы (7) и учитывая законы Фарадея для электролиза, можно получить формулу для расчета мощности электроактиватора (отдельных камер по анолиту или католиту):

$$D = \frac{Q \times r_{\text{е}} \times d \times \lg \frac{C_{\text{е}}}{C_{\text{ââô}}}}{h_{\text{ôí}}}, \quad (17)$$

где d - удельная энергоемкость жидкости для изменения концентрации ионов, Дж/кг; $C_{\text{е}}$ $C_{\text{ââô}}$ - концентрация ионов соответственно в исходной в выходной жидкости, моль/л; $h_{\text{ôí}}$ - КПД активатора по изменению концентрации ионов.

Общую мощность, потребляемую электроактиватором $D_{\text{ýâ}}$ необходимо определять по формуле:

$$D_{\text{ýâ}} = D_{\text{â}} + D_{\text{е}}, \quad (18)$$

где $D_{\text{â}}$ - мощность анодной камеры, $D_{\text{е}}$ - мощность катодной камеры.

Формулу (17) лучше представить в виде:

$$D = \frac{Q \times r_{\text{е}} \times d \times (pH_{\text{е}} - pH_{\text{ââô}})}{h_{\text{ôí}}}, \quad (19)$$

где $pH_{\text{е}}$ $pH_{\text{ââô}}$ - значения водородного показателя соответственно входной и выходной жидкости.

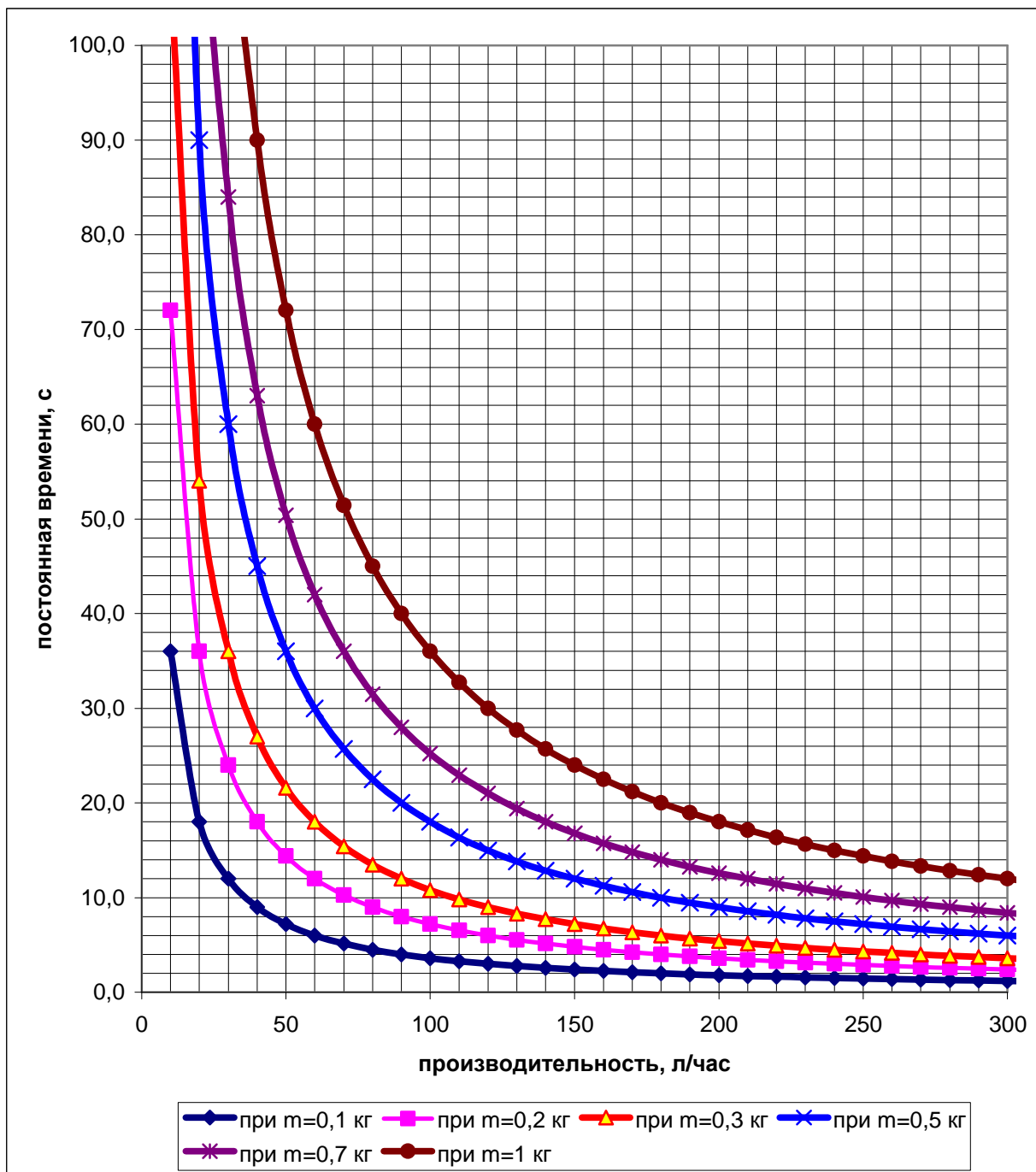


Рисунок 1 – Графики зависимости постоянной времени от производительности при массе воды в активаторе от 0,1 кг до 1 кг.

Физический смысл параметра d заключается в следующем – количество энергии которое необходимо сообщить 1 кг жидкости для того чтобы концентрация ионов в ней изменилась в 10 раз (или изменился водородный показатель на единицу). Значения этого параметра будут зависеть

от содержания солей и других примесей в исходной воде, а также от эффективности диафрагмы. Коэффициент полезного действия активатора по водородному показателю будет зависеть от его конструкции, в частности от межэлектродного расстояния, от формы каналов, и т.д. Параметр d можно определить экспериментально при известных остальных физических величинах.

Водопроводная вода содержит в растворенном виде соли и другие химические соединения, молекулы которых диссоциируют в воде на ионы, сообщая ей ионную (электролитическую проводимость). Удельное электрическое сопротивление воды зависит от концентрации солей. Атмосферная вода содержит растворенных солей не более 50 мг/л, речная вода - 500 - 600 мг/л, подземные воды - от 100 мг/л до нескольких граммов на литр. Наиболее часто встречающиеся значения удельного электрического сопротивления r_{20} для воды находятся в диапазоне 10 - 30 Ом· м. Электрическое сопротивление электролитов существенно зависит от температуры. С ее возрастанием увеличивается степень диссоциации молекул солей на ионы и их подвижность, вследствие чего проводимость повышается. В технических расчетах обычно пользуются не проводимостью, а удельным сопротивлением:

$$r_t = \frac{1}{y_t} = \frac{r_{20}}{1 + a(t - 20)},$$

(20)

где y_t - проводимость воды температуре воды отличной от 20°C; r_{20} - сопротивление воды при 20°C; a - температурный коэффициент проводимости, равный 0,025 - 0,035 °C⁻¹.

Если принять $a = 0,025$ °C⁻¹, то удельное сопротивление воды определяют по формуле:

$$r_t = \frac{40 \times r_{20}}{t + 20},$$

(21)

В диапазоне температур 20 - 100 °С проводимость воды возрастает в 3 - 5 раз, во столько же раз изменяется мощность, потребляемая из сети. Удельное сопротивление воды подчиняется зависимости (21) только до наступления заметного парообразования, интенсивность которого зависит от давления и плотности тока в электродах. Пар не является проводником тока, и поэтому при парообразовании удельное сопротивление воды возрастает. В расчетах это учитывается коэффициентом b , зависящим от давления и плотности тока:

$$r_{\text{нi}} = r_{\hat{a}} \times b = r_{\hat{a}} \times a_{\hat{a}} \times k \times j \quad (22)$$

где $p_{\text{см}}$ - удельное сопротивление смеси вода - пар, p_{e} - удельное сопротивление воды без заметного парообразования, a - постоянная, равная для воды 0,925, k - величина, зависящая от давления в котле, J - плотность тока на электродах, А/см².

Кроме процесса парообразования в активаторе на электродах идет процесс газообразования: на катоде восстанавливается водород, а аноде – хлор. Тогда уравнение (22) для каждой камеры электроактиваторов можно представить в виде:

$$r_{\text{нi}}^A = r_{\hat{a}} \times b^A = r_{\hat{a}} \times a_{\hat{a}} \times k^A \times j, \quad (23)$$

где $r_{\text{нi}}^A$ - удельное сопротивление смеси вода – хлор или вода-водород, p_{e} - удельное сопротивление воды без заметного газообразования, $a_{\hat{a}}$ - постоянная, равная для воды 0,925, k^A - эмпирический коэффициент, зависящий от содержания солей в воде и производительности камеры. Та-

ким образом, вольт-амперную характеристику трудно рассчитать аналитически из-за двух процессов протекающих в активаторе: газообразование и изменение сопротивления воды с ростом температуры.

Проведенные экспериментальные исследования с проточным электроактиватором в Кубанском ГАУ показали, что постоянные времени нагрева и водородного показателя практически равны, что вполне объяснимо с физической точки зрения. На основе полученных экспериментальных данных определена удельная энергоемкость жидкости для изменения концен-

трации ионов d . Обозначим в формуле (19) $\frac{d}{h_{\delta i}}$ за $d_{\delta i}$ - показатель характеризующий свойства исходной жидкости и конструкцию активатора. Тогда формула (19) принимает вид:

$$D = Q \times r_{ae} \times d_{\delta i} \times (pH_{\epsilon} - pH_{\hat{a}\hat{u}\hat{o}}) \quad (24)$$

Выразим показатель $d_{\delta i}$ из формулы (24):

$$d_{\delta i} = \frac{D}{Q \times r_{ae} \times (pH_{\epsilon} - pH_{\hat{a}\hat{u}\hat{o}})} \quad (25)$$

Используя экспериментальные данные, были рассчитаны значения $d_{\delta i}$, определено среднее значение этого показателя, на основе которого рассчитана необходимая мощность активации и ее отличие от фактической измеренной мощности. Полученные результаты сведены в таблицу 1. Анализируя полученные результаты можно сделать вывод о возможности расчета потребляемой мощности по формуле (24), принимая значение удельного показателя энергоемкости изменения концентрации ионов, с

учетом КПД активатора равным 15,1 кДж/кг. Экспериментально была снята вольтамперная характеристика активатора. В процессе работы активатора плавно увеличивалось напряжение и фиксировалось значение тока. При увеличении подводимого напряжения значение водородного показателя все время росло. Снималась прямая и обратная ветвь характеристики. Как показали эксперименты, эти ветви практически совпадают. Вид вольтамперной характеристик представлен на рисунке 2, где видна степень нелинейности таких характеристик. Таким образом, на степень активации влияет не столько значение тока как значение подводимой мощности. Кроме того, сильное влияние оказывает конструкция активатора, жесткость исходной воды, степень газообразования в камерах, температура воды в каждой камере.

Таблица 1-Результаты расчетов мощности на активацию с фактической потребляемой мощностью

Qa, л/ч	P, Вт	Pa, Вт	Tт	Tрн	pH _{уст}	d	Pa, Вт	ε, %
20	2600	477	20,5	20,5	5,3	16219	444	7
60	3100	1137	6,8	4,91	5,0	13640	1258	-10
60	2800	1027	6,8	6,39	4,5	13598	1140	-10
60	2600	953	6,8	7,01	3,5	16250	886	8
60	2300	843	6,8	5,51	3,1	16323	780	8
90	3600	1320	4,6	4,1	4,1	12754	1563	-16
90	4200	1733	4,6	4,3	4,6	15231	1718	1
150	4200	1610	2,7	2,7	2,3	16800	1447	11
среднее значение						15100		

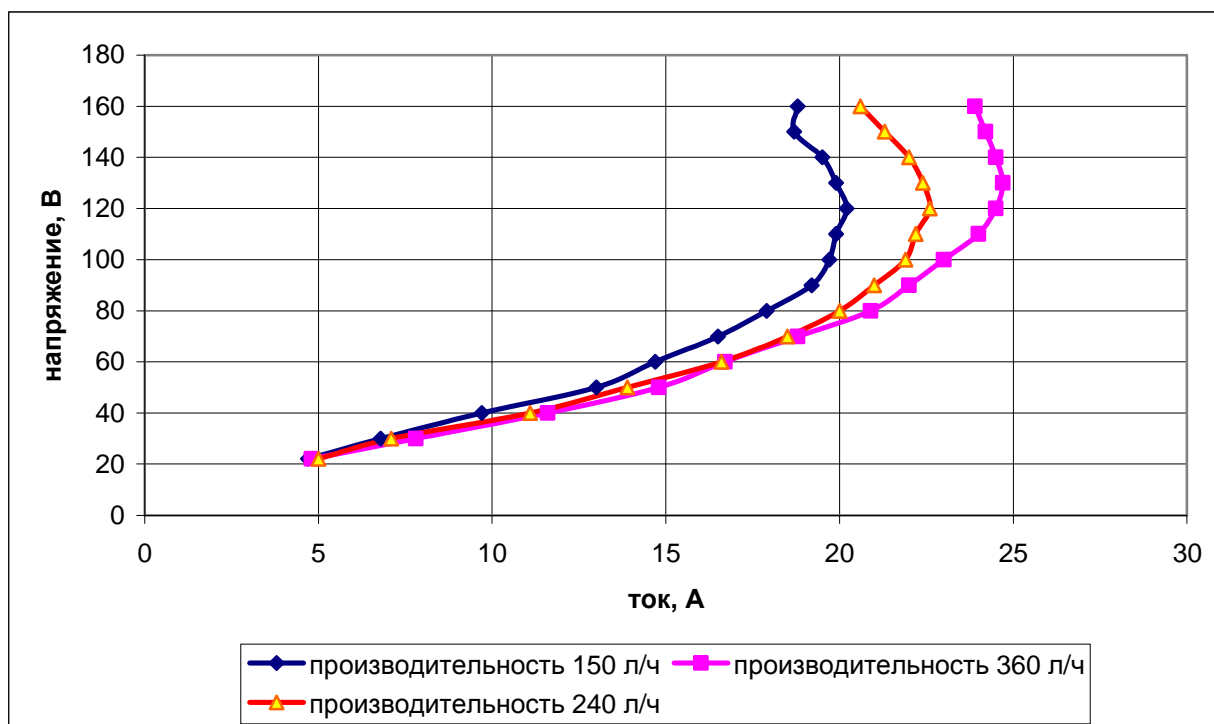


Рисунок 2- Вольтамперные характеристики активатора при различных производительностях

Литература

- 1.Кордон М.Я., Симакин В.И., Горешник И.Д. Теплотехника (Учебн. пособие).-Пенза, 2005.
- 2.Изаков Ф.Я. и др.Практикум по применению электрической энергии в сельском хозяйстве./ Ф.Я. Изаков., В.А. Козинский, А.В. Лаптев, Т.Н. Лукиенко, А.Т. Шаповалов, Г.А. Яснов- Колос., Москва, 1972, с.303.