

О‘ЗБЕКИСТОН RESPUBLIKASI FANLAR AKADEMIYASI  
АКАДЕМИЯ НАУК РЕСПУБЛИКИ УЗБЕКИСТАН  
О‘ЗБЕКИСТОН RESPUBLIKASI АХБОРОТ ТЕХНОЛОГИЯЛАРИ  
VA KOMMUNIKATSIYALARINI RIVOJLANTIRISH  
VAZIRLIGI  
МИНИСТЕРСТВО ПО РАЗВИТИЮ ИНФОРМАЦИОННЫХ  
ТЕХНОЛОГИЙ И КОММУНИКАЦИЙ РЕСПУБЛИКИ  
УЗБЕКИСТАН

ИНФОРМАТИКА  
VA ENERGETIKA  
MUAMMOLARI

**3·2022**

---

ПРОБЛЕМЫ  
ИНФОРМАТИКИ  
И ЭНЕРГЕТИКИ

*Журнал под таким названием издается с января 1992 г.  
по 6 номеров в год*

Fan va texnologiyalar nashriyot-matbaa uyi

ТАШКЕНТ– 2022

- тежамкорлигига эришиш// Агроиктисодиёт илмий-амалий агроиктисодий журнал (махсус сон).Тошкент: 2020. Б. 248–251.
4. Ишназаров О.Х., Ҳошимов У.Ҳ., Хушиев С.М. Асинхрон электр моторларининг ишдан чиқиш ҳолатларини камайтириш//Агроиктисодиёт илмий-амалий агроиктисодий журнал(махсус сон).Тошкент: 2020. Б. 342–347.
  5. Ҳошимов У.Ҳ. Газ ҳаво совитиш қурилмаларини ишлаши учун таъсир этувчи омилларига мослашган режим орқали энергия тежамкорликга эришиш // Энерго- и ресурсосбережение: новые исследования, технологии и инновационные подходы. Қарши, 2021. Б. 97–99.
  6. Ҳошимов У.Ҳ. Ҳаволи совитиш қурилмалар тизимини гуруҳлашган частотавий бошқариш усулини жорий этган ҳолда энергия тежамкорликга эришиш // Энерго- и ресурсосбережение: новые исследования, технологии и инновационные подходы. Қарши, 2021. Б. 99–102.
  7. Ҳошимов У.Х. Система управления аппаратов воздушного охлаждения // Международная научная конференция “Научно-практические исследования”. Россия; Пенза, 2020. С.17–19.
  8. Ishnazarov O.X., Hoshimov U.H. Group control of air-cooled gas apparatuses // Journal of Physics: Conference Series, Volume 2094, Instrumentation Technology and Environmental Engineering Phys.: Conf. Ser. 2094 (2021) 052051 (SCOPUS).
  9. Устинов Е.В. Уменьшение энергопотребления аппаратов воздушного охлаждения газа // Газовая промышленность. 2011. № 8. С. 54–57.
  10. <http://thermalinfo.ru/svoystva-gazov/gazovye-smesi/fizicheskie-svoystva-vozduha-plotnost-vyazkost-teploemkost-entropiya>.

Тошкент давлат техника университети  
ЎЗР ФА Энергетика муаммолари институти

10.06.2022 й.  
қабул қилинган

УДК 622.242:621.3

**Ш.М.МУЗАФАРОВ, Б.К.ТАГАЕВ, В.Е.БАЛИЦКИЙ, Ж.Н.ТОЛИПОВ**

## **СТАБИЛИЗАЦИЯ РАЗРЯДНЫХ ПРОЦЕССОВ В ЭЛЕКТРИЧЕСКИХ ПОЛЯХ СТРИМЕРНОЙ ФОРМЫ КОРОННОГО РАЗРЯДА**

В данной статье приводится анализ процессов, происходящих в технологических разрядных промежутках устройств электронно-ионной технологии при воздействии униполярных импульсов высокого напряжения при наличии объемных зарядов в разрядном промежутке и без них. На основе сформулированной гипотезы о возможности стабилизации разрядных процессов совмещением в одном разрядном промежутке самостоятельного и несамостоятельного разрядов, электрофизический механизм рассмотрен отдельно для процесса, происходящего при приложении импульса напряжения, и для процессов, происходящих в паузе между импульсами. Установлено, что стабильность разрядных процессов будет соблюдаться до определенной частоты импульсного напряжения, величина которого определяется видом и параметрами элементов цепи питания.

**Ключевые слова:** стример, коронный разряд, стабилизация, ток разряда, импульсы напряжения, скважность импульса, амплитуда импульса напряжения.

**Стример шаклдаги тожли разряд электр майдонларида разряд жараёнларни  
стабиллаштириш**

Мақолада зарядланиш оралиғида сиғимли зарядлар мавжуд бўлганда ва уларсиз юқори вольтли униполяр импульслар таъсирида электрон-ион технологияси курилмаларининг технологик разряд оралиқларида содир бўладиган жараёнлар таҳлили келтирилган. Бир разряд оралиғида мустақил ва мустақил бўлмаган разрядларни бирлаштириб, разряд жараёнларини стабилизация қилиш имконияти ҳақидаги шаклантирилган гипотезага асосланиб, разряд оралиғида кечадиган электрофизик механизмлар, кучланиш импульси қўйилган ҳолда ва импульслар орасидаги паузада кечадиган разряд жараёнлар кўриб чиқилди. Разряд жараёнларининг барқарорлиги импульс кучланишининг маълум бир частотасигача кузатилиши аниқланди, унинг қиймати қувват занжири элементларининг тури ва параметрлари билан белгиланади.

**Калит сўзлар:** стример, тожли разряд, стабилизация, разряд токи, кучланиш импульси, импульс қувурлиги, кучланишни импульс амплитудаси.

**Sh.M.Muzafarov, B.K.Tagayev, V.E.Balitsky, J.N.Tolipov**

**Stabilization of discharge processes in electric fields of the strimer form of a corona discharge**

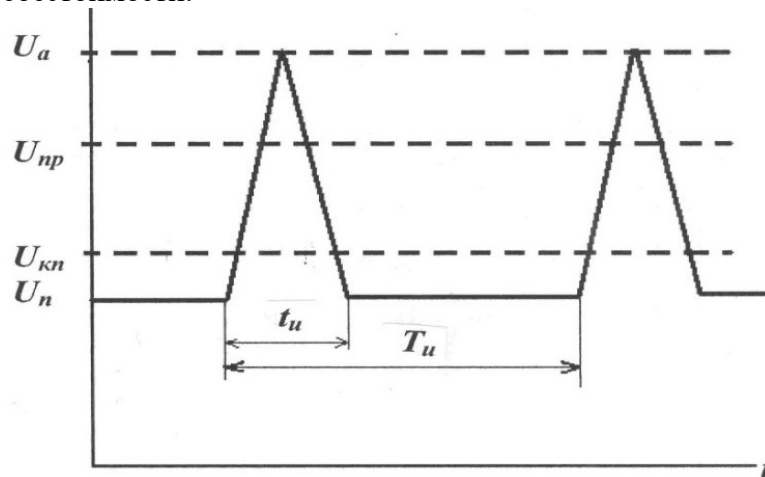
The article provides an analysis of the processes occurring in the technological discharge gaps of devices of electron-ion technology under the influence of high-voltage unipolar pulses in the presence of space charges in the discharge gap and without them. Based on the formulated hypothesis about the possibility of stabilizing discharge processes by combining independent and non-independent discharges in one discharge interval, the electro physical mechanism is considered separately for the process occurring when a voltage pulse is applied and for processes occurring in a pause between pulses. It was revealed that the stability of the discharge processes will be observed up to a certain frequency of the pulse voltage, the value of which is determined by the type and parameters of the elements of the power circuit.

**Keywords:** streamer, corona discharge, stabilization, discharge current, voltage pulses, pulse duty cycle, voltage pulse amplitude.

Разработка нового способа электрогазоочистки обусловлена недостатками коронного разряда постоянного напряжения [1, 2]. Как неоднократно указывалось в [3], импульсы тока короны постоянного тока хаотично распределены во времени и представляют собой функцию дискретного случайного процесса, реализация которого по амплитуде и частоте случайна. Многочисленные наблюдения показывают, что частота импульсов тока меняется в пределах от нескольких десятков до тысяч в секунду [2]. В коронном разряде, как и в электрических разрядах всех видов, имеют место одновременно происходящие различные элементарные процессы: возникновение, движение и уничтожение заряженных частиц. Количественно вывести свойства разрядов на основании законов удается пока только в некоторых случаях и то лишь при условии введения существенных допущений. Это происходит вследствие математических затруднений, возникающих при комбинировании различных закономерностей. Такие виды разрядов принято называть самостоятельными [4]. Перечисленные свойства коронного разряда постоянно обуславливают нестабильность разрядных токов по частоте и амплитуде к запираению разряда, обратной короне, перехода в искровую или дуговую формы. Очевидно, что при обеспечении стабильности разрядных процессов можно повысить эффективность работы электрофильтров.

Легче всего разобраться в разрядных явлениях в тех случаях, когда приходится учитывать только движение электронов и ионов, но не их возникновение. Такие разряды называются несамостоятельными [4], и в отличие от самостоятельных имеют более устойчивые характеристики. Отсюда вытекает гипотеза о возможности стабилизации разрядных процессов совмещением в

одном технологическом промежутке самостоятельного и несамостоятельного разрядов. С точки зрения технологического применения высказанной гипотезы, кроме основного технологического промежутка с напряженностью меньше, чем порог зажигания самостоятельного разряда, необходим дополнительный разрядный промежуток, обеспечивающий подачу в основную необходимую плотность объемных зарядов. Для такой схемы необходимо два изолированных друг от друга источника высокого напряжения. Подобная схема технически осуществима, но практически приведет к усложнению схемы питания электрофильтров, увеличению их габаритов и потребляемой мощности при повышении себестоимости.



Параметры униполярных импульсов высокого напряжения

Научно-практический интерес представляет совмещение в одном технологическом промежутке при одном источнике питания самостоятельного и несамостоятельного разрядов. Этого можно добиться, например, используя униполярное импульсное напряжение большой скважности с постоянной составляющей ниже порога возникновения самостоятельного разряда. Импульсное напряжение в этом случае должно характеризоваться следующими параметрами (рисунок):

- амплитуда импульса напряжения –  $U_a, B$ ;
- постоянная составляющая импульса напряжения –  $U_n, B$ ;
- действующее значение напряжения –  $U_d, B$ ;
- напряжение зажигания коронного разряда постоянного напряжения –  $U_{kn}, B$ ;
- напряжение зажигания коронного разряда постоянного напряжения –  $U_{np}, B$ ;
- длительность импульса –  $\tau_u, c$ ;
- период повторения импульсов –  $T_u, c$ ;
- скважность импульса –  $K = T_u / \tau_u$ ;

**Анализ процесса зажигания разряда в технологических промежутках при отсутствии объемных зарядов.** Искажение поля пространственными зарядами, образовавшимися в самом разряде, очень сильно влияет на ход развития разряда. Рассмотрим процессы, имеющие место в начале развития разряда. В этом случае каждая заряженная частица участвует в ионизационных процессах независимо от остальных. Поэтому прирост ионизаций пропорционален уже имеющемуся числу ионизованных частиц и нарастание тока происходит по показательному закону [5, 6]. Временная постоянная  $\tau$  этого нарастания зависит от числа ионизаций  $\alpha$ , производимых одним электроном при прохождении пути в

1 см, от числа электронов  $\gamma$ , освобождаемых с острия коронирующей иглы при ударе одного положительного иона, от расстояния между электродами  $d$  и от давления  $p$ . Обозначим расстояние от данной точки до острия иглы через  $x$ , через  $v^+$  и  $v^-$  – скорости передвижения положительных ионов и электронов, через  $i_t$  – силу общего разрядного тока в момент времени  $t$ . Общий ток складывается из ионного тока  $i_t^+$  и электронного тока  $i_t^-$ , причем в каждый момент времени эти составляющие зависят от пространственной координаты  $x$ :  $i_{t,x}^+$  и  $i_{t,x}^-$ . Тогда на основании показательного закона нарастания тока можно написать для любых  $t_1$ ,  $t_2$  и  $x$

$$i_{t_1}^+ / i_{t_2}^+ = i_{t_1,x}^+ / i_{t_2,x}^+ = i_{t_1,x}^- / i_{t_2,x}^- = \exp[(t_2 - t_1) / \tau]. \quad (1)$$

На основании самого определения коэффициента  $\gamma$  для любого  $t$

$$\gamma i_{t,0}^+ = i_{t,0}^-. \quad (2)$$

В момент времени  $t$  к острию иглы подходят те ионы, которые образовались на расстоянии  $x$  от неё в момент времени  $t - (x/v^+)$ . В свою очередь эти ионы образованы электронами, вылетевшими с острия иглы на промежуток времени  $x/v^-$  раньше, т.е. в момент времени

$$t - x/v^+ - x/v^- = t - x(1/v^+ - 1/v^-) = t - x/v' \approx t - x/v^+. \quad (3)$$

Поток электронов, вышедших из острия иглы за промежуток времени  $dt$  в момент времени  $t - x/v'$ , равен

$$i_{t-x/v',0}^- dt. \quad (4)$$

При продвижении до точки  $x$  этот поток нарастает вследствие ионизаций до  $i_{t-x/v',0}^- e^{\alpha x} dt$ . Таким образом, на расстоянии  $x$  от острия иглы на пути  $dx$  данная группа электронов вновь образует

$$i_{t-x/v',0}^- e^{\alpha x} \alpha dx dt \quad (5)$$

положительных ионов. Общее число положительных ионов, приходящих на коронирующую иглу за промежуток времени  $dt$ , найдем, проинтегрировав выражение (5) по всему объему газа от  $x=0$  до  $x=d$ :

$$i_{t,0}^+ = \int_0^d i_{t-x/v',0}^- e^{\alpha x} \alpha dx. \quad (6)$$

Согласно уравнению (6), находим, полагая  $t_1 = t - x/v'$  и  $t_2 = t$ ,

$$i_{t-x/v',0}^- = i_{t,0}^- \exp(-x/v'\tau). \quad (7)$$

Вставляя (6) в (5), принимая во внимание (1), после интегрирования получим

$$I = \alpha v' \tau \gamma / (\alpha v' \tau - 1) \{ \exp \alpha d [(\alpha v' \tau - 1) / (\alpha v' \tau)] - 1 \}. \quad (8)$$

Отсюда развитие разряда, при отсутствии пространственных зарядов в разрядном промежутке, определяется скоростью нарастания тока  $\tau$ , параметрами разряда  $\alpha$ ,  $v'$  (т.е. согласно (4)  $v^-$  и  $v^+$ ),  $\gamma$  и  $d$ .

**Анализ процесса зажигания разряда в технологических промежутках с учетом искажения поля объемными зарядами.** Специфика электрических полей коронного разряда, используемых при отрицательной полярности коронирующего электрода в электрофильтрах, обусловлена наличием потока

отрицательных ионов в разрядном промежутке. Электрическое поле, создаваемое этими ионами, направлено встречно основному электрическому полю

$$E(x) = E_0(x) + \Delta_x, \quad (9)$$

где  $E(x)$  – истинная напряженность электрического поля;  $E_0(x)$  – напряженность основного поля;  $\Delta_x$  – напряженность поля, создаваемая объемными зарядами.

Величина  $\Delta_x$  определяется на основании законов электростатики:

$$\Delta_x = 4\pi q_t \{ [\exp \alpha x / (\exp \alpha d - 1)] - 1 / \alpha d \}, \quad (10)$$

где  $q_t$  – зависящее от времени общее количество положительных ионов, приходящихся на единицу поверхности каждого из электродов разрядного промежутка.

Напряжение на электродах также изменяется на величину

$$\Delta U = \int_0^d \Delta_x dx. \quad (11)$$

Так как  $E(x)$  зависит от расстояния,  $\alpha$  также зависит от расстояния. Отметим это индексом  $x$ :

$$\alpha_x = Ap \exp[-Bp / (E_0(x) + \Delta x)] = Ap \exp(-Bp / E_0) [1 / (1 + \Delta / E_0)], \quad (12)$$

где  $A$  и  $B$  – постоянные, равные соответственно 14.5 и 365 для воздуха при области применения  $E/p = 160 - 600$  В/см·мм рт.ст.

После разложения в ряд до числа  $\Delta/E_0$  в квадрате получим

$$\alpha_x = \alpha_0 \{ 1 + (Bp\Delta / E_0^2) + [Bp / E_0^4 (Bp/2 - E_0)\Delta^2] \}. \quad (13)$$

Для сокращения через  $\alpha_0$  обозначим  $\alpha = Ap \exp(-Bp / E_0)$ .

Соответственно этому общее число ионизирующих соударений первичного электрона в искаженном поле будет

$$\int_0^d \alpha_x dx = \alpha_0 d + (\alpha_0 Bp \Delta U / E_0^2) + [\alpha_0 Bp / E_0^4 (Bp/2 - E_0) \int_0^d \Delta^2 dx]. \quad (14)$$

Интеграл в последнем члене во всех случаях положителен, так как  $\Delta^2$  всегда должно быть положительным. Таким образом, последний член положителен, если  $0.5Bp > E_0$ , и наоборот. Если искажение поля произошло при постоянном напряжении на электродах ( $\Delta U = 0$ ), тогда:

$$\int_0^d \alpha_x dx - \alpha_0 d > 0 \quad \text{для} \quad E_0 < B/2, \quad (15)$$

$$\int_0^d \alpha_x dx - \alpha_0 d > 0 \quad \text{для} \quad E_0 > B/2 \quad (16)$$

Если, напротив, искать такие изменения напряжения на электродах, которые вновь возвращают ионизацию в искаженном поле к ее первоначальной величине в неискаженном поле

$$\int_0^d \alpha_x dx - \alpha_0 d = 0,$$

то

$$\Delta U = (E_0 - Bp/2) 1 / E_0^2 \int_0^d \Delta^2 dx. \quad (17)$$

Отсюда

$$\Delta U < 0 \quad \text{для} \quad E_0/p < 0.5B, \quad (18)$$

$$\Delta U > 0 \quad \text{для} \quad E_0/p > 0,5B. \quad (19)$$

Уравнения (15) и (18) указывают, что однородное поле  $E_0$  меньше критической величины  $0,5 B$ . Вследствие искажения поля делается выгодным для ионизации при постоянном напряжении на электродах. В этом случае для поддержания ионизации в искаженном поле на том же уровне, что и в неискаженном поле, необходимо меньшее напряжение на электродах.

Уравнения (16) и (19) соответственно показывают, что искажение поля невыгодно для ионизации, если неискаженное поле больше критической величины. Особенностью уравнений (15) – (19) является то, что выводы из них совершенно не зависят от того, как в каждом частном случае происходит искажение поля.

### **Заключение**

1. Стабилизировать разрядные процессы в технологических разрядных промежутках можно при совмещении действия самостоятельного и несамостоятельного разрядов. Самостоятельный разряд в виде стримерной формы коронного разряда образуется в разрядном промежутке при воздействии импульса напряжения с перенапряжением, а несамостоятельный – под действием постоянной составляющей импульсного напряжения, величина которого ниже порога зажигания самостоятельного разряда.

2. Совмещение в одном разрядном промежутке самостоятельного и несамостоятельного разрядов можно осуществить при использовании униполярных остроугольных импульсов высокого напряжения с большой скважностью с постоянной составляющей.

3. Из проведенного анализа следует, что стабильность разрядных процессов можно осуществить в случае, когда подача очередного импульса напряжения будет происходить при отсутствии объемных зарядов в разрядном промежутке, или, когда их количество не оказывают существенного влияния на искажение основного электрического поля.

### **ИСПОЛЬЗОВАННАЯ ЛИТЕРАТУРА**

1. Левитов В.И., Рашидов И.К., Ткаченко В.М. Дымовые электрофилтры. М.: Энергия, 1980. – 448 с.
2. Сокольский В.Н. Искрозащита технологических разрядных промежутков. Л.: Энергия, 1980. – 180 с.
3. Костенко М.В. Техника высоких напряжений. Уч. пос. для вузов. М.: 1973. – 528с.
4. Олофинский Н.Ф. Электрические методы обогащения. М.:Недра, 1977.– 519с.
5. Королев Ю.Д., Месяц Г.А. Физика импульсного пробоя газов. М.: Наука, 1991. – 224 с.
6. Энгель А., Штенбек М. Физика и техника электрических разрядов в газах.. Л.: ОНТИ-НКТП, 1934. Т.2 – 328 с.

## СОДЕРЖАНИЕ

### Информатика и управление

Д.Т.Мухамедиева. Применение нейронных сетей глубокого обучения в нечетком моделировании.....	3
Ч.З.Охунбобоева, А.С.Кабильджанов, С.Ё.Исмаилов. Робастная идентификация оросительных систем в сельском хозяйстве.....	10
Д.К.Мухамедиева. Исследование асимптотического поведения решений задач кросс-диффузионных систем.....	17
Э.Улжаев, Ш.Н.Нарзуллаев, Э.Ф.Худойбердиев. Математические основы построения способов контроля влажности веществ и методики расширения спектра областей их применения.....	25
Б.Б. Эргашев, И.К.Мухторова. Приближённое решение нелинейных уравнений в математических системах MATCAD И MAPLE.....	38
М.А. Исмаилов, Ф.О.Касимов, Р.Р. Рахматуллаев. Расчетная модель статических характеристик гидравлических приводов плоских затворов гидротехнических сооружений.....	44

### Энергетика

О.З. Тоиров, С.С. Халиков. Диагностические исследования технического состояния крупных насосных установок.....	52
А.И. Анарбаев, Р.А. Захидов, А.Н. Коракулов. Использование тепловых насосов в теплоснабжении при добыче и утилизации биогаза на полигонах твердых бытовых отходов .....	61
У.Х. Хошимов, О.Х. Ишназаров. Способ определения энергоэффективного режима работы устройств воздушного охлаждения.....	71
Ш.М.Музафаров, Б.К.Тагаев, В.Е.Балицкий, Ж.Н.Толипов. Стабилизация разрядных процессов в электрических полях стримерной формы коронного разряда.....	77
О.Д.Меирбекова, Н.Т.Рустамов. К вопросу создания гибридных энергетических систем.....	83

### Информационные и телекоммуникационные технологии

М.В.Кремков, М.В.Воронов. К вопросу информатизации процесса обучения: моделирование структуры знаний учебных текстов.....	91
А.Ф. Марасулов. Автоматизированная компьютерно-обучающая система самостоятельного интегрированного обучения студентов медицинского вуза.....	96



**МУНДАРИЖА**  
**Информатика ва бошқарув**

Д.Т.Мухамедиева. Норавадан моделлаштиришда нейрон тармоқларни чуқур ўрганишни қўлланилиши.....	3
Ч.З.Охунбобоева, А.С.Кабильджанов, С.Ё.Исмаилов. Қишлоқ хўжалиги суғориш тизимларини робаст идентификациялаш.....	10
Д.К.Мухамедиева, Кросс- диффузия тизимлари масалалари ечимларининг асимптотик ҳаракатларини тадқиқ қилиш.....	17
Е.Улжаев, Ш.Н.Нарзуллаев, Е.Ф.Худайбердиев. moddalarning namligini boshqarish usullarini qurishning matematik asoslari va ularning qo'llanish spektrini kengaytirish usullari.....	25
В.В. Ergashev, I.K. Muxtorova. MATCAD VA MAPLE matematik tizimlarida chiziqli bo'lmagan	38
М.А. Ёсмаилов, Ф.О.Касимов, Р.Р. Раҳматуллаев. Гидротехника иншоатларидаги ясси затворлар гидравлик юритмаларининг статик характеристикасини ҳисоблаш модели.....	44

**Энергетика**

О.З. Тоиров, С.С. Холиқов. Ёирик насос қурилмаларининг техник ҳолатини диагностик тадқиқот қилиш.....	52
А.И. Анарбаев, Р.А. Захидов, А.Н. Қорақулов. Иссиқлик таъминланишда майший қаттиқ чиқиндилар (МҚЧ) учун манзатдаги биогаз ишлаб чиқариш ва фойдаланишда иситиш насосларидан фойдаланиш.	61
У.Ҳ. Ҳошимов, О.Х. Ишназаров. Ҳаволи совутиш қурилмаларининг энергия самарадор иш режимини аниқлаш усули.....	71
Ш.М.Музафаров, Б.К.Тагаев, В.Е.Балицкий, Ж.Н.Толипов.Стример шаклдаги тожли разряд электр майдонларида разряд жараёнларни стабиллаштириш.....	77
О.Д. Meirbekova, N.T. Rustamov. Gibrid energiya tizimlarini yaratish masalasi bo'yicha.....	83

**Ахборотли ва телекоммуникацияли технологиялар**

М.В.Кремков, М.В.Воронov. О`қув jarayonini axborotlashtirish masalasi: o`quv matnlarining bilim tuzilishini modellashtirish.....	91
А.Ф. Марасулов. Tibbiyot fakulteti talabalarini mustaqil integratsiyalashgan holda o`qitishning avtomatlashtirilgan kompyuter-o`qitish	96