

УДК 519.711:616.12

## МОДЕЛИРОВАНИЕ ФУНКЦИОНАЛЬНЫХ ЗАВИСИМОСТЕЙ МЕЖДУ ПОКАЗАТЕЛЯМИ АРТЕРИАЛЬНОГО ДАВЛЕНИЯ

Е.А. Настенко<sup>1</sup>, Е.К. Носовец<sup>1</sup>, Павлов Ал.В.<sup>1</sup>, Павлов В.А.<sup>2</sup>

<sup>1</sup> *Національний технічний університет України «КПІ»*, <sup>2</sup> *Університет «Україна»*,

*nastenko@inbox.ru, e.nosovets@ya.ru, Alexander\_mk@ukr.net, vpavlo@bk.ru*

Наведено результати моделювання функціональних залежностей між показниками артеріального тиску методом регресійного аналізу та методом групового урахування аргументів. Обрана оптимальна модель для відображення кожного типу взаємозв'язку. Побудована номограма для оцінки стану системи кровообігу.

*Ключові слова: моделювання, регресійний аналіз, метод групового урахування аргументів, нормована середньоквадратична помилка.*

The results of modeling of functional dependencies between blood pressure by regression analysis and group method of data handling were given. Optimal model for each type of dependencies was chosen. A nomogram for estimation of the circulatory system was build.

*Keywords: modeling, regression analysis, group method of data handling, normalized root mean square error.*

Приведены результаты моделирования функциональных зависимостей между показателями артериального давления методом регрессионного анализа и методом группового учета аргументов. Выбрана оптимальная модель для отображения каждого типа взаимосвязи. Построена номограмма для оценки состояния системы кровообращения.

*Ключевые слова: моделирование, регрессионный анализ, метод группового учета аргументов, нормированная среднеквадратическая ошибка.*

### Вступлення

Ведущее место среди причин смерти населения Украины занимают заболевания системы кровообращения, удельный вес которых в структуре общей летальности составляет 66%, а в трудоспособном возрасте - 29,3% (Государственная служба статистики Украины, 2011 год).

Развитие современных информационных технологий позволяет на новом уровне решить задачу разработки методов диагностики регуляции артериального давления (АД) на основе построения его функциональных характеристик [1,2].

Использование математических моделей характерных для каждого из типов функциональных зависимостей в качестве номограммы позволяет повысить качество оказания медицинской помощи и снизить процент смертности от сердечно-сосудистых заболеваний путем раннего выявления нарушений системы кровообращения.

Целью данной работы является построение и выбор оптимальных математических моделей функциональных зависимостей между показателями артериального давления.

## 1. Материалы и методы

Была поставлена задача моделирования функциональных характеристик артериального давления (АД) на основе массивов измерений АД у здоровых лиц и лиц с нарушением кровообращения различного генеза.

В качестве исследовательского материала были использованы данные многократных измерений показателей артериального давления, полученные в результате мониторинга обследованных пациентов. Возраст обследуемых находился в пределах от 33 до 64 лет (средний возраст  $M+SD = 44,6+10,5$  года). Всего было получено 12357 измерений с интервалом в 30 минут с помощью аппарата A&D Medical UA-878 (Япония). 2437 измерений не участвовали в процессе моделирования, поскольку были отобраны для оценки качества полученных моделей.

Все полученные данные были разделены на группы (кластеры) (Рис. 1) по типу функциональной связи с помощью специального метода кластерного анализа, который был разработан в НИССХ им. Амосова. Данный метод, благодаря использованию так называемого «цепочечного» эффекта [3], позволяет воссоздать взаимосвязи показателей сложных систем. Каждая группа включала в себя показатели характерные для одного из 5 типов регуляции кровообращения:

- высокое периферическое сосудистое сопротивление;
- нормальная регуляция;
- сердечная недостаточность невысоких степеней;
- хроническая сердечная недостаточность;
- острая сердечная недостаточность.

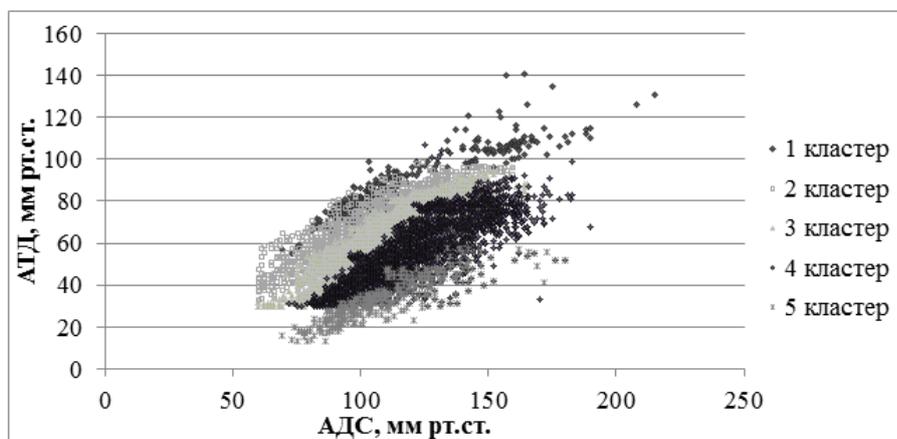


Рис. 1. Разделение показателей на группы по типу функциональной связи.

Для моделирования функциональных связей между показателями диастолического (АДС) и систолического (АТС) артериального давления внутри каждой группы были использованы регрессионный анализ (в виде степенных полиномов) и метод группового учета аргументов (МГУА)[4].

Модели, полученные в результате моделирования двумя методами, сравнивались с помощью показателя нормированной относительной среднеквадратической ошибки (НСКО):

$$\text{НСКО} = \sqrt{\frac{\sum_{i=1}^n (y_i - \hat{y}_i)^2}{\sum_{i=1}^n (y_i - \bar{y})^2}} \quad (1)$$

где  $y_i$  – табличное значение показателя;

$\hat{y}_i$  – значение показателя, рассчитанное с помощью модели;

$\bar{y}$  – среднее значение показателя.

В качестве оптимальной выбиралась модель с наименьшим показателем НСКО на тестовых (экзаменационных) группах.

## 2. Результаты и обсуждение

В результате применения методов регрессионного анализа и МГУА внутри каждой группы показателей были получены математические модели, отображающие функциональные связи между показателями АДС и АДД.

Для удобства показатель АДС был обозначен символом  $x$ , а показатель АДД –  $y$ .

Первая группа включала измерения артериального давления у пациентов с артериальной гипертензией, которая вызвана высоким периферическим сопротивлением сосудов, либо воздействием психо-физической нагрузки.

Найденная модель, построенная регрессионным анализом (РА), представляет собой полином второй степени с коэффициентом детерминации на рабочих точках равным 0,908.

$$y = -0,002 * x^2 + 1,075 * x - 8,511 \quad (2)$$

Показатель НСКО на рабочих точках 0,446, НСКО на тестовых данных 0,447. Модель, полученная в результате моделирования по МГУА:

$$y = -0,002 * x^2 + 1,119 * x - 10,858 \quad (3)$$

Показатель НСКО на рабочих точках - 0,420, НСКО на тестовых данных - 0,445. Анализ графиков данных моделей показывает незначительное отличие в форме моделей (Рис. 2).

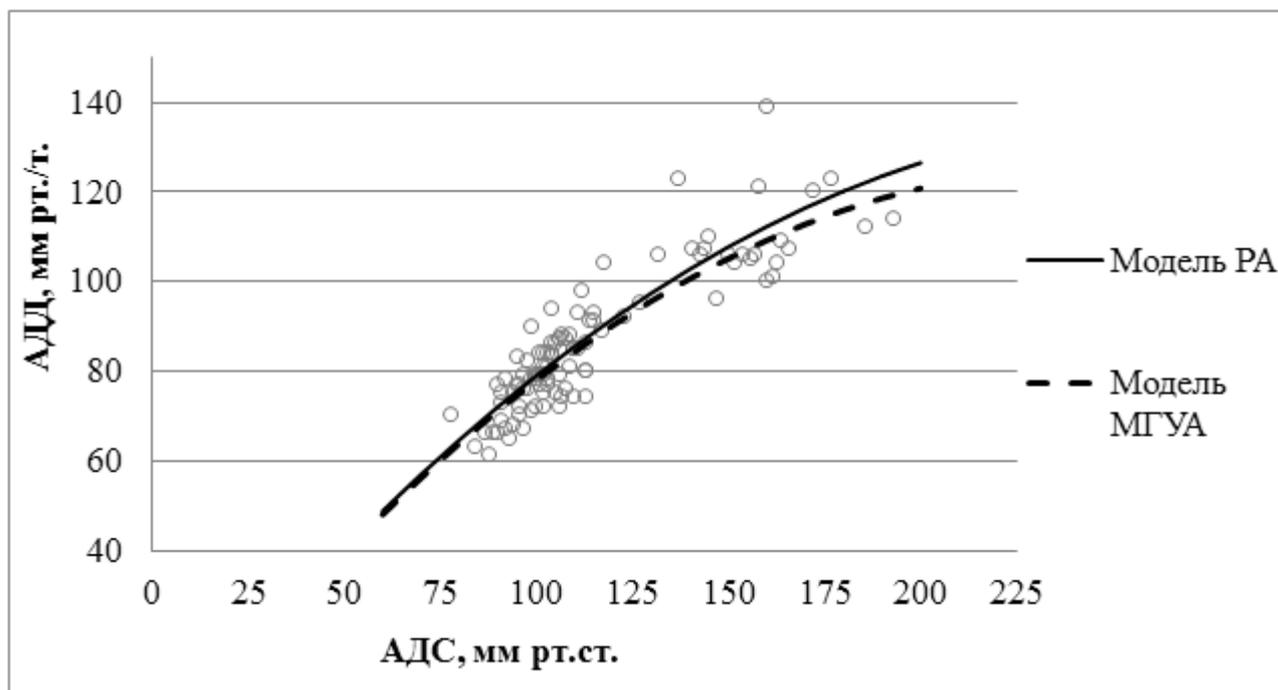


Рис. 2. Результат моделирование функциональной зависимости между АДС и АДД в группе с артериальной гипертензией

Сравнительный анализ НСКО на экзамене показал, что результат моделирования методом МГУА в этой группе незначительно выигрывает (0,445 против 0,447) и является оптимальным.

Вторая группа включала измерения артериального давления у пациентов с нормальным типом регуляции кровообращения (относительно здоровые обследуемые).

Модель РА предстает собой полином второй степени с коэффициентом детерминации на рабочих точках равным 0,876.

$$y = -0,01 * x^2 + 0,756 * x - 2,308 \quad (4)$$

Показатель НСКО на рабочих точках 0,571, НСКО на тестовых данных 0,555. Модель, полученная по МГУА, представлена формулой 5.

$$y = 0,452 * x + 11,079 * \sqrt[3]{x} - 29,716 \quad (5)$$

Показатель НСКО на рабочих точках 0,483, НСКО на тестовых данных 0,464.

Анализ графиков моделей МГУА и РА показывает отличие в форме (Рис. 3). Модель РА более пологая, т.е. прирост АДД при возрастании АДС меньший, чем при модели МГУА.

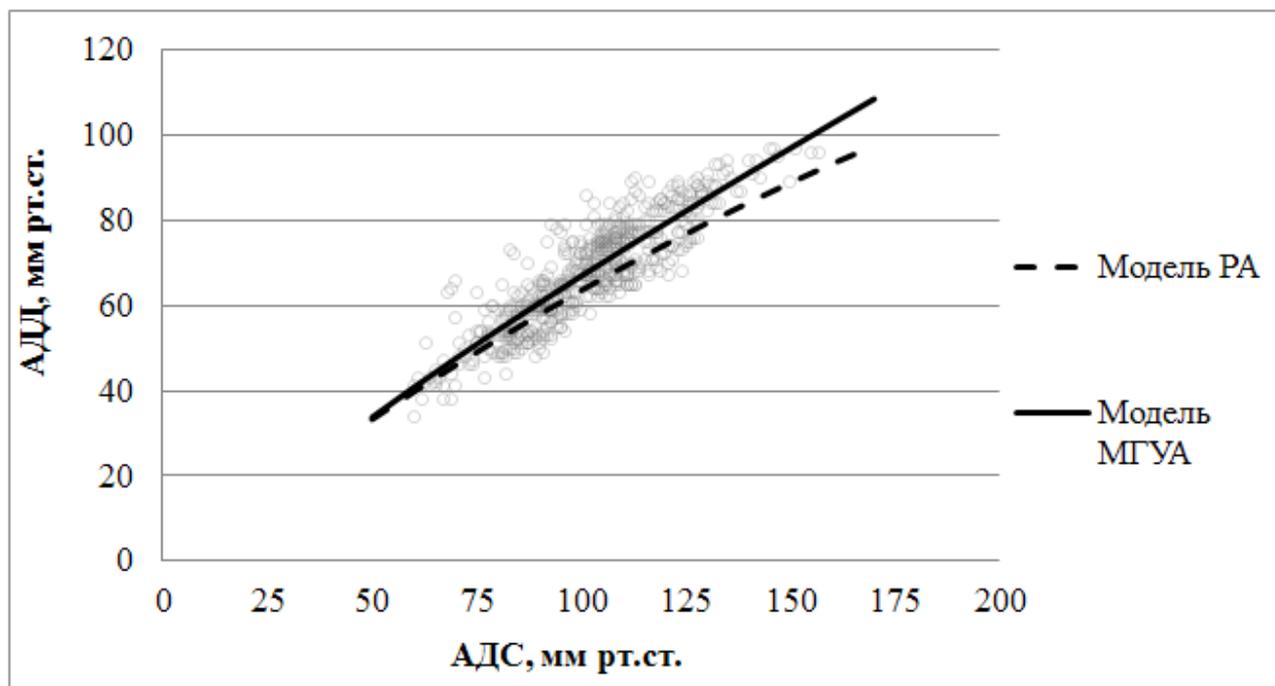


Рис. 3. Результат моделирование функциональной зависимости между АДС и АДД в группе с нормальной регуляцией

Сравнение **НСКО** моделей на экзамене показал существенное преимущество модели МГУА (0,464 против 0,555) .

Третья группа включала измерения артериального давления у пациентов с недостаточностью кровообращения невысоких степеней (артериальная гипотония).

Модель регрессионного анализа представляет собой полином второй степени с коэффициентом детерминации на рабочих точках равным 0,874.

$$y = -0,04 * x^2 + 1,698 * x - 68,427 \quad (6)$$

Показатель НСКО на рабочих точках 0,636, НСКО на тестовых данных 0,632. Модель полученная в результате моделирования по МГУА:

$$y = 48,378 * \sqrt[3]{x} - 168,395 \quad (7)$$

Показатель НСКО на рабочих точках - 0,492, НСКО на тестовых данных - 0,489.

Графики моделей МГУА и РА показывают заметное отличие в форме (Рис. 4).

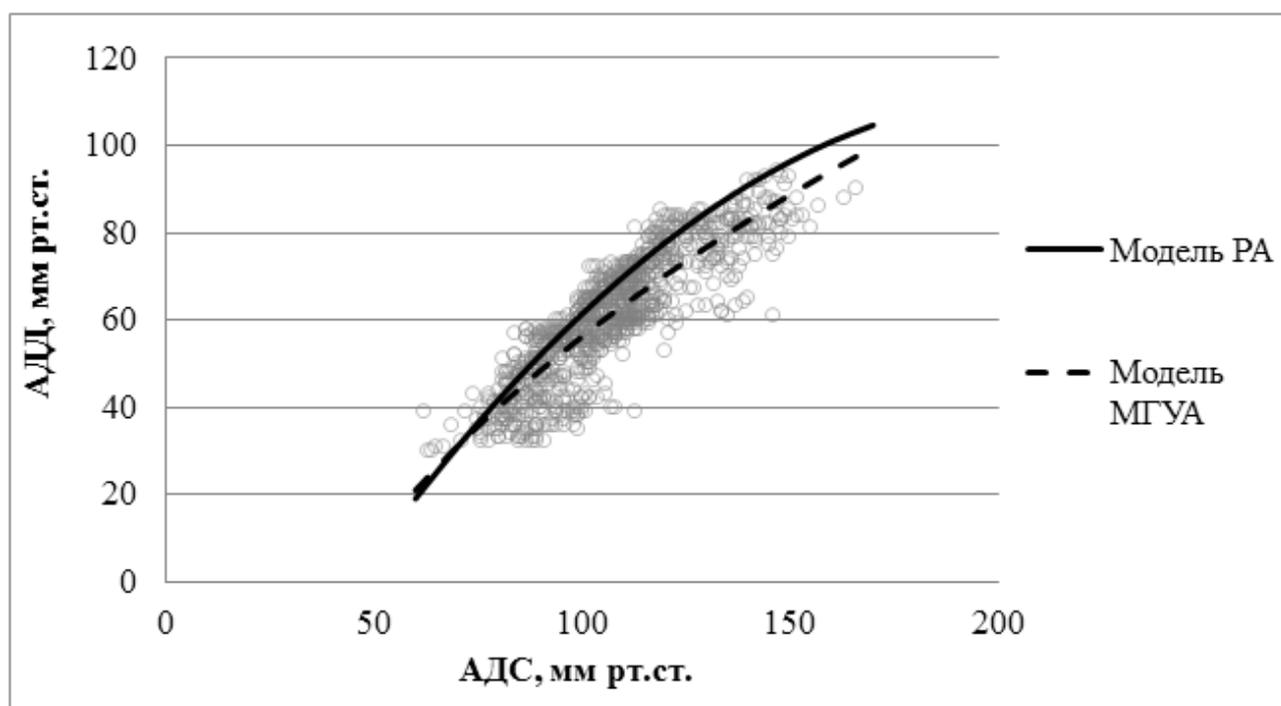


Рис. 4. Результат моделирование функциональной зависимости между АДС и АДД в группе с недостаточностью кровообращения невысоких степеней

**НСКО** моделей на экзамене в данном случае отдает предпочтение МГУА, в этой группе модель МГУА значительно выигрывает (0,489 против 0,632) и является оптимальной.

Четвертая группа включала измерения артериального давления у пациентов с хронической сердечной недостаточностью.

Модель регрессионного анализа представляет собой полином второй степени с коэффициентом детерминации на рабочих точках равным 0,814.

$$y = -0,03 * x^2 + 1,339 * x - 62,039 \quad (8)$$

Показатель НСКО на рабочих точках 0,583, НСКО на тестовых данных 0,602.

Модель, полученная в результате моделирования по МГУА, представлена формулой 9.

$$y = 127,527 - 8490,219 * x^{-2} \quad (9)$$

Показатель НСКО на рабочих точках 0,577, НСКО на тестовых данных 0,606. Анализ графиков моделей показывает незначительное отличие в форме моделей (Рис. 2).

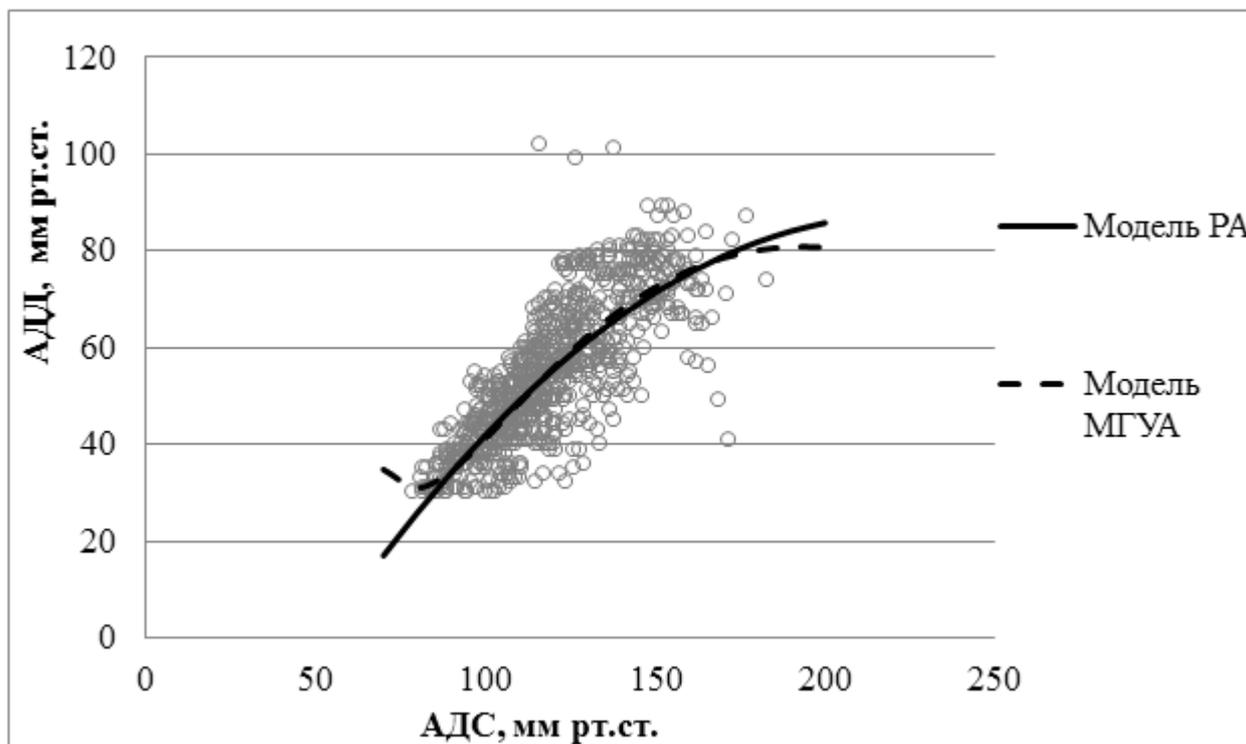


Рис. 5. Результат моделирование функциональной зависимости между АДС и АДД в группе с хронической сердечной недостаточностью

Анализ **НСКО** сравниваемых моделей показал, что результат моделирования методом РА в этой группе незначительно выигрывает (0,602 против 0,606).

Пятая группа включала измерения артериального давления у пациентов с острой сердечной недостаточностью.

Модель регрессионного анализа представляет собой полином второй степени с коэффициентом детерминации на рабочих данных равным 0,871.

$$y = -0,03 * x^2 + 1,120 * x - 52,807 \quad (10)$$

Показатель НСКО на рабочих точках 0,496, НСКО на тестовых данных 0,654.

Модель, полученная в результате моделирования по МГУА, представлена формулой 11.

$$y = -0,003 * x^2 + 1,068 * x - 49,341 \quad (11)$$

Показатель НСКО на рабочих точках 0,493, НСКО на тестовых данных 0,665.

Графики данных моделей незначительно отличаются по форме (Рис. 6).

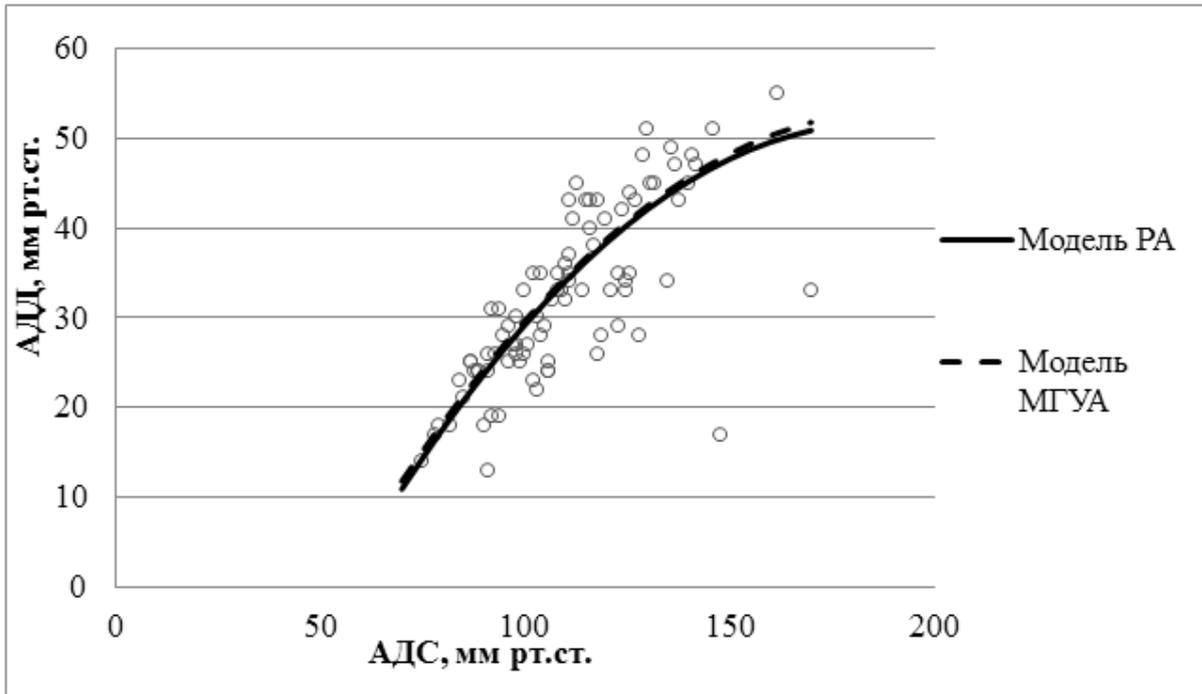


Рис. 6. Результат моделирование функциональной зависимости между АДС и АДД в группе с острой сердечной недостаточностью

**НСКО** сравниваемых моделей на экзамене показывает, что результат моделирования РА в этой группе незначительно выигрывает у МГУА (0,654 против 0,665).

Полученные модели могут быть использованы в качестве номограммы отражающей величину диастолического давления конкретного обследованного при фиксированном значении систолического давления. Данные номограммы могут быть применены для выявления патологических состояний, а также для оценки эффективности лечебных мероприятий по их устранению (Рис. 7).

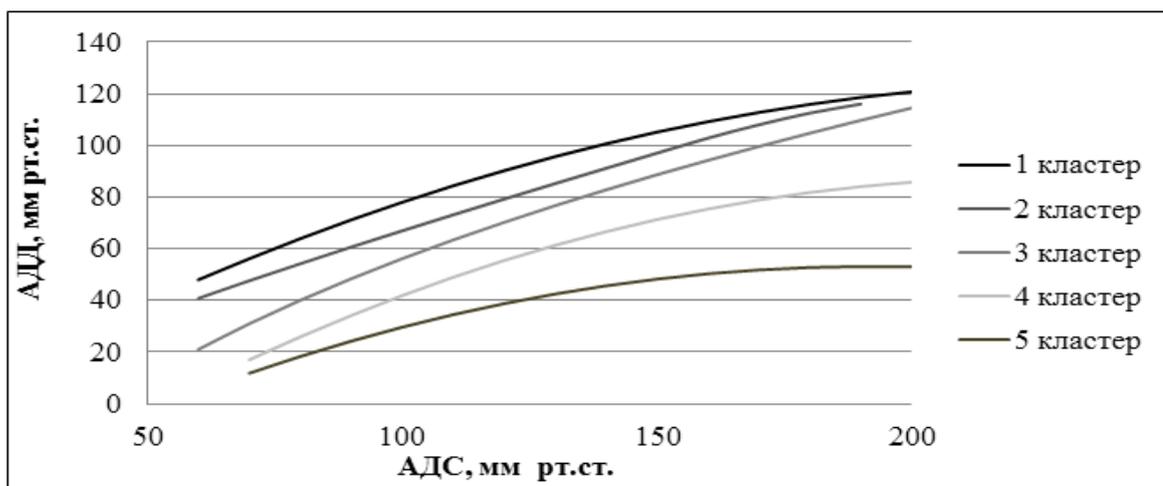


Рис. 7. Номограмма для оценки состояния системы кровообращения

Після нанесення показателів АД на данню номограму аналізується їх близькість к функціональним залежностям и виносится заключення о типе регуляції кровообращення.

### 3. Выводи

Результатом данної роботи є вибір оптимальних статистических моделей, отображающих функціональну залежність при різних типах регуляції кровообращення. Оптимальність оцінювалася рівнем **НСКО** на екзаменаційних виборках. В трьох випадках из пяти оптимальної моделлю оказались моделі отримані методом МГУА, в двох – регресійним аналізом.

Данні моделі можуть бути використані в якості номограми для виявлення патологіеских состоянь и для оцінки ефективності лічєбних заходів по їх усунєнню.

### Литература

1. Физиология кровообращения. Регуляция кровообращения. – Л. : «Наука», 1986. – 640 с.
2. Хаютин В.М. Сосудодвигательные рефлексы. – М. : Наука, 1964. – 376 с.
3. Knyshov G., Nastenکو Ye., Maksymenko V., Kravchuk O. and Sharukova Yu. The Interactions between Arterial and Capillary Flow. Cellular Automaton Simulations of Qualitative Peculiarities O. Dosseland . W C. Schlegel (Eds.): WC 2009, IFMBE Proceedings 25/IV. – 2009. – P. 572–574.
4. Павлов В.А. Синтез нечувливих до зсуву нелінійних моделей / В.А. Павлов, О.В. Павлов // Комп'ютерні системи та мережі : [Зб. наук.пр.] / відп. ред. А. О. Мельник.- Л. : Видавництво Національного університету "Львівська політехніка", 2009. - 152 с. : іл. - (Вісник / Національний університет "Львівська політехніка"; № 658). - С. 111-115.