

УДК 614.446.9+616-036.22

## СИСТЕМА УПРАВЛЕНИЯ ВИЧ-ИНФЕКЦИЕЙ. ЧАСТЬ 1. ПРИНЦИПЫ ФУНКЦИОНИРОВАНИЯ И ОПТИМАЛЬНЫЕ ПАРАМЕТРЫ

<sup>1</sup>*Д.А.Нешумаев, <sup>2</sup>Е.Н.Сухарев, <sup>3</sup>В.Л.Стасенко*

<sup>1</sup>КГАУЗ «Красноярский краевой Центр профилактики и борьбы со СПИД», Россия

<sup>2</sup>ФГБОУ ВО «Сибирский государственный аэрокосмический университет имени академика М.Ф.Решетнёва», Красноярск, Россия

<sup>3</sup>ФГБОУ ВО «Омский государственный медицинский университет», Россия

Цель: провести анализ системы управления ВИЧ-инфекцией, принятой в РФ, сформулировать основные принципы оптимизации этой модели по эпидемиологическим и экономическим показателям. Материалы и методы: в работе использовались методы системного анализа. Декомпозиция существующей системы управления ВИЧ-инфекцией на структурные компоненты позволила выявить наиболее информативные данные, собираемые в типовых Центрах профилактики и борьбы со СПИД. Определены оптимальные критерии системы управления эпидемическим процессом ВИЧ-инфекции, установлены функциональные связи между параметрами, необходимыми для повышения эффективности имеющейся в практическом здравоохранении системы. Результаты: выявлены данные, обладающие информационной достаточностью (пол, возраст и т. д.) и избыточностью (социальные группы, контингенты обследуемого населения). Сформулирован основной принцип оптимизации системы управления ВИЧ-инфекцией: распределить имеющиеся финансовые средства, кадровые, материальные ресурсы между скринингом, лечебными мероприятиями и профилактической работой таким образом, чтобы скорость прироста новых случаев заражения была максимально близкой к нулю (для данного уровня финансирования). Для отработки такой системы требуется математическая модель эпидемического процесса. Принцип разработки такой модели: использование данных, имеющихся в практическом здравоохранении, возможность адаптации к любой территории с определенными эпидемиологическими особенностями. В выходных данных должен быть расчет оптимального распределения имеющихся финансовых средств, прогноз развития эпидемии при данном распределении и определение минимально необходимой суммы, при которой скорость развития эпидемии приобретет отрицательный тренд. Описана структура такой модели, требуемые параметры и способы математического моделирования.

**Ключевые слова:** ВИЧ-инфекция, инфекционный процесс, эпидемический процесс, математическая модель, экономическая модель, прогноз, управление, ранняя диагностика ВИЧ.

## THE CONTROL SYSTEM OF HIV INFECTION. PART 1. PRINCIPLES OF OPERATION AND OPTIMAL PARAMETERS

<sup>1</sup>*D.A.Neshumaev, <sup>2</sup>E.N.Sucharev, <sup>3</sup>V.L.Stasenko*

<sup>1</sup>Krasnoyarsk Regional Center of AIDS prevention, Russia

<sup>2</sup>Reshetnev Siberian State Aerospace University, Krasnoyarsk, Russia

<sup>3</sup>Omsk State Medical University, Russia

Aim: to conduct an analysis of the HIV infection management system adopted in the Russian Federation, to formulate the basic principles of optimization of this model for epidemiological and economic indicators. Materials and methods: the methods of system analysis were used in the work. The decomposition of the existing HIV management system into structural components made it possible to identify the most informative data collected in the standard Center of AIDS prevention. The optimal criteria for the management of the epidemic process of HIV infection have been determined, and functional links have been established between the parameters necessary to increase the efficiency available in the practical healthcare system. Results: the data with information sufficiency (sex, age, etc.) and redundancy (social groups, contingents of the surveyed population) were identified. The main principle of optimization of the HIV management system is formulated: to distribute the available financial resources, personnel, material resources between screening, treatment activities and preventive work in such a way that the rate of growth of new cases of infection is maximally close to zero (for a given level of funding). To develop such a system requires a mathematical model of the epidemic process. The principle of developing such a model: the use of data available in practical public health services, the possibility of adaptation to any territory with certain epidemiological features. The output should be the calculation

of the optimal distribution of available financial resources, the forecast for the development of the epidemic in this distribution and the determination of the minimum amount necessary, at which the rate of epidemic development will acquire a negative trend. The structure of such a model, the required parameters and methods of mathematical modeling are described.

**Key words:** HIV infection, infection process, epidemic process, mathematical model, economic model, prognosis, management, early diagnosis of HIV.

**DOI:** <http://dx.doi.org/10.22328/2077-9828-2017-9-4-93-101>

**Введение.** Согласно отчету ЮНЭЙДС (2015), в странах Африканского континента снижение новых случаев заражения вирусом иммунодефицита человека (ВИЧ) составило 41% по сравнению с 2000 годом. Отрицательный тренд эпидемического процесса также отмечается в Латинской Америке, Азиатско-Тихоокеанском и Карибском регионах<sup>1</sup>. С учетом того, что суммарно данные территории вносят наиболее весомый вклад в общемировую структуру ВИЧ-инфекции, итоговая статистика оказалась обнадеживающей. В мире зарегистрировано снижение новых случаев инфицирования ВИЧ на 35% (по сравнению с 2000 г.), а смертность сократилась на 42% (по сравнению с 2004 г.). Благодаря этому, на Генеральной Ассамблее ООН 8–10 июня 2016 года была поставлена амбициозная задача — ликвидация эпидемии СПИДа к 2030 году<sup>2</sup>.

Несмотря на эти успехи, ВИЧ-инфекция в России не только не снижается, но и имеет тенденцию к прогрессивному росту. Согласно данным Федерального научно-методического центра по профилактике и борьбе со СПИДом<sup>3</sup>, в 2012 году в РФ зарегистрированы 70 832, а в 2014 году — 89 667 (на 27% больше) новых случаев ВИЧ-инфекции. В условиях имеющегося финансирования особенно остро встает вопрос поиска новых подходов к оптимизации системы управления ВИЧ-инфекцией. Попытка найти способы повышения эффективности мер по противодействию распространению заболевания с точки зрения эпидемиологии и системного анализа определили актуальность данной работы.

**Цель:** провести анализ системы управления эпидемическим процессом ВИЧ-инфекции, принятой в РФ, сформулировать основные принципы опти-

мизации этой модели по эпидемиологическим и экономическим показателям.

**Материалы и методы.** В работе использовались методы системного анализа:

1) Проанализирована существующая система управления эпидемическим процессом ВИЧ-инфекции относительно структурных компонентов (охват скринингом, лечение, профилактическая работа) и собираемой информации в типовых Центрах профилактики и борьбы со СПИД.

2) Сформулирован принцип выбора оптимальной системы управления ВИЧ-инфекцией.

3) Для полноценного использования такой системы необходима модель имитационного моделирования. Предложена структура такой модели, принципы ее разработки, установлены функциональные связи между параметрами.

**Результаты и их обсуждение. Анализ существующей системы.** Утвержденную в РФ систему управления эпидемическим процессом ВИЧ-инфекции<sup>4</sup> можно представить следующим образом (рис. 1).

Выделяемые финансовые средства распределяются между тремя основными компонентами подсистемы борьбы с ВИЧ-инфекцией: охват скринингом, лечение выявленных пациентов и профилактическая работа.

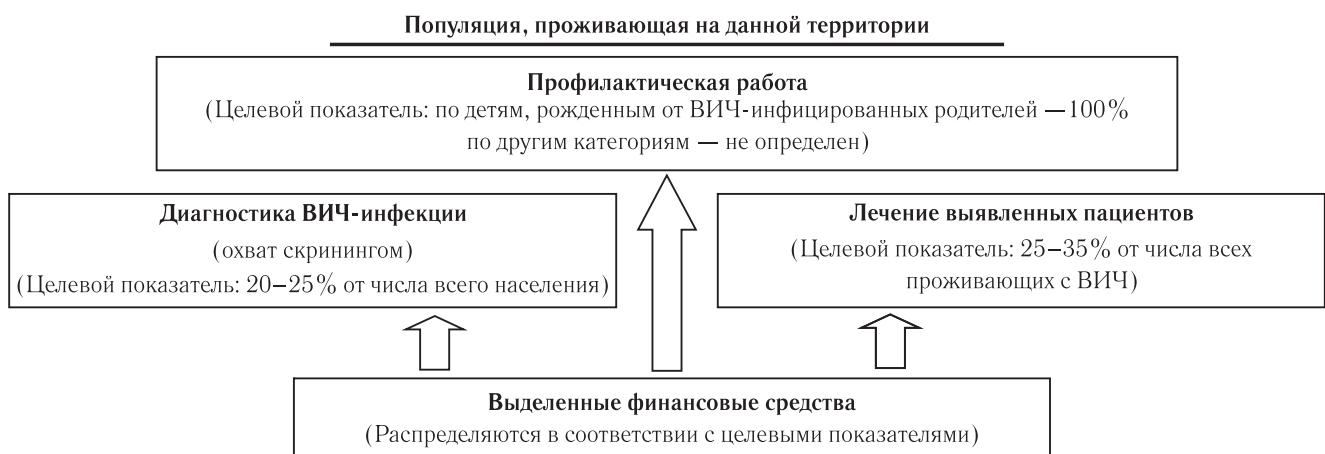
Исходя из объема планируемого бюджета, наиболее часто рекомендуется обеспечить охват скринингом на уровне 20% от числа всего населения курируемой территории и обеспечить лечением порядка 30% от количества проживающих ВИЧ-инфицированных пациентов. Профилактическая работа в части программ, не использующих лекарственные препараты, финансируется по остаточному принципу.

<sup>1</sup> Совещание высокого уровня по вопросам борьбы со СПИДом / Генеральная Ассамблея ООН, Нью-Йорк 8–10 июня 2016 года. URL: [http://www.unaids.org/ru/resources/documents/2015/aids\\_by\\_the\\_numbers\\_2015](http://www.unaids.org/ru/resources/documents/2015/aids_by_the_numbers_2015).

<sup>2</sup> Отчет ЮНЭЙДС. «СПИД в цифрах 2015 г.» URL: [http://www.unaids.org/ru/resources/documents/2015/AIDS\\_by\\_the\\_numbers\\_2015](http://www.unaids.org/ru/resources/documents/2015/AIDS_by_the_numbers_2015).

<sup>3</sup> ВИЧ-инфекция: Информационный бюллетень № 40 / Федеральный научно-методический центр по профилактике и борьбе со СПИД. М., 2015 г. URL: <http://www.hivrussia.ru/stat/bulletin.shtml#40>.

<sup>4</sup> Профилактика ВИЧ-инфекции. Санитарно-эпидемиологические правила СП 3.1.5.2826-10 (с изменениями от 21.07.2016 г.).



**Рис. 1.** Схема используемой системы управления эпидемическим процессом ВИЧ-инфекции с наиболее часто используемыми целевыми показателями

В структуре системы управления эпидемическим процессом ВИЧ-инфекции охват скринингом с последующим анализом полученных данных является информационно-аналитическим компонентом, а лечение выявленных пациентов и профилактическая работа — способами воздействия на эпидемический процесс.

Вся первичная информация о вновь выявленном ВИЧ-инфицированном пациенте собирается в карте эпидемиологического расследования. Наиболее важные с эпидемиологической точки зрения данные группируются по следующим параметрам (табл. 1).

Такие параметры, как пол, возрастная группа, определяются однозначно и затруднений не вызывают. В редких случаях бывают сложности с определением территории проживания, когда ВИЧ-инфицированный пациент много недель работает вахтовым методом в другом муниципальном образовании или вообще не имеет постоянного места жительства.

Трудности возникают при определении контингента<sup>1</sup> и социальной группы. В структуре кодов можно выделить не менее пяти подмножеств:

1) разделение по возможным путям передачи ВИЧ: половой — код 104 (больные ЗППП), код 121 (гетеросексуальные партнеры ВИЧ), код 109 (беременные), код 105 (беспорядочные половые связи); связанный с употреблением наркотиков — код 102 (потребители инъекционных наркотиков) и вертикальный — код 124 (дети, рожденные от ВИЧ-инфицированных матерей);

2) местонахождение субъекта (лица) в местах лишения свободы (код 112), стационарные больные (код 117);

3) группировка по медицинским признакам (обследованные при эпидемиологическом рассле-

довании (код 120), доноры (код 108), больные с рядом клинических показаний, указывающих на наличие ВИЧ-инфекции или с подозрением, или подтвержденным диагнозом СПИД-индикаторного заболевания (код 113);

4) гражданство (граждане РФ — код 100), иностранные граждане — код 200);

5) код 118 (прочие) в своей структуре может содержать не менее 10 разнородных признаков, таких как военнослужащие (код 111), контакт по краснухе (код 135), профосмотры (код 131), медицинские работники (код 130) и т. д.

Аналогичную многомерность можно выделить при анализе социальных слоев:

1) деление по возрастному признаку (школьник, призывник, студент, пенсионер);

2) профессиональная занятость (работающий, неработающий);

3) связь с исправительными учреждениями (осужденный, подследственный);

4) связь с армией (военнослужащий, призывник);

5) конкретная профессия/род занятий (коммерческий секс работник, военнослужащий);

6) прочие признаки (наличие жилой площади/бомж, не установлено и т. д.).

Очевидно, что для полноценного использования разработанной системы, кодирование должно проводиться как минимум по нескольким подмножествам одновременно. Тем не менее, существуют устные рекомендации: использовать для шифрования один, а в исключительных случаях — два кода. В противном случае в сводных статистических таблицах анализ по контингентам будет приводить к существенному завышению итоговых значений в сравнении с реальностью.

<sup>1</sup> О проведении обследования на ВИЧ-инфекцию: методические рекомендации № 5950-РХ от 06.08.2007 г.

Таблица 1

**Параметры ВИЧ-инфицированного пациента, используемые в информационно-аналитической подсистеме**

Параметры	Значение параметра	
Пол	Мужской, женский	
Возраст	До 1 года, 1–14 лет, 15–19 лет, 20–24 года, ..., 55–59 лет, 60 лет и старше	
Территория проживания	Муниципальное образование, где проживает ВИЧ-инфицированный пациент	
Путь заражения	Код	Расшифровка
	100	Гомосексуальная связь с гомо/бисексуальным партнером, не употребляющим наркотики
	101	Гомосексуальная связь с наркопотребителем
	104	Гетеросексуальная связь с бисексуальным партнером, не употребляющим наркотики
	105	Гетеросексуальная связь с гетеросексуальным партнером, не употребляющим наркотики
	106	Гетеросексуальная связь с инъекционным потребителем наркотиков
	107	Бытовой парентеральный контакт с ВИЧ-инфицированным
	108	Наркотический контакт с инфицированным ВИЧ партнером
	109	Переливание крови/пересадка органов от инфицированного ВИЧ донора
	110	Пребывание в нозокомиальном очаге
	111	Заражение детей от матерей во время беременности и родов
	112	Заражение детей от матерей при грудном вскармливании
	113	Заражение матерей от детей при грудном вскармливании
	114	Другая причина, указать
Контингенты обследования на ВИЧ-инфекцию и социальные группы населения	102	Употребляющие наркотики внутривенно, в том числе больные наркоманией или злоупотребляющие наркотиками с вредными последствиями
	113	Больные с рядом клинических показаний, указывающих на наличие ВИЧ или с подозрением, или подтвержденным диагнозом СПИД-индикаторного заболевания
	104	Больные с заболеваниями, передающимися половым путем (ЗППП)
	121	Гетеросексуальные партнеры инфицированных ВИЧ
	112	Лица, находящиеся в местах лишения свободы
	120	Обследованные при проведении эпидемиологического расследования
	109	Беременные
	128	Другой контакт с ВИЧ-позитивным, при котором имелся риск заражения ВИЧ
	108	Доноры (крови, биологических жидкостей, органов и тканей)
	200	Иностранные граждане и лица без гражданства
	124	Дети, рожденные от ВИЧ-инфицированных матерей
	105	Лица, занимающиеся оказанием коммерческих сексуальных услуг (КСР)
	....	.....
	118	Прочие

ния с возрастными или половыми признаками, где каждый пациент шифруется только одним значением параметра.

Если провести сравнительный анализ с кодами, используемыми для шифрования путей заражения<sup>1</sup>, то можно установить, что некоторые позиции дублируются (например, код 109), что создает дополнительные трудности в работе с такой системой.

Несмотря на теоретическую возможность выделения непересекающихся подмножеств, в настоящий момент отдельные элементы существующей системы связаны между собой сложными связями.

Например, если человек военнослужащий, то он одновременно работающий и не может быть иностранным гражданином. Чрезмерное стремление к точности привело к формированию перекрестных зависимостей, которые, помимо неудобства, неоднозначной интерпретации, обладают и избыточностью.

Поэтому вполне логично, что в практическом здравоохранении примерно половина лиц, поступающих на скрининговое обследование, шифруется кодом 118 — прочие, все остальные кодировки используются реже. Социальные группы

<sup>1</sup> О проведении надзора за циркуляцией генетических вариантов вируса иммунодефицита человека, включая циркуляцию штаммов, резистентных к антиретровирусным препаратам: методические рекомендации № 5958-РХ от 06.08.2007 г.

в подавляющем большинстве случаев категоризируются на работающих, неработающих, лиц из мест лишения свободы и неустановленных, что делает анализ социальных слоев, как и контингентов, малоинформативным.

Вся первичная информация собирается в сводные ежемесячные статистические формы. Дополнительно к этому проводится вычисление ряда параметров, которые являются базовыми для анализа общей эпидемиологической ситуации<sup>1</sup> в изучаемой территории (табл. 2).

Данные о численности населения берутся из таблиц, составленных территориальным органом Федеральной службы государственной статистики.

жидкостях крайне сложно. Это позволяет многим ученым высказывать соображения об использовании широкого охвата лечением, как о профилактическом мероприятии. Единственным ограничением на пути внедрения такого подхода остается достаточная стоимость лекарственных препаратов.

С этой точки зрения всю профилактическую работу можно разделить на использующую лекарственные препараты и без использования медикаментозных средств (табл. 3).

Как и в случае с лечебными мероприятиями, профилактика с использованием антиретровирусных препаратов конкретна и регулируется нормативными документами. В противоположность

Производные эпидемиологические параметры ВИЧ-инфекции

Таблица 2

Параметры	Дополнительные данные	Формула расчета
Заболеваемость	Среднегодовая численность населения	Заболеваемость = $\frac{\text{Число впервые выявленных случаев заболевания}}{\text{Среднегодовая численность населения}} \times 100\ 000$
Пораженность	Численность населения на конец отчетного года	Пораженность = $\frac{\text{Кумулятивное количество живущих с заболеванием больных, зарегистрированных на конец отчетного периода}}{\text{Численность населения на конец отчетного периода}} \times 100\ 000$
Пораженность ВИЧ беременных женщин	Число беременностей в регионе в изучаемом году	Пораженность ВИЧ беременных женщин = $\frac{\text{Число инфицированных ВИЧ среди беременных на изучаемой территории в изучаемом году}}{\text{Число беременностей в регионе в изучаемом году}} \times 100$ где Число беременностей в регионе в изучаемом году = число принятых родов (всего) + число прерываний беременности (всего)
Летальность	—	Летальность = $\frac{\text{Число умерших от болезни за период времени}}{\text{Число болевших этой болезнью в тот же период}} \times 100$
Смертность	Среднегодовая численность населения	Смертность = $\frac{\text{Число умерших от болезни за период времени}}{\text{Среднегодовая численность населения}} \times 100\ 000$

стики. Достаточно подробная градация проживающего количества населения по полу и возрастным категориям позволяет рассчитывать не только интегральные (популяционные) эпидемиологические показатели, но и эти же характеристики в конкретных демографических группах.

Лечебные мероприятия достаточно хорошо стандартизованы. Существуют утвержденные схемы применения терапии в зависимости от той или иной клинической ситуации. Эффективность антиретровирусных препаратов доказана многими исследованиями, поэтому закономерно, что в значительном проценте случаев при достаточной приверженности пациента удается добиться неопределенной вирусной нагрузки. Известно, что заразиться от людей с низкой концентрацией вируса в биологических

этому работе без использования фармацевтических препаратов не стандартизована и подвержена значительным вариациям от региона к региону.

**Система управления эпидемическим процессом ВИЧ-инфекции.** Максимально эффективная система управления должна использовать финансовые средства таким образом, чтобы скорость развития эпидемии была минимальной для данного уровня финансирования. Такая модель, приближенная к существующей системе управления эпидемическим процессом ВИЧ-инфекции, представлена на рисунке 2.

Традиционно оценку скорости развития эпидемии проводят по заболеваемости. При 20%-ном охвате скринингом эффективность противоэпидемических мероприятий можно будет оценить в среднем через

<sup>1</sup> Эпидемиологический надзор за ВИЧ-инфекцией: методические указания № МУ 3.1.3342-16 от 26.02.2016 г.

Таблица 3

## Виды профилактической работы по признаку использования лекарственных препаратов

Вид	Мероприятие
С использованием антиретровирусных препаратов	Вертикальная профилактика рождения детей от ВИЧ-инфицированных матерей Экстренная химиопрофилактика (при травмах медицинского персонала и пр.)
Без использования антиретровирусных препаратов	Выступление по телевидению Публикации в СМИ Тренинги в школах, колледжах, ВУЗах Адаптация ВИЧ-инфицированных пациентов к новому психологическому состоянию Прочее (игровые формы обучения профилактике ВИЧ-инфекции, бесплатная раздача презервативов, экспресс-тестирование в местах массового скопления людей и т. д.)

5 лет. До этого момента неизбежно будут выявляться случаи ВИЧ-инфекции, упущеные в прошлые годы. Это является одной из причин, из-за которой оценка профилактической работы очень часто подвергается критике. Время финансирования таких программ зачастую слишком незначительно, чтобы увидеть системный эпидемиологический эффект. Поэтому оценку приходится делать по косвенным признакам, таким как анализ ответов, полученных при анкетировании ВИЧ-инфицированных лиц, на которых были направлены эти мероприятия.

что в условиях неполного скрининга этот показатель является более надежным индикатором скорости развития эпидемии, чем заболеваемость.

Наличие универсального критерия оценки скорости развития эпидемического процесса ВИЧ-инфекции позволяет найти подходы к определению наиболее эффективного распределения финансовых средств между диагностикой, лечением и профилактикой, в зависимости от итогового эпидемиологического результата. Необходимо учитывать, что наличие профилактического компонента,

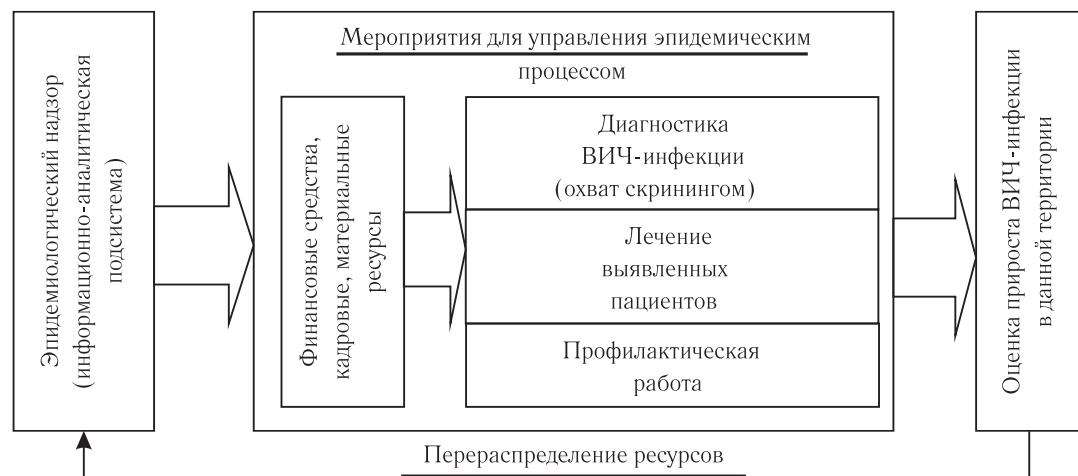


Рис. 2. Система управления ВИЧ-инфекцией

Необходимо также отметить сильную вариабельность заболеваемости в зависимости от объема обследованной популяции.

Таким образом, для создания системы управления с научно обоснованным распределением финансов необходим более оперативный критерий скорости развития эпидемического процесса. В Красноярском крае был проведен эксперимент по определению лабораторным способом ранних случаев заражения ВИЧ-инфекцией среди вновь выявленных лиц с положительным иммунным блотом [1] и p24 антигену ВИЧ в сочетании с неопределенным или отрицательным иммунным блотом [2, 3]. Было показано,

обладающего разной эффективностью, обусловленной региональными и культурными особенностями, создает значительное количество трудностей. Поэтому расчет распределения весовых коэффициентов между звеньями в обязательном порядке должен включать разработку адекватных математических моделей, позволяющих провести имитационное моделирование того или иного сценария развития событий.

**Математическая модель эпидемического процесса ВИЧ-инфекции.** Сформулируем основные требования к математической модели эпидемического процесса:

- модель должна использовать данные, имеющиеся в практическом здравоохранении;
- необходимо, чтобы она могла быть адаптирована к любой территории с определенными эпидемиологическими особенностями;
- в выходных данных должен быть не только расчет оптимального распределения имеющихся финансовых средств, кадровых, материальных ресурсов, прогноз развития эпидемии при данном распределении, но и определение минимально необходимого финансирования, при котором скорость развития эпидемии приобретет отрицательный тренд.

исследования заключается в том, что при уровне рождаемости, близком к нулю, и высокой смертности прогноз для населения, даже в отсутствие ВИЧ-инфекции, будет крайне неблагоприятным. Сокращение финансирования на противодействие инфекционным заболеваниям для таких популяций будет иметь фатальные последствия.

Следующим этапом в динамическую модель человеческой популяции вводится ВИЧ-инфекция, которая приводит к сокращению продолжительности жизни индивидуумов, зараженных вирусом. Сравнительный анализ графиков, построенных



**Рис. 3.** Система управления эпидемическим процессом ВИЧ-инфекции с математической моделью эпидемического процесса

Подавляющее большинство математических моделей популяционного уровня, разработанных для ВИЧ-инфекции, не отвечают таким требованиям [4]. Возможно, поэтому ни одна из них не нашла широкого применения в практическом здравоохранении. Основные блоки модели с необходимыми критериями в структуре системы управления эпидемическим процессом ВИЧ-инфекции представлены на рисунке 3.

Как видно из рисунка 3, модель состоит из трех компонентов. Базовый анализ происходит на уровне демографии определенной территории. Эти данные Центры профилактики и борьбы со СПИД получают от территориального органа Федеральной службы государственной статистики. Необходимость этого

по рождаемости, средней продолжительности жизни, смертности для населения без вируса и численности ранних случаев заражения, кумулятивного количества ВИЧ-инфицированных лиц, а также летальности позволит прогнозировать скорость развития эпидемии при различных воздействиях, которые исследуются на следующем уровне. Идеальный вариант — добиться такого управления, при котором количество ранних случаев инфицирования будет максимально близким к нулю.

Рассмотрим, какие параметры и методы математического моделирования целесообразно использовать для отработки такой трехслойной модели (рис. 4).

Достаточно хорошие модели на основе теории вероятностей отработаны для предсказания демо-

графической структуры населения. Исходя из исторических данных, вычисляется матрица вероятностей последовательного перехода из одной половозрастной группы в следующую. Практическая проверка таких моделей демонстрирует высокую предсказательную ценность с относительной простотой описания. В дальнейшем в такую модель достаточно несложно вписать внедрение ВИЧ-инфекции.

Распространены подходы к созданию прогностических моделей, основанных на анализе численности различных контингентов риска и их динамическим взаимодействием между собой [5]. Определение вероятности передачи ВИЧ в различных по социальному поведению группах определялось в очень многих работах [6]. К сожалению, в практической деятельности неизвестны численности этих групп

Необходимо учитывать, что в отличие от p24 антигена, выявление ранних случаев инфицирования в группе лиц с положительным иммунным блотом в стандартном алгоритме диагностики ВИЧ-инфекции не производится. Поэтому получение более точных данных будет сопряжено с некоторыми финансовыми издержками. Полагаем, что в этом случае получаемая информация будет окупать стоимость лабораторных исследований.

Таким образом, для моделирования популяционных и эпидемиологических характеристик соответствующей территории представляется наиболее целесообразным использование вероятностных методов. Для моделирования управлеченческих воздействий, возможно, оптимальным будет использование детерминистских уравнений, по крайней



**Рис. 4.** Трехкомпонентная модель эпидемического процесса ВИЧ-инфекции с возможными подходами к моделированию каждого уровня (зачеркнутые методы и параметры, по нашему мнению, использовать нецелесообразно)

и отсутствуют стандартизованные подходы к методологии такого расчета [7]. Более того, вероятности передачи в одних и тех же социальных слоях могут существенно отличаться для протяженных или компактных территорий проживания. Таким образом, необходимо найти возможность обойти эту проблему с минимальными финансовыми затратами.

Одним из целесообразных подходов является определение ранних случаев заражения в популяции. Этот интегральный критерий показывает конкретную реализацию всех вероятностей инфицирования при разных путях передачи с учетом групп численности для определенной территории.

мере, в части стандартизованных подходов, таких как диагностические и лечебные мероприятия.

Исследования с помощью нейронных сетей или генетических алгоритмов в данном случае представляются недостаточно оправданными в силу неизвестного характера внутренней структуры связей, определенных на завершающем этапе обучения, между входными и выходными параметрами. Понимание общебиологических принципов развития эпидемического процесса ВИЧ-инфекции позволяет в данном случае построить понятную и, возможно, более точную модель с использованием стохастических или детерминистских подходов.

**Заключение.** Проведен анализ принятой в РФ системы управления эпидемическим процессом ВИЧ-инфекции. Определены данные в этой системе, обладающие информационной достаточностью (пол, возраст и т. д.) и избыточностью (социальные группы, контингенты обследуемого населения). Для оптимизации существующей системы управле-

ния необходима математическая модель имитационного моделирования эпидемического процесса ВИЧ-инфекции. Сформулированы принципы разработки такой модели, ее структура, параметры, необходимые для функционирования в практическом здравоохранении, способы математического моделирования.

## ЛИТЕРАТУРА/REFERENCES

- Нешумаев Д.А., Малышева М.А., Шевченко Н.М., Кокотюха Ю.А., Мейрманова Е.М., Уланова Т.И., Загрядская Ю.Е. Моделирование динамики эпидемии ВИЧ-инфекции с использованием частоты встречаемости ранних случаев заражения // ВИЧ-инфекция и иммуносупрессия. 2016. Т. 8, № 2. С. 53–60. [Nechumaev D.A., Malysheva M.A., Shevchenko N.M. Kokotyukha Yu.A., Meirmanova E.M., Ulanova T.I., Zagryadskaya Yu.E. Modeling the dynamics of HIV infection using the incidence of early infections. *HIV infection and Immunosuppressive Disorders*, 2016, Vol. 8, No. 2, pp. 53–60 (In Russ.)].
- Рузаева Л.А., Ольховский И.А., Нешумаев Д.А., Шевченко Н.М., Виноградова М.Н. Значимость иммуноферментного теста для выявления антигена вируса иммунодефицита человека p24 в подтверждении ВИЧ-инфекции // Журнал микробиологии, эпидемиологии и иммунобиологии. 2008. № 6. С. 19–22. [Ruzaeva L.A., Olkhovskiy I.A., Nechumaev D.A., Shevchenko N.M., Vinogradova M.N. The significance of ELISA test for the detection of antigen of human immunodeficiency virus p24 confirmation of HIV infection. *Journal of Microbiology, Epidemiology and Immunobiology*, 2008, No. 6, pp. 19–22 (In Russ.)].
- Нешумаев Д.А., Ольховский И.А., Баранова Е.Н., Шарипова И.Н., Уланова Т.И., Виноградова М.Н., Шевченко Н.М., Рузаева Л.А. Прогностическая значимость выявления антигена ВИЧ p24 при использовании тест-систем с повышенной аналитической чувствительностью // Клиническая лабораторная диагностика. 2009. № 2. С. 40–42. [Nechumaev D.A., Olkhovskiy I.A., Baranova E.N., Sharipova I.N., Ulanova T.I., Vinogradova M.N., Shevchenko N.M., Ruzaeva L.A. Prognostic significance of detection of HIV p24 antigen in the use of test systems with increased analytical sensitivity. *Clinical Laboratory Diagnostics*, 2009, No. 2, pp. 40–42 (In Russ.)].
- Нешумаев Д.А., Сухарев Е.Н., Стасенко В.Л. Математическое моделирование эпидемического и биологических процессов ВИЧ-инфекции // ВИЧ-инфекция и иммуносупрессия. 2017. Т. 9, № 2. С. 58–67. [Nechumaev D.A., Sukharev E.N., Stasenko V.L. Mathematical modeling of epidemic and biological processes HIV infection. *HIV Infection and Immunosuppressive Disorders*, 2017, Vol. 9, No. 2, pp. 58–67 (In Russ.)].
- Розенталь В.В., Беляков Н.А., Виноградова Т.Н., Пантелеева О.В., Рассокин В.В., Сизова Н.В. Динамическая модель для описания и прогнозирования течения эпидемии ВИЧ-инфекции // Медицинский академический журнал. 2012. Т. 12, № 1. С. 95–102. [Rosenthal V.V., Belyakov N.A., Vinogradova T.N., Panteleeva O.V., Rassokhin V.V., Sizova N.V. A dynamic model for describing and predicting the course of HIV-infection. *Medical Academic Journal*, 2012, Vol. 12, No. 1, pp. 95–102 (In Russ.)].
- Романюха А.А., Носова Е.А. Модель распространения ВИЧ-инфекции в результате социальной дезадаптации // Управление большими системами. 2011. Выпуск 34. М.: ИПУ РАН. С. 227–253. [Romanyukha A.A., Nosova E.A. Model of HIV infection as a result of social maladjustment. *Managing Large Systems*, 2011, Issue 34, Moscow: Institute of control problems, Russian Academy of Sciences, pp. 227–253 (In Russ.)].
- Розенталь В.В., Беляков Н.А., Рассокин В.В., Дубикайтис П.А. Подходы к определению оценочного числа ВИЧ-инфицированных больных в популяции // ВИЧ-инфекция и иммуносупрессии. 2011. Т. 3, № 3. С. 7–12. [Rosenthal V.V., Belyakov N.A., Rassokhin V.V., Dubikaitis P.A. Approaches to the definition of estimated HIV-infected patients in the population. *HIV Infection and Immunosuppressive Disorders*, 2011, Vol. 3, No. 3, pp. 7–12 (In Russ.)].

Статья поступила 08.09.2017 г.

Контактная информация: Нешумаев Дмитрий Александрович, e-mail: neshumaev@gmail.com

### Коллектив авторов:

Нешумаев Дмитрий Александрович — к.м.н., зав. лабораторией иммунологических и гематологических исследований Красноярского государственного автономного учреждения здравоохранения «Красноярский краевой Центр по профилактике и борьбе со СПИД», 660049, Красноярск, ул. К. Маркса, 45, стр. 1, e-mail: neshumaev@gmail.com, neshumaev@inbox.ru;

Сухарев Евгений Николаевич — к.т.н., доцент кафедры электронной техники и телекоммуникаций Института информатики и телекоммуникаций ФГБОУ ВО «Сибирский государственный аэрокосмический университет им. академика М.Ф. Решетнёва», 660037, Красноярск, проспект им. газеты «Красноярский рабочий», 31, а/я 1075, (391) 262-27-80, e-mail: solo113@mail.ru;

Стасенко Владимир Леонидович — д.м.н., профессор, зав. кафедрой эпидемиологии ФГБОУ ВО «Омский государственный медицинский университет», 644099, Омск, ул. Ленина, 12, (3812) 659-919, e-mail: vlstasenko@yandex.ru.