

DOI: 10.51790/2712-9942-2024-5-1-10

СИСТЕМА ОГРАНИЧЕНИЙ ЗАДАЧИ ОПТИМИЗАЦИИ УЧЕБНОГО ПЛАНА ДЛЯ НАПРАВЛЕНИЯ «ИНФОРМАТИКА И ВЫЧИСЛИТЕЛЬНАЯ ТЕХНИКА»**М. В. Юрчишина^а, К. И. Бушмелева^б***Сургутский государственный университет, г. Сургут, Российская Федерация*^а ✉ nesterenko_mv@surgu.ru, ^б bkiya@yandex.ru

Аннотация: представлено описание системы ограничений для задачи оптимизации учебного плана направления «Информатика и вычислительная техника». Математическая модель оптимального учебного плана может иметь различные виды целевой функции в зависимости от потребностей составителя. При этом система ограничений выделяет множество допустимых значений, и на практике можно использовать ее решение даже без целевой функции. Кроме базовых ограничений на значения номеров семестров и суммарной трудоемкости дисциплин в учебном году, в систему включены ограничения, которые касаются необходимости установления определенной последовательности некоторых связанных дисциплин. На основании экспертного мнения, полученного путем анкетирования в форме матриц парных сравнений, выделены группы связанных дисциплин и установлены логические соотношения между номерами семестров, в которые их следует установить. При обработке результатов матриц парных сравнений использован новый вариант трактовки. Введено понятие коэффициента очередности дисциплин, имеющее локальный смысл для преобразования в значение номера семестра.

Ключевые слова: анализ, матрица парных сравнений, экспертное оценивание, учебный план, оптимизация, система ограничений.

Для цитирования: Юрчишина М. В., Бушмелева К. И. Система ограничений задачи оптимизации учебного плана для направления «Информатика и вычислительная техника». *Успехи кибернетики*. 2024;5(1):82–91. DOI: 10.51790/2712-9942-2024-5-1-10.

*Поступила в редакцию: 27.01.2024.**В окончательном варианте: 20.02.2024.***CONSTRAINTS FOR THE COMPUTER SCIENCE MAJOR CURRICULUM OPTIMIZATION PROBLEM****M. V. Yurchishina^а, K. I. Bushmeleva^б***Surgut State University, Surgut, Russian Federation*^а ✉ nesterenko_mv@surgu.ru, ^б bkiya@yandex.ru

Abstract: this study presents a set of constraints used in the curriculum optimization problem of computer science majors. A simulation model of an optimal curriculum can have different objective functions as required by the user. The constraints filter out a set of acceptable values so that the filtered values can be used even without solving for the objective function. In addition to basic constraints such as the number of semesters and credit hours for each course, the system also includes constraints that govern the sequence of related courses. We interviewed experts and used the pairwise comparison approach to identify the groups of related courses and to assign them to semesters. We used a new method for processing pairwise comparison matrices. We also introduce the course sequence factor that can be converted into the specific number of the semester.

Keywords: analysis, pairwise comparison matrix, expert evaluation, curriculum, optimization, constraints.

Cite this article: Yurchishina M. V., Bushmeleva K. I. Constraints for the Computer Science Major Curriculum Optimization Problem. *Russian Journal of Cybernetics*. 2024;5(1):82–91. DOI: 10.51790/2712-9942-2024-5-1-10.

*Original article submitted: 27.01.2024.**Revision submitted: 20.02.2024.***Введение**

Внедрение систем поддержки принятия решений способно снизить нагрузку на специалистов. Однако построение каждой подобной системы требует длительной и многоаспектной подготовки. Чаще

всего решаемая задача содержит большое количество качественных параметров, большое количество переменных и неформализованную цель [1–3]. Построение учебного плана (УП) в высшем учебном заведении в последние десятилетия выполняется практически ежегодно по каждому направлению обучения. Не всегда корректировки предыдущего варианта носят масштабный характер, но даже при внесении небольших изменений зачастую приходится исправлять множество связанных характеристик. Например, при простой перестановке дисциплины из одного семестра в другой придется сбалансировать трудоемкость семестров, после чего может оказаться, что превышено допустимое количество зачетов или одного из видов аудиторной нагрузки. Подобные корректировки хоть и не вызывают сложности, но отнимают много времени и требуют внимательности и сосредоточенности. Если же оказывается, что требуется внести существенные корректировки (добавить дисциплины, изменить трудоемкости и т. п.), тогда отследить все причинно-следственные изменения становится слишком сложно и составление плана требует полной проверки всех условий и ограничений. В настоящее время существует система, которая проверяет часть ограничений, установленных федеральными государственными образовательными стандартами (ФГОС) и учебными заведениями (вузами), но она не предназначена для получения рекомендаций о том, что можно или нужно изменить для выполнения ограничений. Также система не имеет функции оптимизации учебного плана. Существует несколько различных подходов к оптимизации учебного плана [4, 5]. Из этого следует, что актуально создание автоматизированной системы поддержки принятия решений, которая способна улучшить качество разрабатываемого УП и снизить нагрузку на специалистов, отвечающих за разработку и проверку на соответствие требованиям ФГОС и вуза.

Постановка задачи

Оптимизационная задача в математической модели содержит целевую функцию и систему ограничений. Если использовать математическую модель, описанную в [6], то при практическом решении задачи составления УП чаще всего речь не идет об оптимальном решении, достаточно допустимого решения. Поэтому система ограничений, описывающая все допустимые решения, является наиболее важным элементом математической модели. Необходимо записать конкретную систему ограничений, в данном случае для выбранного направления обучения «Информатика и вычислительная техника», используя для соотношений между номерами семестров дисциплин результаты экспертного оценивания [7] о наличии связанных групп дисциплин и взаимном расположении их при освоении учебного плана.

Система ограничений

В математической модели, рассматриваемой в данной работе, фактическими переменными являются номера семестров, в которые будут установлены дисциплины. При этом имеющиеся условия построения УП затрагивают трудоемкости дисциплин, которые могут препятствовать установлению некоторых значений семестров в ожидаемые.

Для каждой дисциплины при решении задачи расстановки по семестрам важно учитывать номер семестра и трудоемкость. В результате возникает задача планирования, значительная часть ограничений которой линейная. Можно попробовать привести ее к классической транспортной задаче [8], для этого необходимо ввести весовые коэффициенты, определяющие «стоимость» установки дисциплины в каждый семестр. Таких весовых коэффициентов в предметной области нет, поэтому они введены искусственно и названы коэффициентами значимости дисциплин. Выбранная целевая функция требует достижения максимума, поэтому весовые коэффициенты для недопустимых номеров семестров принимаются равными нулю. Остальные значения коэффициентов значимости в данной работе не обсуждаются, поскольку требуют дополнительного длительного исследования. После введения весовых коэффициентов задача характеризуется матрицей, представленной в таблице 1.

Стандартные методы решения данной задачи как транспортной допускают разделение общей трудоемкости дисциплины на любое количество семестров, однако такой вариант расстановки окажется недопустимым. Можно провести аналогию задачи с задачей о назначениях, но в данном случае назначения не будут однократными с точки зрения семестров, так как в один семестр можно (и необходимо) назначить несколько дисциплин. То есть можно использовать аналогии с методами решения задачи о назначениях, учитывая эту особенность. Также важно учитывать нелинейность целевой функции.

Таблица 1

Примерный вид задачи планирования

Дисциплина/семестр	1	2	3	4	5	6	7	8	Трудоемкость дисциплины
Дисциплина 1	0.1	0	0	0	0	0	0	0	4
Дисциплина 2	0	0.2	0.2	0	0	0	0	0	3
...									
Дисциплина N	0	0	0	0	0	0	0.9	0.9	9
Суммарная трудоемкость семестра	30	30	30	30	30	30	30	30	240 (сбалансирована)

В качестве численной реализации предполагается последовательный перебор всех вариантов с проверкой всех ограничений для каждого варианта. Для допустимых значений анализируются значения целевой функции.

Как следствие, наиболее важным является построение системы ограничений [9].

Система ограничений оптимизационной задачи содержит 3 группы ограничений:

- номера семестров всех дисциплин должны принимать целые значения в промежутке [1; 8] (количество учебных семестров для бакалавриата — 8);
- уравнения и неравенства, связывающие номера семестров дисциплин, которые в своем содержании опираются на содержание других дисциплин (семантические связи);
- суммарные ограничения трудоемкости дисциплин (требования ФГОС).

Для описания задачи вводятся обозначения:

- N — количество дисциплин в учебном плане;
- x_i — номер семестра, в котором изучается дисциплина с номером i , $1 \leq i \leq N$, $i \in \mathbb{N}$;
- z_i — трудоемкость (в зачетных единицах, з. е.) дисциплины с номером i , $1 \leq i \leq N$, $i \in \mathbb{N}$;
- p_i — коэффициент значимости дисциплины с номером i , $p_i \in (0,1)$, i , $1 \leq i \leq N$, $i \in \mathbb{N}$.

Чаще всего количество семестров при обучении на уровне бакалавриата очной формы обучения составляет 8, количество курсов — 4. Эти величины фиксированы, однако для обеспечения возможности обобщения на уровень магистратуры или другого вида образования следует ввести переменные для их обозначения:

- S — количество семестров;
- C — количество лет, отведенных на освоение программы.

При решении данной задачи предполагается, что коэффициенты значимости известны. Их значения необходимо подобрать заранее. Предположительно они будут следующими (их определение будет производиться дополнительно за рамками данной работы):

- для общеобразовательных дисциплин $p \approx 0.1$;
- для общепрофессиональных дисциплин $p \approx 0.5$;
- для профессиональных дисциплин $p \approx 0.9$.

В таких обозначениях первая часть системы ограничений принимает вид:

$$1 \leq x_i \leq S, \quad \forall i: 1 \leq i \leq N, i \in \mathbb{N}. \quad (1)$$

Количество таких условий составляет N .

Вторая часть системы ограничений требует экспертного оценивания и основывается на мнении экспертов о взаимном расположении дисциплин в группах, связанных семантически. Ранее авторами было выделено три таких группы, определены их составы и попарное взаимное расположение дисциплин внутри каждой группы [6].

В первой группе — математических дисциплинах — выделено 13 дисциплин. Экспертное оценивание [7] показало взаимное расположение этих дисциплин. Для удобства использования эксперт-

ные оценки были преобразованы в усредненный коэффициент очередности. Значение коэффициента представляет из себя усредненное значение суммарного значения оценок каждой дисциплины матриц парных сравнений различных экспертов. Чем больше полученное значение, тем раньше должна быть изучена дисциплина, и, наоборот, чем меньше значение коэффициента, тем в более поздний семестр можно установить дисциплину. Также в [7] предложен вариант интерпретации значений коэффициентов для возможности установки нескольких дисциплин в один семестр. Значения полученных коэффициентов и рекомендаций по выбору семестров приведены в таблице 2.

Таблица 2

Усредненные коэффициенты очередности дисциплин математической группы

Название дисциплины		Математический анализ 1	Линейная алгебра	Математический анализ 2	Аналитическая геометрия	ТФКП	Дифференциальные уравнения	Теория вероятностей	Дискретная математика	Математическая статистика	Математическая логика	Методы оптимизации	Исследование операций	Вычислительная математика
Полученные средние коэффициенты очередности дисциплин		22	21	17	18	10	12	13	16	10	11	7	5	4
Рекомендуемый номер семестра	Наименьший	1	1	2	2	4	3	3	2	4	4	5	6	6
	Наибольший	1	1	2	2	5	4	4	3	5	5	6	7	7

В данной работе важно не установить конкретный номер семестра, а составить ограничения, которые гарантируют учет экспертного мнения при решении оптимизационной задачи. Для составления конкретных равенств и неравенств необходимо установить выбранным дисциплинам номера.

Пусть в группе математических дисциплин установлены номера, приведенные в таблице 3.

В таблице 3 для наглядности представлены обозначения номеров семестров для всех дисциплин группы.

Анализируя таблицу 2, можно сделать вывод, что в один семестр могут быть установлены дисциплины, значения коэффициентов очередности которых отличаются на 1–2 единицы. Таким образом, первые две дисциплины с коэффициентами 21 и 22 можно зафиксировать в первом семестре (с точки зрения математической постановки можно этого не делать, но учитывая, что снижение размерности приведет к ускорению решения, лучше это сделать). В результате получаются ограничения (2):

$$x_1 = x_2 = 1. \tag{2}$$

Так, например, дисциплина «Математический анализ 2» должна быть установлена строго в следующий семестр после дисциплины «Математический анализ 1», а дисциплина «Аналитическая геометрия» наилучшим образом будет изучаться сразу после дисциплины «Линейная алгебра». Как следствие, получаются ограничения (3):

$$x_3 = x_1 + 1, \quad x_4 = x_2 + 1. \tag{3}$$

Фактически это ограничение можно записать как (4):

$$x_3 = x_4 = 2. \tag{4}$$

Таблица 3

Номера дисциплин математической группы, установленные для построения ограничений

Название дисциплины	Математический анализ 1	Линейная алгебра	Математический анализ 2	Аналитическая геометрия	ТФКП	Дифференциальные уравнения	Теория вероятностей	Дискретная математика	Математическая статистика	Математическая логика	Методы оптимизации	Исследование операций	Вычислительная математика
Номер дисциплины	1	2	3	4	5	6	7	8	9	10	11	12	13
Номер семестра, в который устанавливается дисциплина	x_1	x_2	x_3	x_4	x_5	x_6	x_7	x_8	x_9	x_{10}	x_{11}	x_{12}	x_{13}

Коэффициент дисциплины «Дискретная математика» следует в порядке уменьшения за рассмотренными. Учитывая анализ непосредственных значений в матрицах парных сравнений, где большинство экспертов указали, что данную дисциплину можно изучать либо вместе с «Математический анализ 2» и «Аналитическая геометрия», либо после них, но при этом данную дисциплину следует изучать после «Математический анализ 1» и «Линейная алгебра», можно записать ограничение (5) или (6):

$$x_8 \geq x_3, \quad (5)$$

$$x_8 \geq x_4. \quad (6)$$

Ограничения (5) и (6) равнозначны, достаточно использовать одно из них.

Дисциплины «Дифференциальные уравнения» и «ТФКП» являются продолжением дисциплины «Математический анализ», требуя знания данного курса. Также в некоторых учебных изданиях их включают в курс «Математический анализ». Поэтому желательно их расположить непосредственно после данной дисциплины. При этом их можно изучать как параллельно, так и последовательно, поэтому ограничения примут вид (7):

$$x_5 > x_3, \quad x_6 > x_3. \quad (7)$$

Для обеспечения отсутствия разрыва при изучении данных дисциплин после дисциплины «Математический анализ», ограничения (6) можно дополнить условием (8):

$$\min \{x_5, x_6\} = x_3 + 1. \quad (8)$$

С учетом (4) можно записать (9):

$$\min \{x_5, x_6\} = 3. \quad (9)$$

Дисциплина «Теория вероятностей», по оценкам экспертов, требует предварительного изучения дисциплин «Математический анализ» и «Линейная алгебра», при этом не привязана к ним, а является принципиально отличным разделом математики. Следовательно, для нее можно записать (10):

$$x_7 > x_3. \quad (10)$$

Дисциплина «Математическая статистика» является логическим продолжением дисциплины «Теория вероятностей», также некоторые учебные издания объединяют их, тогда можно записать (11):

$$x_9 = x_7 + 1. \quad (11)$$

Дисциплина «Математическая логика» использует большое количество понятий и методов из дисциплин «Линейная алгебра» и «Дискретная математика», однако она не требует установки строго после них, поэтому можно записать (12):

$$x_{10} > x_2, \quad x_{10} > x_8. \quad (12)$$

Учитывая формулы (2), (4) и (7), можно упростить выражение (12), исключив транзитивную зависимость, получится (13):

$$x_{10} > x_8. \quad (13)$$

Дисциплины «Методы оптимизации», «Исследование операций» требуют знания всех базовых математических дисциплин. Сами они могут содержать различные наборы глав, могут пересекаться по содержанию, при этом не требуют четкой последовательности между собой. Следовательно, условия для их установки имеют вид (14):

$$x_{11} > \max \{x_5, x_6\}, \quad x_{12} > \max \{x_5, x_6\}. \quad (14)$$

Дисциплина «Вычислительная математика» может содержать методы оптимизации, следовательно, ее необходимо расположить после изучения соответствующей дисциплины. Получится условие (15):

$$x_{13} > x_{11}. \quad (15)$$

Во второй группе дисциплин, касающихся информатики, выделено 6 дисциплин. Не все их названия носят устоявшийся характер, могут варьироваться. В таблице 4 представлен примерный вариант набора дисциплин данной группы с их усредненными коэффициентами очередности.

Таблица 4

Усредненные коэффициенты очередности дисциплин группы информатики

Название дисциплины	Информатика	Введение в профессиональную деятельность ИВТ	Операционные системы	Информационные технологии	ЭВМ и периферийные устройства	Теория информации
Полученные средние коэффициенты очередности дисциплин	9	8	4	5	5	4

Дисциплинам этой группы также присваиваются номера, и вводятся обозначения номеров семестров, в которых они изучаются (табл. 5).

Ограничения на номера семестров, в которых изучается данная группа дисциплин, не связаны с ограничениями (2)–(15).

Хотя количество дисциплин в рассматриваемой группе всего 6, все они являются базовыми для данного направления, то есть желательно их изучение в наиболее ранних семестрах. Анализируя значения усредненных коэффициентов очередности, можно установить (16):

$$x_{14} = 1. \quad (16)$$

Аналогично (1), это ограничение можно не устанавливать, с математической точки зрения, но для сокращения размерности задачи и ускорения процесса решения — это лучше делать, поскольку дисциплина «Информатика», как правило, изучается в первом семестре.

Таблица 5

Номера дисциплин группы информатики

Название дисциплины	Информатика	Введение в профессиональную деятельность ИВТ	Операционные системы	Информационные технологии	ЭВМ и периферийные устройства	Теория информации
Номер дисциплины	14	15	16	17	18	19
Номер семестра, в котором изучается дисциплина	x_{14}	x_{15}	x_{16}	x_{17}	x_{18}	x_{19}

Дисциплина «Введение в профессиональную деятельность» может изучаться как параллельно с «Информатикой», так и позднее, т. к. значения коэффициентов очередности отличаются всего на единицу. Но устанавливать ее позднее 2 семестра не следует. Поэтому можно записать ограничение (17):

$$x_{15} \leq 2. \quad (17)$$

Дисциплины «Информационные технологии» и «ЭВМ и периферийные устройства» имеют одинаковые коэффициенты очередности, значительно меньшие, чем коэффициент для «Введения в профессиональную деятельность», следовательно, ограничения имеют вид (18):

$$x_{17} > x_{15}, \quad x_{18} > x_{15}. \quad (18)$$

Дисциплины «Операционные системы» и «Теория информации» имеют одинаковые коэффициенты очередности, меньшие всего на 1, чем «Информационные технологии» и «ЭВМ и периферийные устройства», следовательно, их можно изучать либо позднее, либо параллельно с ними ((19), (20)):

$$x_{16} \geq x_{17}, \quad x_{19} \geq x_{17}, \quad (19)$$

$$x_{16} \geq x_{18}, \quad x_{19} \geq x_{18}. \quad (20)$$

Условия (19)–(20) можно объединить и записать (21):

$$x_{16} \geq \max \{x_{17}, x_{18}\}, \quad x_{19} \geq \max \{x_{17}, x_{18}\}. \quad (21)$$

Третья группа дисциплин, выделенная при исследовании, — дисциплины, связанные с программированием. В экспертном исследовании выделено 7 дисциплин, входящих в данную группу. В таблице 6 представлены значения полученных усредненных коэффициентов очередности для данной группы.

В таблице 7 представлены номера дисциплин данной группы и соответствующие им номера семестров.

Дисциплины группы программирования могут присутствовать во всех семестрах, может быть, за исключением последнего. Они составляют существенную часть компетенций, формируемых образовательной программой. Дисциплины данной группы, как правило, воспринимаются студентами как наиболее интересные и значимые, поэтому желательно распределить их наиболее равномерно по семестрам.

Наибольшее в данной группе значение коэффициента очередности, а, следовательно, наименьший номер семестра, соответствует дисциплине «Основы программирования». Аналогично другим группам, можно записать (22):

$$x_{20} = 1. \quad (22)$$

Таблица 6

Усредненные коэффициенты очередности дисциплин группы программирования

Название дисциплины	Основы программирования	Алгоритмические языки программирования	Системное программное обеспечение	Технологии программирования	Объектно-ориентированное программирование	WEB-программирование	Программирование мобильных устройств
Полученные средние коэффициенты очередности дисциплин	13	10	8	8	5	3	2

Таблица 7

Номера дисциплин группы программирования

Название дисциплины	Основы программирования	Алгоритмические языки программирования	Системное программное обеспечение	Технологии программирования	Объектно-ориентированное программирование	WEB-программирование	Программирование мобильных устройств
Номер дисциплины	20	21	22	23	24	25	26
Номер семестра, в котором изучается дисциплина	x_{20}	x_{21}	x_{22}	x_{23}	x_{24}	x_{25}	x_{26}

Коэффициент очередности для дисциплины «Алгоритмические языки программирования» отличается значительно, значит, условие для данной дисциплины можно записать следующим образом (23):

$$x_{21} > x_{20}. \tag{23}$$

Для дисциплин «Системное программное обеспечение» и «Технологии программирования» коэффициенты очередности одинаковы и меньше, чем для дисциплины «Алгоритмические языки программирования». Так как в данной группе количество дисциплин совпадает с количеством семестров, желательно расположить хотя бы одну дисциплину из группы в каждом семестре. Данное утверждение можно трактовать следующим образом: дисциплины следует расположить в двух смежных семестрах, не устанавливая между ними очередности. Таким образом записывается (24):

$$x_{22} > x_{21}, \quad x_{23} > x_{21}, \quad |x_{22} - x_{23}| = 1. \tag{24}$$

Следующий коэффициент очередности соответствует дисциплине «Объектно-ориентированное программирование», условие для получения номера ее семестра имеет вид (25):

$$x_{24} > x_{22}, \quad x_{24} > x_{23}. \tag{25}$$

Условие (24) можно заменить на эквивалентное ему (26):

$$x_{24} \geq \max \{x_{22}, x_{23}\}. \tag{26}$$

Следующее значение коэффициента очередности в данной группе соответствует дисциплине «WEB-программирование». Ограничение для номера семестра данной дисциплины можно записать (27):

$$x_{25} > x_{24}. \quad (27)$$

Коэффициент очередности дисциплины «Программирование мобильных устройств» в данной группе принимает самое маленькое значение, тогда неравенство для номера ее семестра можно записать (28):

$$x_{26} > x_{25}. \quad (28)$$

Вторая часть системы ограничений может содержать и другие условия, которые устанавливаются при формировании УП непосредственным выбором очередности дисциплин составителем плана.

Третья часть в системе ограничений касается равномерного распределения суммарной трудоемкости дисциплин по семестрам. ФГОС устанавливает ограничение на суммарную трудоемкость дисциплин учебного года — она не должна превышать 70 з. е. (суммарная трудоемкость образовательной программы бакалавриата составляет 240 з. е. без учета факультативных дисциплин). Если распределить суммарную трудоемкость равномерно, то при четырехлетнем сроке освоения программы получится 60 з. е. в год. Кроме этого, ФГОС устанавливает необходимость включения факультативных дисциплин, объем которых может быть установлен образовательной организацией. Тогда фактическая трудоемкость образовательной программы увеличивается. С учетом наличия факультативных дисциплин уместно будет установить не только ограничение в 70 з. е. на каждый год, но и дополнительно сбалансировать распределение общей трудоемкости по семестрам.

Пусть суммарная трудоемкость образовательной программы составляет T з. е. Эта трудоемкость включает и 240 з. е., установленных ФГОС, и все трудоемкости факультативных дисциплин.

Также трудоемкость каждого семестра не обязательно должна быть одинаковой, но и не должна сильно отличаться от среднего значения. Для составления условий необходимо ввести дополнительные обозначения:

- T_s — средняя трудоемкость семестра;
- T_{s_k} — трудоемкость семестра с номером k ($k \in [1, S]$);
- T_{C_p} — трудоемкость учебного года с номером p ($p \in [1, C]$);
- l — допустимое отклонение фактической трудоемкости семестров от средней.

Тогда ограничение трудоемкости в каждом семестре устанавливается (29):

$$T_s - l \leq T_{s_k} \leq T_s + l, \quad \forall k \in [1, S]. \quad (29)$$

Значения T_s и T_{s_k} вычисляются по формулам (30) и (31) соответственно:

$$T_s = \frac{T}{S}, \quad (30)$$

$$T_{s_k} = \sum_{s=1}^N z_{s/k}, \quad \forall k \in [1, S], \quad (31)$$

здесь $z_{s/k}$ обозначена трудоемкость дисциплины с номером s при условии, что номер семестра, в который она установлена, равен k .

Ранее упоминалось, что суммарное значение трудоемкости в учебном году не должно превышать 70 з. е., это значение зафиксировано в ФГОС, но для обобщения следует ввести параметр, который принимает это значение, — $T_c = 70$. Тогда условие запишется в форме (32):

$$T_{C_p} \leq T_c, \quad \forall p \in [1, C]. \quad (32)$$

Окончательно система ограничений для оптимизации учебного плана по направлению «Информатика и вычислительная техника» будет состоять из формул (1), (2), (4), (5), (7), (8), (9), (10), (11), (13), (14), (15), (16), (17), (18), (21), (22), (23), (24), (26), (27), (28), (29), (32). При этом условия (1), (29) и (32) не зависят от направления обучения, а остальные будут меняться для каждого направления обучения в зависимости от набора дисциплин образовательной программы и их взаимосвязей.

Заключение

Предложенная система ограничений для решения задачи оптимизации позволит определить множество допустимых значений номеров семестров всех дисциплин учебного плана. Большая часть условий являются линейными относительно искомым значениям номеров семестров. Исключением представляются условия последней группы, здесь номера семестров являются критерием попадания конкретной дисциплины в конкретное условие. Следовательно, методы решения оптимизационной задачи не могут быть основаны на механизмах решения задач линейного программирования. Размерность задачи предполагает построение численного решения.

При численной реализации составитель УП должен иметь возможность корректировки системы ограничений, поэтому полученные в данной работе условия будут предложены как рекомендации.

ЛИТЕРАТУРА

1. Ларичев О. И., Петровский А. Б. Системы поддержки принятия решений. Современное состояние и перспективы их развития. *Итоги науки и техники. Сер. Техническая кибернетика*. 1987;21:131–164.
2. Сараев А. Д., Щербина О. А. Системный анализ и современные информационные технологии. *Труды Крымской Академии наук*. Симферополь: СОНАТ; 2006. С. 47–59.
3. Халин В. Г. *Системы поддержки принятия решений: учеб. и практикум для вузов* / под ред. В. Г. Халина, Г. В. Черновой. М: Издательство Юрайт; 2023. 494 с.
4. Алексахин С. В., Николаев А. Б., Строганов В. Ю. Моделирование связности дисциплин учебного плана в системе дистанционного образования. *Информационные технологии в образовании (ИТО-2001). Секция 3. ИТ в открытом образовании: мат. XI Международ. конф.-выставки*. М.: МИФИ; 2001.
5. Лавлинская О. Ю. Ранжирование учебных дисциплин с использованием экспертных оценок. *Моделирование систем и информационные технологии: межвуз. сб. науч. тр. Вып. 3. Ч. 2*. Воронеж: Научная книга; 2006. С. 80–83.
6. Юрчишина М. В., Бушмелева К. И. Математическое моделирование процесса оптимизации учебного плана высшего образования. *Фундаментальные, поисковые, прикладные исследования и инновационные проекты: сб. тр. нац. науч.-практ. конф.* М.: РТУ МИРЭА; 2022. С. 141–144.
7. Юрчишина М. В., Бушмелева К. И. Экспертное оценивание структуры и состава группы математических дисциплин учебного плана для студентов бакалавриата по направлению «Информатика и вычислительная техника». *Фундаментальные, поисковые, прикладные исследования и инновационные проекты: сб. тр. нац. науч.-практ. конф.* М.: РТУ МИРЭА; 2023. С. 702–708.
8. Вентцель Е. С. *Исследование операций*. М.: Высшая школа; 2001. 208 с.
9. Рыков А. С. *Системный анализ: модели и методы принятия решений и поисковой оптимизации*. М.: Издательский Дом МИСиС; 2009. 608 с.