

Оптимизация состава дорожно-строительного комплекса методом динамического программирования

Тюрин Н.А., Мохамед Ахмед Халед, Потапов Е.М.

Введение.

В сложных природно-производственных условиях лесного дорожного строительства научное обоснование методов организации дорожно-строительных работ и выбор дорожных машин для работы в различных природно-производственных условиях окажут существенное влияние на эффективность работы лесозаготовительных компаний.

Любой дорожно-строительный процесс можно выполнить строительными машинами, имеющими большое число разнообразных типов и типоразмеров. Из них можно сформировать еще большее число комплексов машин. Так, например, если строительный процесс включает пять операций, а каждая из операций может быть выполнена четырьмя различными машинами, то число различных комплексов машин для выполнения заданного строительного процесса составит $N = 4^5 = 1024$ варианта. В результате возникает проблема решения такого рода задач. Ниже излагается соответствующая методика определения оптимального комплекса дорожных машин на этапе разработки проекта производства работ.

Цели и задачи.

Пусть задан некоторый строительный процесс, например, строительство земляного полотна лесовозной дороги. Этот процесс включает ряд последовательных операций: разработку грунта, транспортирование, разравнивание и уплотнение грунта. Эти технологические операции могут быть выполнены соответствующими машинами, имеющимися в строительной организации: например, экскаваторами (Э1), автосамосвалами (С1), бульдозерами (Б1, Б2, Б3), катками (К1, К2), автогрейдерами (А1, А2). Известны затраты на выполнение каждой операции каждой машиной. Поскольку при выполнении смежных операций машины влияют друг на друга (конструктивно, технологически), то и затраты на выполнение операций могут быть различными.

Требуется определить такой комплекс машин, который обеспечит выполнение всего технологического процесса с минимальными затратами.

Методика исследования и анализ результатов.

Для наглядности все возможные комплексы машин для строительства земполотна представим в виде сетевого графа (рис.1).

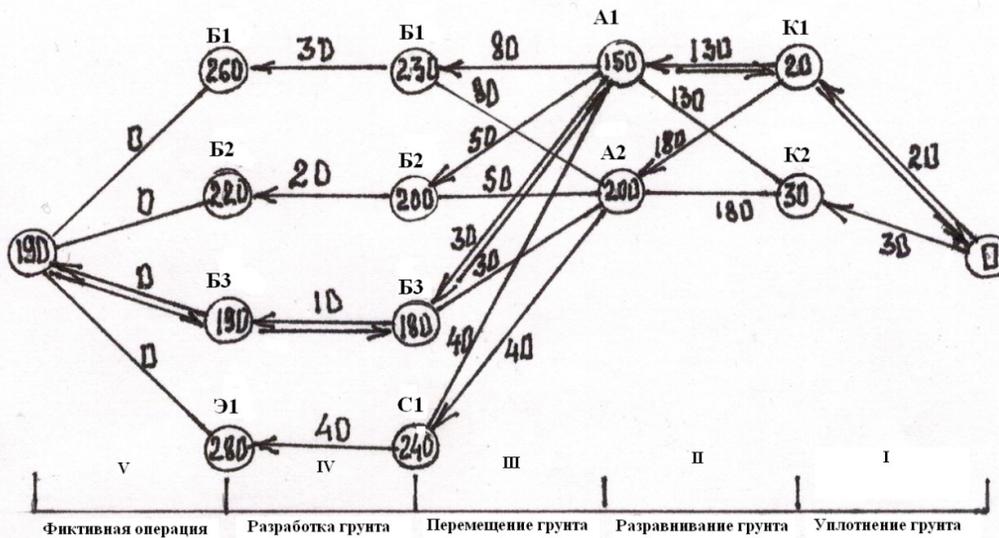


Рис 1. Сетевой граф возможных комплексов дорожных машин строительной организации

Введем обозначения. Индексом k обозначим номер выполняемой операции, индексами i и j – предшествующую и последующую машину в оптимизируемом комплексе. Возможна ситуация, когда машина может выполнять несколько операций, как в нашем случае. Например, бульдозер выполняет две операции: разработку грунта и его перемещение.

Операция, выполняемая той или иной машиной, обозначается в виде ребра графа, над которым указана величина затрат $C(k, i, j)$ на выполнение k -й операции i -ой машиной после выполнения $(k - 1)$ -й операции j -й машиной. Машина, выполняющая ту или иную операцию, представляется в виде узла графа. Узел также означает завершение одной или нескольких операций и начало выполнения другой операции. Начальный и конечный узлы сетевого графа представляют собой фиктивные машины, обозначающие начало (слева) и окончание (справа) всего комплексного процесса дорожных работ возведения земляного полотна. Если при выполнении какой-то операции машина не может по конструктивным, технологическим или каким-то другим причинам работать с предшествующей, то соответствующее ребро на сетевом графе отсутствует. В нашей задаче бульдозеры Б1, Б2, и Б3 не могут перемещать грунт, разработанный в карьере экскаватором Э1.

Представление всех возможных комплексов машин в виде сетевого графа обеспечивает наглядность и простоту формирования допустимого множества комплексов машин и позволяет использовать для оптимизации комплекса метод динамического программирования Беллмана[1].

Задача оптимизации математической модели динамического программирования формируется как конечный многошаговый процесс управления на каждом шаге, начиная с последнего, ведущего от предпоследнего состояния системы к заданному конечному. На каждом шаге анализируются только два соседних состояния и выбирается условно

оптимальное управление, обеспечивающего достижения оптимального значения критерия, при условии реализации этого управления

$$F_k(i) = \min\{C_{kij} + F_{k-1}(j)\} \quad (1)$$

где $F_k(i)$ - минимальные суммарные затраты при выполнении частичного технологического процесса, включающего все последующие операции, начиная с k - й операции и с i - й машины до конца технологического процесса;

$F_{k-1}(j)$ - минимальные суммарные затраты при выполнении частичного технологического процесса, включающего все операции, следующие за k - й операцией с j – й машины до конца процесса.

Поскольку оптимизация осуществляется с конца процесса для первого шага управления ($k=1$) функция Беллмана представляет собой минимальные затраты только на уплотнение грунта катком К1 или К2. При этом мы находим условно оптимальное управление, например, пусть это будет каток К1. Затраты в этом случае составят 20 ед. Проставляем это значение в узле графа и указываем к нему стрелку. Предположим далее, что условно оптимальное управление предполагает выбор катка К2. Затраты при этом составят 30 ед. Проставляем их в узле графа К2 и указываем к нему стрелку.

На каждом последующем шаге для вычисления функции Беллмана необходимо использовать результаты предыдущего шага. Каждая сумма равна минимальным суммарным затратам в узле, из которого выходит стрелка, и затратам на операцию, соответствующую стрелке, входящей в рассматриваемый узел. Например, приступаем к условно оптимальному выбору машин для технологического процесса разравнивания грунта ($k=2$). Затраты здесь уже складываются из двух слагаемых - из затрат собственно на данном шаге (разравнивание) и затрат на всех последующих шагах до окончания всего процесса (уплотнение). В соответствии с функциональным уравнением Беллмана (1) выбираем решение с минимальными затратами. При условии выбора автогрейдера А1 и катка К1 на предыдущем шаге суммарные затраты составят $130+20=150$, а если на предыдущем шаге был выбран каток К2, то затраты составят $130+30=160$. Выбираем минимальное 150, проставляем это значение в узел А1 и указываем к нему стрелку на ребре К1А1. Аналогично для условно оптимального управления выбора автогрейдера А2 и условия выбора катка К1 на первом шаге имеем $180+20=200$, при условии выбора катка К2 имеем $180+30=210$. Минимальное значение затрат 200 ед. проставляем в узел А2, а на ребре А2К1 показываем стрелку условно оптимального решения.

Продолжая процесс аналогичным образом, приходим в точку начала технологического процесса. Результаты расчета для всех остальных узлов представлены на рис. 1. В результате получим граф условно оптимальных переходов, который для нахождения окончательного оптимального решения необходимо просмотреть в обратном порядке от начала технологического процесса к концу (двойная стрелка). Минимально возможные суммарные затраты выбранного комплекса дорожных машин составят 190 ед. и соответствуют следующему окончательному оптимальному пути на графе: Б3-Б3-А1-К1.

Таким образом, в соответствии с решением оптимальный комплект дорожно-строительных машин для возведения земляного полотна состоит из бульдозера БЗ на разработке и транспортировке грунта, автогрейдера А1 на разравнивании и катка К1 на уплотнении.

Анализируя эффективность выполнения всего строительного процесса, можно заметить, что другой, ближайший к оптимальному вариант комплектации с ведущей машиной бульдозер Б2 приведет к затратам 220 ед.

Выводы. В статье представлена универсальная методика и алгоритм оптимизации комплекса дорожно-строительных машин методом динамического программирования в сетевой постановке. Весь процесс расчета локально-оптимальных решений для частичных технологических процессов ведется от конца технологического процесса к началу и только в конце расчета можно определить минимальные суммарные затраты на весь технологический процесс и соответствующий комплекс машин. Методика может быть рекомендована к применению на этапе разработки проекта производства работ дорожно-строительной организации.

Библиографический список

1. Беллман Р. Е., Дрейфус С.Е. Прикладные задачи динамического программирования. М.: Наука, 1965. 458с.

Сведения об авторах

ФИО Тюрин Н.А.
Организация Санкт-Петербургский государственный лесотехнический университет имени С.М. Кирова
Адрес организации 194021, Институтский пер., д. 5, Санкт-Петербург, Россия
SPIN-код 8998-5234
e-mail tnalif@mail.ru

ФИО Мохамед Ахмед Халед.
Организация Санкт-Петербургский государственный лесотехнический университет имени С.М. Кирова
Адрес организации 194021, Институтский пер., д. 5, Санкт-Петербург, Россия
SPIN-код 4521-3185
e-mail ahmedkhaleed_egy@hotmail.com

ФИО Потапов Егор Михайлович
Организация Санкт-Петербургский государственный лесотехнический университет имени С.М. Кирова
Адрес организации 194021, Институтский пер., д. 5, Санкт-Петербург, Россия
SPIN-код 4641-3386
e-mail egor_potapov94@mail.ru

Аннотация

Предложена методика оптимизации состава комплекта дорожно-строительных машин методом динамического программирования в сетевой постановке. Методика является достаточно универсальной и может быть использована на этапе создания проектов производства работ дорожно-строительной организации.

Ключевые слова: метод динамического программирования, оптимизация комплекта дорожных машин, рекуррентное уравнение, граф.

УДК 625.7 **Разделы рубрикатора ГРНТИ 67.17.23.** Машины, механизмы и оборудование для строительства дорог.